

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**ESTUDO DA INTERAÇÃO ENTRE A ARGAMASSA DE  
ASSENTAMENTO E O BLOCO DE CONCRETO PARA  
ALVENARIA ESTRUTURAL: TRANSPORTE DE ÁGUA E  
ADERÊNCIA**

Tese submetida à Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial exigido pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, para obtenção do Título de DOUTOR em Engenharia Civil.

JULIANA MACHADO CASALI

Florianópolis, março de 2008.

**ESTUDO DA INTERAÇÃO ENTRE A ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO E O  
BLOCO DE CONCRETO PARA ALVENARIA ESTRUTURAL: TRANSPORTE DE  
ÁGUA E ADERÊNCIA**

**JULIANA MACHADO CASALI**

Tese julgada adequada para a obtenção do Título de  
DOUTOR em Engenharia Civil e aprovada em sua forma  
final pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil –  
PPGEC da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

---

Prof. Dr. Glicério Trichês – Coordenador do PPGEC

---

Prof. Dr. Luiz Roberto Prudêncio Júnior – Orientador

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

Prof. Dr. Luiz Roberto Prudêncio Júnior – Moderador - UFSC

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Helena Carasek – UFG

---

Prof. Dr. Elton Bauer – UNB

---

Prof. Dr. Celso Peres Fernandes - UFSC

---

Prof. Dr. Philippe Jean Paul Gleize – UFSC

---

Prof. Dr. Wellington Longuini Repette – UFSC

*Dedico este trabalho a Deus, aos meus  
pais, Adriano e Valda, e ao meu  
namorado, Luiz Augusto.*

## AGRADECIMENTOS

Muitas pessoas e instituições contribuíram direta e indiretamente no desenvolvimento desta tese, e gostaria aqui de agradecê-las.

À Deus, por ter me amparado nas horas mais difíceis, me proporcionando força, coragem e, principalmente, perseverança necessária para concluir esta tese de doutorado.

Ao Prof. Dr. Luiz Roberto Prudêncio Júnior por ter me proporcionado a oportunidade de realização deste doutorado, pela orientação, pela amizade e pelo companheirismo. Além disso, o Prof. Prudêncio me deu a oportunidade de participar do Grupo de Tecnologia em Materiais e Componentes a base de Cimento Portland (GTec) ao qual tive o maior orgulho de participar desde sua fundação.

Ao Prof. Dr. Rafael Giuliano Pillegi pelos ensinamentos, discussões, auxílios e disposição para ensaiar. Especial agradecimento por ter me acolhido de portas abertas para o desenvolvimento desta pesquisa, disponibilizando as instalações e equipamentos do Laboratório de Microestrutura da Universidade de São Paulo (USP).

Ao Prof. Dr. Celso Peres Fernandes pela grande contribuição no desenvolvimento inicial deste trabalho, pelo incentivo e pela amizade.

Ao Prof. Luis Gómez pela disposição, paciência e principalmente por ter me proporcionado o aprendizado sobre instrumentação de ensaios, me auxiliando desde a montagem de equipamentos até com especificações.

Ao Prof. Marciano Macarini por disponibilizar as instalações e equipamentos do Laboratório de Mecânica dos Solos da UFSC. Obrigado pela amizade e compreensão.

Ao Prof. Orlando e Prof. Fernando Marinho pelos ensinamentos e disponibilidade para auxiliar nesta tese.

Aos professores da UFSC: Dr. Wellington Longuini Repette e Dr. Philippe Jean Paul Gleize por avaliarem este trabalho. Além dos professores Roberto Caldas de Andrade Pinto, PhD e Henriette Lebre La Rovere, PhD, pelo empréstimo de materiais e pelo aprendizado.

Aos professores Dra. Helena Carasek e Dr. Elton Bauer por terem aceitado avaliar este trabalho desde o exame de qualificação e pelas contribuições para o seu aprimoramento.



Aos técnicos do Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) Renato e Luiz Henrique pela amizade, pela compreensão e pelo auxílio durante toda a realização desta tese. E ao grande companheiro e amigo de laboratório “Roque Júnior” pelas gargalhadas, pelo cafezinho de manhã bem cedo, pelas conversas e pela força (literalmente no ensaio de flexão em prisma) durante a realização desta tese.

À Empresa Toniolo Pré-moldados, seus Engenheiros Carlos Bedin e Jaderson Barbieri, por disponibilizarem equipamentos, instalações e materiais utilizados nesta pesquisa, sempre incentivando e apoiando.

À Empresa Rischbieter Engenharia Indústria e Comércio Ltda., principalmente na pessoa do Químico Carlos Rischbieter, que auxiliou e doou os aditivos químicos empregados nesta tese. Obrigada pela grande contribuição na parte técnica e pela disponibilidade de tempo.

À Empresa Argasens pela doação do agregado miúdo utilizado no programa experimental.

Ao setor de transporte da UFSC, em especial ao motorista José Cláudio por todo auxílio prestado no transporte dos materiais e equipamentos.

À Capes, pelo apoio financeiro para a pesquisa com bolsa.

Aos bolsistas de iniciação científica do GTec: Luiz Antônio, Fábios e Tochetto um agradecimento especial. Além dos ex-bolsistas João Henrique, Washington e Wilson pelo auxílio direto ou indireto. No GTec tive a oportunidade de conhecer e conviver com muitas pessoas como Luciana, Silvia, Fábio Elias, Alan, Rafael, Giovanna, Vanessa, Karolina, Gabriela, Zaira, Aline, Daniel, Talita, Arley, Marcos e Paulo, obrigada por estarem sempre dispostos a me ajudar. Um especial agradecimento aos meus amigos Alexandre (Leco), Thiago e Denis obrigada pela disponibilidade, auxílio e trocas de idéias.

À amiga Giovanna por ter sido companheira no doutorado, sempre disponível para trocar idéias e me aconselhando. Muito obrigada por sua amizade.

Um especial agradecimento para Regina, a mulher do chefe, por ser minha segunda mãe, pela amizade, pelo ombro amigo, pelo bom humor e não medindo esforços para me ajudar. Muito, muito obrigada.

À Luciana, Luca, pela amizade e ensinamentos desde o início da minha caminhada como pesquisadora, além da valiosa contribuição no texto final desta tese e pelos conselhos.

À Silvia pela amizade, pelas correções e disponibilidade para auxiliar sempre que possível.

À minha amiga Andrea pelo incentivo, pela ajuda e pela contribuição nesta tese. Muito obrigada pelo auxílio em todos os momentos que fui a São Paulo, também não medindo esforços para me ajudar.

E por último, um agradecimento especial aos meus familiares e ao meu namorado.

Aos meus pais, Adriano e Valda, pelo apoio, carinho, compreensão e incentivo para nunca desistir dos meus ideais. A minha irmã Adriana que, mesmo longo dos olhos, sempre esteve perto do meu coração, me apoiando e sempre acreditando em mim. Ao meu cunhadinho Alex, pela contribuição nos artigos e pela sua amizade. Ao meu irmão Guilherme, minha cunhada, Priscilla, e meus sobrinhos Isadora e Ângelo, agradeço ao apoio demonstrado e esforços em me ajudar quando solicitei auxílio. Ao meu irmão Rafael, sempre disponível e me dando principalmente suporte logístico. A minha amiga e cunhada Greice, pelo ombro amigo, pela amizade, pelo companheirismo e pelas gargalhadas.

Ao meu namorado Luiz Augusto, sempre me incentivando, apoiando, ouvindo, auxiliando na parte estatística e acompanhando em todos os momentos. Obrigada pela compreensão nos momentos de stress, de TPM, de desespero e pela força nos momentos mais difíceis, sempre acreditando em mim e no meu potencial para concluir este trabalho. Muito obrigada pelo seu carinho e pelo seu amor.

À todos os meus amigos e familiares peço desculpas pelas horas que estive ausente, pois precisava me dedicar muito, muito e muito a este trabalho e agradeço todo o apoio demonstrado.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	vii
LISTA DE TABELAS .....	xviii
RESUMO .....	xxi
ABSTRACT .....	xxii
1 INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Considerações Iniciais e Justificativa.....	1
1.2 Hipótese.....	7
1.3 Objetivo Geral.....	7
1.4 Objetivos Específicos.....	8
1.5 Estrutura da Tese.....	9
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	10
2.1 Bloco de Concreto.....	10
2.1.1 Propriedades dos blocos de concreto intervenientes na interação.....	15
2.2 Argamassa de Assentamento.....	25
2.2.1 Materiais constituintes e proporcionamento.....	26
2.2.2 Propriedades no estado fresco e métodos de ensaio associados.....	33
2.2.3 Propriedades no estado endurecido .....	41
2.3 Interação entre a Unidade de Alvenaria e a Argamassa de Assentamento .....	47
2.3.1 Teoria das ligações interfaciais .....	47
2.3.2 Momentos iniciais da interação entre a argamassa de assentamento e o substrato ...	49
2.3.3 Aderência entre a argamassa de assentamento e o bloco de concreto.....	62
3 PROGRAMA EXPERIMENTAL .....	72
3.1 Definição das Variáveis .....	72
3.1.1 Variáveis independentes .....	72
3.1.2 Variáveis dependentes .....	74
3.2 Estudos-piloto para Definições das Metodologias de Ensaios.....	75
3.2.1 Considerações iniciais .....	75
3.2.2 Caracterização do bloco de concreto.....	76
3.2.3 Caracterização das argamassas de assentamento no estado fresco.....	98
3.2.4 Caracterização das argamassas de assentamento no estado endurecido.....	136

3.2.5	Dosagem das argamassas.....	148
3.2.6	Interação da argamassa de assentamento e o bloco de concreto .....	156
3.3	Estudo Definitivo .....	177
3.3.1	Caracterização dos materiais .....	178
3.3.2	Apresentação e produção das argamassas de assentamento.....	185
3.3.3	Caracterização das argamassas de assentamento.....	186
3.3.4	Caracterização das juntas de assentamento .....	188
3.3.5	Estudo da transferência de água da argamassa de assentamento para o bloco de concreto.....	193
3.3.6	Estudo de resistência de aderência à flexão.....	196
3.3.7	Resumo do programa experimental completo.....	205
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	207
4.1	Caracterização dos Blocos de Concreto .....	207
4.2	Caracterização das Argamassas de Assentamento .....	220
4.3	Caracterização das Juntas de Assentamento .....	230
4.4	Estudo da Transferência de Água da Argamassa para o Bloco de Concreto .....	240
4.4.1	Perda de água da argamassa para o bloco de concreto .....	240
4.4.2	Absorção de água proveniente da argamassa pelo bloco de concreto.....	248
4.4.3	Comentários gerais sobre o estudo de transferência de água da argamassa para o bloco de concreto .....	258
4.5	Estudo de Resistência de Aderência.....	259
4.5.1	Mini-prismas.....	259
4.5.2	Prismas .....	271
4.5.3	Correlação entre os valores obtidos de resistência de aderência de mini-prismas e prismas .....	278
4.6	Correlação entre a Absorção de Água Proveniente da Argamassa pelo Bloco de Concreto e a Resistência de Aderência em Mini-prisma .....	280
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	287
5.1	Conclusões .....	287
5.2	Sugestões para Trabalhos Futuros.....	290
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	293
	ANEXOS.....	305

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.	CARGAS EXTERNAS ATUANTES EM UMA PAREDE DE ALVENARIA ESTRUTURAL (FONTE: SABBATINI, 1984). ....	2
FIGURA 2.	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO DA ALVENARIA: (A) NORMAL E (B) PARALELA ÀS FIADAS (SCHUBERT, 1994). ....	3
FIGURA 3.	TIPOS DE RUPTURA EM PAREDES SUBMETIDAS À FLEXÃO FORA DO PLANO: (A) TRAÇÃO NORMAL ÀS FIADAS; E (B) TRAÇÃO PARALELA ÀS FIADAS. CASO 1: RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DA UNIDADE MENOR QUE A TENSÃO E CASO 2: RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA ENTRE ARGAMASSA E UNIDADES MENOR QUE A TENSÃO (ADAPTADO: SCHUBERT, 1994).....	3
FIGURA 4.	FISSURAS GEOMÉTRICAS OBSERVADAS (A) NA PARTE EXTERNA E (B) NA PARTE INTERNA DOS EDIFÍCIOS. ....	4
FIGURA 5.	FISSURAS GEOMÉTRICAS OBSERVADAS EM TODOS OS PAVIMENTOS: (A) VISTA GERAL DO EDIFÍCIO E (B) FISSURAS NOS ÚLTIMOS PAVIMENTOS.....	4
FIGURA 6.	DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO INTERTRAVAMENTO MECÂNICO ENTRE ADESIVO E SUBSTRATO (HULL & CLYNE, 1996 APUD GONÇALVES, 2004). ....	23
FIGURA 7.	MOLHAGEM DE UM SÓLIDO POR UM LÍQUIDO (RABOCKAI, 1979): (A) ÂNGULO DE CONTATO ESTÁ ENTRE ZERO E 90°, (B) O ÂNGULO DE CONTATO MEDE 90°, (C) ÂNGULO DE CONTATO MAIOR QUE 90° E (D) ÂNGULO DE CONTATO IGUAL A 180° ...	47
FIGURA 8.	ASCENSÃO CAPILAR (ADAMSON E GAST, 1997).....	49
FIGURA 9.	(A) INSTANTE DE CONTATO ENTRE ARGAMASSA E O SUBSTRATO, (B) PRIMEIRO MOMENTO NA INTERAÇÃO ARGAMASSA-SUBSTRATO; (C) NUM MOMENTO POSTERIOR A ÁGUA DOS CAPILARES MAIS GROSSOS DO SUBSTRATO COMEÇA A RETORNAR (FLUXO REVERSO). ....	51
FIGURA 10.	REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO MECANISMO DE FORMAÇÃO DA INTERAÇÃO ENTRE ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO E O BLOCO DE CONCRETO. ....	54
FIGURA 11.	ENSAIO DE TRAÇÃO DIRETA DAS UNIDADES COM A ARGAMASSA.....	55
FIGURA 12.	FENÔMENO DE DENSIFICAÇÃO/DESSECAÇÃO (JENNINGS <i>ET AL.</i> , 2000).....	57
FIGURA 13.	(A) ENSAIO DE TRAÇÃO DIRETA E (B) ENSAIO DE TRAÇÃO DIRETA EM “X” (“ <i>CROSSED BRICK COUPLETS</i> ”) (ADAPTADA DE JUKES E RIDDINGTON, 1998). ....	63
FIGURA 14.	ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE CISALHAMENTO PARA ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO (CRISAFULLI, 1997 APUD ABDU <i>ET AL.</i> , 2006).....	64
FIGURA 15.	ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO PARA ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO: (A) ASTM E 518-80 (2003); (B) ASTM C 952 (1976) E (C) TRAÇÃO POR ARRANCAMENTO ( <i>BOND WRENCH</i> ) ASTM C 1072 (1986). ....	64
FIGURA 16.	ENSAIO DE CAMPO PARA A DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO PROPOSTO POR MEDEIROS E SABBATINI (1994). ....	65
FIGURA 17.	ENTALHES UTILIZADOS NO ESTUDO POR WERNER E LANGE (2003).....	70
FIGURA 18.	RESUMO DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES E DEPENDENTES DO PROGRAMA EXPERIMENTAL. ....	75
FIGURA 19.	TEXTURA SUPERFICIAL DA LATERAL DOS BLOCOS DE CONCRETO UTILIZADOS: (A) BLOCO DE CONCRETO DE FLORIANÓPOLIS (TF) E (B) BLOCO DE CONCRETO DE BLUMENAU (TB). ....	78
FIGURA 20.	BLOCO DE CONCRETO NA POSIÇÃO CORRETA DO ASSENTAMENTO.....	78

FIGURA 21.	ESQUEMA DA PRODUÇÃO DOS BLOCOS DE CONCRETO: (A) POSIÇÃO DA FORMA E AVANÇO DA GAVETA; (B) ALIMENTAÇÃO DA FORMA COM SISTEMA DE VIBRAÇÃO; (C) RECUO DA GAVETA; (D) VIBRO-COMPRESSÃO ATÉ QUE SEJA ATINGIDA A ALTURA FINAL DAS PEÇAS E (E) DESFORMA (SUBIDA DA FORMA JUNTAMENTE COM O CONTRAMOLDE) (OLIVEIRA, 2004).....	79
FIGURA 22.	POSIÇÃO DA MOLDAGEM DOS BLOCOS DE CONCRETO.....	80
FIGURA 23.	ESCOVA DE AÇO GIRATÓRIA PARA REBARBAR A FACE INFERIOR DO BLOCO DE CONCRETO. ....	80
FIGURA 24.	(A) FACE SUPERIOR (ASSENTAMENTO) DO BLOCO DE CONCRETO TF; (B) E FACE INFERIOR (FUNDO) DO BLOCO DE CONCRETO TF; (C) DETALHE DA FACE SUPERIOR DO BLOCO DE CONCRETO TB E (D) DETALHE DA FACE INFERIOR DO BLOCO DE CONCRETO TB.....	81
FIGURA 25.	ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE <i>VERSUS</i> RAIZ DO TEMPO: (A) FACE SUPERIOR (MAIOR ÁREA) E (B) FACE INFERIOR (MENOR ÁREA).....	84
FIGURA 26.	ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE <i>VERSUS</i> RAIZ DO TEMPO: (A) MÉDIA E DESVIO PADRÃO DAS FACES SUPERIOR E INFERIORES E (B) FACE SUPERIOR E FACE INFERIOR DOS BLOCOS TF 1 E 7.....	85
FIGURA 27.	DIFERENÇA DA ALTURA DE ASCENSÃO CAPILAR NAS FACES DE ASSENTAMENTO DO BLOCO DE CONCRETO TF. ....	87
FIGURA 28.	POSIÇÃO DOS BLOCOS DE CONCRETO TF NA CHAPA NO MOMENTO DA PRODUÇÃO. .	88
FIGURA 29.	MASSA MÉDIA DO BLOCO DE CONCRETO PARA CADA POSIÇÃO NA CHAPA. ....	89
FIGURA 30.	ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE <i>VERSUS</i> RAIZ DO TEMPO PARA OS BLOCOS DE CONCRETO TF DA CHAPA A: (A) FACE SUPERIOR E (B) FACE INFERIOR. ....	89
FIGURA 31.	VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE <i>VERSUS</i> RAIZ DO TEMPO PARA OS BLOCOS DE CONCRETO TF PARA A FACE SUPERIOR E FACE INFERIOR. ....	90
FIGURA 32.	(A) SECCIONAMENTO DOS BLOCOS DE CONCRETO; (B) DIMENSÕES DAS MARCAÇÕES DOS CORTES DOS BLOCOS DE CONCRETO; (C) ESQUEMA DA LOCALIZAÇÃO DOS PEDAÇOS DA FACE SUPERIOR E INFERIOR; (D) ESQUEMA DA LOCALIZAÇÃO DOS PEDAÇOS DA FACE INFERIOR (VERMELHO) E DO “SOBREPESO” (AZUL) E (E) ASPECTO FINAL DOS PEDAÇOS DE BLOCO DE CONCRETO. ....	93
FIGURA 33.	ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE <i>VERSUS</i> RAIZ DO TEMPO PARA OS PEDAÇOS DE BLOCOS DE CONCRETO TF: FACE SUPERIOR EM AZUL E FACE INFERIOR EM VERMELHO. ....	94
FIGURA 34.	REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UM CORPO-DE-PROVA (A) RETANGULAR E (B) CIRCULAR PARA REALIZAR O ENSAIO DE <i>SQUEEZE FLOW</i> DE UM MATERIAL VISCOELÁSTICO. A REGIÃO SOMBREADA PRÓXIMO AO PONTO CENTRAL DE CADA CORPO-DE-PROVA ESTÁ SEM ESCOAMENTO (MATSOUKAS E MITSOULIS, 2003). ....	100
FIGURA 35.	REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA CONDIÇÃO (A) INICIAL, (B) FINAL DO ENSAIO E (C) FOTO ILUSTRATIVA DO FINAL DO ENSAIO COM O GTEC TESTE.....	101
FIGURA 36.	REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA CONDIÇÃO (A) INICIAL, (B) FINAL DO ENSAIO E (C) FOTO ILUSTRATIVA DO FINAL DO ENSAIO COM <i>SQUEEZE FLOW</i> .....	101
FIGURA 37.	RESUMO DOS ESTUDOS REALIZADOS PARA CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO. ....	102
FIGURA 38.	<i>SQUEEZE FLOW</i> COM GEOMETRIA (A) CIRCULAR E (B) RETANGULAR. ....	106
FIGURA 39.	<i>SQUEEZE FLOW</i> COM GEOMETRIA RETANGULAR: (A) RESTRIÇÃO LATERAL E SEM APOIO (CONFIGURAÇÃO TRADICIONAL DO GTEC TESTE); (B) RESTRIÇÃO LATERAL E COM APOIO (RESTRIÇÃO LATERAL) E (C) SEM RESTRIÇÃO (LIVRE) COM APOIO. ....	106

FIGURA 40.	APARATO PARA MOLDAGEM DAS AMOSTRAS PARA ENSAIO DE <i>SQUEEZE FLOW</i> : (A) GEOMETRIA CIRCULAR E (B) GEOMETRIA RETANGULAR. ....	107
FIGURA 41.	PERFIL TÍPICO DE CARGA VERSUS DESLOCAMENTO DE UM ENSAIO DE <i>SQUEEZE FLOW</i> REALIZADO COM DESLOCAMENTO CONTROLADO: (I) DEFORMAÇÃO LINEAR ELÁSTICA - PEQUENOS DESLOCAMENTOS; (II) DEFORMAÇÃO PLÁSTICA OU FLUXO VISCOZO – DESLOCAMENTO INTERMEDIÁRIO; (III) ENRIJECIMENTO INDUZIDO POR DEFORMAÇÕES ( <i>STRAIN HARDENING</i> ) – GRANDE DESLOCAMENTO. ....	107
FIGURA 42.	ESTIMATIVA GRÁFICA DA TENSÃO DE ESCOAMENTO A PARTIR DAS CURVAS DE TENSÃO VERSUS DESLOCAMENTO (HOPPE FILHO <i>ET AL.</i> , 2006). ....	108
FIGURA 43.	CURVAS LEITURA <i>VERSUS</i> ENERGIA OBTIDA PELO GTEC TESTE. ....	111
FIGURA 44.	(A) CURVAS TENSÃO <i>VERSUS</i> DESLOCAMENTO PARA A ARGAMASSA MISTA 1 E (B) AMPLIAÇÃO DAS CURVAS NA REGIÃO COM TENSÃO ATÉ 0,2 MPa. ....	112
FIGURA 45.	(A) CURVAS TENSÃO <i>VERSUS</i> DESLOCAMENTO PARA A ARGAMASSA MISTA 2 E (B) AMPLIAÇÃO DAS CURVAS NA REGIÃO COM TENSÃO ATÉ 0,2 MPa. ....	112
FIGURA 46.	(A) CURVAS TENSÃO <i>VERSUS</i> DESLOCAMENTO PARA A ARGAMASSA MISTA COM INCORPORADOR DE AR (MISTA + AR) E (B) AMPLIAÇÃO DAS CURVAS NA REGIÃO COM TENSÃO ATÉ 0,2 MPa. ....	113
FIGURA 47.	(A) CURVAS TENSÃO <i>VERSUS</i> DESLOCAMENTO PARA A ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA E (B) AMPLIAÇÃO DAS CURVAS NA REGIÃO COM TENSÃO ATÉ 0,2 MPa. ....	114
FIGURA 48.	TENSÃO <i>VERSUS</i> DESLOCAMENTO PARA O <i>SQUEEZE FLOW</i> : (A) COM GEOMETRIA CIRCULAR COM APOIO E LIVRE, (B) GEOMETRIA RETANGULAR SEM RESTRIÇÃO E COM APOIO (LIVRE), (C) GEOMETRIA LATERAL COM RESTRIÇÃO LATERAL COM APOIO (LATERAL) E (D) GEOMETRIA RETANGULAR COM RESTRIÇÃO LATERAL E SEM APOIO (TRADICIONAL). ....	115
FIGURA 49.	CURVAS TENSÃO <i>VERSUS</i> DESLOCAMENTO DO <i>SQUEEZE FLOW</i> COM GEOMETRIA CIRCULAR PARA OS TEMPOS DE 10 E 25 MINUTOS: (A) ARGAMASSA MISTA 2 E (B) ARGAMASSA MISTA COM INCORPORADOR DE AR “MISTA + AR” ....	116
FIGURA 50.	CURVAS TENSÃO <i>VERSUS</i> DESLOCAMENTO DO <i>SQUEEZE FLOW</i> PARA ARGAMASSA MISTA 2: (A) VALORES DE TENSÃO OBTIDOS COM TEMPOS DETERMINADOS (SEQÜÊNCIA INICIAL) E (B) TEMPOS SEMELHANTES (5 A 15 MINUTOS DE ENSAIO). ....	117
FIGURA 51.	CURVAS LEITURA <i>VERSUS</i> ENERGIA OBTIDAS PELO GTEC TESTE NOS TEMPOS DE 5 E 35 MINUTOS PARA AS ARGAMASSAS MISTA 2, ARGAMASSA MISTA COM INCORPORADOR DE AR “MISTA + AR” E INDUSTRIALIZADA. ....	118
FIGURA 52.	CURVAS DE VISCOSIDADE ELONGACIONAL <i>VERSUS</i> TAXA DE DEFORMAÇÃO PARA AS ARGAMASSAS MISTA 1, ARGAMASSA MISTA 2, ARGAMASSA MISTA COM INCORPORADOR DE AR “MISTA + AR” E INDUSTRIALIZADA. ....	119
FIGURA 53.	ENERGIA <i>VERSUS</i> DESLOCAMENTO OBTIDO PELO GTEC TESTE PARA TODAS AS ARGAMASSA ESTUDADAS. ....	121
FIGURA 54.	CORRELAÇÃO ENTRE TENSÃO PELO <i>SQUEEZE FLOW</i> <i>VERSUS</i> ENERGIA PELO GTEC TESTE NO DESLOCAMENTO DE 10 MM PARA AS GEOMETRIAS RETANGULARES. ....	121
FIGURA 55.	CORRELAÇÃO ENTRE TENSÃO PELO <i>SQUEEZE FLOW</i> <i>VERSUS</i> ENERGIA PELO GTEC TESTE NO DESLOCAMENTO DE 10 MM PARA A GEOMETRIA CIRCULAR E GEOMETRIA RETANGULAR SEM RESTRIÇÃO E COM APOIO (LIVRE). ....	122
FIGURA 56.	COMPARAÇÃO ENTRE TENSÃO DE ESCOAMENTO OBTIDA PELO <i>SQUEEZE FLOW</i> <i>VERSUS</i> LEITURA INICIAL PELO GTEC TESTE PARA TODAS AS ARGAMASSAS ANALISADAS. ....	122
FIGURA 57.	ESQUEMA REPRESENTATIVO DO MONITORAMENTO ELETRÔNICO NO GTEC TESTE: (A) ENERGIA CONSTANTE E (B) FORÇA CONSTANTE. ....	123

FIGURA 58.	CURVA DE LEITURA <i>VERSUS</i> TEMPO PARA A ARGAMASSA MISTA OBTIDA PELO GTEC TESTE MONITORADO ELETRONICAMENTE. ....	124
FIGURA 59.	CURVA DE LEITURA <i>VERSUS</i> TEMPO PARA ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA OBTIDA PELO GTEC TESTE MONITORADO ELETRONICAMENTE. OS CÍRCULOS DESTACAM QUE NÃO EXISTIA PADRONIZAÇÃO NO TEMPO DE APLICAÇÃO DOS GOLPES. ....	125
FIGURA 60.	(A) CURVA DE VELOCIDADE <i>VERSUS</i> TEMPO E (B) DEFORMAÇÃO E VELOCIDADE <i>VERSUS</i> TEMPO OBTIDA PELO GTEC TESTE MONITORADO PARA UMA ARGAMASSA MISTA COM ADITIVO INCORPORADOR DE AR.....	126
FIGURA 61.	(A) CURVA LEITURA <i>VERSUS</i> TEMPO E (B) AMPLIAÇÃO DA REGIÃO DO PRIMEIRO GOLPE APLICADO COM O VALOR CALCULADO DE TAXA DE DEFORMAÇÃO E TEMPO DE ESTABILIZAÇÃO OBTIDAS PELO GTEC TESTE MONITORADO. O CÍRCULO DESTACA A REGIÃO DA AMPLIAÇÃO.....	127
FIGURA 62.	CURVAS DE DEFORMAÇÃO REAL <i>VERSUS</i> ENERGIA VERIFICADA PELO COMPUTADOR E PELO OPERADOR OBTIDA PELO GTEC TESTE MONITORADO DE ENERGIA CONSTANTE PARA A ARGAMASSA MISTA 2. ....	129
FIGURA 63.	CURVAS DE DEFORMAÇÃO <i>VERSUS</i> ENERGIA OBTIDA PELO GTEC TESTE MONITORADO ELETRONICAMENTE PARA AS ARGAMASSAS ESTUDADAS. ....	130
FIGURA 64.	CURVAS DE TAXA DE DEFORMAÇÃO <i>VERSUS</i> ENERGIA OBTIDA PELO GTEC TESTE PARA ARGAMASSAS MISTAS E ARGAMASSA MISTA COM INCORPORADOR DE AR. ...	131
FIGURA 65.	CURVAS DE TAXA DE DEFORMAÇÃO <i>VERSUS</i> ENERGIA OBTIDA PELO GTEC TESTE PARA ARGAMASSAS MISTAS E ARGAMASSA MISTA COM INCORPORADOR DE AR. ...	132
FIGURA 66.	CORRELAÇÃO ENTRE A FORÇA ACUMULADA <i>VERSUS</i> ENERGIA OBTIDA PARA ARGAMASSAS MISTAS E ARGAMASSA MISTA COM INCORPORADOR DE AR. ....	133
FIGURA 67.	(A) CURVAS DE FORÇA ACUMULADA <i>VERSUS</i> DEFORMAÇÃO E (B) ENERGIA <i>VERSUS</i> DEFORMAÇÃO. ....	133
FIGURA 68.	(A) CURVAS DE TAXA DE DEFORMAÇÃO <i>VERSUS</i> FORÇA ACUMULADA E (B) TEMPO DE ESTABILIZAÇÃO <i>VERSUS</i> FORÇA ACUMULADA PARA AS ARGAMASSAS ANALISADAS PELO GTEC TESTE COM FORÇA CONSTANTE.....	134
FIGURA 69.	APLICAÇÃO DA CARGA NO CORPO-DE-PROVA: (A) APLICAÇÃO TOTAL E (B) APLICAÇÃO PONTUAL. ....	137
FIGURA 70.	ESQUEMA DO ESTUDO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL.....	137
FIGURA 71.	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL MÉDIA DOS CORPOS-DE-PROVA (2,5x 1,0x 2,5) CM <i>VERSUS</i> RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL MÉDIA DOS CORPOS-DE-PROVA (5x10) CM.....	140
FIGURA 72.	ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO: (A) TRÊS PONTOS E (B) QUATRO PONTOS. ....	142
FIGURA 73.	FORMAS METÁLICAS COM AS LATERAIS PRESAS COM PARAFUSO E O FUNDO DE VIDRO REVESTIDO COM PLÁSTICO, PRONTA PARA A MOLDAGEM DOS CORPOS-DE-PROVA (2,5x 1,0x 17,0) CM. ....	144
FIGURA 74.	(A) REPRESENTAÇÃO DA VISTA SUPERIOR, (B) REPRESENTAÇÃO DA VISTA FRONTAL, (C) FOTO DA VISTA SUPERIOR E (D) FOTO DA VISTA FRONTAL DO ENSAIO PARA A DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE. ....	146
FIGURA 75.	RETENÇÃO DE ÁGUA AO LONGO DO TEMPO PARA AS ARGAMASSAS ANALISADAS..	154
FIGURA 76.	RETENÇÃO DE ÁGUA AO LONGO DO TEMPO PARA AS ARGAMASSAS ANALISADAS..	156



FIGURA 77.	ASSENTAMENTO DAS AMOSTRAS DE BLOCO DE CONCRETO PARA A REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE TRANSFERÊNCIA DE ÁGUA DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO PARA O BLOCO DE CONCRETO: (A) FILETE DE ARGAMASSA, (B) PESAGEM DO FILETE DE ARGAMASSA, (C) CORTE DAS PONTAS DO FILETE DE ARGAMASSA, (D) COLOCAÇÃO DO FILETE SOBRE A AMOSTRA “1”; (E) POSICIONAMENTO DA AMOSTRA “2” E (F) COLOCAÇÃO DO SOBREPESO E AJUSTE COM O MARTELO DE BORRACHA ATÉ A OBTENÇÃO DA ALTURA DO FILETE DE 1 CM. ....	159
FIGURA 78.	REPRESENTAÇÃO: (A) ANTES DO ASSENTAMENTO E (B) APÓS O TÉRMINO DO ASSENTAMENTO. ....	159
FIGURA 79.	REPRESENTAÇÃO DAS MEDIDAS REALIZADAS: (A) NO TEMPO PRÉ-ESTABELECIDO OBTINHA-SE A MASSA DO CONJUNTO, (B) MASSA DO BLOCO “2” E MASSA DO BLOCO “1” MAIS ARGAMASSA, (C) ROTAÇÃO DE 180° NA AMOSTRA, (D) MASSA DO BLOCO “1” E (E) RETORNA-SE PARA A AMOSTRA “1” E ROTACIONAVA-SE O CONJUNTO PARA A POSIÇÃO INICIAL. ....	160
FIGURA 80.	ABSORÇÃO DE ÁGUA <i>VERSUS</i> TEMPO PARA OS TEMPOS DE RETIRADA DA AMOSTRA DE BLOCO DE CONCRETO DE 5, 15 E 30 MINUTOS. ....	162
FIGURA 81.	LOCALIZAÇÃO DO MINI-PRISMA REPRESENTADO NO PRISMA. ....	164
FIGURA 82.	ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA NA FLEXÃO DE 4 PONTOS EM MINI-PRISMAS. ....	165
FIGURA 83.	APARATO UTILIZADO PARA A MOLDAGEM DOS MINI-PRISMAS. ....	166
FIGURA 84.	POSIÇÃO DO MINI-PRISMA PARA A DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA NA FLEXÃO: (A) POSIÇÃO INVERTIDA AO DO PRISMA, (B) POSIÇÃO CORRETA DE APLICAÇÃO NO PRISMA E (C) REPRESENTAÇÃO DA RETIRADA DO MINI-PRISMA EM RELAÇÃO AO PRISMA. ....	167
FIGURA 85.	APARATO DE ENSAIO DE FLEXÃO DOS MINI-PRISMAS E O ENSAIO SENDO REALIZADO NA (A) POSIÇÃO INVERTIDA AO DO PRISMA E (B) POSIÇÃO CORRETA DE APLICAÇÃO NO PRISMA. ....	167
FIGURA 86.	(A) PRISMA NO ENSAIO DE REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À ADERÊNCIA NA FLEXÃO EM QUATRO PONTOS E (B) ESQUEMA DAS DIMENSÕES UTILIZADAS NO ENSAIO. ....	168
FIGURA 87.	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO NOS PRISMAS PARA ARGAMASSA MISTA NO PRIMEIRO ESTUDO PRELIMINAR. ....	169
FIGURA 88.	RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA NA FLEXÃO NOS PRISMAS PARA ARGAMASSA MISTA NO PRIMEIRO ESTUDO PRELIMINAR. ....	170
FIGURA 89.	RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA NA FLEXÃO NOS PRISMAS PARA ARGAMASSA MISTA NO SEGUNDO ESTUDO PRELIMINAR. ....	171
FIGURA 90.	(A) ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA NA FLEXÃO NOS PRISMAS (SEGUNDA RUPTURA) E (B) ESQUEMA COM AS DIMENSÕES DESTE ENSAIO. ....	171
FIGURA 91.	RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA NA FLEXÃO NOS PRISMAS DA PRIMEIRA E SEGUNDA RUPTURA. ....	172
FIGURA 92.	RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA NA FLEXÃO NOS PRISMAS DA PRIMEIRA E SEGUNDA RUPTURA PARA O TERCEIRO ESTUDO PRELIMINAR. ....	174
FIGURA 93.	RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA NA FLEXÃO NOS PRISMAS DA PRIMEIRA E SEGUNDA RUPTURA PARA O QUARTO ESTUDO PRELIMINAR. ....	175
FIGURA 94.	(A) INTERIOR DA CAIXA E (B) VISTA GERAL DAS DUAS CAIXAS UTILIZADAS PARA CONTROLAR A TEMPERATURA DE CURA. ....	176
FIGURA 95.	RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA NA FLEXÃO PARA PRISMAS COM TEMPERATURA DE 23° C E 30° C PARA PRIMEIRA E SEGUNDA RUPTURA PARA QUINTO ESTUDO PRELIMINAR. ....	177

FIGURA 96.	CURVAS GRANULOMÉTRICAS DOS AGREGADOS MIÚDOS UTILIZADOS. ....	180
FIGURA 97.	(A) NUMERAÇÃO DAS PAREDES E (B) POSIÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA. ....	183
FIGURA 98.	- PREPARAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA PRISMÁTICOS: (A) SECCIONAMENTO DO BLOCO DE CONCRETO, (B) DETALHE DO SECCIONAMENTO E (C) ASPECTO FINAL DOS CORPOS-DE-PROVA PRISMÁTICOS. ....	184
FIGURA 99.	PREPARAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA CILÍNDRICOS: (A) SECCIONAMENTO DO BLOCO DE CONCRETO, (B) DETALHE DO SECCIONAMENTO E (C) ASPECTO FINAL DOS CORPOS-DE-PROVA CILÍNDRICOS. ....	184
FIGURA 100.	CALORÍMETRO UTILIZADO PARA A DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE PEGA DAS ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO. ....	188
FIGURA 101.	DIFERENÇA DA ALTURA DE ASCENSÃO CAPILAR NO BLOCO DE CONCRETO (DESTACADAS PELOS CÍRCULOS): PRISMA DA ESQUERDA MOLDADO COM ARGAMASSA DE CIMENTO COM INCORPORADOR DE AR MAIS RETENTOR DE ÁGUA E PRISMA DA DIREITA MOLDADO COM ARGAMASSA DE CIMENTO APENAS INCORPORADOR DE AR. ....	189
FIGURA 102.	ENSAIO DE INÍCIO DE PEGA DAS JUNTAS DE ASSENTAMENTO: (A) DIMENSÕES DA VISTA SUPERIOR DE CALORÍMETRO E LOCALIZAÇÃO DOS TERMOPARES, (B) DIMENSÕES DA VISTA FRONTAL DO CALORÍMETRO, (C) ENSAIO PRONTO PARA INICIAR, (D) CONFIGURAÇÃO FINAL DO ENSAIO E (E) BLOCO DE CONCRETO REVESTIDO COM FILME DE PVC TRANSPARENTE. ....	190
FIGURA 103.	(A) JUNTA MOLDADA COM O BLOCO IMPERMEÁVEL, (B) DETALHE DA MARCAÇÃO DO TERMOPAR NO MEIO DA JUNTA MOLDADA COM BLOCO IMPERMEÁVEL, (C) JUNTA MOLDADA COM BLOCO DE CONCRETO E (D) DETALHE DO TERMOPAR NO MEIO DA JUNTA APÓS O ENSAIO. ....	191
FIGURA 104.	PREPARAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA DA JUNTA DE ASSENTAMENTO: (A) MOLDAGEM DO PRISMA, (B) RETIRADA DO BLOCO SUPERIOR, (C) CORTE DA JUNTA DE ASSENTAMENTO E (D) RETORNO DO BLOCO NO PRISMA. ....	192
FIGURA 105.	RESUMO DAS VARIÁVEIS DO ESTUDO DA TRANSFERÊNCIA DE ÁGUA DA ARGAMASSA PARA O BLOCO DE CONCRETO. ....	196
FIGURA 106.	(A) MINI-PRISMAS JÁ MOLDADOS E (B) CAIXA UTILIZADA PARA MANTER A TEMPERATURA DE $(30 \pm 1)^\circ \text{C}$ APÓS O TÉRMINO DA MOLDAGEM. ....	197
FIGURA 107.	UNIÃO DA JUNTA COM A AMOSTRA DO BLOCO DE CONCRETO APÓS A PRIMEIRA RUPTURA (A) VISTA SUPERIOR E (B) VISTA LATERAL. ....	199
FIGURA 108.	RESUMO DAS VARIÁVEIS DO ESTUDO RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA NA FLEXÃO EM MINI-PRISMAS. ....	199
FIGURA 109.	REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA POSIÇÃO DOS GRUPOS NO PRISMA DE BLOCO DE CONCRETO. ....	201
FIGURA 110.	REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA LOCALIZAÇÃO DOS FILETES DE ARGAMASSA. ....	202
FIGURA 111.	PROCEDIMENTO DE MOLHAGEM DA FACE DO BLOCO DE CONCRETO COM A UTILIZAÇÃO DE UM ROLO DE PINTURA UMEDECIDO ANTES DA COLOCAÇÃO DA ARGAMASSA. ....	202
FIGURA 112.	PRISMAS NO FINAL DO PROCEDIMENTO DE MOLDAGEM. ....	203
FIGURA 113.	ASPECTO DOS PRISMAS (A) ANTES DA CURA, (B) APÓS A CURA E (C) MONTAGEM DAS CAIXAS APÓS O PROCESSO DE CURA. ....	204
FIGURA 114.	RESUMO DAS VARIÁVEIS DO ESTUDO RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA NA FLEXÃO EM PRISMAS. ....	205
FIGURA 115.	RESUMO DO PROGRAMA EXPERIMENTAL COMPLETO DO ESTUDO DEFINITIVO. ...	206

FIGURA 116.	VALORES MÉDIOS DAS DIMENSÕES DE TODAS AS PAREDES, EM MILÍMETRO, OBTIDOS PARA OS DOIS BLOCOS ANALISADOS: (A) FACE SUPERIOR E (B) FACE INFERIOR DO BLOCO DE CONCRETO FABRICADO EM FLORIANÓPOLIS E (C) FACE SUPERIOR E (D) FACE INFERIOR DO BLOCO DE CONCRETO FABRICADO EM BLUMENAU. ....	208
FIGURA 117.	ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE MÉDIA AO LONGO DO TEMPO COM SEU DESVIO PADRÃO PARA FACE SUPERIOR E FACE INFERIOR PARA OS BLOCOS DE CONCRETO FABRICADOS EM FLORIANÓPOLIS. ....	209
FIGURA 118.	ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE MÉDIA AO LONGO DO TEMPO COM SEU DESVIO PADRÃO PARA FACE SUPERIOR E FACE INFERIOR PARA O BLOCO DE CONCRETO FABRICADO EM BLUMENAU. ....	210
FIGURA 119.	DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DOS POROS DOS BLOCOS DE CONCRETO OBTIDOS COM O USO DA POROSIMETRIA POR INTRUSÃO DE MERCÚRIO PARA A FACE SUPERIOR DE FLORIANÓPOLIS E BLUMENAU: (A) VOLUME INCREMENTAL <i>VERSUS</i> DIÂMETRO DOS POROS E (B) VOLUME ACUMULADO <i>VERSUS</i> DIÂMETRO DOS POROS. ....	212
FIGURA 120.	DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DOS POROS DOS BLOCOS DE CONCRETO OBTIDOS COM O USO DA POROSIMETRIA POR INTRUSÃO DE MERCÚRIO PARA A FACE SUPERIOR E INFERIOR DO BLOCO DE CONCRETO DE BLUMENAU: (A) VOLUME INCREMENTAL <i>VERSUS</i> DIÂMETRO DOS POROS E (B) VOLUME ACUMULADO <i>VERSUS</i> DIÂMETRO DOS POROS. ....	212
FIGURA 121.	ESQUEMA REPRESENTATIVO PARA EXEMPLIFICAR AS PAREDES LONGITUDINAIS (AZUIS), SEPTO CENTRAL (VERMELHO) E PAREDES TRANSVERSAIS (ROSA) (“S” - SUPERIOR, “M” - MEIO E “I” – INFERIOR). ....	214
FIGURA 122.	(A) RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E (B) RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA COMPRESSÃO DIAMETRAL PARA AS AMOSTRAS DOS BLOCOS DE CONCRETO DE FLORIANÓPOLIS E DE BLUMENAU COM SUAS RESPECTIVAS PAREDES E POSIÇÕES. ....	215
FIGURA 123.	POROSIDADE ABERTA DOS CORPOS-DE-PROVA DE BLOCO DE CONCRETO DE FLORIANÓPOLIS E BLUMENAU. ....	216
FIGURA 124.	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO <i>VERSUS</i> POROSIDADE: (A) BLOCOS DE CONCRETO DE FLORIANÓPOLIS E (B) BLOCOS DE CONCRETO DE BLUMENAU. ....	217
FIGURA 125.	VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE <i>VERSUS</i> TEMPO PARA AS POSIÇÕES “S”, “M” E “I”: (A) BLOCO DE CONCRETO DE FLORIANÓPOLIS E (B) BLOCO DE CONCRETO DE BLUMENAU. ....	217
FIGURA 126.	CURVAS LEITURA <i>VERSUS</i> ENERGIA PARA AS ARGAMASSAS ESTUDADAS. ....	220
FIGURA 127.	CURVAS TENSÃO <i>VERSUS</i> DESLOCAMENTO OBTIDAS PELO <i>SQUEEZE FLOW</i> COM GEOMETRIA CIRCULAR. ....	222
FIGURA 128.	CURVAS TENSÃO <i>VERSUS</i> DESLOCAMENTO OBTIDAS PELO <i>SQUEEZE FLOW</i> COM GEOMETRIA RETANGULAR, SEM RESTRIÇÃO E COM APOIO. ....	222
FIGURA 129.	CURVAS ENERGIA <i>VERSUS</i> DESLOCAMENTO OBTIDAS PELO GTEC TESTE NO MOMENTO DA REALIZAÇÃO DO <i>SQUEEZE FLOW</i> . ....	223
FIGURA 130.	CURVAS TENSÃO <i>VERSUS</i> DESLOCAMENTO OBTIDAS PELO <i>SQUEEZE FLOW</i> PARA AS ARGAMASSAS AVALIADAS NESTE ESTUDO: (A) COM GEOMETRIA CIRCULAR E (B) COM GEOMETRIA RETANGULAR SEM RESTRIÇÃO E COM APOIO (LIVRE). ....	224
FIGURA 131.	CURVAS TENSÃO <i>VERSUS</i> DESLOCAMENTO OBTIDAS PELO <i>SQUEEZE FLOW</i> COM GEOMETRIA RETANGULAR SEM RESTRIÇÃO E COM APOIO (LIVRE) PARA AS ARGAMASSAS AVALIADAS NESTE ESTUDO. DESTACA-SE, EM PRETO, A “FAIXA” DO PERFIL REOLÓGICO PARA ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO COM TRABALHABILIDADE ADEQUADA. ....	224
FIGURA 132.	CURVAS VISCOSIDADE ELONGACIONAL <i>VERSUS</i> TAXA DE DEFORMAÇÃO PARA AS ARGAMASSAS ESTUDADAS. ....	225

FIGURA 133.	CURVAS TEMPERATURA <i>VERSUS</i> TEMPO PARA AS ARGAMASSAS ANALISADAS.....	226
FIGURA 134.	CURVAS TEMPERATURA <i>VERSUS</i> TEMPO PARA A ARGAMASSA MISTA E MISTURA DE CAL + AGREGADO MIÚDO + ÁGUA. ....	228
FIGURA 135.	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DAS ARGAMASSAS ANALISADAS ESPECIFICANDO A DIMENSÃO DO CORPO-DE-PROVA. ....	230
FIGURA 136.	CURVAS TEMPERATURA <i>VERSUS</i> TEMPO PARA A ARGAMASSA MISTA DA JUNTA DE ASSENTAMENTO COM E SEM SUCCÃO. ....	231
FIGURA 137.	CURVAS TEMPERATURA <i>VERSUS</i> TEMPO PARA A ARGAMASSA MISTA COM INCORPORADOR DE AR DA JUNTA DE ASSENTAMENTO COM E SEM SUCCÃO. ....	232
FIGURA 138.	CURVAS TEMPERATURA <i>VERSUS</i> TEMPO PARA A ARGAMASSA CIMENTO COM INCORPORADOR DE AR DA JUNTA DE ASSENTAMENTO COM E SEM SUCCÃO. ....	232
FIGURA 139.	CURVAS TEMPERATURA <i>VERSUS</i> TEMPO PARA A ARGAMASSA CIMENTO COM INCORPORADOR DE AR E RETENTOR DE ÁGUA DA JUNTA DE ASSENTAMENTO COM E SEM SUCCÃO. ....	233
FIGURA 140.	DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DOS POROS DAS ARGAMASSAS OBTIDOS COM O USO DA POROSIMETRIA POR INTRUSÃO DE MERCÚRIO PARA ARGAMASSA MISTA: (A) VOLUME INCREMENTAL <i>VERSUS</i> DIÂMETRO DOS POROS E (B) VOLUME ACUMULADO <i>VERSUS</i> DIÂMETRO DOS POROS.....	234
FIGURA 141.	DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DOS POROS DAS ARGAMASSAS OBTIDOS COM O USO DA POROSIMETRIA POR INTRUSÃO DE MERCÚRIO PARA ARGAMASSA DE CIMENTO COM INCORPORADOR DE AR: (A) VOLUME INCREMENTAL <i>VERSUS</i> DIÂMETRO DOS POROS E (B) VOLUME ACUMULADO <i>VERSUS</i> DIÂMETRO DOS POROS. ....	235
FIGURA 142.	CURVAS DE VOLUME INCREMENTAL <i>VERSUS</i> DIÂMETRO DOS POROS OBTIDOS COM O USO DA POROSIMETRIA POR INTRUSÃO DE MERCÚRIO PARA A JUNTA SEM SUCCÃO (IMPERMEÁVEL) DA ARGAMASSA MISTA E DA ARGAMASSA DE CIMENTO COM INCORPORADOR DE AR. ....	236
FIGURA 143.	CURVAS DE VOLUME INCREMENTAL <i>VERSUS</i> DIÂMETRO DOS POROS OBTIDOS COM O USO DA POROSIMETRIA POR INTRUSÃO DE MERCÚRIO PARA A JUNTA COM SUCCÃO DA ARGAMASSA MISTA E DA ARGAMASSA DE CIMENTO COM INCORPORADOR DE AR... ..	237
FIGURA 144.	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E À TRAÇÃO NA FLEXÃO PARA AS ARGAMASSAS ESTUDADAS OBTIDAS DE CORPOS-DE-PROVA MOLDADOS EM FORMAS METÁLICAS E CORPOS-DE-PROVA RETIRADOS DA JUNTA DE ASSENTAMENTO.....	238
FIGURA 145.	TEOR DE UMIDADE <i>VERSUS</i> TEMPO PARA A ARGAMASSA MISTA COM AS TRÊS CLASSES DE BLOCO DE CONCRETO DE FLORIANÓPOLIS E COM AMOSTRAS IMPERMEÁVEIS.....	241
FIGURA 146.	TEOR DE UMIDADE <i>VERSUS</i> TEMPO PARA A ARGAMASSA MISTA COM INCORPORADOR DE AR COM AS TRÊS CLASSES DE BLOCO DE CONCRETO DE FLORIANÓPOLIS E COM AMOSTRAS IMPERMEÁVEIS.....	242
FIGURA 147.	TEOR DE UMIDADE <i>VERSUS</i> TEMPO PARA A ARGAMASSA DE CIMENTO COM INCORPORADOR DE AR COM AS TRÊS CLASSES DE BLOCO DE CONCRETO DE FLORIANÓPOLIS E COM AMOSTRAS IMPERMEÁVEIS. ....	242
FIGURA 148.	TEOR DE UMIDADE <i>VERSUS</i> TEMPO PARA A ARGAMASSA DE CIMENTO COM INCORPORADOR DE AR E RETENTOR DE ÁGUA COM AS TRÊS CLASSES DE BLOCO DE CONCRETO DE FLORIANÓPOLIS E COM AMOSTRAS IMPERMEÁVEIS. ....	243

FIGURA 149.	UMIDADE <i>VERSUS</i> TEMPO PARA A ARGAMASSA MISTA, ARGAMASSA MISTA COM INCORPORADOR DE AR, ARGAMASSA DE CIMENTO COM INCORPORADOR DE AR E ARGAMASSA DE CIMENTO COM INCORPORADOR DE AR E RETENTOR DE ÁGUA: (A) AMOSTRAS IMPERMEÁVEIS; (B) AMOSTRAS DE BLOCO DE CONCRETO COM ABSORÇÃO BAIXA; (C) AMOSTRAS DE BLOCO DE CONCRETO COM ABSORÇÃO MÉDIA E (D) AMOSTRAS DE BLOCO DE CONCRETO COM ABSORÇÃO ALTA PROVENIENTES DE FLORIANÓPOLIS. ....	244
FIGURA 150.	TEOR DE UMIDADE <i>VERSUS</i> TEMPO PARA A ARGAMASSA MISTA PARA AS AMOSTRAS DO BLOCO DE CONCRETO DE BLUMENAU: AMOSTRAS IMPERMEÁVEIS, AMOSTRAS COM ABSORÇÃO MÉDIA SEM E COM TRATAMENTO. ....	245
FIGURA 151.	TEOR DE UMIDADE <i>VERSUS</i> TEMPO PARA A ARGAMASSA DE CIMENTO COM INCORPORADOR DE AR PARA AS AMOSTRAS DO BLOCO DE CONCRETO DE BLUMENAU: AMOSTRAS IMPERMEÁVEIS, AMOSTRAS COM ABSORÇÃO MÉDIA SEM E COM TRATAMENTO.....	245
FIGURA 152.	UMIDADE <i>VERSUS</i> TEMPO PARA A ARGAMASSA MISTA E A ARGAMASSA DE CIMENTO COM INCORPORADOR DE AR PARA AS AMOSTRAS IMPERMEÁVEIS E DO BLOCO DE CONCRETO DE BLUMENAU. ....	246
FIGURA 153.	UMIDADE <i>VERSUS</i> TEMPO PARA A ARGAMASSA MISTA PARA AS AMOSTRAS DO BLOCO DE CONCRETO DE BLUMENAU (TB) E DE FLORIANÓPOLIS (TF).....	247
FIGURA 154.	UMIDADE <i>VERSUS</i> TEMPO PARA A ARGAMASSA DE CIMENTO COM INCORPORADOR DE AR PARA AS AMOSTRAS DO BLOCO DE CONCRETO DE BLUMENAU (TB) E DE FLORIANÓPOLIS (TF). ....	247
FIGURA 155.	ABSORÇÃO DE ÁGUA <i>VERSUS</i> TEMPO PARA A ARGAMASSA MISTA COM AMOSTRAS DE BLOCO DE CONCRETO DE FLORIANÓPOLIS: (A) AMOSTRAS COM DIVERSAS ABSORÇÕES; (B) AMOSTRAS COM ABSORÇÃO BAIXA; (C) AMOSTRAS COM ABSORÇÃO MÉDIA E (D) AMOSTRAS COM ABSORÇÃO ALTA.....	249
FIGURA 156.	ABSORÇÃO DE ÁGUA <i>VERSUS</i> TEMPO PARA A ARGAMASSA MISTA COM INCORPORAÇÃO DE AR COM AMOSTRAS DE BLOCO DE CONCRETO DE FLORIANÓPOLIS: (A) AMOSTRAS COM DIVERSAS ABSORÇÕES; (B) AMOSTRAS COM ABSORÇÃO BAIXA; (C) AMOSTRAS COM ABSORÇÃO MÉDIA E (D) AMOSTRAS COM ABSORÇÃO ALTA. ....	250
FIGURA 157.	ABSORÇÃO DE ÁGUA <i>VERSUS</i> TEMPO PARA A ARGAMASSA DE CIMENTO COM INCORPORAÇÃO DE AR COM AMOSTRAS DE BLOCO DE CONCRETO DE FLORIANÓPOLIS: (A) AMOSTRAS COM DIVERSAS ABSORÇÕES; (B) AMOSTRAS COM ABSORÇÃO BAIXA; (C) AMOSTRAS COM ABSORÇÃO MÉDIA E (D) AMOSTRAS COM ABSORÇÃO ALTA. ....	251
FIGURA 158.	ABSORÇÃO DE ÁGUA <i>VERSUS</i> TEMPO PARA A ARGAMASSA DE CIMENTO COM INCORPORAÇÃO DE AR E RETENTOR DE ÁGUA COM AMOSTRAS DE BLOCO DE CONCRETO DE FLORIANÓPOLIS: (A) AMOSTRAS COM DIVERSAS ABSORÇÕES; (B) AMOSTRAS COM ABSORÇÃO BAIXA; (C) AMOSTRAS COM ABSORÇÃO MÉDIA E (D) AMOSTRAS COM ABSORÇÃO ALTA. ....	252
FIGURA 159.	ABSORÇÃO DE ÁGUA <i>VERSUS</i> TEMPO PARA AMOSTRAS COM ABSORÇÃO BAIXA DOS BLOCOS DE CONCRETO DE FLORIANÓPOLIS. ....	253
FIGURA 160.	ABSORÇÃO DE ÁGUA <i>VERSUS</i> TEMPO PARA AMOSTRAS COM ABSORÇÃO MÉDIA DE BLOCOS DE CONCRETO DE FLORIANÓPOLIS. ....	254
FIGURA 161.	ABSORÇÃO DE ÁGUA <i>VERSUS</i> TEMPO PARA AMOSTRAS COM ABSORÇÃO ALTA DE BLOCOS DE CONCRETO DE FLORIANÓPOLIS. ....	254
FIGURA 162.	ABSORÇÃO DE ÁGUA <i>VERSUS</i> TEMPO PARA AMOSTRAS COM ABSORÇÃO MÉDIA DE BLOCOS DE CONCRETO DE BLUMENAU COM ARGAMASSA MISTA.....	255

FIGURA 163.	ABSORÇÃO DE ÁGUA <i>VERSUS</i> TEMPO PARA AMOSTRAS COM ABSORÇÃO MÉDIA DE BLOCOS DE CONCRETO DE BLUMENAU COM ARGAMASSA DE CIMENTO COM INCORPORADOR DE AR. ....	255
FIGURA 164.	ABSORÇÃO DE ÁGUA <i>VERSUS</i> TEMPO PARA AMOSTRAS COM ABSORÇÃO MÉDIA DE BLOCOS DE CONCRETO DE BLUMENAU (TB) E DE FLORIANÓPOLIS (TF) COM ARGAMASSA MISTA. ....	256
FIGURA 165.	ABSORÇÃO DE ÁGUA <i>VERSUS</i> TEMPO PARA AMOSTRAS COM ABSORÇÃO MÉDIA DE BLOCOS DE CONCRETO DE BLUMENAU (TB) E DE FLORIANÓPOLIS (TF) COM ARGAMASSA DE CIMENTO COM INCORPORADOR DE AR. ....	257
FIGURA 166.	RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA NA FLEXÃO PARA AMOSTRAS DE BLOCOS DE CONCRETO DE FLORIANÓPOLIS (TF) COM ARGAMASSA MISTA PARA A PRIMEIRA E SEGUNDA RUPTURA (OS VALORES INDICADOS SÃO OS VALORES MÉDIOS DAS AMOSTRAS). ...	260
FIGURA 167.	RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA NA FLEXÃO PARA AMOSTRAS DE BLOCOS DE CONCRETO DE FLORIANÓPOLIS (TF) COM ARGAMASSA MISTA COM INCORPORADOR DE AR PARA A PRIMEIRA E SEGUNDA RUPTURA (OS VALORES INDICADOS SÃO OS VALORES MÉDIOS DAS AMOSTRAS). ....	261
FIGURA 168.	RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA NA FLEXÃO PARA AMOSTRAS DE BLOCOS DE CONCRETO DE FLORIANÓPOLIS (TF) COM ARGAMASSA DE CIMENTO COM INCORPORADOR DE AR PARA A PRIMEIRA E SEGUNDA RUPTURA (OS VALORES INDICADOS SÃO OS VALORES MÉDIOS DAS AMOSTRAS). ....	262
FIGURA 169.	RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA NA FLEXÃO PARA AMOSTRAS DE BLOCOS DE CONCRETO DE FLORIANÓPOLIS (TF) COM ARGAMASSA DE CIMENTO COM INCORPORADOR DE AR E RETENTOR DE ÁGUA PARA A PRIMEIRA E SEGUNDA RUPTURA (OS VALORES INDICADOS SÃO OS VALORES MÉDIOS DAS AMOSTRAS). ....	264
FIGURA 170.	RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA NA FLEXÃO PARA AMOSTRAS DE BLOCOS DE CONCRETO DE FLORIANÓPOLIS (TF) PARA A ARGAMASSA MISTA, ARGAMASSA MISTA COM INCORPORADOR DE AR, ARGAMASSA DE CIMENTO COM INCORPORADOR DE AR E ARGAMASSA DE CIMENTO COM INCORPORADOR DE AR PARA A PRIMEIRA RUPTURA. ....	265
FIGURA 171.	RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA NA FLEXÃO PARA AMOSTRAS DE BLOCOS DE CONCRETO DE BLUMENAU PARA A ARGAMASSA MISTA PARA A PRIMEIRA RUPTURA E A SEGUNDA RUPTURA (OS VALORES INDICADOS SÃO OS VALORES MÉDIOS DAS AMOSTRAS). ....	266
FIGURA 172.	RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA NA FLEXÃO PARA AMOSTRAS DE BLOCOS DE CONCRETO DE BLUMENAU PARA A ARGAMASSA DE CIMENTO COM INCORPORADOR DE AR PARA A PRIMEIRA RUPTURA E A SEGUNDA RUPTURA (OS VALORES INDICADOS SÃO OS VALORES MÉDIOS DAS AMOSTRAS). ....	268
FIGURA 173.	RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA NA FLEXÃO PARA AMOSTRAS DE BLOCOS DE CONCRETO DE BLUMENAU (TB) E DE FLORIANÓPOLIS (TF) PARA A ARGAMASSA MISTA E ARGAMASSA DE CIMENTO COM INCORPORADOR DE AR PARA A PRIMEIRA RUPTURA E A SEGUNDA RUPTURA (OS VALORES INDICADOS SÃO OS VALORES MÉDIOS DAS AMOSTRAS). ....	269
FIGURA 174.	RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA NOS PRISMAS PARA ARGAMASSA MISTA PARA AS DUAS REPETIÇÕES REALIZADAS PARA A TEMPERATURA DE 23°C. ....	272
FIGURA 175.	RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA NOS PRISMAS PARA ARGAMASSA MISTA PARA AS DUAS REPETIÇÕES REALIZADAS PARA A TEMPERATURA DE 30°C. ....	273
FIGURA 176.	RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA NOS PRISMAS PARA ARGAMASSA MISTA PARA O PROCESSO DE CURA REALIZADO PARA A TEMPERATURA DE 30°C. ....	274

FIGURA 177.	RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA NOS PRISMAS PARA ARGAMASSA MISTA COM INCORPORADOR DE AR PARA A TEMPERATURA DE 23°C.....	275
FIGURA 178.	RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA NOS PRISMAS PARA ARGAMASSA DE CIMENTO COM INCORPORADOR DE AR PARA A TEMPERATURA DE 23°C.....	276
FIGURA 179.	RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA NOS PRISMAS PARA ARGAMASSA DE CIMENTO COM INCORPORADOR DE AR E RETENTOR DE ÁGUA PARA A TEMPERATURA DE 23°C.....	277
FIGURA 180.	RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA NA FLEXÃO DOS PRISMAS VERSUS RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA PARA AMOSTRAS COM ABSORÇÃO MÉDIA EM MINI-PRISMAS. ....	278
FIGURA 181.	RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA NA FLEXÃO <i>VERSUS</i> ABSORÇÃO DE ÁGUA PROVENIENTE DA ARGAMASSA PELO BLOCO DE CONCRETO DE FLORIANÓPOLIS (TF) PARA A ARGAMASSA MISTA PARA A PRIMEIRA RUPTURA E A SEGUNDA RUPTURA. ....	281
FIGURA 182.	RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA NA FLEXÃO <i>VERSUS</i> ABSORÇÃO DE ÁGUA PROVENIENTE DA ARGAMASSA PELO BLOCO DE CONCRETO DE FLORIANÓPOLIS (TF) PARA A ARGAMASSA MISTA COM INCORPORADOR DE AR PARA A PRIMEIRA RUPTURA E A SEGUNDA RUPTURA. ....	282
FIGURA 183.	RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA NA FLEXÃO <i>VERSUS</i> ABSORÇÃO DE ÁGUA PROVENIENTE DA ARGAMASSA PELO BLOCO DE CONCRETO DE FLORIANÓPOLIS (TF) PARA A ARGAMASSA DE CIMENTO COM INCORPORADOR DE AR PARA A PRIMEIRA RUPTURA E A SEGUNDA RUPTURA. ....	283
FIGURA 184.	RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA NA FLEXÃO <i>VERSUS</i> ABSORÇÃO DE ÁGUA PROVENIENTE DA ARGAMASSA PELO BLOCO DE CONCRETO DE FLORIANÓPOLIS (TF) PARA A ARGAMASSA DE CIMENTO COM INCORPORADOR DE AR E RETENTOR DE ÁGUA PARA A PRIMEIRA RUPTURA E A SEGUNDA RUPTURA. ....	284
FIGURA 185.	RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA NA FLEXÃO <i>VERSUS</i> ABSORÇÃO DE ÁGUA PROVENIENTE DA ARGAMASSA PELO BLOCO DE CONCRETO DE BLUMENAU (TB) PARA A ARGAMASSA MISTA E A ARGAMASSA DE CIMENTO COM INCORPORADOR DE AR E RETENTOR DE ÁGUA PARA A PRIMEIRA RUPTURA E A SEGUNDA RUPTURA. ....	285
FIGURA 186.	RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA NA FLEXÃO <i>VERSUS</i> ABSORÇÃO DE ÁGUA PROVENIENTE DA ARGAMASSA PELO BLOCO DE CONCRETO DE BLUMENAU E DE FLORIANÓPOLIS PARA A PRIMEIRA RUPTURA E A SEGUNDA RUPTURA: (A) ARGAMASSA MISTA E (B) ARGAMASSA DE CIMENTO COM INCORPORADOR DE AR. ....	286
FIGURA 187.	ESQUEMA COM A MONTAGEM DOS EQUIPAMENTOS PARA A OBTENÇÃO DO LEVANTAMENTO FOTOGRÁFICO: (A) VISTA SUPERIOR DO POSICIONAMENTO DOS BLOCOS E (B) VISTA LATERAL. ....	306

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1. TAXA DE ABSORÇÃO MÁXIMA PARA BLOCOS VAZADOS DE CONCRETO SEGUNDO A ASTM C 90 (1991).	11
TABELA 2. TAXAS DE ABSORÇÃO E A NORMA CORRESPONDENTE, PROFUNDIDADES DA LÂMINA DE ÁGUA, TEMPO DE ENSAIO E COMO O RESULTADO DEVE SER EXPRESSO.	18
TABELA 3. VALORES DE TAXA DE ABSORÇÃO INICIAL PARA DOIS TIPOS DE UNIDADE DE ALVENARIA (BLOCOS DE CONCRETO E CERÂMICOS) OBTIDOS POR DIVERSOS AUTORES.	19
TABELA 4. VALORES DE SORTIVIDADE (S) PARA ALGUNS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO OBTIDOS POR ALGUNS AUTORES.	22
TABELA 5. FAIXAS GRANULOMÉTRICAS DAS AREIAS PARA ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO EMPREGADAS EM ALVENARIA ESTRUTURAL.	28
TABELA 6. INFLUÊNCIA DOS MATERIAIS NAS PROPRIEDADES DA ARGAMASSA (SABBATINI, 1984).	31
TABELA 7. ESPECIFICAÇÃO DOS TRAÇOS (EM VOLUME) E DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DAS ARGAMASSAS CONFORME A ASTM C 270 (1987).	32
TABELA 8. ESPECIFICAÇÃO DOS TRAÇOS (VOLUME) E DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS ARGAMASSAS CONFORME A BS 5628 (1992).	32
TABELA 9. MÉTODO DE ENSAIO UTILIZADO PARA CADA ESTUDO, TIPO DE SUBSTRATO, TIPO DE ARGAMASSA E ESPESSURA DA JUNTA DE ASSENTAMENTO.	43
TABELA 10. RESUMO DOS ESTUDOS SOBRE TRANSFERÊNCIA DE ÁGUA DA ARGAMASSA PARA A UNIDADE: TIPO DE UNIDADE, TIPO DE ARGAMASSA, ESPESSURA DA JUNTA OU DO REVESTIMENTO, MÉTODO, MEDIDAS, MATERIAL UTILIZADO PARA SEPARAR OS DOIS MATERIAIS, PROPRIEDADES AVALIADAS E AUTORES.	59
TABELA 11. RESULTADOS OBTIDOS POR SOLÓRZANO (1994).	66
TABELA 12. INFLUÊNCIA DA MÃO-DE-OBRA NA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA NA FLEXÃO (SOLÓRZANO, 1994).	67
TABELA 13. TENSÃO DE MÓDULO DE RUPTURA ACI 530-02/C-31 (2002).	68
TABELA 14. DIFERENÇAS ENTRE AS FÁBRICAS DE BLOCO DE CONCRETO DE FLORIANÓPOLIS E BLUMENAU.	77
TABELA 15. - ÁREAS BRUTAS E LÍQUIDAS DOS BLOCOS DE CONCRETO ESTUDADOS.	81
TABELA 16. SORTIVIDADE, COEFICIENTE DE ABSORÇÃO ADAPTADO E MASSA SECA PARA OS BLOCOS DE CONCRETO ANALISADOS.	86
TABELA 17. ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE AOS 60 MINUTOS, SORTIVIDADE MÉDIA, MÍNIMA E MÁXIMA PARA OS DOIS LOTES DE BLOCOS DE CONCRETO TF ANALISADOS.	90
TABELA 18. RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA OS BLOCOS DE CONCRETO TF E TB.	95
TABELA 19. VALORES DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE PARA CADA FAIXA E GRUPO DAS AMOSTRAS DO BLOCO DE CONCRETO TF.	97
TABELA 20. CARACTERÍSTICAS DO GTEC TESTE E <i>SQUEEZE FLOW</i> UTILIZADO NA USP.	99
TABELA 21. QUANTIDADE DE MATERIAL UTILIZADO E O PROCEDIMENTO DE MISTURA PARA A PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS.	105
TABELA 22. PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO.	110
TABELA 23. ESTIMATIVA GRÁFICA DA TENSÃO DE ESCOAMENTO PARA O <i>SQUEEZE FLOW</i> COM GEOMETRIA CIRCULAR PARA TODAS AS ARGAMASSAS ESTUDADAS.	120
TABELA 24. QUANTIDADE DE MATERIAL UTILIZADO PARA A PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS.	127
TABELA 25. PROPRIEDADES DO ESTADO FRESCO DAS ARGAMASSAS ANALISADAS: MASSA ESPECÍFICA, TEOR DE AR INCORPORADO, GTEC TESTE COM ENERGIA E FORÇA CONSTANTE PELO OPERADOR.	128



TABELA 26.DEFORMAÇÃO DAS ARGAMASSAS OBTIDAS PELO GTEC TESTE COM ENERGIA E FORÇA CONSTANTE MEDIDAS ELETRONICAMENTE E PELO OPERADOR. ....	129
TABELA 27.TRAÇOS E QUANTIDADE DE MATERIAL PARA PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS ANALISADAS. ....	138
TABELA 28.RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL MÉDIA DAS ARGAMASSAS ANALISADAS. ....	139
TABELA 29.RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL MÉDIA DAS ARGAMASSAS ANALISADAS. ....	141
TABELA 30.RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO DA ARGAMASSA TRAÇO 3. ....	143
TABELA 31.RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO DA ARGAMASSA TRAÇO 3 E A QUANTIDADE DE CORPOS-DE-PROVA UTILIZADA. ....	144
TABELA 32.RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO, RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO E MÓDULO DE DEFORMAÇÃO PARA A ARGAMASSA TRAÇO 3. ....	147
TABELA 33.RESUMO DOS TRAÇOS QUE FORAM TESTADOS PREVIAMENTE.....	150
TABELA 34.RESUMO DOS TRAÇOS QUE FORAM TESTADOS PARA OBTENÇÃO DA ARGAMASSA MISTA COM RETENTOR DE ÁGUA E SEM ADITIVO. ....	152
TABELA 35.TRAÇOS INICIAIS E FINAIS E PROCEDIMENTO E TEMPO DE MISTURA PARA OBTENÇÃO DAS ARGAMASSAS A SEREM ESTUDADAS. ....	155
TABELA 36.RESISTÊNCIA MÉDIA DE ADERÊNCIA NA FLEXÃO PARA TODAS AS JUNTAS DOS PRISMAS ANALISADOS. ....	172
TABELA 37.CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO CIMENTO PORTLAND COM ADIÇÃO DE FÍLER CALCÁRIO – CP II - F - 32 – UTILIZADO.....	179
TABELA 38.CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO CIMENTO PORTLAND COM ADIÇÃO DE FÍLER CALCÁRIO - CP II - F - 32 – UTILIZADO. ....	179
TABELA 39.- CARACTERÍSTICAS DA CAL HIDRATADA DO TIPO CH III .....	180
TABELA 40.CARACTERÍSTICAS DOS AGREGADOS MIÚDOS. ....	180
TABELA 41.CARACTERÍSTICAS DOS ADITIVOS EMPREGADOS.....	181
TABELA 42.CARACTERIZAÇÃO BÁSICA DOS BLOCOS DE CONCRETO. ....	181
TABELA 43.DATA DE MOLDAGEM PARA CADA LOTE CONFORME A FÁBRICA DE BLOCO DE CONCRETO. ....	182
TABELA 44.TRAÇOS, QUANTIDADE DE MATERIAL UTILIZADO, RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO, RELAÇÃO ÁGUA/MATERIAIS SECOS PROCEDIMENTO E TEMPO DE MISTURA DAS ARGAMASSAS A SEREM ESTUDADAS. ....	186
TABELA 45.CLASSES E GRUPOS DE AMOSTRAS DE BLOCO DE CONCRETO TF COM SUAS ABSORÇÕES DE ÁGUA POR CAPILARIDADE COM SUAS RESPECTIVAS ARGAMASSAS.....	194
TABELA 46.AMOSTRAS DE BLOCO DE CONCRETO TB COM SUAS ABSORÇÕES DE ÁGUA POR CAPILARIDADE COM AS RESPECTIVAS ARGAMASSAS.....	195
TABELA 47.GRUPOS DOS BLOCOS DE CONCRETO PRÉ-SELECIONADOS.....	201
TABELA 48.QUANTIDADE DE ARGAMASSA EM FUNÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DOS FILETES E DO TIPO DE ARGAMASSA. ....	202
TABELA 49.CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS BLOCOS DE CONCRETO ESTUDADOS. ....	208
TABELA 50.VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE NOS TEMPOS DE 1 E 60 MINUTOS E O ÍNDICE DE SORTIVIDADE PARA DIFERENTES IDADES PARA OS DOIS BLOCOS DE CONCRETO ESTUDADOS.....	210
TABELA 51.RESULTADOS DE POROSIMETRIA POR INTRUSÃO DE MERCÚRIO DOS BLOCOS DE CONCRETO ANALISADOS. ....	213
TABELA 52.VALORES MÉDIOS OBTIDOS NOS CORPOS-DE-PROVA E BLOCOS DE CONCRETO COM IDADES SEMELHANTES. ....	218
TABELA 53.VALORES MÉDIOS OBTIDOS NOS CORPOS-DE-PROVA, NAS AMOSTRAS E NOS BLOCOS DE CONCRETO COM IDADES SEMELHANTES. ....	219
TABELA 54.PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO DAS ARGAMASSAS ESTUDADAS.....	220

TABELA 55. PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO DAS ARGAMASSAS ESTUDADAS.....	225
TABELA 56. PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO DAS ARGAMASSAS E DAS JUNTAS DE ASSENTAMENTO ESTUDADAS. ....	229
TABELA 57. RESULTADOS DE POROSIMETRIA POR INTRUSÃO DE MERCÚRIO DOS BLOCOS DE CONCRETO ANALISADOS. ....	235
TABELA 58. PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO DAS ARGAMASSAS E DAS JUNTAS DE ASSENTAMENTO ESTUDADAS. ....	238
TABELA 59. RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA NA FLEXÃO EM MINI-PRISMA E PRISMA COM A RELAÇÃO PARA AS ARGAMASSAS ESTUDADAS. ....	279
TABELA 60. CARACTERÍSTICAS DOS AGREGADOS UTILIZADOS PARA A CONFECÇÃO DOS BLOCOS DE CONCRETO DE FLORIANÓPOLIS. ....	305
TABELA 61. CARACTERÍSTICAS DOS AGREGADOS UTILIZADOS PARA A CONFECÇÃO DOS BLOCOS DE CONCRETO DE BLUMENAU .....	305
TABELA 62. CARACTERÍSTICAS DO CIMENTO CP II-F 32. ....	307
TABELA 63. CARACTERÍSTICAS DA CAL HIDRATADA CH III. ....	307
TABELA 64. CARACTERÍSTICAS DOS AGREGADOS MIÚDOS. ....	307
TABELA 65. CARACTERÍSTICAS DO CIMENTO CP II-F 32. ....	308
TABELA 66. CARACTERÍSTICAS DA CAL HIDRATADA CH III. ....	308
TABELA 67. CARACTERÍSTICAS DOS AGREGADOS MIÚDOS. ....	308
TABELA 68. CARACTERÍSTICAS DO CIMENTO CP II-F 32. ....	309
TABELA 69. CARACTERÍSTICAS DA CAL HIDRATADA CH III. ....	309
TABELA 70. CARACTERÍSTICAS DOS AGREGADOS MIÚDOS. ....	309

## RESUMO

CASALI, Juliana Machado. *Estudo da interação entre argamassa de assentamento e bloco de concreto para alvenaria estrutural: transporte de água e aderência*. Florianópolis, 2008. 310 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

Este trabalho teve como objetivo principal estudar a interação entre a argamassa de assentamento e o bloco de concreto: transporte de água e aderência. Inicialmente foram desenvolvidos procedimentos de ensaio para: caracterização das juntas de assentamento, avaliação da transferência de água da argamassa para o bloco de concreto e determinação da resistência de aderência na flexão em mini-prismas (método reduzido proposto). Após a realização de alguns estudos piloto foi definido o programa experimental com a utilização de quatro tipos de argamassas diferentes (argamassa mista – cimento e cal - com e sem aditivo e argamassa de cimento com e sem aditivos) e dois blocos de concreto de fabricantes distintos. Na caracterização dos blocos de concreto observou-se uma diferença entre as faces dos blocos de concreto (superior e inferior), tanto nas propriedades físicas e mecânicas do concreto constituinte do bloco quanto na microestrutura dessas faces (diferenças ainda em função da origem e do processo de fabricação). Para as juntas de assentamento observou-se a diferença entre as juntas com sucção do bloco de concreto e sem sucção (impermeáveis), inclusive na microestrutura que também foi influenciada pela composição da argamassa. A interação entre a argamassa e o bloco de concreto foi avaliada no estado fresco com a obtenção da quantidade de transferência de água proveniente da argamassa para o bloco de concreto (os valores obtidos variaram em função do tipo de argamassa e da sucção do bloco de concreto). No estado endurecido, o método reduzido proposto para avaliar a resistência de aderência na flexão em mini-prisma foi adequado e possibilitou avaliar a resistência em cada face do bloco de concreto. Ela foi influenciada pelo tipo de argamassa, pela absorção de água do bloco de concreto, pela temperatura e pelo tipo de cura. No ensaio de mini-prisma foi possível obter a resistência de aderência “potencial” entre a argamassa e o bloco de concreto. Já a resistência de aderência em prisma foi influenciada pelo tipo de argamassa, pela temperatura e pela cura empregada. Comparando os resultados obtidos dos ensaios em mini-prisma e em prisma, verificou-se uma correlação entre as resistências de aderência obtidas. Além disso, foi possível obter uma relação (resistência prisma/resistência em mini-prisma) distinta para cada argamassa, maior para argamassa mista (0,88) e menor para a argamassa de cimento com aditivos (0,50). A partir dos resultados obtidos de resistência de aderência (mini-prisma) e da quantidade de água proveniente da argamassa absorvida pelo bloco de concreto, obtiveram-se correlações entre essas propriedades que, no entanto, são distintas para cada argamassa, inclusive com tendências diferentes. Com os resultados obtidos, observou-se que existe uma combinação ideal entre a argamassa de assentamento e o bloco de concreto onde ocorre a maior interação entre eles (maior resistência de aderência).

Palavras-chaves: argamassa de assentamento, bloco de concreto, alvenaria estrutural, transporte de água, aderência.

## ABSTRACT

CASALI, Juliana Machado. *A Study of interaction between bedding mortar and structural masonry concrete blocks: Water transport and bond strength*. Florianópolis, 2008. 310 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

The main objective of this doctoral dissertation is to study interaction between concrete blocks and joints (bedding mortar), i.e. water transport and bond strength. Initially, test procedures were developed for characterization of the joints, measurement of mortar-to-block water transfer, and determination of the flexural bond strength in mini-prisms (using a novel method). After carrying out preliminary studies, an experimental program was defined: it involved the use of four types of mortar (i.e., cement-lime based and cement based mortars with and without admixtures) and of two types of concrete blocks produced by different manufacturers. When characterizing the concrete blocks, differences between the superior and inferior face of the blocks were found—that is, there were variations in the physical and mechanical properties of the concrete that composed the blocks as well as in the microstructure of said block faces (both differences were due to the production process itself and to the fact that the blocks originated from two different manufacturers). In regards to the joints, differences were found between those in which water suction (by the block) occurred and those in which it did not (where waterproofing was used), including differences in microstructure, which was also influenced by mortar composition. Interaction between the concrete block and plastic mortar was studied through measurement of mortar-to-block water transfer (where values obtained varied with the type of mortar and with the amount of water suction). In the hardened state, the novel method proposed here for determination of flexural bond strength in mini-prisms was deemed adequate and enabled evaluation for each of the block's faces. Bond strength was influenced by mortar type, water absorption of the block, temperature, and curing method. Using the mini-prism test, it was possible to determine “potential” mortar-block bond strength. For the prisms, bond strength was influenced by mortar type, temperature, and curing method. When comparing mini-prism test outcomes with prism test results, a correlation was found between the two for bond strength. Moreover, a different (prism bond strength/mini-prism bond strength) ratio was found for each type of mortar, it being higher for cement-lime based mortars (0.88) than for cement based mortars (0.50). Correlations were obtained between (mini-prism) bond strength and the amount of water absorbed from the mortar by the block, although these correlations – indeed, even the correlation trends – varied with mortar type. The study's results indicate that there is an ideal block-mortar combination for which interaction between the two is greatest (i.e., where bond strength is highest).

Keywords: bedding mortar, concrete block, structural masonry, water transport, bond strength.

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS E JUSTIFICATIVA

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo que vem sendo utilizado pelo homem desde os primórdios das civilizações. As pirâmides do Egito e a muralha da China são obras em alvenaria que ainda hoje permanecem íntegras.

Nesse sistema construtivo as paredes atuam como elemento resistente da estrutura e, ao mesmo tempo, como vedação. Essas paredes são elementos portantes compostos por unidades de alvenaria, como blocos de concreto ou tijolos, unidas por juntas de argamassas capazes de resistirem a outras cargas, além de seu peso próprio. Assim o conjunto rígido, monolítico, formado pelas unidades de alvenaria e a argamassa de assentamento, deve ter funções estruturais, além de resistir a impactos, garantir a vedação, estanqueidade, conforto térmico e acústico da obra.

A alvenaria estrutural não armada de blocos vazados de concreto, abordada neste estudo, segundo a NBR 1228 (1989), é aquela constituída de blocos assentados com argamassa podendo conter armaduras com finalidade construtiva ou de amarração, não consideradas na absorção dos esforços calculados. Esse tipo de alvenaria é composto de elementos estruturais que possuem funções distintas, mas juntos proporcionam estabilidade à estrutura.

A propriedade primordial na análise do comportamento mecânico da alvenaria é a capacidade resistente da parede à ação de esforços de compressão normais ao seu plano vertical (MEDEIROS, 1993). Sem dúvida, esse tipo de solicitação é a mais importante, pois este é o tipo de esforço ao qual a alvenaria estrutural não-armada apresenta melhor resistência (DRYSDALE, HAMID e BAKER, 1993).

Porém, existem outras propriedades que também são importantes para o comportamento estrutural da alvenaria: a resistência aos esforços de flexão, a resistência ao cisalhamento e a resistência à tração (MEDEIROS, 1993). A Figura 1 apresenta um esquema das cargas atuantes em uma parede de alvenaria.

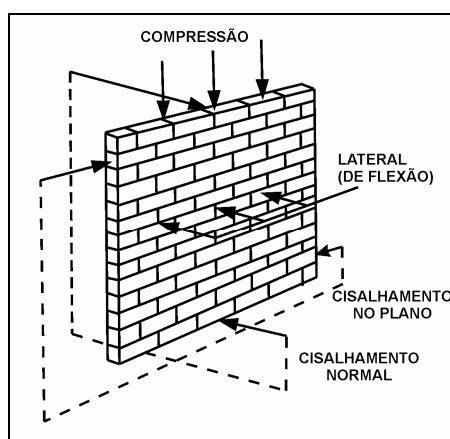


Figura 1. Cargas externas atuantes em uma parede de alvenaria estrutural (Fonte: SABBATINI, 1984).

Cabe salientar que a resistência à compressão da parede de alvenaria é muito maior do que a sua resistência à tração. Por este motivo, os projetos de alvenaria devem minimizar as tensões de tração e/ou outras tensões que gerem tração como momento fletor. Caso a parede não resista aos esforços de tração, fissuras irão ocorrer. Assim ao invés de cargas distribuídas uniformemente na parede existirão cargas concentradas em pontos localizados. Isso comprometerá o funcionamento da alvenaria, pois não existirá um conjunto rígido monolítico como previsto no projeto e sua resistência diminuirá. Através dessas fissuras, nas paredes, geralmente, irá ocorrer o ingresso de água inaceitável, causando o início de degradação.

Os esforços de tração na flexão de uma parede podem ocorrer tanto no seu plano quanto fora do plano. A maioria das normas (brasileira, americana, canadense, britânica, entre outras) despreza a resistência à tração da alvenaria na parede solicitada à flexão em seu próprio plano. No entanto, a maioria das normas considera a resistência à tração da alvenaria quando submetida à flexão fora de seu plano. A resistência à tração na flexão é usualmente referenciada em termos da direção da tensão que pode ser normal ou paralela às fiadas da alvenaria. Na Figura 2 apresenta-se a resistência à tração na flexão da alvenaria normal e paralela as fiadas.

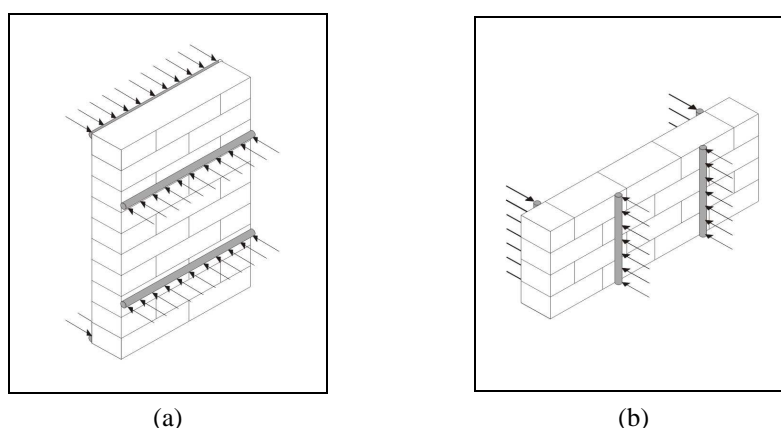


Figura 2. Resistência à tração na flexão da alvenaria: (a) normal e (b) paralela às fiadas (SCHUBERT, 1994).

Nos dois casos, normal ou paralela às fiadas, a resistência à tração irá depender da aderência<sup>1</sup> entre as unidades e a argamassa de assentamento. Os tipos de ruptura possíveis, caso a parede não resista aos esforços de tração, podem ser observados na Figura 3.

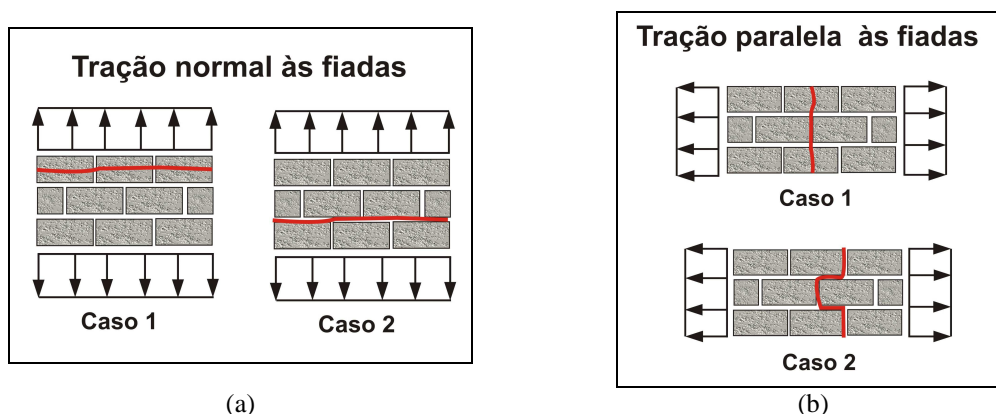


Figura 3. Tipos de ruptura em paredes submetidas à flexão fora do plano: (a) tração normal às fiadas; e (b) tração paralela às fiadas. Caso 1: resistência à tração da unidade menor que a tensão e caso 2: resistência de aderência entre argamassa e unidades menor que a tensão (Adaptado: SCHUBERT, 1994).

Os tipos de rupturas observados nas Figura 3a (caso 2) e Figura 3b (caso 2) onde a resistência de aderência entre a argamassa e as unidades era inferior a tensão aplicada, foram encontrados em cinco obras de alvenaria estrutural de blocos de concreto de quatro e cinco pavimentos construídos por uma mesma construtora na cidade de Joaçaba, em Santa Catarina. Nestes empreendimentos, o uso de argamassa industrializada (cimento, areia e aditivos) preponderou tanto para o revestimento quanto para o assentamento. Nas Figura 4 e Figura 5 são

<sup>1</sup> Nesta tese o termo “aderência” será empregado para denominar a ligação da argamassa endurecida ao substrato. Essa definição também foi utilizada por Carasek (1996), Cincotto, Silva e Carasek (1995), Gonçalves (2004), Paes (2004), Antunes (2005) entre outros.

apresentados exemplos das fissuras geométricas observadas. As fissuras foram encontradas tanto na parte externa como na parte interna dos edifícios (Figura 4a e Figura 4b) e em todos os pavimentos (Figura 5a).

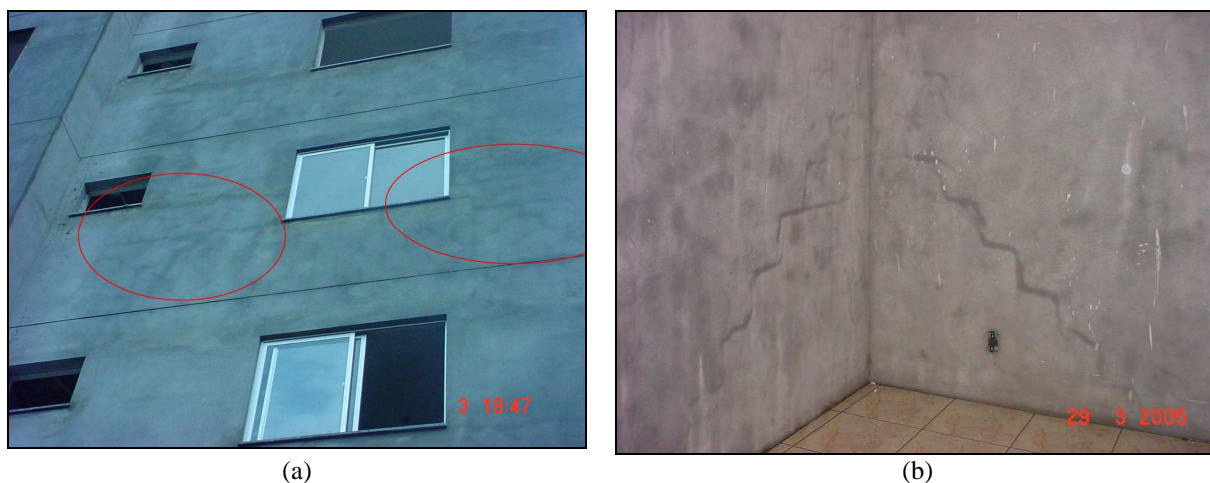


Figura 4. Fissuras geométricas observadas (a) na parte externa e (b) na parte interna dos edifícios.

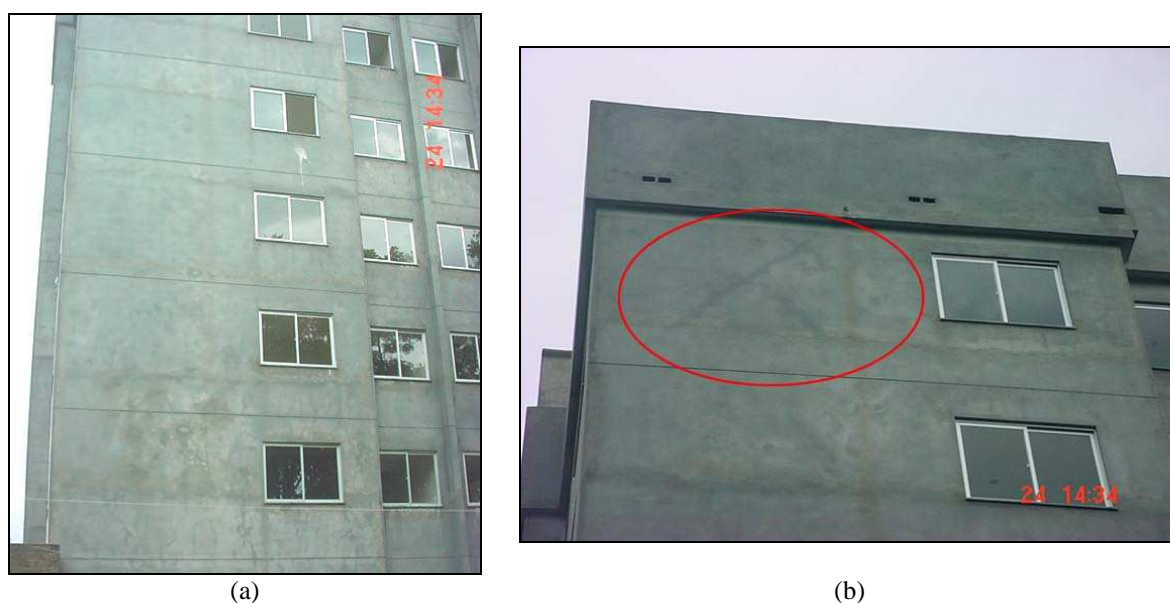


Figura 5. Fissuras geométricas observadas em todos os pavimentos: (a) vista geral do edifício e (b) fissuras nos últimos pavimentos.

A quantidade de fenômenos patológicos foi elevada e uma das principais causas apontadas foi a incapacidade da absorção dos esforços de tração na flexão a que são submetidas às paredes devido à baixa resistência de aderência existente entre o bloco de concreto e a junta de argamassa.



Essa baixa resistência de aderência entre a argamassa de assentamento e o bloco de concreto foi comprovada em ensaios realizados na Universidade do Oeste de Santa Catarina (UNOESC) com os materiais utilizados na obra. Os maiores valores encontrados foram de 0,084 MPa e muitos prismas romperam apenas com o peso próprio no momento do ensaio. Segundo Sabbatini (2002), o valor de resistência à tração na flexão em prismas deve ser no mínimo de 0,25 MPa. Cabe salientar que esta recomendação se aplica para obras de alvenaria estrutural de blocos de concreto.

A baixa resistência de aderência encontrada pode ter ocorrido pela formulação inadequada das argamassas de assentamento. Outro motivo que potencializou o aparecimento significativo de manifestações patológicas nestas obras foram as condições climáticas da região (grande variação de temperatura e umidade relativa ao longo do ano), que geraram tensões importantes nas paredes dos edifícios.

Essas manifestações patológicas causaram prejuízos à construtora e aos fabricantes de insumos, além de terem diminuído a confiança das construtoras locais no sistema.

Para compreender o aparecimento das fissuras, deve-se analisar a resistência à tração do conjunto bloco de concreto e argamassa de assentamento. Essa resistência é função da interação que ocorre entre o bloco de concreto e a argamassa de assentamento. Cabe ressaltar que, tanto os blocos de concreto quanto as argamassas de assentamento, têm propriedades distintas e bem definidas quando analisados os materiais separadamente. Porém, a interação entre eles forma um novo material com propriedades distintas e não totalmente conhecidas.

A interação entre o bloco de concreto e a argamassa de assentamento inicia quando a argamassa no estado fresco é colocada sobre a superfície porosa e absorvente do bloco de concreto que provoca, no primeiro contato, uma perda substancial de água e enrijecimento. Essa transferência de água é o que promove a adesão<sup>2</sup> entre o bloco de concreto e argamassa de assentamento.

Segundo alguns autores (GALLEGOS, 1995; GROOT, 1995 e SABBATINI, 1998), essa transferência de água da argamassa para a unidade é necessária para promover o contato íntimo, aumentando a aderência, uma vez que a água absorvida contém substâncias solúveis do

---

<sup>2</sup> No âmbito da físico-química, a palavra adesão é uma maneira de se referir às ligações entre materiais, contato ou a interação entre elas. A adesão é um fenômeno microscópico e a respeito das argamassas Póvoas (2005) apresenta uma revisão detalhada. O termo adesão será empregado neste trabalho para denominar a união inicial da argamassa no estado fresco ao substrato. Essa denominação foi utilizada por Carasek (1996); Cincotto, Silva e Carasek (1995), Gonçalves (2004), Paes (2004), Antunes (2005) entre outros.

cimento e as incrusta na superfície da unidade criando assim um grampeamento dos cristais do cimento hidratado nos poros das unidades. Entretanto, se a perda de água for excessiva, pode faltar água para a hidratação dos compostos do cimento da argamassa.

Essa transferência substancial de água e a velocidade em que ela ocorrerá são fundamentais para o desenvolvimento das propriedades das argamassas de assentamento e da interface entre o bloco de concreto e a argamassa (GROOT, 1995). Conseqüentemente, esse fenômeno é um fator determinante para a formação da resistência de aderência entre o bloco de concreto e a argamassa.

Os estudos sobre a transferência de água da argamassa para os substratos publicados no exterior (KJAER, 1991; GROOT, 1995; LANGE, DEFORD e AHMED, 1996; JENNINGS *et al.*, 2000; FORTH, BROOKS e TAPSIR, 2000; SARANGAPANI, REDDY, GROOT, 2002; TOTOEV e JAMES, 2004, entre outros) normalmente analisam tijolos cerâmicos e, às vezes, blocos de concreto, porém apenas para efeito de comparação. No Brasil, alguns trabalhos mais recentes (SCARTEZINI e CARASEK, 2003; PAES, BAUER e CARASEK, 2003) têm verificado a transferência de água da argamassa para o substrato, porém para argamassas de revestimento. Existem poucos trabalhos realizados com os materiais brasileiros sobre transferência de água da argamassa de assentamento para o bloco de concreto.

Além disso, a transferência de água da argamassa de assentamento para o bloco de concreto irá influenciar inteiramente nas propriedades mecânicas das juntas de assentamento<sup>3</sup>.

Portanto, a análise da influência da transferência de água entre a argamassa no estado fresco para o bloco de concreto assim como a sua associação com as propriedades das juntas de assentamento é condição fundamental para o entendimento dos fatores que governam o fenômeno da aderência entre os blocos de concreto e as argamassas de assentamento.

No entanto, tanto a transferência de água da argamassa no estado fresco para o bloco como as propriedades mecânicas das juntas de assentamento não possuem métodos e equipamentos desenvolvidos especificamente para a sua determinação ou que estejam consolidados.

Além disso, não existe ensaio padronizado para medir a resistência de aderência entre os blocos de concreto e argamassas de assentamento.

---

<sup>3</sup> As argamassas de assentamento, após seu emprego, se convertem em “junta de assentamento” com forma e funções definidas (SABBATINI, 1984).

A norma americana ASTM E-518-80 para determinação da resistência de aderência na flexão para alvenaria recomenda as dimensões dos corpos-de-prova, sua execução e as condições de cura. No entanto, esta norma não padroniza como realizar o assentamento, a limpeza das unidades de alvenaria e a seleção das unidades que serão utilizadas. Esse último item é importante, pois pode gerar uma grande variação para o ensaio. Conseqüentemente os resultados obtidos em diferentes estudos não são comparáveis entre si e existem muito poucos valores de resistência à aderência na flexão para as alvenarias realizadas no Brasil com os blocos de concreto e as argamassas de assentamento utilizadas.

Diante do exposto, a principal motivação para esta pesquisa é contribuir para o aprofundamento do conhecimento da interação entre argamassa de assentamento e blocos de concreto, assim como a influência das combinações dos fatores de transferência de água da argamassa fresca para o bloco de concreto nas propriedades das juntas de assentamento.

## **1.2 HIPÓTESE**

Esse estudo está centrado na seguinte hipótese: “A resistência de aderência na flexão da alvenaria estrutural de blocos de concreto, para uma determinada combinação de argamassa e bloco de concreto, é função das propriedades das argamassas de assentamento e da interação (transporte de água e aderência) entre o bloco de concreto e a argamassa de assentamento. Por sua vez, a interação entre o bloco de concreto e a argamassa é função da transferência de água da argamassa, no estado fresco, para o bloco de concreto, e das propriedades das juntas de assentamento”.

Assim, a resistência de aderência na flexão da alvenaria depende, diretamente, de uma correta associação entre a transferência de água da argamassa de assentamento no estado fresco e as propriedades das juntas de assentamento, mantidos todos os demais fatores, como a base e as condições de cura, constantes.

## **1.3 OBJETIVO GERAL**

Para comprovar (ou refutar) a hipótese exposta, o objetivo deste estudo é analisar a influência da transferência de água da argamassa de assentamento, no estado fresco, para o bloco

de concreto, e das propriedades das juntas de assentamento na resistência de aderência na flexão da alvenaria (mantidos constantes a relação água/cimento das argamassas e as condições de cura).

Para atingir este objetivo também foi necessário desenvolver equipamentos e propor ou selecionar metodologias para a medida de: transferência de água da argamassa de assentamento no estado fresco para o bloco de concreto, propriedades mecânicas das juntas de assentamento e resistência de aderência na flexão.

#### **1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Os objetivos específicos para este trabalho são:

1. Verificar as propriedades mecânicas do substrato, bloco de concreto, e a influência dessas propriedades na interação entre a argamassa e bloco de concreto;
2. Avaliar as propriedades, no estado fresco e endurecido, das argamassas de assentamento e a influência dessas propriedades na interação entre argamassa e bloco de concreto;
3. Estudar a transferência de água da argamassa de assentamento, no estado fresco, para o bloco de concreto e sua influência na resistência de aderência na flexão de argamassa/bloco;
4. Verificar as propriedades das argamassas de assentamento como junta de assentamento, isso quer dizer, após o contato com o bloco de concreto;
5. Verificar a influência das condições de cura na resistência de aderência na flexão;
6. Propor um método de avaliação da resistência à aderência na flexão em dimensões reduzidas e comparar com o método proposto pela ASTM E 518-80; e
7. Avaliar a resistência de aderência na flexão pela ASTM E 518-80 e verificar sua variabilidade.

## 1.5 ESTRUTURA DA TESE

Este trabalho está estruturado em seis capítulos, sendo que na introdução foi apresentado o tema em estudo, indicando a hipótese do trabalho, os motivos que levam à pesquisa, a importância e os objetivos desta.

O capítulo 2 aborda uma revisão bibliográfica sobre os materiais constituintes da alvenaria estrutural: o bloco de concreto e a argamassa de assentamento. Além disso, é apresentado o estado da arte da interação entre a argamassa de assentamento e a unidade, desde sua formação até a resistência de aderência. Neste capítulo, também são apresentadas as lacunas que motivaram esta pesquisa.

O programa experimental é apresentado no capítulo 3, onde são descritas as variáveis independentes, os estudos-pilotos necessários para o desenvolvimento dessa pesquisa, os ensaios de caracterização dos materiais, os procedimentos de ensaio e a metodologia adotados neste estudo.

Os capítulos 4 e 5 relatam os resultados obtidos e as discussões desses resultados, respectivamente. Finalmente, no capítulo 6, são apresentadas as conclusões e as recomendações para trabalhos futuros. Após este capítulo, são apresentados sequencialmente, as referências bibliográficas e os anexos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Uma parede de alvenaria estrutural de blocos de concreto é formada por blocos e argamassa de assentamento. Apesar de estarem presentes no mesmo elemento estrutural, cada componente possui suas funções específicas e características que influem no seu desempenho. Assim, primeiramente serão apresentadas as características dos blocos de concreto e das argamassas de assentamento. Em seguida, será apresentado o estado da arte da interação entre o bloco de concreto e a argamassa de assentamento bem como a formação desta interação e resistência de aderência.

### 2.1 BLOCO DE CONCRETO

O bloco de concreto é uma unidade de alvenaria constituída pela mistura homogênea, proporcionada de cimento Portland, agregado miúdo e graúdo, conformada através de vibração e prensagem (MEDEIROS, 1993).

A norma brasileira NBR 6136 (2006) especifica os requisitos para o recebimento de blocos vazados de concreto simples, destinados à execução de alvenaria com ou sem função estrutural. Além da norma brasileira, no Brasil são utilizadas como referência a norma americana ASTM C 90 (1991) e a norma britânica BS 6073 (1981).

As propriedades dos blocos de concreto dependem fundamentalmente dos seguintes fatores: natureza dos constituintes, umidade do material usado na produção, proporcionamento dos materiais, grau de compactação conferido pelo equipamento e método de cura empregado (BESSER RESERARCH AND TRAINING CENTER, 1988 *apud* MEDEIROS, 1993).

Geralmente o bloco de concreto é especificado pelos calculistas e compradores pela sua resistência à compressão sendo esta sua característica mais importante. A norma NBR 6136 (2006) recomenda os requisitos para classes de resistência à compressão característica ( $f_{bk, est}$ ) e em função deste valor os blocos de concreto são classificados por classes de resistência (A, B, C e D).

Existem outras propriedades que são exigidas pelas normas como: absorção de água total e retração linear na secagem. Esta última passou a ser facultativa na revisão da NBR 6136 (2006).

A NBR 6136 (2006) recomenda que a absorção de água total para os blocos de concreto utilizados em alvenaria estrutural, determinada de acordo com a NBR 12118 (2006), seja inferior ou igual a 10%.

Já a norma americana ASTM C 90 (1991) limita o índice de absorção para blocos vazados de concreto de acordo com a densidade do mesmo, conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Taxa de absorção máxima para blocos vazados de concreto segundo a ASTM C 90 (1991).

	Densidade seca ( $\text{kg}/\text{dm}^3$ )		
	> 2,00	1,68 – 2,00	<1,68
Taxa de absorção máxima	13	15	18

Com relação aos requisitos para a retração linear por secagem, a NBR 6136 (2006) estabelece que esta deva ser menor ou igual a 0,065% determinada segundo a NBR 12118 (2006).

A retração por secagem é de extrema importância para o funcionamento da alvenaria. Ela é ocasionada pela variação do volume do bloco em consequência da evaporação de água do seu interior. Esta redução volumétrica é restringida quando o bloco compõe uma alvenaria e, como consequência, ocorrem fissuras no painel provocadas pelo aparecimento de tensões internas.

Normalmente, a retração por secagem dos blocos de concreto é afetada principalmente pelo tipo de agregado utilizado, o método de cura e o método de estocagem (PANARESE, KOSMATKA e RANDALL, 1991). Além desses fatores, a retração pode ser afetada também pelo grau de compactação do bloco e o consumo de cimento utilizado (CALÇADA, 1998).

Uma outra maneira de diminuir o potencial de retração da alvenaria é a correta secagem das unidades de alvenaria antes do seu assentamento na parede (PANARESE, KOSMATKA e RANDALL, 1991), sendo que o grau de secagem poderá variar de acordo com a localidade e o uso.

Panarese, Kosmatka e Randall (1991) comentam que os códigos e as normas normalmente limitam o conteúdo de umidade na hora do assentamento em 40% da absorção total. Esses autores recomendam que as unidades de alvenaria devam ser assentadas com conteúdo de umidade correspondente ou ligeiramente abaixo da média anual de umidade relativa do local ou das condições atmosféricas ambientais que os blocos de concreto serão expostos.

Cabe salientar que atualmente a norma brasileira não recomenda valores de umidade do bloco de concreto no momento de assentamento. Na penúltima edição, a norma NBR 6136 (1994) apresentava valores máximos da umidade dos blocos no momento do assentamento que variavam em função da umidade relativa anual no local de sua aplicação e da retração linear do bloco de concreto. De acordo com os valores, quanto menor era o valor da retração linear dos blocos de concreto, maior era a sua umidade máxima permitida de assentamento. A umidade máxima em porcentagem variava de 25 % (menor umidade relativa do local,  $UR < 50\%$ , e maior valor de retração linear do bloco de concreto, de 0,045% a 0,065%) e 45% (maior umidade relativa do local,  $UR \geq 75\%$ , e menor valor de retração linear, menor ou igual a 0,03%). Maiores informações podem ser obtidas em Prudêncio Jr., Oliveira e Bedin (2002).

### **Observações gerais sobre os requisitos de norma**

A respeito da absorção de água, tanto a norma brasileira quanto a norma americana recomendam apenas valores máximos de absorção de água total. Valores superiores a 10% indicariam blocos muito porosos e, como consequência, com baixa resistência à compressão. Este parâmetro de controle de norma está muito relacionado com a qualidade do bloco de concreto, mesmo sabendo que blocos de concreto muito porosos teriam a tendência de absorverem rapidamente a água da argamassa de assentamento podendo prejudicar a aderência.

Por outro lado, blocos de concreto com absorção de água muito baixa (próximo a zero) praticamente não succionariam água da argamassa podendo assim também prejudicar a aderência entre a argamassa de assentamento e o bloco de concreto. Este é o caso de blocos de



concreto a serem empregados em alvenarias aparentes, que deveriam apresentar uma baixa absorção de água. Este tipo de bloco quase impermeável irá exigir o uso de argamassas especiais para promover a aderência (PRUDÊNCIO JR., OLIVEIRA e BEDIN, 2002) e no desenvolvimento dessa argamassa deverá ser considerado que a aderência iria ocorrer através de mecanismos diferentes daqueles que ocorrem entre argamassas tradicionais e blocos (MEDEIROS, 1993).

A revista MODERN CONCRETE (1978) *apud* Medeiros (1993) fala a respeito de pesquisas realizadas no sentido de desenvolver argamassas sintéticas (poliméricas à base de água) aplicadas com pistolas especiais de extrusão (“*caulking gun*”) para assentamento de blocos concebidos para uso externo, apresentando uma absorção de água muito pequena. O autor comenta que a fonte (MODERN CONCRETE, 1978) não relata a conclusão da pesquisa nem os possíveis resultados práticos.

Outro fator a ser considerado no caso de blocos de concreto com baixa absorção é o problema causado no processo de assentamento dos blocos. Segundo Prudêncio Jr., Oliveira e Bedin (2002), se não existir uma absorção adequada da água de assentamento, não ocorrerá o enrijecimento das juntas, o que prejudica o assentamento das fiadas posteriores da alvenaria. Isto causará uma perturbação nas juntas inferiores da parede recém assentadas, comprometendo a qualidade (ocorrência de desalinhamento e desaprumos) e levando a uma perda de produtividade do serviço.

Já no caso de blocos de concreto com alta absorção de água, poderia se pensar em realizar a compensação através da prévia molhagem das unidades como é realizado quando se utilizam blocos ou tijolos cerâmicos de alta sucção. Porém, segundo Medeiros (1993), esta prática, deve ser evitada no caso dos blocos de concreto, pois como o concreto convencional, o bloco de concreto, em presença de umidade expande e, na secagem, retrai. Assim, estes componentes apresentam grande potencial de retração na secagem (MEDEIROS, 1993) e, como estarão aderidos à argamassa, pode ocorrer sua fissuração.

A norma brasileira NBR 8798 (1985), entretanto, recomenda que em dias muito quentes, secos e com vento, os blocos de concreto sejam levemente umedecidos com uma broxa de pintor, alguns minutos antes da aplicação.

Lamana *et al.* (1970) *apud* Carasek (1996) avaliaram a aderência para quatro condições de umidade inicial dos blocos de concreto (seco em estufa, com a umidade de equilíbrio, com uma umidade intermediária entre seco e saturado, e saturado) e cinco traços de

argamassas à base de cimento, cal e areia. Para todas as argamassas avaliadas, sempre as condições extremas de umidade inicial dos blocos de concreto (seco e saturado) produziram resistências de aderência mais baixas, indicando a existência de teores ótimos de umidade inicial também para os blocos de concreto.

Para construções em temperaturas quentes (climas com temperatura superior a 38°C ou climas com temperatura maior a 32°C e com velocidade de vento maior que 13 km/h), Panarese, Kosmatka e Randall (1991) afirmam que uma cura úmida é muito efetiva, particularmente para o desenvolvimento da resistência de aderência, principalmente nas paredes que estão sujeitas à flexão.

Como conclusão, pode-se verificar que as propriedades mecânicas da parede serão influenciadas pelas propriedades dos blocos de concreto (resistência à compressão, absorção de água e retração por secagem), o teor de umidade do bloco no momento do assentamento e as condições de cura da alvenaria.

As condições de cura da alvenaria influenciariam tanto a retração dos blocos de concreto como a cura da argamassa. Neste caso, a cura da argamassa se confunde com a cura da própria parede resistente (MEDEIROS, 1993).

Cabe ressaltar aqui também que existem outros fatores que interferem diretamente na qualidade e propriedades da alvenaria como os procedimentos de execução e a mão-de-obra. Os procedimentos de execução como, por exemplo, o tempo de espera para o assentamento das unidades após a colocação da argamassa de assentamento e a limpeza dos blocos de concreto. Além desses, os fatores mais importantes relacionados à mão-de-obra são os seguintes: proporcionamento e misturas incorretas da argamassa; ajuste incorreto da taxa de sucção dos blocos e tijolos; execução incorreta das juntas de argamassa; perturbação das unidades após o assentamento; prumo, alinhamento e nível incorretos das paredes e proteção incorreta da alvenaria recém-construída (MEDEIROS, 1993). Esse autor faz uma revisão detalhada de cada item aqui comentado. Embora todos esses fatores sejam de extrema importância, este estudo se concentrará nas propriedades dos blocos de concreto que poderão influenciar na interação com a argamassa de assentamento tentando eliminar ao máximo esses fatores externos.

A seguir serão abordadas outras características dos blocos de concreto que não são especificadas por normas brasileiras, porém irão influenciar diretamente a interação entre o bloco de concreto e a argamassa de assentamento.

### 2.1.1 Propriedades dos blocos de concreto intervenientes na interação

Como já comentado anteriormente, as propriedades dos blocos de concreto influenciam fortemente a interação entre a argamassa e o substrato. Dentre essas propriedades podemos citar: a distribuição dos tamanhos dos poros, a porosidade, a capacidade de sucção de água (absorção de água total e inicial) e a textura superficial.

Cabe salientar que o bloco de concreto é um produto já consolidado no momento do assentamento da alvenaria. Isso quer dizer que o bloco de concreto tem propriedades já definidas quando acontece a interação com a argamassa de assentamento.

Freqüentemente, a distribuição dos tamanhos dos poros é determinada por meio de porosimetria por intrusão de mercúrio. Este é um método clássico e largamente utilizado para a investigação de estruturas porosas, principalmente para fins comparativos entre os materiais. Segundo Diamond (1999), este método não indica a real distribuição dos tamanhos dos poros em estruturas de cimento hidratado. Um dos principais fatores é que este método pode superestimar o volume de poros menores em detrimento ao dos maiores (DIAMOND e LEEMAN, 1995). Além disso, a técnica se baseia na relação entre o diâmetro de poro, assumido como sendo esféricos e que os poros sejam independentes uns dos outros, compondo um conjunto de poros paralelos conectados individualmente à superfície do material. Assim, é desconsiderada a conectividade do espaço poroso.

Além da distribuição dos tamanhos dos poros, outro aspecto importante é a interconexão desses poros. Ainda não existe um método consagrado para avaliar a interconexão dos poros, mas é de conhecimento científico que este aspecto é importante.

Com relação à porosidade, esta propriedade pode ser definida como a relação entre o volume de vazios e o volume total do material. Num material, pode-se dividi-la em porosidade aberta e porosidade fechada. A porosidade aberta é aquela acessível pelo exterior, seja por meio de um líquido ou gás. Normalmente a porosidade aberta pode ser obtida pela medida das massas do material seco e saturado em água ou alternativamente pelo cálculo da porosidade acumulativa obtida pela intrusão de mercúrio. A porosidade fechada é aquela não acessível pelo exterior e difícil de ser medida. Uma maneira de avaliar é a análise de imagens na estrutura devidamente seccionada.

Geralmente os poros dos materiais sólidos apresentam formas e dimensões variadas sendo de maior interesse nesse estudo os poros abertos de dimensão capilar, chamados de poros capilares<sup>4</sup>.

Como a interação entre a argamassa de assentamento e o bloco de concreto ocorre primeiramente pela transferência de água da argamassa para o bloco, esses poros capilares são os que têm capacidade potencial de succionar água das argamassas (CARASEK, 1996). Segundo esta autora, para o estudo de transferência de água não são de interesse direto os outros poros não capilares (micro e macro poros) e as cavidades fechadas<sup>5</sup>.

Tanto a porosidade do material, quanto a distribuição dos tamanhos dos poros e também interconexão desses poros irão influenciar na capacidade de absorção de água do bloco de concreto. Esses fatores estão intimamente relacionados entre si, uma vez que o movimento de água e outros líquidos nos sólidos porosos dependem, em grande parte, da microestrutura do material poroso. Dentre as propriedades da microestrutura, pode-se destacar o tamanho efetivo, a configuração e a distribuição dos poros (CARASEK, 1996). Cabe ressaltar que a movimentação dos líquidos também dependerá das propriedades dos mesmos, como tensão superficial e viscosidade.

A capacidade de absorção<sup>6</sup> de água do material pode ser dividida em total e por capilaridade. A absorção de água total seria a capacidade máxima do material em absorver líquido ou gás em todas as direções. Normalmente esta propriedade é medida pela diferença de massa do material após sua imersão em água e completa saturação. A norma NBR 12118 (2006) especifica os procedimentos de ensaio e a NBR 6136 (2006), como já mencionado anteriormente, limita o valor máximo em 10% para os blocos de concreto.

Já a absorção de água por capilaridade<sup>7</sup> se refere ao transporte proveniente do desequilíbrio de forças devido à sucção capilar, também conhecida como tensão de sucção, em que a água se desloca no interior do substrato poroso. Geralmente o ensaio para avaliar essa propriedade consiste em colocar uma face do material seco apoiado em contato com uma lâmina

---

<sup>4</sup> Classificação segundo Metha e Monteiro (1994): micro poro – diâmetro < 0,1 µm; poro capilar – 0,1 µm ≤ diâmetro ≤ 20µm; macro poro – diâmetro > 20 µm.

<sup>5</sup> Poros que não são acessíveis pelo exterior (Carasek, 1996).

<sup>6</sup> Também pode ser encontrado na literatura como capacidade de sucção. Nesta tese será utilizado o termo capacidade de absorção de água, pois é o mesmo utilizado na norma brasileira NBR 15259 (2005) para determinar a capacidade de absorção de água de argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos e na NBR 9779 (1995) para argamassas e concretos endurecidos.

<sup>7</sup> O termo é usado para descrever os efeitos da elevação de um líquido em um tubo aberto de pequena seção transversal (SEARS; ZEMANSKY, 1978).

de água de maneira que ocorra a ascensão vertical do líquido no interior do material. Nos tempos pré-determinados verifica-se o incremento de massa do material.

No entendimento de Medeiros e Sabbatini (1994), a absorção de água inicial por capilaridade é mais representativa para aderência bloco-argamassa do que a absorção total. A absorção total tem maior importância em países onde os blocos estão sujeitos a eventuais congelamentos.

Carasek (1996) ressalta também que a velocidade de sucção de água, isto quer dizer, velocidade de absorção de água por capilaridade é muito mais importante para prever a capacidade de aderência de um substrato do que a quantidade de água total (absorção total) que uma unidade de alvenaria pode absorver durante longos períodos.

Muitos autores e literaturas confundem a capacidade de absorção total e por capilaridade. Ressalta-se aqui que essas propriedades devem ser analisadas separadamente. Num estudo realizado no Grupo e Tecnologia em Materiais e Componentes a base de Cimento Portland (GTec) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) para viabilizar a utilização de alvenarias aparentes de bloco de concreto para habitação popular foram estudados blocos de concreto que deveriam apresentar baixa permeabilidade assim como as argamassas de assentamento. Para obter essas características foi necessária a utilização de aditivos hidrofugantes ou impermeabilizantes na confecção dos blocos de concreto. Para os blocos de concreto aditivados, os resultados de absorção total foram de aproximadamente 7%, dentro do limite estabelecido pela NBR 6136 (2006). Porém, a absorção de água por capilaridade reduziu drasticamente (WEIDMANN, CASALI e PRUDÊNCIO JR., 2006). Cabe salientar que possivelmente essa diferença na absorção de água por capilaridade dos blocos de concreto irá influenciar na resistência à aderência.

Os índices mais difundidos para avaliar a capacidade de absorção de água por capilaridade de uma unidade de alvenaria são: o IRA (*Initial Rate Absortion*), o IRS (*Initial Rate of Suction*) e o índice de Haller *apud* Carasek (1996). Todos esses índices são normalizados por normas estrangeiras e são específicos para unidades de alvenaria. No Brasil, a única norma para determinação da absorção de água por capilaridade da unidade de alvenaria em vigor é para componentes cerâmicos (NBR 15270 - 3, 2005). O ensaio descrito nesta norma é semelhante ao IRA (*Initial Rate Absortion*) especificado pela norma americana. Além disso, existem outras normas brasileiras, porém são para argamassas para assentamento e revestimento, NBR 15259 (2005), e argamassas e concretos endurecidos, NBR 9779 (1995).

Os ensaios consistem basicamente em colocar a face do componente em contato com uma lâmina de água durante um período pré-determinado e determinar o acréscimo de massa da unidade. As diferenças entre esses métodos são: a profundidade da lâmina de água (varia de 3,2 a 10 mm), a umidade das alvenarias antes do ensaio (seca em estufa - IRA e NBR 9779, 1995 - ou ao ar - IRS, índice de Haller e NBR 15259, 2005) e área considerada no cálculo (área da face em contato com a água ou também a área lateral, apenas o índice de Haller).

Na Tabela 2 apresentam-se as taxas de absorção de água e a norma correspondente, profundidades da lâmina de água, tempo de ensaio e como o resultado deve ser expresso.

Tabela 2. Taxas de absorção e a norma correspondente, profundidades da lâmina de água, tempo de ensaio e como o resultado deve ser expresso.

Taxa de absorção	Norma	Profundidade <sup>8</sup> da lâmina de água (mm)	Tempo (minuto)	Resultado
IRA	ASTM C67 (1991)*	3,2 ± 0,25	1	g/30pol <sup>2**</sup> /min
IRS	RILEM LUM A 5	10	1	g/m <sup>2</sup> /min
Índice de Haller	NBN B 24-202	10	1	g/dm <sup>2***</sup> /min
Índice de absorção inicial	NBR 15270-3 (2005)	3,0 ± 1	1	g/193,55 cm <sup>2</sup> /min
Absorção de água por capilaridade (C) <sup>++</sup>	NBR 9779 (1995)	5 ± 1	180, 360, 1440, 2880 e 4320	g/cm <sup>2</sup>
Absorção de água por capilaridade (A <sub>t</sub> <sup>+</sup> ) e do coeficiente de capilaridade (C)	NBR 15259 (2005)	5 ± 1	10 e 90	A <sub>t</sub> - g/cm <sup>2</sup> C - g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup>

\* Esta norma descreve este ensaio somente para componentes cerâmicos.

\*\* 30 pol<sup>2</sup> é igual a 193,55 cm<sup>2</sup>.

\*\*\* no cálculo da área também é considerada a área lateral (perímetro do bloco *versus* 10 mm).

++ Absorção de água por capilaridade para cada tempo pré-determinado.

+ A<sub>t</sub> – Absorção de água por capilaridade para cada tempo pré-determinado.

Segundo Gallegos (1995), de todos esses ensaios, com pequenas diferenças a parte, se obtém um índice que expressa a avides de água livre dos poros capilares de um material nos primeiros instantes de contato com o líquido.

Os valores obtidos por diversos autores para taxa de sucção inicial são bastante distintos para os diferentes substratos e um resumo está apresentado na Tabela 3.

<sup>8</sup> O termo profundidade aqui se refere a altura da lâmina de água.

Tabela 3. Valores de taxa de absorção inicial para dois tipos de unidade de alvenaria (blocos de concreto e cerâmicos) obtidos por diversos autores.

Tipo de unidade	Resistência à compressão (MPa)	Taxa de absorção	Valores Obtidos	Valores Corrigidos ( $\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$ )	Face da unidade analisada	Autor(es)
Bloco de concreto	8,4	IRA	59 $\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$	59,00	Assentamento/Fundo	Medeiros (1993)
Bloco de concreto	10,8	IRA	63 $\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$	63,00	Assentamento/Fundo	
Bloco de concreto	14,9	IRA	55 $\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$	55,00	Assentamento/Fundo	
Bloco de Concreto F1	6,01	IRA	5 e 45 $\text{g}/193 \text{ cm}^2/\text{min}$	0,03 a 0,23	Assentamento/Fundo	Solórzano (1994)
Bloco de Concreto F2	5,09	IRA	45 a 90 $\text{g}/193 \text{ cm}^2/\text{min}$	0,23 a 0,47	Assentamento/Fundo	
Bloco de Concreto F3	4,55	IRA	90 a 135 $\text{g}/193 \text{ cm}^2/\text{min}$	0,47 a 0,70	Assentamento/Fundo	
Bloco de concreto (lote 1)	10,22	IRA	25,19 $\text{g}/30\text{in}^2/\text{min}$	0,13	Assentamento/Fundo	Barros e Sabbatini (1995)
Bloco de concreto (lote 2)	10,64	IRA	92,81 $\text{g}/30\text{in}^2/\text{min}$	0,48	Assentamento/Fundo	
Bloco de concreto	7,64	IRS	53 $\text{g}/200 \text{ cm}^2/\text{min}$	0,27	Lateral*	Carasek (1996)
Bloco de concreto	14,9	IRS	8,0 $\text{kg}/\text{m}^2/\text{min}$	0,80	Assentamento/Fundo	Forth, Brooks e Tapsir (2000)
Bloco de concreto	2,3	IRS	74,4 $\text{g}/200 \text{ cm}^2/\text{min}$	0,37	-	Scartezini e Carasek (2003)
Bloco de concreto	4,67	IRA	58,3 $\text{g}/30 \text{ pol}^2/\text{min}$	0,30	Lateral*	Paes, Bauer e Carasek (2003)
Bloco de concreto	-	IRA	3,28 $\text{kg}/\text{m}^2/\text{min}$	0,33	Assentamento/Fundo	Totoev e James (2004)
Blocos cerâmicos – Tipo S	12,69	IRS	12 $\text{g}/200 \text{ cm}^2/\text{min}$	0,06	Lateral*	Carasek (1996)
Blocos cerâmicos – Tipo T	2,29	IRS	14 $\text{g}/200 \text{ cm}^2/\text{min}$	0,07	Lateral*	Carasek (1996)
Tijolos cerâmicos Tipo 1	-	IRA	1,0 $\text{g}/30 \text{ in}^2/\text{min}$	0,01	Assentamento/Fundo	Jennings <i>et al.</i> (2000)
Tijolos cerâmicos Tipo 2	-	IRA	14,5 $\text{g}/30 \text{ in}^2/\text{min}$	0,08	Assentamento/Fundo	Jennings <i>et al.</i> (2000)
Tijolos cerâmicos Tipo 3	-	IRA	19,4 $\text{g}/30 \text{ in}^2/\text{min}$	0,10	Assentamento/Fundo	Jennings <i>et al.</i> (2000)
Tijolos cerâmico Tipo 1	25,4	IRS	1,91 $\text{kg}/\text{m}^2/\text{min}$	0,19	Assentamento/Fundo	Forth, Brooks e Tapsir (2000)
Tijolos cerâmicos TB1	10,67	IRA	2,86 $\text{kg}/\text{m}^2/\text{min}$	0,29	Assentamento/Fundo	Sarangapani, Reddy e Groot (2002)
Tijolos cerâmicos TB2	4,29	IRA	1,31 $\text{kg}/\text{m}^2/\text{min}$	0,13	Assentamento/Fundo	Sarangapani, Reddy e Groot (2002)
Tijolos cerâmicos HB	3,53	IRA	3,53 $\text{kg}/\text{m}^2/\text{min}$	0,35	Assentamento/Fundo	Sarangapani, Reddy e Groot (2002)
Bloco cerâmico	4,5	IRS	16,9 $\text{g}/200 \text{ cm}^2/\text{min}$	0,08	-	Scartezini e Carasek (2003)
Bloco cerâmico	4,52	IRA	16,3 $\text{g}/30\text{pol}^2/\text{min}$	0,08	Lateral*	Paes, Bauer e Carasek (2003)
Bloco cerâmico	10,76	IRA	2,67 $\text{kg}/\text{m}^2/\text{min}$	0,27	Assentamento/Fundo	Niques <i>et al.</i> (2003)
Tijolos cerâmico Tipo D	-	IRA	3,47 $\text{kg}/\text{m}^2/\text{min}$	0,35	-	Totoev e James (2004)
Tijolos cerâmico Tipo C	-	IRA	3,28 $\text{kg}/\text{m}^2/\text{min}$	0,33	-	Totoev e James (2004)

\* Autores que avaliaram a absorção de água inicial na face lateral do bloco de concreto, pois essa face que seria aplicado a argamassa de revestimento.

- não informado pelo (s) autor (es).

Na Tabela 3 observa-se primeiramente que não existe uma uniformização das unidades que são indicadas a taxa de absorção de água inicial. A norma americana ASTM C 67 (1991) padroniza uma determinada área que deve ser considerado no resultado do ensaio ( $193,55 \text{ cm}^2$ ). Vale ressaltar novamente que esta norma é destinada a componentes cerâmicos. Na realidade deveria ser considerada simplesmente a área em contato com a água.

Outro fator que deve ser analisado é em relação à face onde foi realizado o ensaio, pois pode influenciar nos resultados. O ideal é que o ensaio seja realizado na área que irá entrar em contato com a argamassa, no caso dos estudos que irão analisar a interação entre argamassa e a unidade de alvenaria.

Pode-se verificar, também na Tabela 3, que não existe uma correlação entre a resistência à compressão e os valores obtidos de taxa de absorção de água inicial, por exemplo, nos valores obtidos por Medeiros e Sabbatini (1994) e Sarangapani, Reddy e Groot (2002). Entretanto, quando se analisa os valores obtidos por Solórzano (1994), existe uma indicação que quanto maior a resistência à compressão, menor a taxa de absorção inicial.

Além disso, os dados da Tabela 3 mostram a variabilidade grande dos resultados obtidos para o mesmo material apenas de lotes diferentes (por exemplo, dados de Barros e Sabbatini, 1995). Estes autores constataram no primeiro lote valores de taxa de absorção inicial de  $0,13 \text{ g/cm}^2/\text{min}$  (coeficiente de variação de 30,32%) e já no segundo lote, valores de  $0,48 \text{ g/cm}^2/\text{min}$  (coeficiente de variação de 25,09%), sendo constatada uma resistência à compressão semelhante nos lotes. Isso mostra claramente que deve haver um critério diferente para a separação dos blocos de concreto que serão utilizados para a caracterização em relação à taxa de absorção de água inicial.

Os valores de taxa de absorção inicial dos blocos de concreto em relação aos obtidos para os tijolos cerâmicos, normalmente são menores (por exemplo, os valores obtidos por Carasek, 1996 e Paes, Bauer e Carasek, 2003). Cabe salientar que isso não é um comportamento geral, pois os materiais constituintes dos blocos e tijolos e o processo de fabricação podem mudar essa propriedade.

Muitos autores tentam correlacionar os valores de taxa de absorção de água inicial com outras propriedades da alvenaria como a resistência de aderência. Esta suposta conexão com o IRA veio da noção de que os valores obtidos poderiam ser correlacionáveis com a água que o tijolo succiona da argamassa (GROOT e LARBI, 1999).



Estudos realizados por Scartezini e Carasek (2003) não verificaram uma tendência entre a taxa de absorção de água inicial e a perda de água da argamassa, tanto para os blocos de concreto e como para os cerâmicos. Porém os autores observaram uma tendência de que, com o aumento da taxa de absorção de água inicial, ocorre também um aumento da perda de água. Entretanto, não foi possível uma correlação da perda de água com a resistência de aderência.

Já Paes, Bauer e Carasek (2003) verificaram que os valores de taxa de absorção de água inicial (IRA) do bloco de concreto estudado foram superiores aos do bloco cerâmico (Tabela 3). No entanto, a taxa de absorção de água por capilaridade, ao longo do tempo, se inverteu e o bloco cerâmico absorveu uma maior quantidade de água. Isto indica que o IRA pode não ser o melhor parâmetro a ser considerado na avaliação do desempenho do revestimento quando se estuda a movimentação de água da argamassa no estado fresco frente à base absorvente, ao longo do tempo (PAES, BAUER e CARASEK, 2003).

Solórzano (1994) também avaliou a correlação entre a taxa de absorção de água inicial (IRA) dos blocos de concreto com a resistência de aderência. Este autor observou que, para uma mesma argamassa, a absorção do bloco teve uma influência importante no desenvolvimento de aderência entre bloco-argamassa, porém não foi possível obter uma correlação entre esses dois fatores (maiores informações 2.3.3). A mesma tendência foi obtida por Sarangapani, Reddy e Groot (2002). Além disso, os substratos com baixa e média taxa de absorção inicial (IRA) tiveram resistência de aderência muito próximas.

Esses resultados vêm ressaltar o comentado por Gallegos (1995) que a sucção de água exercida pela unidade depende de modo considerável da sua estrutura de poros (o mesmo também foi afirmado por Carasek, 1996). Assim, a taxa de absorção inicial – IRA - e seus similares, podem não representar com fidelidade o comportamento absorvente da unidade frente à argamassa ao longo do tempo, isso porque o IRA não está relacionado com a distribuição dos tamanhos dos poros e sim apenas com o conteúdo de poros capilares do substrato. Além disso, essa taxa é determinada em um minuto e, por estar limitado a esse tempo pequeno, pode não medir a real capacidade de absorção de água que, na prática, pode ser mais elevada, uma vez que as forças capilares poderão continuar durante um tempo mais prolongado (GALLEGOS, 1995).

Taha, El-Dieb e Shrive (2001) demonstraram essa afirmação de Gallegos (1995) determinando a taxa de absorção inicial (IRA) com um e dois minutos para tijolos cerâmicos. Os autores verificaram diferenças significativas nos valores de IRA com dois minutos comparados com os valores de IRA de um minuto, demonstrando uma natural arbitrariedade nos testes com

um minuto, usados no IRA, causando uma medida inconsistente em relação às outras medidas obtidas (sortividade e absorção).

Para tentar amenizar esse problema, Gummerson, Hall e Hoff (1980), baseados na norma DIN 52617 (1987), empregaram um parâmetro para descrever o comportamento de absorção livre de tijolos e outros materiais de construção, denominado sortividade<sup>9</sup>. Este parâmetro reflete o comportamento de absorção de água ao longo do tempo e é obtido pela determinação dos acréscimos de água absorvida por uma face do tijolo, imersa em uma lâmina de água em intervalos de tempos pré-definidos. Os resultados de acréscimo de volume de água absorvida por unidade de área são representados graficamente em função da raiz quadrada do tempo. A declividade da reta obtida é a sortividade (S).

A Tabela 4 apresenta os valores de sortividade (S) de alguns materiais de construção obtidos por alguns autores.

Tabela 4. Valores de sortividade (S) para alguns materiais de construção obtidos por alguns autores.

Tipo de unidade	Sortividade (mm.min <sup>-1/2</sup> )	Autor(es)
Bloco de concreto celular autoclavado	0,50	Gummerson, Hall e Hoff, (1980)
Bloco de concreto	0,20	
Bloco sílico-cálcario	0,89	
Tijolos cerâmicos	0,32 a 2,72	
Argamassa 1:3 (cimento: areia)	0,70	
Argamassa 1:1:6 (cimento: cal: areia)	1,70	
Argamassa 1:3:12 (cimento: cal: areia)	3,30	Paes, Bauer e Carasek (2003)
Blocos de concreto	0,60	
Blocos cerâmicos	0,50	Scartezini e Carasek (2003)
Blocos de concreto	0,30*	
Blocos cerâmicos	0,40*	

\* - Método de ensaio de Wilson, Carter e Hoff (1999) *apud* Scartezini e Carasek (2003).

Pode-se observar na Tabela 4 que o bloco de concreto apresentou a menor velocidade de absorção de todas as unidades de alvenaria caracterizada pelos referidos autores, com exceção dos valores obtidos por Paes, Bauer e Carasek (2003). Já para os tijolos cerâmicos, a sortividade foi muito variável e depende do seu tipo.

Esse índice de sortividade também é encontrado na norma alemã DIN 52617 (1987) *apud* Carasek (1996). Porém, neste caso, segundo a autora, a absorção superficial é a medida da massa de água succionada pela superfície do corpo-de-prova em contato com ela, durante intervalos de tempo, expresso em kg/m<sup>2</sup>/h<sup>1/2</sup>.

<sup>9</sup> Termo em inglês “*sorptivity*”, que descreve a habilidade de um material absorver e transmitir por capilaridade (HALL, 1977). Também pode ser denominado como coeficiente de absorção de água e é expresso em mm.min<sup>-1/2</sup>.

Segundo Gummerson, Hall e Hoff (1980) e Taha, El-Dieb e Shrive (2001), a sortividade ( $S$ ) multiplicada pela densidade da água pode ser definida pela declividade da reta obtida do gráfico entre o acréscimo de água por área ( $\Delta m/a$ ) *versus* a raiz do tempo ( $t^{1/2}$ ).

Outro aspecto que deve ser apontado é a textura superficial rugosa dos blocos de concreto. Uma vez que a aderência é de caráter fundamentalmente mecânico, ela também dependerá da textura superficial, ou seja, a rugosidade dos substratos (CARASEK, 1996). É normal acreditar-se que blocos com textura superficial rugosa possam possibilitar uma maior aderência quando comparados com os de textura lisa, pois em superfícies rugosas se daria uma melhor ação de encunhamento da pasta de cimento (MEDEIROS, 1993).

O intertravamento mecânico, pela penetração da argamassa, nas irregularidades do substrato foi esquematizado por Hull e Clyne (1996) *apud* Gonçalves (2004) e pode ser observado na Figura 6.



Figura 6. Diagrama esquemático do intertravamento mecânico entre adesivo e substrato (HULL & CLYNE, 1996 *apud* GONÇALVES, 2004).

Cabe ressaltar que, dependendo da aspereza da superfície, a argamassa de uma determinada consistência pode encontrar maior dificuldade de penetrar nas cavidades e, assim, um efeito inverso tende a reduzir a superfície de contato e, por conseqüência, a aderência (MEDEIROS, 1993).

Segundo Carasek (1996), ainda não é claro o grau no qual as variações na textura das superfícies afetam a aderência e a interação entre argamassa e unidade de alvenaria.

Os estudos realizados em tijolos cerâmicos são controversos a respeito da rugosidade. Han e Kishitani (1984) *apud* Carasek (1996) inferiram que, quanto maior a irregularidade da superfície do tijolo maior serão as resistências à aderência. Entretanto, Carasek (1990) constatou que o tijolo cerâmico de menor rugosidade superficial aparente apresentou as maiores resistências de aderência. Cabe ressaltar que a taxa de absorção inicial do tijolo rugoso era superior ao tijolo liso.

De acordo com o que foi exposto, percebe-se claramente que existem muitos fatores que influenciam na resistência de aderência e possivelmente, nos estudos apresentados, não foi possível separar isoladamente a variável da textura superficial.

O estudo realizado por Ribar e Dubovoy (1988) *apud* Carasek (1996) avaliou tijolos com os mesmos valores de taxa absorção inicial para vários tipos de argamassas. Esses autores constataram que o tijolo mais rugoso, ou seja, de maior área superficial, propiciou a maior resistência de aderência.

A maioria dos estudos realizados sobre textura superficial é para tijolos cerâmicos e na literatura não foi possível encontrar estudos avaliando a rugosidade para blocos de concreto.

Além disso, a rugosidade do bloco de concreto é resultante do seu processo de fabricação e maiores detalhes serão abordados no item 3.2.2.

O parâmetro rugosidade é muito difícil de avaliar. Os equipamentos utilizados pelos autores comentados anteriormente foram um fotomicroscópio (HAN e KISHITANI, 1984 *apud* CARASEK, 1996) e “*surface profilometer*” (RIBAR e DUBOVOY, 1988 *apud* CARASEK, 1996). No Brasil não foi possível encontrar nenhum equipamento que avaliasse a rugosidade das unidades. Existem equipamentos para medir rugosidade de pavimentos e de metais (rugosímetro). O primeiro equipamento é utilizado para grandes áreas sendo inviável para as unidades de alvenaria e o segundo é normalmente utilizado para metais.

### **Observações gerais sobre as propriedades dos blocos de concreto**

Com relação às propriedades dos blocos de concreto pode-se perceber que existe uma necessidade de conhecê-las para analisar a interação destas com a argamassa de assentamento. O que mais se ressalta é a capacidade de absorção de água por capilaridade que irá influenciar de forma considerável na transferência de água da argamassa para o bloco de concreto e, como consequência, nas propriedades da alvenaria. Além disso, não foram encontrados na literatura valores de absorção de água por capilaridade que influenciem na interação entre argamassa e bloco de concreto como existe para tijolos cerâmicos. Isso possivelmente se deve ao fato de ainda não se ter procedimentos adequados para a determinação dos valores de absorção de água por capilaridade em função do tempo.

## 2.2 ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO

A norma NBR 8798 (1985) define a argamassa de assentamento como: “elemento utilizado na ligação entre os blocos de concreto garantindo a distribuição uniforme dos esforços, compostos de cimento, agregado miúdo, água e cal ou outra adição destinada a conferir plasticidade e retenção de água de hidratação à mistura”.

A argamassa de assentamento para alvenaria estrutural tem funções bem definidas segundo o código CP – 121 *Walling da British Standards Institution (BSI) (apud SABBATINI, 1986)* que são:

- a) unir solidamente as unidades de alvenaria e ajudá-las a resistir aos esforços laterais;
- b) distribuir uniformemente as cargas atuantes na parede por toda a área resistente dos componentes da alvenaria;
- c) absorver as deformações naturais a que a alvenaria estiver sujeita; e
- d) selar as juntas contra a penetração de água de chuva.

Para a argamassa de assentamento ter a capacidade de prover as funções citadas ela deve apresentar as seguintes características (SABBATINI, 1986):

- a) ter trabalhabilidade suficiente para que o pedreiro produza com rendimento otimizado um trabalho satisfatório, rápido e econômico;
- b) ter capacidade de retenção de água suficiente para que uma elevada sucção das unidades não prejudique as suas funções primárias;
- c) adquirir rapidamente alguma resistência depois de assentada para resistir a esforços que possam atuar durante a construção;
- d) desenvolver resistência adequada para não comprometer a alvenaria da qual faz parte, não devendo, no entanto, ser mais resistente que os componentes que ela une;
- e) ter adequada aderência aos componentes a fim de que a interface possa resistir a esforços cisalhantes e de tração e prover a alvenaria de juntas estanques à água da chuva;

- f) ser durável e não afetar a durabilidade de outros materiais ou da construção como um todo; e
- g) ter suficiente resiliência (baixo módulo de deformação) de maneira a acomodar as deformações intrínsecas (retração na secagem e de origem térmica) e as decorrentes de movimentos estruturais de pequena amplitude da parede de alvenaria, sem fissurar.

A seguir serão apresentados os materiais constituintes e o seu proporcionamento, assim como também as principais propriedades das argamassas de assentamento, tanto no estado fresco (trabalhabilidade, capacidade de retenção de água e teor de ar incorporado) como no estado endurecido (resistência à compressão e módulo de deformação). Além disso, serão discutidos os ensaios associados às essas propriedades.

### 2.2.1 Materiais constituintes e proporcionamento

As argamassas de assentamento podem ser constituídas de cimento, agregado miúdo, cal e/ou aditivos (incorporadores de ar, retentores de água ou plastificantes) e água. Normalmente, esses aditivos são utilizados nas argamassas industrializadas<sup>10</sup>.

Neste trabalho será apresentado apenas um resumo dos materiais constituintes. Informações mais detalhadas podem ser obtidas em Sabbatini (1986), Solórzano (1994), Cincotto, Silva e Carasek (1995), Carasek (1996), Calçada (1998), Casali (2003), entre outros.

#### **Cimento**

O cimento proporciona resistência às argamassas e aumenta a resistência de aderência, além de colaborar em sua trabalhabilidade e retenção de água. Os cimentos que apresentam maior superfície específica têm potencial para tornar as argamassas mais trabalháveis e com maior retenção (PRUDÊNCIO JR., OLIVEIRA e BEDIN, 2002).

Por outro lado, um excesso de cimento (quando ultrapassa um terço do volume total de argamassa) aumenta exageradamente a ocorrência de retração da argamassa atentando contra

---

<sup>10</sup> Estes produtos, na realidade, podem ser classificados em dois grupos: argamassas prontas (entregues em contêineres) e argamassas em que é necessário apenas o acréscimo de água a sua composição final (PRUDÊNCIO JR., OLIVEIRA e BEDIN, 2002).

a durabilidade da aderência (GALLEGOS, 1989; PRUDÊNCIO JR., OLIVEIRA e BEDIN, 2002).

Gallegos (1989) afirma que o cimento Portland é um componente essencial para a argamassa, mas deve-se entender que ele não pode alcançar seu potencial sem a presença da cal. Existe, na prática, a dosagem de argamassa sem cal, porém esta leva a problemas na construção de alvenaria como juntas excessivamente grossas devido à sua falta de trabalhabilidade.

### Cal

Segundo Sabbatini (1984), as funções básicas da cal nas argamassas de assentamento são: aumento da coesão e plasticidade (conseqüentemente da trabalhabilidade), aumento da capacidade de reter água, diminuição da retração por secagem e aumento da aderência (extensão e durabilidade).

### Agregado miúdo

O agregado miúdo atua como inerte na mistura, reduz a proporção dos aglomerantes permitindo aumentar seu rendimento (ou reduzir o custo da argamassa) e diminuir os efeitos nocivos do excesso de cimento. Podem ser empregados agregados naturais ou artificiais, sendo a areia de rio o mais freqüente.

Casali (2003) verificou a influência da granulometria do agregado miúdo nas propriedades das argamassas e das alvenarias (ensaios realizados em prismas). Essa autora verificou que argamassas que foram confeccionadas com areia mais grossa apresentaram maiores resistência à compressão para corpos-de-prova (5x10) cm de argamassa, porém o maior fator de eficiência obtido e a melhor trabalhabilidade no estado fresco foram para a argamassa confeccionada com areia média.

As normas britânica e americana apresentam uma recomendação sobre a granulometria das areias destinadas a argamassas de assentamento (Tabela 5).

Tabela 5. Faixas granulométricas das areias para argamassas de assentamento empregadas em alvenaria estrutural.

Peneiras – abertura nominal (mm)	Percentagem (em massa) do material passante nas peneiras	
	BS – 1200 (1976)	ASTM C 144 (1987)
4,8	100	100
2,4	90 – 100	95 - 100
1,2	70 – 100	70 – 100
0,6	40 – 80	40 – 75
0,3	5 – 40	10 – 35
0,15	0 - 10	2 – 15

### Aditivo

Os aditivos mais empregados atualmente nas argamassas são os incorporadores de ar e os retentores de água.

Segundo Alves (2002), existem quatro grandes razões para a utilização dos aditivos incorporadores de ar: plasticidade, rendimento, capacidade de absorver deformações e fissuração. Além disso, esse produto, pela adição de bolhas de ar, em geral, também aumenta a retenção de água e reduz a exsudação (CARASEK, 1996). Por estes motivos e também atualmente por um motivo ambiental, muitas vezes ele é empregado como substituição da cal.

Segundo Rixon e Mailvaganam (1999), os aditivos incorporadores de ar são predominantemente tensoativos aniônicos, os quais, quando adicionados às pastas de cimento, tendem a se adsorver nas partículas sólidas da pasta (cimento), por meio da sua parte polar (cabeça), hidrofílica, e com a parte apolar (cauda) voltada para a fase aquosa, dando um caráter hidrofóbico às partículas de cimento. Uma revisão detalhada sobre o mecanismo de atuação dos incorporadores de ar pode ser obtida em Alves (2002) e Antunes (2005).

Segundo Ramachandran (1984), muitos detergentes e agentes molhantes servem para incorporar o ar. De acordo com Coutinho (1997) *apud* Alves (2002), as principais matérias-primas desse tipo de aditivo são: gorduras animais e vegetais, óleos e seus ácidos graxos; resinas naturais da madeira, que reagem com a cal do cimento para formarem resinatos solúveis; e agentes molhantes como sais alcalinos de compostos orgânicos sulfatados e sulfonados. Esse mesmo autor coloca que os produtos químicos que constituem os aditivos incorporadores de ar são:

- a) abienato ou resinato de sódio, proveniente da resina do pinheiro. A destilação desta madeira fornece a essência de terebentina e colofônio, que é principalmente formada por ácido abiético. Para obter um produto solúvel em



água, este ácido é tratado pela soda cáustica dando origem a um sal, o abietato de sódio (resinato de sódio); Ramachandran (1984) aponta a resina Vinsol (nome comercial) desse composto;

- b) lignosulfatos;
- c) trietanolamina;
- d) sais de álcoois graxos sulfonados
- e) alquilarilsulfonato, detergente sintético,
- f) sabões de ácidos polihidroxicarboxílicos; e
- g) sabões alcalinos de ácidos graxos naturais

Um dos aditivos mais utilizados para promover a retenção de água em argamassas de revestimento e principalmente argamassas colantes são os polímeros<sup>11</sup> modificadores.

Dentre os polímeros que têm capacidade de reter água, os comumente empregados na indústria são o HEC (hidroxietil celulose), o HEMC (hidroxietil metil celulose) e o HPMC (hidroxipropil metil celulose) para a argamassa colante do tipo ACI (PÓVOAS, 2005).

Os polímeros citados acima são éteres de celulose. Esses polímeros são semi-sintéticos solúveis em água comumente empregados em materiais à base de cimento com intuito de modificar suas propriedades no estado fresco.

De acordo com Khayat (1998) *apud* Silva (2001), a forma de ação dos éteres de celulose pode ser classificada em três categorias:

- (1) Adsorção: as moléculas poliméricas de cadeia longa aderem na periferia das moléculas de água, adsorvendo e fixando parte da água do sistema e expandindo. Isto aumenta a viscosidade da água.
- (2) Associação: podem surgir forças de atração entre moléculas adjacentes nas cadeias poliméricas, restringindo ainda mais a locomoção da água, causando a formação de gel e aumentando a viscosidade.
- (3) Entrelaçamento: em concentrações muito altas do polímero, e sob baixas tensões cisalhantes de mistura, as cadeias poliméricas podem se entrelaçar, resultando em aumento da viscosidade aparente. Com maiores tensões de

---

<sup>11</sup> Polímero – Substância constituída de moléculas caracterizadas pela repetição múltipla de uma ou mais espécies de átomos ou grupos de átomos (unidades constitucionais) ligados uns aos outros em quantidades suficientes para fornecer um conjunto de propriedades que não variam acentuadamente com a adição ou a remoção de uma ou algumas unidades constituintes (baseada na estrutura) (<http://www.ima.ufrj.br/bibliot/nomportdef.htm>)

cisalhamento, esse entrelaçamento pode desaparecer resultando em fluidificação (comportamento pseudoplástico).

Devido à modificação na viscosidade, esses polímeros também podem ser denominados como promotores de viscosidade.

Por modificarem muito a viscosidade da fase aquosa da mistura, os éteres de celulose afetam drasticamente a cinética da hidratação e as propriedades de materiais à base de cimento no estado fresco e também no estado endurecido.

No estado fresco, as misturas tornam-se mais viscosas, coesas e pegajosas. Além disso, é observada uma maior incorporação de ar durante a mistura devido à ação dos tensoativos, que reduzem a tensão superficial da água na mistura (OHAMA, 1984).

Já no estado endurecido, a presença dos polímeros celulósicos em argamassas e concretos resulta em redução das resistências mecânicas para determinada idade, pois, além de haver um retardo das reações de hidratação do cimento, há aumento na porosidade do material devido à incorporação de ar que ocorre durante seu preparo e moldagem (OHAMA, 1984).

Maiores informações sobre o mecanismo de atuação desses polímeros podem ser encontradas em Silva (2001), Póvoas (2005) e Betioli (2007).

Atualmente os polímeros são muito utilizados para argamassas colantes e não foram encontrados registros da sua utilização em argamassas de assentamento para alvenaria estrutural, diferentemente do que ocorre para os aditivos incorporadores de ar como será apresentado nos itens 2.2.3 e 2.3.3.

### Água

A água é o principal componente que influencia a trabalhabilidade da argamassa. Para obter melhores resultados de aderência com argamassas de assentamento, para argamassa mista (cimento, cal e areia), existe um consenso de que a quantidade de água deva ser a máxima possível compatível com a trabalhabilidade e mantendo a coesão e a plasticidade da argamassa (GALLEGOS, 1989; BEALL, 1989 e PANARESE, KOSMATKA e RANDALL JR., 1991).

### Proporcionamento dos materiais constituintes

Como visto anteriormente, os materiais constituintes das argamassas são responsáveis pelas suas propriedades. O conhecimento da influência destes é fundamental para um proporcionamento adequado, que atenda as necessidades no emprego da mistura. Para facilitar a visualização deste fato, na Tabela 6 é apresentada uma síntese da influência dos materiais nas propriedades da argamassa.

Tabela 6. Influência dos materiais nas propriedades da argamassa (SABBATINI, 1984).

Estado	Propriedades	Componentes				
		Cimento	Cal	Areia		Água
				Grossa	Fina	
Fresco	Fluidez	+	+	o	o	++
	Plasticidade	+	++	-	+	o
	Coesão	+	++	-	+	o
	Retenção de água	+	++	-	+	o
Endurecido	Resistência de aderência	++	o	o	o	o
	Extensão de aderência	-	++	-	+	+
	Durabilidade	-	++	o	o	o
	Resistência à compressão	++	-	+	-	-

++ indica que influencia fortemente aumentando a propriedade

+ indica que aumenta

- indica que diminui

o indica pouca influência

Segundo a NBR 8798 (1985), a determinação das proporções dos materiais constituintes das argamassas de assentamento deve atender exigências para algumas propriedades. Entretanto, essa norma não sugere composições para argamassa de assentamento tais como as normas britânicas e americanas. Em função disso, normalmente têm-se adotado traços típicos recomendados por estas duas normas estrangeiras.

A norma americana ASTM C 270 (1987) preconiza que as argamassas para assentamento para alvenaria estrutural devem atender as especificações da ASTM C 91 (1916), que as classifica em M, S, N e O, cujos traços são distintos. A Tabela 7 apresenta os traços e as propriedades físicas e mecânicas das argamassas segundo especificação da ASTM C 270 (1987).

Tabela 7. Especificação dos traços (em volume) e das propriedades físicas e mecânicas das argamassas conforme a ASTM C 270 (1987).

Tipo	Cimento Portland ou com adição	Cal Hidratada	Proporção de Agregado	Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)	Retenção de água (%)	Ar incorporado (%)
M	1	0,25	Maior que 2,25 e menor que 3 vezes a soma dos volumes de aglomerantes	17,2	≥ 75	≤ 12
S	1	0,25 a 0,50		12,4	≥ 75	≤ 12
N	1	0,50 a 1,25		5,2	≥ 75	≤ 14*
O	1	1,25 a 2,25		2,4	≥ 75	≤ 14*

\* quando houver armadura incorporada à junta de argamassa, a quantidade de ar incorporado não poderá ser maior que 12%.

A norma britânica BS 5628 (1992) especifica as classes de cada tipo de argamassa (i, ii, iii e iv). Na Tabela 8 são apresentados os traços especificados e as propriedades mecânicas das argamassas segundo a BS 5628 (1992) para argamassas de assentamento para alvenaria estrutural.

Tabela 8. Especificação dos traços (volume) e das propriedades mecânicas das argamassas conforme a BS 5628 (1992).

Classes	Tipo de Argamassa			Resistência à compressão média aos 28 dias (MPa)	
	Cimento:Cal:Areia	Cimento Alv:Areia	Cimento:Areia:Plastificante	Testes laboratoriais	Testes in loco
i	1: 0 a 0,25: 3	-	-	16,0	11,0
ii	1: 0,5: 4 a 4,5	1: 2,5 a 3,5	1: 3 a 4	6,5	4,5
iii	1: 1: 5 a 6	1: 4 a 5	1: 5 a 6	3,6	2,5
iv	1: 2: 8 a 9	1: 5,5 a 6,5	1: 7 a 8	1,5	1,0

Evidentemente que estes traços apresentados servem apenas como um indicativo e sua utilização deve ser verificada na prática com os materiais disponíveis para cada região. Uma diferença nítida, observada a respeito dos materiais, são os valores de resistência à compressão apresentados pela norma americana e britânica. Os traços “S”, “N” e “O” em relação aos traços “ii”, “iii” e “iv” apresentam diferenças nos valores de resistências à compressão de quase 100% (Tabela 7 e Tabela 8).

A seguir serão apresentadas as propriedades no estado fresco e endurecido das argamassas de assentamento para alvenaria estrutural.

## 2.2.2 Propriedades no estado fresco e métodos de ensaio associados

Neste item serão abordadas as principais propriedades das argamassas de assentamento no estado fresco: trabalhabilidade e aspectos reológicos, teor de ar incorporado, retenção de água, adesão inicial e deformabilidade da junta fresca.

### **Trabalhabilidade e aspectos reológicos das argamassas**

A trabalhabilidade, como o próprio nome sugere, se refere à maneira como as argamassas se comportam ou “trabalham” na prática (CARASEK, 2007). Esta propriedade é um dos mais importantes aspectos da argamassa plástica porque esta é a principal exigência do pedreiro. A argamassa trabalhável pode ser espalhada facilmente com uma colher sobre a unidade de alvenaria e também deverá suportar o peso do bloco quando assentado, facilitando o alinhamento (TALY, 2001). Além disso, sem uma boa trabalhabilidade, a chance de haver um bom preenchimento das juntas de argamassa de alvenaria é muito pequena.

Essa propriedade é difícil de definir porque é a combinação de várias propriedades independentes e inter-relacionáveis como a consistência, retenção de água, tempo de pega, massa específica, adesão e coesão (PANARESE, KOSMATKA e RANDALL JR., 1991).

A trabalhabilidade de uma argamassa é importante, pois, pelas suas características reológicas<sup>12</sup> irá influenciar diretamente na qualidade do serviço do pedreiro, e assim todas as demais propriedades desejáveis a ela se subordinam (SABBATINI, 1986).

O estudo reológico das argamassas é bastante complexo devido à sua natureza multifásica, que conta com a presença de aglomerantes, agregados, bolhas de ar e adições minerais (CARDOSO, PILEGGI e JOHN, 2005). Do ponto de vista simplificado, as argamassas podem ser compreendidas, em seu estado fluido (fresco), como suspensões reativas, cuja consistência é modificada ao longo do tempo, sobretudo pela atuação do cimento (HU e LARRARD, 1995). Uma revisão detalhada sobre reologia pode ser obtida em Pessan e Manrich (1987), Oliveira *et al.* (2000), Antunes (2005), Banfill (2005), Cardoso, Pileggi e John (2005), Betioli (2007), entre outros.

---

<sup>12</sup> A reologia (*rheos* = fluir e *logos* = estudo) é a ciência que estuda o fluxo e a deformação dos materiais, quando submetidos a uma determinada tensão ou solicitação mecânica externa em determinado período de tempo.

Avaliar, quantificar e prescrever valores de trabalhabilidade das argamassas por meio de ensaios não é uma tarefa fácil, pois esta propriedade depende não somente das características intrínsecas da mistura, mas também de várias propriedades do substrato, da habilidade do pedreiro que está executando o serviço e da técnica de aplicação (CARASEK, 2007).

Normalmente, a trabalhabilidade é avaliada indiretamente por métodos consagrados empregados para medir a consistência. A consistência pode ser determinada pelo índice de consistência (*flow table*) (NBR 7215, 1996), pela penetração dinâmica da esfera (*dropping ball*) (BS 4551, 1980), pelo *Mo-meter* (RILEM MR – 1, 1982), pelo penetrômetro de concreto modificado (*Conway test*) (ASTM C 780, 1996), pelo ensaio de compactação (DIN 18555, Part 2, 1982), pela penetração de cone (ASTM C 780, 1996), entre outros<sup>13</sup>.

Os métodos mais utilizados no Brasil são os de índice de consistência (*flow table*), prescrito pela NBR 7215 (1991) e a penetração de cone (ASTM C 78, 1996). Este último método vem sendo empregado há mais de uma década, nas pesquisas em laboratório e obra, pelo grupo de pesquisadores do Núcleo de Tecnologia das Argamassas e Revestimento (NUTEA) da Universidade Federal de Goiás (CARASEK, 2007). Segundo esta autora, esse método tem uma boa correlação com relação água/materiais secos.

Casali, Calçada e Prudêncio Jr. (2002) propuseram um ensaio para avaliar a trabalhabilidade das argamassas de assentamento para alvenaria estrutural, o GTec Teste, que avalia a deformação inicial sofrida por um filete de argamassa quando submetido ao mesmo peso por unidade de área de assentamento de um bloco de concreto, além da deformação complementar quando são aplicados impactos provocados pela queda de uma massa padronizada, similarmente ao que ocorre durante o assentamento da alvenaria. Este ensaio foi desenvolvido no Grupo de Tecnologia em Materiais à base de Cimento Portland (GTec) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). O GTec Teste vem sendo utilizado nos últimos anos e sua eficácia foi verificada por Casali, Calçada e Prudêncio Jr. (2002), Casali (2003) e Casali e Prudêncio Jr. (2008) e uma descrição detalhada pode ser encontrada em Casali, Calçada e Prudêncio Jr. (2002); Prudêncio Jr., Oliveira e Bedin (2002) e Casali (2003). Outros trabalhos vêm usando e avaliando este método: Dafico, Ferro e Cavalcante (2004) e Hoppe Filho *et al.* (2006).

---

<sup>13</sup> Maiores detalhes sobre os ensaios citados pode ser obtido, dentre outras, nas seguintes referências: Cincotto, Silva e Carasek (1995) e Casali (2003).

Outro método que se propõe a avaliar a trabalhabilidade das argamassas de forma mais ampla é o Vane Teste. Esse teste, empregado originalmente em mecânica dos solos, vem sendo usado pelo grupo de pesquisa em argamassas do Laboratório de Ensaio em Materiais (LEM) da Universidade de Brasília (UNB). Um detalhamento deste método pode ser encontrado em Alves *et al.* (2003), Paes (2004) e Bauer *et al.* (2007). Os resultados têm mostrado que o equipamento permite a definição de uma faixa de valores, dentro da qual, se observa que as argamassas são trabalháveis (ALVES *et al.*, 2003), demonstrando ser uma importante ferramenta para o estudo das propriedades reológicas no estado fresco das argamassas (BAUER *et al.*, 2007).

Uma proposta mais recente que surge no campo de avaliação de trabalhabilidade das argamassas é o método do *Squeeze Flow*. O *Squeeze Flow* baseia-se na medida de esforço necessário para a compressão uniaxial de uma amostra cilíndrica entre duas placas paralelas, sendo tal esforço empreendido normalmente por uma máquina universal de ensaios. Maiores detalhes podem ser obtidos em Cardoso, Pileggi e John (2005), Antunes (2005) e Póvoas (2005). Este método foi proposto para uso em argamassas pelo grupo de pesquisadores que atuam em técnicas de caracterização reológicas do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Construção Civil (CPqDCC) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), no âmbito do Consórcio Setorial para Inovação Tecnológica em Revestimento de Argamassas (CONSITRA).

### **Teor de ar incorporado e massa específica**

O teor de ar pode ser determinado pelo método da densidade ou pelo método pressométrico. O método da densidade geralmente tem maior repetição dos resultados, porém requer o conhecimento da densidade de todos os constituintes do traço (incluindo a quantidade de água). O método pressométrico não precisa destas informações, mas envolve o uso de equipamentos especiais de medição (ROBERT *et al.*, 1983).

A NBR 13278 (2005) especifica o método de ensaio para determinação da densidade de massa e do teor de ar para argamassas para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos. Essa norma utiliza o método da densidade para o cálculo do teor de ar incorporado. Cabe salientar que a densidade de massa descrita nessa norma na realidade é a massa específica no estado fresco, visto que a densidade é uma propriedade adimensional, o que não acontece com a densidade de massa segundo esta norma.

Segundo Beall (1987), o teor de ar incorporado deve ser estipulado entre 12 a 15% para não reduzir a resistência à aderência quando se utiliza aditivos incorporadores de ar para promover a trabalhabilidade. Os limites recomendados por essa autora são os mesmos da norma americana ASTM C 270 (1987) (Tabela 2.6).

Beningfield (1988) relata um estudo do Instituto de Desenvolvimento de Pesquisa em Alvenaria de Melbourne, ocorrido em 1977, que estabelecia que o teor de ar incorporado para as argamassas não deveria exceder 20% e, preferencialmente, não passar de 15%.

Segundo Carasek (1996), o aumento do teor de ar incorporado nas argamassas pode reduzir os pontos de contato da argamassa com o substrato e, conseqüentemente, resultar em baixa resistência de aderência.

Existem algumas correlações entre o teor de ar incorporado e a resistência de aderência propostas por alguns autores como Alves (2002) e Antunes (2005), porém estes trabalhos foram avaliados para argamassa de revestimento e por isso neste trabalho não serão descritas.

Maiores informações sobre o teor de ar incorporado na resistência de aderência entre argamassa de assentamento e a unidade de alvenaria serão apresentadas no item 2.3.3.

### **Retenção de Água**

A retenção de água pode ser compreendida como a capacidade que a argamassa possui de manter a água que contém no estado fresco quando colocada em contato com um substrato poroso e/ou absorvente.

Essa propriedade é muito importante, pois caso a argamassa não tenha capacidade de retenção de água após seu contato com o substrato será retirada grande parte de sua água. Assim, a argamassa não ficará suficientemente plástica para permitir e ajustar o alinhamento, o nível e o prumo, sem perigo de quebrar o contato íntimo e/ou aderência entre a argamassa e a unidade.

Além disso, a retirada excessiva de água da argamassa irá prejudicar as propriedades da mesma como junta de assentamento: a perda rápida de muita água, provocará uma diminuição na sua resistência de aderência e a argamassa apresentar-se-á mais rígida (maior módulo de elasticidade) quando endurecida, o que implica em menor capacidade de absorver deformações; além disso, poderá ter reduzida sua resistência, pois a hidratação do cimento e a carbonatação da



cal serão prejudicadas com a perda inadequada de água (pouca água para hidratar o cimento e criação de vazios).

Outro aspecto de uma baixa retenção de água é quanto à perda de trabalhabilidade no momento do assentamento, principalmente quando a argamassa de assentamento fica armazenada em “maseiras” podendo até inviabilizar o assentamento. Esse aspecto tende a se agravar quando as condições climáticas estão mais desfavoráveis: temperaturas altas, umidade relativa baixa e ventos fortes (CARASEK, 2007).

Por outro lado, quando a argamassa tem grande retenção de água, os blocos de concreto já assentados podem descolar e a aderência também poderá ser prejudicada, pois a transferência de água que formará o elo de contato será reduzida.

Diante do exposto, a retenção de água de uma argamassa deve estar dentro dos limites toleráveis (PANARESE, KOSMATKA e RANDALL JR. 1991). A ASTM C 270 (1987) especifica que, para argamassas de assentamento, a retenção de água deve ser superior a 75%, determinada pelo método de ensaio descrito na ASTM C 91 (1916). De acordo com a NBR 8798 (1985), a retenção de água mínima permitida é de 75%, determinada segundo a ASTM C 91 (1916), até que se publique norma brasileira sobre o assunto.

Existe uma norma brasileira em vigor, NBR 9287 (1986), específica para argamassas de assentamento para alvenaria de blocos de concreto. Esta norma é uma adaptação do método americano. A determinação da retenção de água é a relação entre o índice de consistência (*flow table*) inicial da argamassa e o índice de consistência (*flow table*) final após a sucção realizada por meio de uma bomba de vácuo durante um minuto em um funil de Buchner modificado. Na realidade, por este método, estaria-se avaliando a retenção de consistência da argamassa e não a retenção de água (CARASEK, 1996).

Também existe outra norma brasileira em vigor, NBR 13277 (2005), para argamassas de assentamento e revestimento de paredes, que também utiliza o funil de Buchner modificado. Nesta norma, a determinação consiste em medir a massa de água retirada da argamassa após uma sucção de 15 minutos. Assim, neste caso estaria se determinando a retenção de água da argamassa.

A capacidade de retenção de água pode ser também obtida com o uso de aditivos derivados de celulose (BEALL, 1989; YOSHIDA e BARROS, 1995). Segundo Cincotto, Silva e Carasek (1995), esses aditivos, cujas características impedem a perda de água para o

componente, também impedem a percolação de água capilar, como é o caso dos aditivos incorporadores de ar.

Também foi observado por Carasek (1996) que as argamassas com aditivos, em substituição total à cal, tiveram uma capacidade maior ou igual à retenção de água das argamassas mistas com cal. Entretanto, Rago *et al.* (1994) concluíram que as argamassas que utilizaram os aditivos incorporadores de ar em substituição total à cal, mantendo-se fixa a relação cimento/areia, apresentaram menor capacidade de retenção de água que as argamassas com cal.

Uma classificação geral feita por Carasek (2007) coloca que as menores retenções de água são encontradas para as argamassas de cimento; em seguida estariam as argamassas mistas (cimento, cal e areia) e as argamassas com incorporadores de ar; e as argamassas com aditivos retentores de água apresentariam as maiores retenção de água.

Deve-se esclarecer que, nem sempre, uma alta retenção de água na argamassa produz a melhor aderência. Em ensaios realizados por Solórzano (1994) encontrou-se que, para as unidades utilizadas, argamassas mistas com retenção de água na faixa entre 80 a 85% resultaram em menores resistências de aderência que se comparadas com as de retenção de água na faixa de 73 e 78%.

As normas, tanto a brasileira quanto americana, não trazem limites máximos de retenção de água. Como visto anteriormente, uma alta retenção de água também pode ser prejudicial para a alvenaria. Cabe ressaltar que a capacidade de retenção de água da argamassa deve variar em função do potencial de absorção da base. A ASTM C 270 (1987) adverte que componentes de alvenaria com alta taxa de sucção inicial (IRA) terão uma maior compatibilidade com argamassas de alta retenção de água. Assim, a retenção de água também deverá levar em conta a unidade de alvenaria que será utilizada.

### **Adesão Inicial**

Adesão inicial, neste presente trabalho, será considerada a união da argamassa no estado fresco a exemplo do proposto por Carasek (1996).

Carasek (1996) denomina a adesão inicial de “pegajosidade”, e está diretamente relacionada com as características reológicas da pasta aglomerante, especificamente com a sua tensão superficial.

A adesão inicial pode ser aumentada com a diminuição da tensão superficial da argamassa, provocando uma maior facilidade desta em molhar o substrato, aumentando a região de contato entre ambos. Além disso, a redução da tensão superficial gera uma redução do ângulo de contato.

A tensão superficial da argamassa pode ser modificada com a adição de alguns materiais como: cal, incorporadores de ar, retentores de água, e entre outros aditivos. Carasek (1996) apresenta as medidas da tensão superficial para várias pastas de cimento com adições. Essa autora verificou uma diminuição significativa para as pastas com cal e cimento e pastas com incorporadores de ar em relação à pasta de cimento.

Um dos poucos ensaios para avaliar a adesão inicial é preconizado pela norma RILEM MR 5 (1982). O ensaio consiste em realizar o assentamento da unidade de alvenaria com espessura de junta de aproximadamente 12 mm. Após um determinado tempo pré-estabelecido de assentamento (a norma específica no mínimo dois minutos), é retirado o bloco superior e verificada a forma de ruptura da junta: caso o rompimento ocorra na argamassa, a adesão pode ser considerada satisfatória. Em estudos preliminares realizados com argamassas usualmente empregadas em obras de alvenaria estrutural observou-se, em todos os casos, que após 2, 5, 10 e 20 minutos de assentamento, o rompimento ocorria na interface entre o bloco de concreto e a argamassa. Isso significa, segundo a RILEM MR 5 (1982), que a adesão inicial seria inadequada.

Uma boa adesão inicial é necessária para que, após o encabeçamento do bloco, a argamassa se mantenha unida no bloco até o posicionamento do mesmo. Acredita-se, assim, que o critério estabelecido pela RILEM MR 5 (1982) seja muito rigoroso.

Entretanto esse método é interessante por levar em conta o tipo de componente de alvenaria sobre a qual a argamassa será aplicada (CARASEK, 2007).

### **Deformabilidade da junta fresca**

A deformabilidade da junta fresca é considerada como a deformação sofrida pelo filete de argamassa ou ao recalque da junta com o assentamento das fiadas em cima de um ponto específico. Esta deformação então é devida ao acréscimo de carga e de esforço devido ao assentamento da fiada superior. Este comportamento é muito importante na execução da alvenaria em obra para o conhecimento do limite de elevação em um período de trabalho.

Gallegos (1989) comenta que a altura máxima para assentamento em um turno de trabalho é até meia altura da parede, o equivalente a 6 fiadas.

Araújo (2001), ao realizar um estudo sobre técnicas construtivas de edifícios residenciais em alvenaria estrutural não armada de blocos vazados de concreto, procedeu a medição da variação da espessura da junta da alvenaria após a colocação de 6 fiadas subsequentes. O recalque médio dos blocos da parede, medido em obra, foi de 0,452mm/fiada, sendo que, após a colocação da sexta fiada acima do ponto de medição ocorreu a estabilização da primeira fiada, indicando que a argamassa de assentamento adquiriu resistência suficiente para suportar o peso das fiadas superiores. Cabe ressaltar que os resultados desse experimento são muito influenciados pelo tipo de argamassa, bloco de concreto e as condições climáticas.

Casali (2003) concluiu que deve ser deixado um tempo superior a 15 minutos para o assentamento da fiada superior para não ocorrer uma redução significativa na espessura da junta para o caso das argamassas estudadas.

### **Observações gerais sobre as propriedades no estado fresco**

Diante do exposto, percebe-se claramente que existe uma relação muito grande entre as propriedades das argamassas no estado fresco. Isto quer dizer, por exemplo, que a adição de aditivos incorporadores de ar irá, de maneira geral, influenciar na trabalhabilidade, retenção de água, adesão inicial e também na deformabilidade na junta fresca. Assim, na avaliação da argamassa de assentamento, devem ser considerados todos esses parâmetros, pois irão influenciar diretamente na execução e na qualidade final da alvenaria. Cabe ressaltar, também, que deve ser levada em conta a unidade de alvenaria onde a argamassa será aplicada.

Com relação à trabalhabilidade, o GTec Teste tem grande potencial mas ainda necessita de alguns ajustes para sua padronização. Além disso, existe a necessidade de estudos mais aprofundados também das características reológicas das argamassas de assentamento.

Quanto ao teor de ar incorporado na argamassa de assentamento, existe um limite estipulado por norma, porém não se conhece a real interação entre as argamassas de assentamento com os blocos de concreto.

Como já comentado anteriormente a retenção de água é muito importante na interação entre argamassa e bloco de concreto. As normas somente recomendam um limite mínimo para essa propriedade, podendo ocorrer um erro de interpretação que, quanto maior a retenção de água da argamassa, melhor é a aderência. Cabe ressaltar também que o ensaio proposto pela norma NBR 13277 (2005) no qual a retirada de água da argamassa deve ser realizada durante 15 minutos pode ser muito rigoroso não sendo o ideal para as argamassas de assentamento. Além disso, a retenção de água necessária será influenciada diretamente pela unidade de alvenaria na qual a argamassa será utilizada.

Já a adesão inicial e a deformabilidade da junta fresca seriam fatores que facilitariam a execução da alvenaria na obra. A falta de adesão inicial, iria dificultar a utilização da argamassa (para o encabeçamento dos blocos de concreto) e aumentaria o desperdício. E a deformabilidade da junta fresca iria limitar a altura elevação da alvenaria por um determinado período. Nestes casos, poderia ser realizado um rodízio de paredes durante o assentamento para a argamassa adquirir rigidez suficiente para continuar a elevação.

Assim, neste presente trabalho, será dada maior ênfase na trabalhabilidade, propriedades reológicas, teor de ar incorporado e retenção de água, pois possivelmente essas propriedades irão influenciar diretamente na interação da argamassa de assentamento com o bloco de concreto. Além disso, essas propriedades irão influenciar, também, as propriedades no estado endurecido da argamassa que será apresentado a seguir.

### 2.2.3 Propriedades no estado endurecido

Neste item serão abordadas as principais propriedades das argamassas de assentamento no estado endurecido: resistência à compressão e módulo de deformação.

#### **Resistência à compressão**

Normalmente esta é a propriedade especificada pela maioria dos calculistas de alvenaria estrutural. A resistência requerida para uma argamassa a ser empregada na alvenaria estrutural irá variar com a resistência à compressão dos blocos de concreto (SABBATINI, 1986).

Independentemente do tipo e uso de uma argamassa, sua resistência à compressão é determinada através do rompimento de corpos-de-prova moldados em formas não absorventes.

Isto é, em parte, explicado pela praticidade do procedimento e, em outra, pela necessidade de se estabelecer um método de ensaio que consiga avaliar esta propriedade do material para efeitos de controle de qualidade e recebimento. No entanto, é sabido que a real resistência da argamassa, quando aplicada em um substrato poroso e absorvente tal como a superfície de um bloco de concreto, é afetada pela substancial perda de água ocorrida antes do seu início de pega (PRUDÊNCIO JR., OLIVEIRA e BEDIN, 2002).

Em se tratando de argamassas de assentamento para alvenaria estrutural, Gallegos (1989) comenta que é essencial, na preparação dos corpos-de-prova, que se leve em conta, de alguma maneira, a retirada de água por sucção da unidade de alvenaria para estabelecer assim a real resistência da argamassa utilizada. Cita que o *Uniform Building Code* dos Estados Unidos propõe um método para a avaliação desta propriedade no qual aplica-se a argamassa com uma espessura de 12 a 15 mm sobre a face de assentamento da unidade de alvenaria a ser utilizada na obra, retirando-a depois de um minuto e colocando em um molde cilíndrico não absorvente de (5 x 10) cm, sendo posteriormente compactada. Cabe salientar que este procedimento pode não conduzir a resultados confiáveis uma vez que fixa o tempo de contato entre unidade e argamassa e existe uma diferença entre as compactações das argamassas o que dificilmente conseguirá reproduzir a estrutura porosa da argamassa obtida durante o assentamento.

A sucção (grande ou pequena) do bloco de concreto tem realmente uma grande influência na densidade e no sistema de poros da argamassa na junta de alvenaria comparada com a densidade e o sistema de poros da argamassa moldada em forma estanque. Isso quer dizer que testes em argamassas, onde o sistema de poros tem uma grande influência sobre os resultados destes (por exemplo, testes de durabilidade) devem, pelo menos, ser feitos em corpos-de-prova de argamassa com um sistema de poros similar àquele das argamassas das juntas de assentamento.

Existem estudos mostrando claramente a diferença entre a resistência à compressão da argamassa em moldes metálicos e daquela encontrada na junta de assentamento. Pode-se citar Schubert (1988), Kjaer (1991), Schubert e Hoffmann (1994), Kasten e Eden (1994), Casali (2003) e Casali, Weidmann e Prudêncio Jr. (2005). O método utilizado foi distinto para cada estudo, assim como o tipo de substrato, o tipo de argamassa e a espessura da junta de assentamento (Tabela 9).

Tabela 9. Método de ensaio utilizado para cada estudo, tipo de substrato, tipo de argamassa e espessura da junta de assentamento.

Método Utilizado	Geometria da área do corpo-de-prova	Aplicação da Carga	Tipo de Substrato	Tipo de Argamassa	Espessura da junta (mm)	Autor (es)
Ibac*	Quadrado e cilíndricos de diâmetro de 30 mm	Aplicação cilíndrica pontual de 10 mm no centro do corpo-de-prova	Tijolo cerâmico	Argamassa de cimento e mista**	10 a 15	Schubert (1988)
Gaze entre a unidade e a argamassa	Quadrado de 25 x 25 mm	-	Tijolo cerâmico Tijolo sílico-calcário	Argamassa mista**	20	Kjaer (1991)
Grade de intervalos de 20 mm e filtro entre a argamassa e a unidade	Quadrado de 20 x 20 mm	Total	Tijolo cerâmico	Argamassa mista** e argamassas com aditivos	20	Schubert e Hoffmann (1994)
Gaze de fibra de vidro e uma grade de 20 x 20 mm	Quadrado de 20 x 20 mm	-	Tijolo sílico-calcário (classe 12)	Argamassa pronta <sup>+</sup> e industrializada <sup>++</sup>	12	Kasten e Eden (1994)
Penetração de pino	-	-	Blocos de concreto	Argamassa mista e industrializada	10	Casali (2003)

\* Argamassa seccionada da junta de assentamento aos 28 dias, descrição do método em Schubert e Hoffmann (1984).

\*\* Argamassa mista (cimento, cal e areia).

<sup>+</sup> Argamassa pronta: são aquelas entregues em obra em contêineres prontas para o uso;

<sup>++</sup> Argamassa industrializada: apenas necessitam de adição de água em obra. Os materiais secos já em misturados.

- não informado pelo (s) autor (es)

Schubert (1988), Kjaer (1991), Schubert e Hoffmann (1994) e Kasten e Eden (1994) encontraram diferenças nas resistências à compressão do corpo-de-prova moldado em molde metálico e na junta de argamassa. Segundo Schubert (1988), esta diferença possivelmente foi devido ao processo de cura. Os corpos-de-prova moldados em moldes metálicos permaneceram no molde durante sete dias e neste período permaneceram úmidos, enquanto as juntas de argamassa são imediatamente sujeitas a absorção da unidade.

Os resultados obtidos por Kjaer (1991) mostraram que existe uma diferença na resistência à compressão ao longo da espessura da junta de argamassa (interface e meio). Para todos os casos, o corpo-de-prova retirado do meio da junta era mais resistente que aquele retirado da superfície da junta. A resistência à compressão dos corpos-de-prova das juntas de assentamento foi até 30% superior em relação á dos corpos-de-prova moldados em moldes metálicos.

Schubert e Hoffmann (1994) verificaram que a relação entre a resistência à compressão em corpos-de-prova obtidos em moldes metálicos pela resistência à compressão da junta pode variar de 0,50 a 1,50 dependendo do tipo de argamassa. Assim para algumas argamassas, a resistência à compressão nos corpos-de-prova obtidos em moldes metálicos pode superestimar a resistência à compressão da alvenaria.

Kasten e Eden (1994) encontraram uma boa correlação entre a resistência à compressão da junta de assentamento e a resistência à compressão da alvenaria. Os autores ressaltaram que essa correlação vale para unidades de alvenaria com a mesma resistência à compressão.

Casali (2003) verificou que a penetração obtida no ensaio de resistência à penetração de pino mostrou-se um bom parâmetro de correlação para se avaliar a resistência da argamassa na junta de assentamento. Os resultados obtidos mostraram que a resistência à compressão da argamassa em corpos-de-prova cilíndricos superestima o valor da resistência na junta para a argamassa industrializada e subestimam para as argamassas mistas.

Como pode ser observado, para as argamassas mistas os valores obtidos foram semelhantes para todos os autores, porém para a argamassa industrializada Casali (2003) obteve comportamento inverso.

Outro estudo para verificar a influência da absorção de água pelo bloco de concreto na resistência à compressão das argamassas foi realizado por Barbosa, Hanai e Barbo (2005). Neste caso, os autores avaliaram a influência do tipo de fôrma: metálica (sem sucção) e absorvente (de bloco de concreto e de gesso). Os resultados obtidos mostraram que houve um aumento na resistência à compressão dos corpos-de-prova moldados nas formas absorventes.

Como demonstrado anteriormente, existe diferença na resistência à compressão entre as juntas de assentamento e aquelas obtidas em corpos-de-prova moldados em moldes metálicos. Porém, poucos estudos têm sido desenvolvidos para determinar outras propriedades como o módulo de deformação da junta de assentamento que será abordado a seguir.

Cabe ressaltar também que atualmente existem duas geometrias de corpos-de-prova especificadas por normas brasileiras para avaliar a resistência à compressão de argamassa. A NBR 7215 (1996) recomenda a utilização de corpos-de-prova cilíndricos com dimensões de (5x10) cm. Já a NBR 13279 (2005), especifica corpos-de-prova prismáticos de (4x4x16) cm para a determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.



### Módulo de deformação

O módulo de deformação pode ser definido como a relação entre a tensão existente em um corpo e a deformação específica produzida por esta tensão. A norma NBR 8522 (2003) recomenda o cálculo do módulo de deformação por meio do diagrama tensão versus deformação específica, obtidos nos pontos de 0,5 MPa e 30% da carga de ruptura.

Assim como existem diferenças entre a resistência à compressão da argamassa, moldada em moldes impermeáveis e da junta de assentamento, também deverá existir diferenças no módulo de elasticidade.

Atualmente não existe nenhuma norma para obtenção do módulo de deformação na junta de assentamento e nem em placas de dimensões reduzidas.

Uma metodologia foi proposta por Bastos (2001) para avaliar o módulo de deformação das argamassas de revestimento. O autor mediu o módulo de deformação na flexão em placas de argamassas de dimensões (200 x 75) mm e espessura de 15 mm tanto em moldes metálicos quanto em situações onde existiu o fenômeno da sucção. Os resultados obtidos mostraram a influência da base nas propriedades mecânicas do revestimento (quanto maior a sucção da base, maior a resistência à tração na flexão e o módulo de deformação), observação importante para avaliar o desempenho da argamassa em estudos que considerem as tensões existentes no revestimento.

Os ensaios de módulo de deformação são dependentes do tipo de ação e dividem-se em estáticos (carregamentos de compressão, tração e flexão) e dinâmicos (emissão de pulsos ultra-sônicos e a produção de ondas vibratórias). Maiores informações podem ser obtidas em Bastos (2003).

Atualmente existe um projeto de norma brasileira para determinar o módulo de deformação dinâmico com a utilização de emissão de pulsos ultra-sônicos. Além disso, existem estudos sendo realizados no âmbito nacional do Consórcio Setorial para Inovação Tecnológica em Revestimento de Argamassas (CONSITRA) para a determinação do módulo de deformação dinâmico das argamassas de revestimento em várias regiões do país.

### **Observações gerais sobre as propriedades no estado endurecido**

Quanto às pesquisas sobre as propriedades mecânicas do estado endurecido, a maioria dos formatos dos corpos-de-prova não condiz com a realidade da junta de assentamento e as condições de aplicação não levam em conta a influência da base quanto à perda de água por sucção. Um exemplo disso são os corpos-de-prova cilíndricos, muito utilizados em ensaios de resistência à compressão e módulo de deformação. Cabe aqui ressaltar que, como já comentado anteriormente, estes ensaios são excelentes para avaliação a propriedade do material para efeitos de controle de qualidade e recebimento.

Outro fator importante a ser comentado é que atualmente as normas brasileiras possibilitam a utilização de duas geometrias de corpos-de-prova para avaliar a resistência à compressão de argamassas. No entanto, existem poucos estudos que verificaram a diferença dessas geometrias na resistência à compressão.

Normalmente não se verifica uma correlação entre as propriedades mecânicas das argamassas com as alvenarias (conjunto bloco e argamassa). Esta correlação provavelmente não seja possível, pois não se obtém a real resistência à compressão da junta de assentamento assim como do módulo de deformação. Acredita-se que para alcançar esse conhecimento, assim como comentado por Gallegos (1989), é essencial, na preparação dos corpos-de-prova, que se leve em conta, de alguma maneira, a retirada de água por sucção da unidade de alvenaria. Além disso, ainda existe uma carência de informações sobre a influência das diferenças de geometria entre os corpos-de-prova padronizados com a geometria da junta de assentamento (largura da parede do bloco de concreto que é de aproximadamente 25 mm e espessura de 10 mm recomendada por norma para alvenaria estrutural) nas propriedades do estado endurecido.

Cabe ressaltar que as propriedades do estado endurecido aqui apresentadas eram para a argamassa isoladamente e não para o conjunto, bloco de concreto e argamassa. A seguir serão abordados os principais aspectos da interação entre bloco de concreto e argamassa de assentamento.

## 2.3 INTERAÇÃO ENTRE A UNIDADE DE ALVENARIA E A ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO

Quando dois materiais diferentes estiverem o suficientemente próximos para interagir, gerarão entre eles forças de atrações físicas e químicas. Essas forças promovem a adesão entre os materiais. A adesão entre dois materiais, por meio de suas superfícies, é um fenômeno complexo e, possivelmente, formado pela interação de alguns mecanismos atuantes tanto na interface quanto a pequenas profundidades nos materiais aderidos (PAES, 2004).

Assim, no estudo da interação entre a unidade de alvenaria e a argamassa de assentamento, no caso dois materiais distintos e porosos, é oportuno primeiramente introduzir uma pequena parte da teoria das ligações interfaciais e em seguida alguns modelos sobre os momentos iniciais da interação entre a argamassa no estado fresco e a unidade de alvenaria. O comportamento nesses momentos iniciais irá influenciar diretamente na resistência de aderência que será apresentada posteriormente.

### 2.3.1 Teoria das ligações interfaciais

O trabalho de adesão, que é a energia de ligação interfacial entre sólido e líquido, pode ser estimada pela equação de Young e Dupré:

$$\tau_{LS} = \gamma_{AL}(1 + \cos \theta) \quad (\text{Equação 1})$$

Onde  $\tau_{LS}$  é o trabalho de adesão,  $\gamma_{AL}$  é a tensão superficial líquido/ar e  $\theta$  é o ângulo de contato. O ângulo de contato é uma medida conveniente da molhabilidade<sup>14</sup> de uma superfície sólida por um líquido. A Figura 7 apresenta a molhagem de um sólido por um líquido.

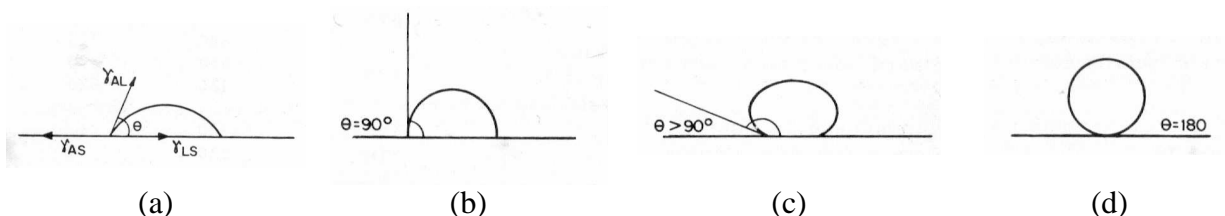


Figura 7. Molhagem de um sólido por um líquido (RABOCKAI, 1979): (a) ângulo de contato está entre zero e 90°, (b) o ângulo de contato mede 90°, (c) ângulo de contato maior que 90° e (d) ângulo de contato igual a 180°.

<sup>14</sup> Molhagem é a capacidade que um material possui de se espalhar pela superfície de um outro material como um filme fino (BRADY *et al.*, 1986).

Apesar de se tratarem de observações generalizadas das interações interfaciais, pode-se levar o mesmo raciocínio para as argamassas e os substratos, aos quais a mesma deve aderir (GONÇALVES, 2004). No instante de aplicação (argamassa no estado fresco), pode-se considerar a argamassa como um líquido que deve molhar o substrato (unidade de alvenaria) de maneira adequada e proporcionar um bom contato entre os materiais.

Observa-se que uma redução do ângulo de contato entre a superfície do material sólido (por exemplo, substrato) e a superfície do líquido (por exemplo, pasta aglomerante) pode aumentar a aderência entre ambos (CARASEK, 1996).

Carasek (1996) ainda comenta que, no caso das argamassas, um valor reduzido de tensão superficial da pasta aglomerante favorece a molhagem do substrato, reduzindo o ângulo de contato entre as superfícies e implementando a adesão. Segundo a autora, esse fenômeno propicia um maior contato físico da pasta com os grãos de agregado e também com o substrato.

Algumas substâncias químicas, como agentes umidificadores ou detergentes, mudam o ângulo de contato, de um valor maior de  $90^\circ$  para outro menor que  $90^\circ$  (SEARS, ZEMANSKY e YOUNG, 1996). Inversamente, segundo os mesmos autores, agentes impermeabilizantes aplicados a um tecido tornam o ângulo de contato, entre a água e o tecido, maior que  $90^\circ$  (Figura 7).

Outro fenômeno importante para a interação entre a argamassa e a unidade de alvenaria é denominado ascensão capilar (quando o líquido molha o tubo). Os fenômenos da ascensão capilar podem ser estudados com base na equação de Young-Laplace:

$$\Delta P = \gamma \left[ \left( \frac{1}{R_1} \right) + \left( \frac{1}{R_2} \right) \right] \quad (\text{Equação 2})$$

Onde  $\Delta P$  é a diferença de pressão,  $\gamma$  é a tensão superficial do líquido e  $R_1$  e  $R_2$  são os raios de curvatura. Quando ocorre uma superfície esférica, Figura 8, temos  $R_1=R_2=R$  e a equação de Young-Laplace se reduz a:

$$\Delta P = \frac{2\gamma}{R} \quad (\text{Equação 3})$$

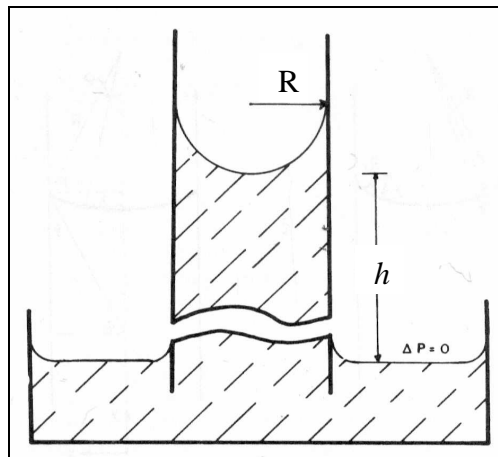


Figura 8. Ascensão capilar (ADAMSON e GAST, 1997).

No caso em que o menisco é hemisférico, pode ser considerado esférico, sendo  $\theta$  o ângulo entre a parede do tubo e a tangente à superfície num ponto de encontro com a parede, o raio do menisco e o do tubo capilar se relacionam entre si através de:

$$R_i = R \cos \theta \quad (\text{Equação 4})$$

Onde  $\theta$  é denominado ângulo de contato. Assim a equação de Young-Laplace pode ser definida como:

$$\Delta P = \frac{2\gamma \cos \theta}{R_i} \quad (\text{Equação 5})$$

Apesar de se tratarem de observações generalizadas das interações interfaciais pode-se utilizar o mesmo raciocínio para as argamassas de assentamento e a unidade de alvenaria, considerando a argamassa no estado fresco como líquido que deve molhar a unidade de alvenaria e também penetrando nos poros capilares dessa unidade por ascensão capilar.

### 2.3.2 Momentos iniciais da interação entre a argamassa de assentamento e o substrato

A interação entre a argamassa e o bloco de concreto se inicia quando a argamassa entra em contato com o bloco de concreto. Uma das ações mais significantes logo após o contato é a transferência de água proveniente da argamassa para a unidade de alvenaria, bloco de concreto (JENNINGS *et al.*, 2000). No entanto, nos primeiros segundos, o mecanismo é regido tanto pela sucção da base quanto pela evaporação de água para o ambiente e (DÉTRICHÉ *et al.*, 1984).

Na base, um substrato poroso não saturado, como o bloco de concreto, a sucção ocorre em função da sua matriz de sucção ou do seu potencial de pressão hidrostática negativa devido à absorção e às forças capilares.

Segundo Werner e Lange (2003), a argamassa no estado fresco é parcialmente saturada com água, portanto tem uma baixa tensão capilar. Entre e em volta de cada partícula sólida da argamassa há um menisco de fluido, conectado com o seu vizinho formando uma rede de partículas intercomunicadas. O valor da tensão capilar depende da quantidade de água presente na argamassa (se o conteúdo de água é menor, então a pressão capilar irá ser maior). Quando a argamassa é exposta a uma unidade de alvenaria seca, a sua tensão capilar irá elevar-se igual ou até maior do que a tensão capilar da matriz de sucção da unidade<sup>15</sup> enquanto ela puxa a umidade proveniente da argamassa (GROOT e LARBI, 1999). A matriz potencial no tijolo (negativa) irá diminuir (em módulo) enquanto a tensão capilar da argamassa aumenta (em módulo). O menisco da água que conecta partículas juntas irá tornar-se pequeno e fino enquanto mais água é removida.

Também pode-se considerar a argamassa e o substrato como dois sistemas porosos de porosidade aberta (DUPIN, DÉTRICHÉ e MASO, 1988).

No momento da aplicação da argamassa no estado fresco, esta apresenta um esqueleto formado pelos grãos sólidos do aglomerante e do agregado. Os espaços intergranulares (poros) são preenchidos de água<sup>16</sup>.

Apesar de não considerar a textura real e de ser extremamente simples para um fenômeno tão complexo, este modelo permite explicar qualitativamente os movimentos da água quando a argamassa é colocada em contato com o substrato de porosidade aberta<sup>17</sup>, cujos capilares estão inicialmente vazios (Figura 9a) (DUPIN, DÉTRICHÉ e MASO, 1988). Esse modelo mostra que, enquanto os raios médios dos capilares da argamassa são superiores aos dos capilares do substrato poroso, o movimento de água é efetuado da argamassa para o substrato poroso (Figura 9b). Sob a ação do aperto mecânico provocada pela depressão dos capilares e da

---

<sup>15</sup> O potencial de sucção da base é influenciado pela pressão capilar que depende das características do seu sistema de poros: volume, distribuição dos diâmetros e conectividade (DÉTRICHÉ e MASO, 1986; GROTT, 1995; GALLEGOS, 1995; PAES, 2004).

<sup>16</sup> Dupin, Détriché e Maso (1988) propõem para argamassa uma modelagem simples de uma estrutura de tubos capilares cilíndricos independentes e saturados de água. Os raios dos “tubos equivalentes” da argamassa vão diminuindo pela progressão da hidratação do aglomerante em função do tempo. Segundo Winslow *et al.* (1990) *apud* Gallegos (1995) os poros da argamassa variam, aproximadamente, de 0,001  $\mu\text{m}$  a 5  $\mu\text{m}$ .

hidratação do aglomerante (retração), o raio médio da argamassa diminui até tornar-se igual aos dos capilares do substrato. Quando o raio médio dos capilares da argamassa torna-se inferior ao dos capilares do substrato poroso, o sentido do movimento de água é invertido, fluxo reverso da umidade (Figura 9c).

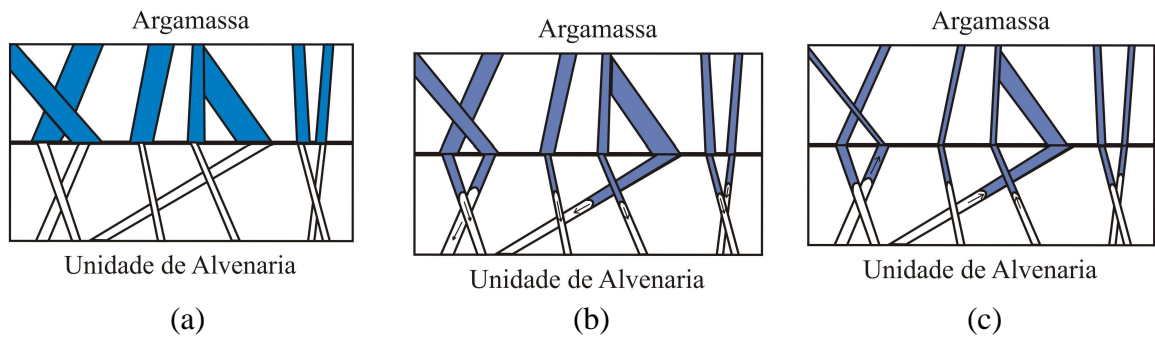


Figura 9. (a) instante de contato entre argamassa e o substrato, (b) primeiro momento na interação argamassa-substrato; (c) num momento posterior a água dos capilares mais grossos do substrato começa a retornar (fluxo reverso).

O fluxo reverso de umidade também pode ocorrer pela decomposição dos hidratos com elevada área específica e natureza higroscópica nos poros da argamassa que levam à redução do seu diâmetro (DÉTRICHÉ e MASO, 1986). Isso pode gerar um novo desequilíbrio da pressão hidrostática possibilitando que, caso haja água disponível nos poros da base, esta retorne para a argamassa. Esse fenômeno foi observado por Groot (1995) avaliando a transferência de água após várias horas depois da aplicação. Segundo o autor, a reversibilidade do fluxo de umidade tem, provavelmente, um efeito positivo na aderência, fornecendo água para ajudar o processo de hidratação.

Com a diminuição dos poros capilares da argamassa pela saída de água, a diferença de potencial entre sua pressão hidrostática e a da base se iguala a zero, interrompendo o fluxo (PAES, 2004). A redução de volume, aperto mecânico das partículas sólidas da argamassa pela ação da depressão dos capilares, resultante da desidratação da argamassa no estado plástico, se traduz por uma retração quase imediata da camada de argamassa pela redução dos poros (DÉTRICHÉ e MASO, 1986). Esse fenômeno é conhecido como retração plástica (DÉTRICHÉ e MASO, 1986 e BASTOS, 2001).

<sup>17</sup> Dupin, Détriché e Maso (1988) utilizam para o substrato poroso um modelo constituinte de tubos cilíndricos independentes perpendiculares às superfícies livres (argamassa) e de raios constantes ao longo do tempo. Os poros da base considerados ativos apresentam diâmetros superiores a 0,1  $\mu\text{m}$  e inferiores a 5  $\mu\text{m}$  (Gallegos, 1995).

Assim sendo, o tempo de absorção neste cenário já não depende isoladamente do diâmetro dos poros da unidade. Dependerá do conteúdo de água da argamassa, que varia com o tempo, e, assim também, do grau de colmatação dos poros da argamassa, sobretudo daqueles da interface com a unidade, que é dependente, por sua vez, do processo de absorção (GALLEGOS, 1995).

Cabe salientar que os modelos aqui apresentados são importantes apenas para o entendimento da interação nos primeiros instantes, porém estão distantes da realidade. Um exemplo disso é que a sucção do substrato também será influenciada pela área de contato entre a base e a argamassa. A extensão da área de contato dependerá das propriedades da argamassa no estado fresco e da qualidade da mão de obra (GALLEGOS, 1995). Além disso, as características superficiais da base, como por exemplo, textura e potencial eletrostático, também estão relacionados aos mesmos fatores que influenciam seu sistema de poros (PAES, 2004).

Outro fator a ser considerado é a velocidade de absorção do substrato que será variável: máxima no início do contato da argamassa com o substrato (depois de um brevíssimo período de acomodação que alguns investigadores têm detectado) e decresce conforme aumenta o processo de absorção (GALLEGOS, 1995).

Deve-se ressaltar também que, durante a transferência de água da argamassa no estado fresco para o substrato, na realidade irá ocorrer a transferência de parte da água de amassamento, isso quer dizer, água que contém em dissolução ou estado coloidal os componentes do aglomerante (CARASEK, 1996). Essas partículas e íons são levados para o interior dos poros da base. No interior destes, ocorrem fenômenos de precipitação, seja dos géis de silicato do cimento, seja do hidróxido de cálcio da cal, e, transcorrido algum tempo, com a cura, esses precipitados intracapilares exercem ação de ancoragem da argamassa à base (VALDEHITA ROSELLO, 1976 *apud* CARASEK, 1996). Segundo Gallegos (1995), a adesão é proveniente dessa ancoragem dos cristais hidratados de cimento nos poros da unidade que formarão o elo entre a argamassa e a unidade (resistência de aderência).

A interação dos produtos hidratados do cimento com as bases, basicamente tijolo cerâmico, foi alvo de diversas pesquisas como as de Détriché *et al.* (1984), Lawrence e Cao (1988), Groot (1995) e Carasek (1996).



### **Síntese do processo de interação entre a argamassa de assentamento e a unidade**

Diante do exposto, podemos fazer uma síntese do processo de interação entre a argamassa de assentamento e a unidade de assentamento.

Esse processo se diferencia das argamassas de revestimento principalmente pelo processo construtivo e condições de exposição da argamassa. Primeiramente a argamassa de assentamento é colocada sobre a unidade inferior, em seguida a unidade superior é posicionada e após esse processo o excesso de argamassa é retirado (raspagem). Outra diferença é em relação à área da argamassa em contato com as unidades (inferior e superior), que é muito maior do que aquela que fica em contato com o ambiente. Isso difere bastante da argamassa de revestimento que praticamente as áreas são semelhantes. Além disso, a espessura da argamassa de assentamento é de 10 mm, enquanto as de argamassa de revestimento são geralmente entre 20 e 30 mm.

Assim, a seguir será apresentado um esquema adaptado de Gallegos (1995) para argamassas de assentamento (Figura 10).



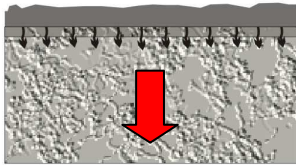
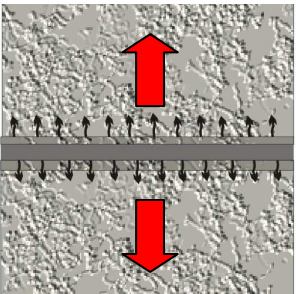
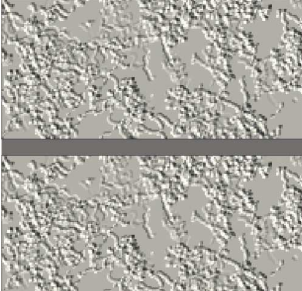
Etapas	Descrição	
1°	Dois materiais diferentes isolados.	
		
	Bloco de concreto	Argamassa de assentamento
	Estado endurecido	Estado Fresco
	Estrutura definida	Sem forma definida
Propriedades pré-estabelecidas como: absorção de água por capilaridade (morfologia dos poros)	Podem ser definidas como suspensões compostas por uma fração grossa inerte (areia) e uma pasta reativa de água e finos (aglomerantes) <sup>18</sup> .	
2°	A argamassa entra em contato com a unidade de alvenaria inferior.	
		Transferência de água (pasta) da argamassa para a unidade inferior (fenômeno descrito anteriormente).
		
3°		A unidade superior é posicionada sobre a argamassa de assentamento.
4°	Após algum tempo, com o processo de endurecimento dos aglomerantes, se formam produtos de hidratação, como por exemplo, cristais de etringita <sup>19</sup> nos poros da unidade.	
		A interface entre a argamassa de assentamento e a unidade inferior tende a ser mais densa e com maior profundidade de cristais do que a unidade superior.
		A partir desse momento, a argamassa de assentamento torna-se “junta de assentamento” com forma e funções definidas (SABBATINI, 1986).

Figura 10. Representação esquemática do mecanismo de formação da interação entre argamassa de assentamento e o bloco de concreto.

<sup>18</sup> Definição obtida em Cardoso, Pileggi e John (2005). Cabe salientar que essa pasta reativa nada mais seria que água mais íons e partículas dos componentes do aglomerante (cimento, cal, entre outros).

<sup>19</sup> Etringita – trissulfatoaluminato de cálcio hidratado – são cristais hexagonais aciculares com o diâmetro que varia conforme a concentração iônica e do espaço disponível para o desenvolvimento dos cristais (TAYLOR, 1990).

O fato da interface entre a argamassa de assentamento e a unidade inferior tender a ser mais densa e com maior profundidade de cristais do que da unidade superior é explicada por Gallegos (1995) por meio dos resultados obtidos no ensaio de tração direta das unidades (tijolos cerâmicos) unidas com argamassa (Figura 11).

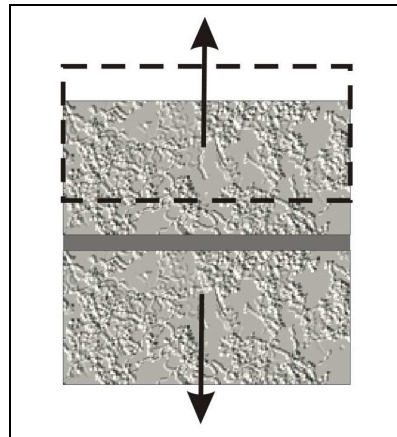


Figura 11. Ensaio de tração direta das unidades com a argamassa.

Segundo Gallegos (1995), a ruptura, nesse ensaio, ocorre sempre na interface superior, pois nessa interface há menor quantidade de produtos hidratados e em menor profundidade. Este autor comenta que este resultado foi verificado também em paredes de alvenaria em obra quando submetidas à tração. As fissuras de tração normalmente, ocorrem entre a interface da argamassa com a unidade superior.

Cabe salientar que, na realidade, numa parede de alvenaria, não se trata da aderência da argamassa com uma unidade apenas senão com todas as que integram a obra de alvenaria. Este é outro fator interfere para definir a aderência: a uniformidade da argamassa em múltiplas interfaces (GALLEGOS, 1995).

Para alcançar uma homogeneização que conduzirá a uniformidade na aderência entre as interfaces, a retenção de água da argamassa (item 2.2.2) e a pressão de assentamento são as variáveis mais críticas que devem ser atendidas.

Para entender a pressão de assentamento, é necessário analisar o processo de assentamento das unidades. O assentamento implica, sobre todas as outras considerações, em tensões vertical e horizontal para ajustar a argamassa com a unidade, estreitando ao máximo o contato entre eles. A tensão de assentamento contribui, muito mais que qualquer outro fator individual, para aumentar a tensão de aderência: ao forçar a água da argamassa a penetrar nos

poros da unidade; ao maximizar a extensão de contato entre a unidade e a argamassa; e ao homogeneizar a aderência em todas as interfaces da argamassa com a unidade (Gallegos, 1995).

A seguir serão apresentadas as conseqüências, na argamassa, da transferência de água entre argamassa de assentamento e bloco de concreto.

### **Conseqüências da transferência de água da argamassa para a unidade de alvenaria na argamassa**

A transferência de água da argamassa para a unidade de alvenaria pode causar uma densificação e/ou dessecação<sup>20</sup> (perda de água excessiva) na junta de assentamento (LANGE, DEFORD e AHMED, 1996).

Num primeiro momento, ocorre a movimentação da água da argamassa para a unidade de alvenaria causando uma consolidação da argamassa na interface (LANGE, DEFORD e AHMED, 1996). Isso provoca a diminuição dos vazios e evita a exudação de água por acumulação, que poderia criar uma zona fraca na interface argamassa/unidade (JENNINGS *et al.*, 2000). Assim, o mecanismo de densificação pode beneficiar as propriedades mecânicas das argamassas, como a resistência de aderência, pela compactação da argamassa, tornando a estrutura mais densa (LANGE, DEFORD e AHMED, 1996). Segundo Sarangapani, Reddy e Groot (2002) e Dupin, Détriché e Maso (1988) esta compactação é devida à diminuição da distância entre os grãos causada pela remoção da água pela sucção das unidades.

Por outro lado, se ocorrer uma transferência de água muito grande ou muito rápida, pode ocorrer a dessecação (WERNER e LANGE, 2003). Esta dessecação limita a quantidade de água disponível para a hidratação e cria uma matriz com alto teor de vazios (LANGE, DEFORD e AHMED, 1996). Assim, o mecanismo de dessecação reduz a resistência de aderência e enfraquece a argamassa pelo incremento do conteúdo de ar e diminui o grau de hidratação do cimento. Isso pode reduzir as propriedades como resistência à compressão, tração e aderência (WERNER e LANGE, 2003). Estes conceitos são ilustrados na Figura 12.

---

<sup>20</sup> Termo em inglês utilizado pelos autores era “*dewatering*”.

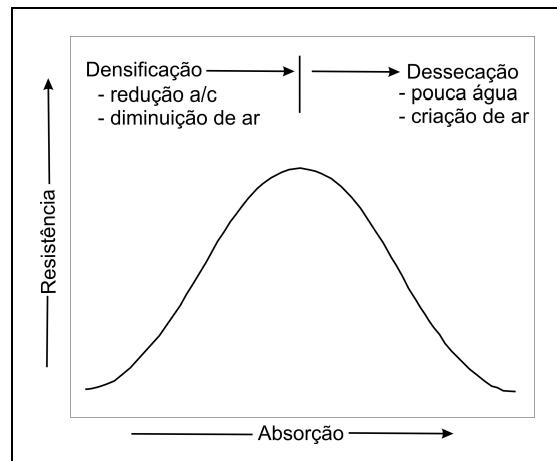


Figura 12. Fenômeno de densificação/dessecação (JENNINGS *et al.*, 2000).

Segundo Werner e Lange (2003), a dessecação pode ocorrer quando a capacidade de absorção (matriz potencial ou pressão negativa) da unidade de alvenaria é muito alta e o conteúdo de água da argamassa é muito pequeno.

Segundo Lange, Deford e Ahmed (1996), a dessecação explica o baixo grau de hidratação e o alto teor de ar incorporado verificados por análise de imagens. Claramente, o mecanismo de sucção é capaz de retirar água da argamassa, deixando uma matriz com água insuficiente para hidratar totalmente o cimento e criando vazios. Esse mecanismo de sucção deixa a argamassa com uma efetiva baixa relação água/cimento influenciando na resistência da argamassa endurecida da junta de assentamento (SCHUBERT, 1988; KJAER, 1991).

Normalmente, com baixas relações água/cimento se obtém altas resistências à compressão. Porém, a exaustão da água proveniente de uma estrutura estabilizada no estado fresco (esqueleto sólido estabilizado) é muito diferente daquela inicialmente misturada na argamassa com uma baixa relação água/cimento (LANGE, DEFORD e AHMED, 1996). Neste último caso, a ação da mistura da argamassa com baixa relação água/cimento (sem o uso de aditivos) cria uma trabalhabilidade pobre no material que, se devidamente consolidado, irá tornar-se denso e resistente. Entretanto, quando a perda de água ocorre após a microestrutura estabilizada, os grãos de areia permanecem no lugar e a água é removida da fase da pasta, criando vazios dentro da estrutura. Neste caso, tanto o grau de hidratação quanto o alto teor de ar incorporado afetam negativamente a resistência da argamassa (LANGE, DEFORD e AHMED, 1996).

### **Estudos sobre a transferência de água da argamassa no estado fresco para o substrato**

A transferência de água da argamassa no estado fresco para o substrato pode ser avaliada por alguns métodos destrutivos e não destrutivos.

Os métodos destrutivos geralmente são os mais utilizados e podemos citar os gravimétricos (GROOT, 1995). Esse método consiste na medida do incremento de massa da unidade de alvenaria ou pela redução da massa da argamassa após um tempo definido de absorção. Alguns autores colocam filtros entre a argamassa e as unidades para facilitar a retirada do bloco. Com esta técnica, é possível quantificar a mudança do conteúdo de água da junta de assentamento.

Outro método utilizado para obter informações sobre a perda de água da argamassa para o substrato é retirando uma amostra da argamassa e determinado a quantidade de água evaporável (até 105° C) e/ou a água proveniente unicamente da decomposição térmica dos produtos de hidratação (105°C a 1000°C) (DÉTRICHÉ *et al.*,1984). Assim, a quantidade de água em cada camada é obtida e, algumas vezes, é feita também a determinação da relação água/cimento após o período definido.

Também pode-se citar o uso de agulha de Vicat feito por Détriché e Grandet (1981) para verificar a influência da absorção de um material poroso em contato com a argamassa. Um método semelhante foi proposto por Bastos, Pascini e Carvalho (2003) para avaliar o tempo de pega de argamassas de revestimento em contato com o substrato poroso e não.

Já os métodos não destrutivos exigem equipamentos sofisticados ou desenvolvimento da tecnologia. Pode-se citar a utilização de transmissão de nêutrons (GROOT, 1995), ressonância magnética nuclear (NMR) (BROCKEN, ADAN e PEL, 1997) e sensores de umidade (PAES, 2004).

Primeiramente será descrito um resumo dos estudos encontrados na literatura sobre a medição da transferência de água da argamassa para a unidade de alvenaria informando os principais tipos de unidade utilizada, o tipo de argamassa, a espessura da junta ou do revestimento analisada, as medidas realizadas, o material utilizado para separar a unidade da argamassa e as principais propriedades avaliadas pelos autores (Tabela 10).

Tabela 10. Resumo dos estudos sobre transferência de água da argamassa para a unidade: tipo de unidade, tipo de argamassa, espessura da junta ou do revestimento, método, medidas, material utilizado para separar os dois materiais, propriedades avaliadas e autores.

Tipo de unidade (principais)	Tipo de argamassa	Espessura (mm)	Método	Medida	Material de separação	Principais propriedades avaliadas e observações	Autor (es)
Substrato poroso não indicado	Revestimento (com e sem aditivo)	variável	Agulha de Vicat	Resistência ao cisalhamento da agulha Argamassa	nenhum	Verificação da relação água/cimento	Détriché e Grandet (1981)
Substrato poroso produzido artificialmente	Revestimento	15	Gravimétrico	Água evaporável (105°C) e quimicamente ligada (105°C e 1000°C).	Nenhum	Três condições: substrato não absorvente (T = 20° C UR = 98%); substrato não absorvente (T = 20° C UR = 60 %) e substrato absorvente (T = 20° C UR = 60%).	Détriché <i>et al</i> (1984)
Tijolo cerâmico, bloco sílico – calcário, bloco de concreto celular.	Assentamento Argamassa mista	20	Gravimétrico	Unidade superior e inferior	Gaze	Resistência à compressão, densidade, conteúdo de água da argamassa aos 28 dias	Kjaer (1991)
Bloco sílico-calcário	Assentamento 3 argamassas	10 a 12	Gravimétrico	Argamassa	Nenhum	Resistência à compressão da junta	Schubert e Hoffmann(1994)
Tijolo cerâmico e tijolo sílico-calcário	Assentamento 5 argamassas	12	Transmissão de nêutrons	Conjunto tijolo/argamassa/tijolo	Nenhum	Resistência de aderência na flexão, caracterização da argamassa e tijolo.	Groot (1995)
Tijolo cerâmico	Assentamento 5 argamassas	6	Ressonância Magnética	-	-	Caracterização das unidades e argamassas em relação a absorção	Brocken, Adan e Pel (1997)
Tijolos cerâmicos, bloco sílico – calcário, bloco de concreto	Assentamento Argamassa mista	-	Gravimétrico	Unidade superior e conjunto	Grade de poliéster	As medidas da massa da unidade superior também foram realizadas com a idade	Forth, Brooks e Tapsir (2000)
Tijolo cerâmico	Assentamento Argamassa de cimento, mista e cimento de alvenaria	25,4	Gravimétrico	Argamassa Unidade Superior	Rede	Consolidação, teor de ar incorporado e resistência de tração na junta	Jennings <i>et al.</i> (2000)
Tijolo cerâmico	Assentamento Argamassa de cimento e mista	10	Gravimétrico	Unidade superior e Argamassa	Nenhum	Conteúdo de água da argamassa, obtendo a relação água/cimento	Sarangapari, Reddy e Groot (2002)
Blocos cerâmicos e blocos de concreto de vedação	Revestimento 4 argamassas	30	Gravimétrico	Argamassa	Nenhum	Resistência de aderência à tração	Scartezni e Carasek (2003)
Blocos cerâmicos e blocos de concreto	Revestimento 4 argamassas	25	Sensor de umidade	Argamassa	Nenhum	Características do substrato: IRA e absorção de água por capilaridade	Paes, Bauer e Carasek (2003)
Tijolo cerâmico, bloco de concreto e bloco sílico –calcário.	Assentamento Argamassa mista	10	Gravimétrico	Unidade superior	Nenhum	Resistência de aderência (arrancamento – “bond wrench”)	Totoev e James (2004)

Détriché e Grandet (1981) verificaram as mudanças nas propriedades das argamassas ao longo do tempo de contato ou não com o material poroso. A sucção do substrato desenvolveu uma dessecação e uma rigidez importante da mistura para um fenômeno puramente mecânico. Os resultados foram influenciados pela composição inicial da argamassa, pelo tipo de cimento, pelas características porosas do suporte e por certas condições de cura.

Para verificar o efeito das condições de cura e do substrato, Détriché *et al* (1984) avaliaram a transferência de água em três condições distintas (Tabela 10). A relação água/cimento obtida para o substrato não absorvente ( $T = 20^{\circ} \text{C}$  UR= 98%) se manteve constante até os quatro meses (0,50). Para as demais condições (substrato não absorvente,  $T = 20^{\circ} \text{C}$  UR = 60 %, e substrato absorvente,  $T = 20^{\circ} \text{C}$  UR = 60%) a relação água/cimento teve uma redução em função da evaporação de água e do substrato poroso, porém após quatro dias a relação água/cimento se manteve constante (0,20).

Essa mesma relação água/cimento (0,20) foi obtida por Sarangapani, Reddy e Groot (2002), para argamassas de cimento após uma hora, e Schubert e Hoffmann (1994), depois de duas horas da absorção de água da unidade em contato com a argamassa.

Segundo Schubert e Hoffmann (1994), esta relação água/cimento é insuficiente para a hidratação dos compostos do cimento. Porém, não foi verificada influência na resistência à compressão aos 28 dias dessas argamassas. Uma das explicações, segundo os autores, desse comportamento é o fato de que parte da água absorvida pela unidade remigra para a argamassa após a fase de absorção inicial. Esta “cura interna” pode causar um incremento na resistência à compressão (SCHUBERT e HOFFMANN, 1994). Esse comportamento também foi verificado por GROOT (1995).

Groot (1995) concluiu que a transferência de água afeta a composição da interface e determina o desenvolvimento da resistência de aderência. As maiores diferenças na transferência de água foram obtidas no período de 100 a 200 segundos imediatamente após o assentamento (contato entre a argamassa e o bloco de concreto).

Entretanto, Totoev e James (2004) observaram que o comportamento da transferência de água da argamassa no estado fresco para as unidades é diferente para o tempo de 2 e 10 minutos. Assim mostra a importância do conhecimento da absorção de água por capilaridade da unidade ao longo do tempo e não somente após 1 minuto como no ensaio da taxa inicial de absorção (IRA) (TOTOEV e JAMES, 2004). Além disso, os autores verificaram que a



absorção de água pura pelas unidades de alvenaria é superior à quantidade de água absorvida proveniente da argamassa pela unidade de alvenaria como já era esperado.

Ainda, a respeito da mudança da relação água/cimento, Brocken, Adan e Pel (1997) constataram uma relação água/cimento na junta inferior àquela encontrada nas amostras curadas separadamente. Este comportamento é em função da extração de água da argamassa no momento do assentamento.

Com relação ao conteúdo final de água da argamassa endurecida, não foi verificada a influência do pré-umedecimento dos tijolos cerâmicos e do uso de retentor de água (BROCKEN *et al.*, 1998, utilizando a mesma técnica de BROCKEN, ADAN e PEL, 1997). Entretanto foi verificada a influência desses parâmetros na transferência de água

Muitos autores afirmam que a transferência de água é influenciada pelo tipo de unidade e pelas propriedades da argamassa no estado fresco. Pode-se citar Détriché *et al.* (1984), Kjaer (1991), Groot (1995), Jennings *et al.* (2000), Forth, Brooks e Tapsir (2000) e Totoev e James (2004).

Um dos poucos trabalhos que avaliaram a diferença da absorção de água da unidade superior e da unidade inferior foi realizado por Kjaer (1991). Esse autor verificou que, para todas as combinações estudadas, a unidade inferior absorvia mais água do que a superior (confirmando a explicação de Gallegos, 1995, ver Figura 10).

Em relação à perda de água em função da espessura do revestimento, Scartzini e Carasek (2003) verificaram que a camada de argamassa mais próxima da interface perde mais água do que a camada superficial e que a sucção exercida pelo bloco influencia na perda de água de toda a espessura do revestimento. Esses resultados foram também verificados por Paes, Bauer e Carasek (2003).

Alguns autores tentaram correlacionar a quantidade de água absorvida e a resistência de aderência para argamassas de assentamento. Totoev e James (2004) não verificaram essa correlação. Segundo os autores, isso pode ter ocorrido por dois motivos: primeiro a quantidade de argamassa que ficava aderida no bloco não era descontada após o ensaio e segundo que ocorreram modos de ruptura distintos (interface, na argamassa e a combinação dos dois) sendo que esse fator deve ser levado em conta.

Jennings *et al.* (2000) concluíram que, quando o tijolo é colocado em contato com a argamassa, uma interação complexa ocorre entre eles envolvendo absorção, consolidação, e

conseqüentemente troca da estrutura de ar contido. A interação tijolo/argamassa altera a microestrutura e as propriedades do estado endurecido da argamassa. Além disso, ocorre a influência da granulometria da areia (principalmente nos resultados de consolidação) e de aditivos (retentores de água) incorporados às argamassas nos resultados de absorção de água, consolidação e na resistência à tração na flexão das juntas. Para a resistência à tração na flexão da junta não foi possível correlacionar os resultados com o IRA dos tijolos cerâmicos (IRA baixo, médio e alto - Tabela 3).

### 2.3.3 Aderência entre a argamassa de assentamento e o bloco de concreto

O termo aderência é usado para descrever a resistência e a extensão do contato entre a argamassa e a base (CARASEK, 2007). A aderência é uma propriedade essencial no caso das argamassas de assentamento<sup>21</sup>, uma vez que ela fará a ligação entre as unidades de alvenaria, formando um conjunto monolítico. Assim, a aderência não é uma propriedade intrínseca da argamassa, pois ela depende também das características da base e da interação entre os dois materiais.

A resistência de aderência pode ser definida como a capacidade que a interface bloco/argamassa possui de absorver tensões tangenciais (cisalhamento) e normais (tração) a ela, sem romper (SABBATINI, 1996).

Os fatores que influenciam na aderência são os seguintes (LAWRENCE e PAGE, 1994): propriedades da unidade (como materiais constituintes, textura superficial, absorção e conteúdo de umidade); propriedades da argamassa, (como a composição, aditivos, granulometria da areia, ar incorporado e retenção de água); e fatores ambientais (como as poeiras das unidades, temperatura, umidade relativa do ar, mão-de-obra e condições de cura). Cabe salientar que, como comentado anteriormente (item 2.3.2), a transferência de água da argamassa para a unidade é responsável pelo desenvolvimento da resistência de aderência entre argamassa/unidade (GALLEGOS, 1995; LANGE, DEFORD e AHMED, 1996; GROOT e LARBI, 1999; JENNINGS *et al.*, 2000; entre outros).

Segundo Sabbatini (1984), a aderência é, na verdade, uma conjugação de três propriedades da interface bloco-argamassa: a resistência de aderência à tração, a resistência de

---

<sup>21</sup> Mais informação no item 1.1.

aderência ao cisalhamento e a extensão de aderência (que corresponde à razão entre a área de contato efetivo e a área total possível de ser unida).

Apesar da importância dessa propriedade para as argamassas de assentamento, ainda não existem métodos normalizados no Brasil para avaliação da aderência das juntas de argamassa na alvenaria (CARASEK, 2007). A maioria dos métodos empregados e propostos consiste em separar duas ou mais unidades ligadas por argamassa.

Os métodos para avaliar a aderência podem ser divididos em três grupos baseados nos esforços aplicados: tração direta, cisalhamento e flexão.

O princípio do ensaio de tração direta consiste em aplicar um esforço normal de tração de maneira a separar duas ou mais unidades ligadas por argamassas. A Figura 13 apresenta algumas configurações deste ensaio.

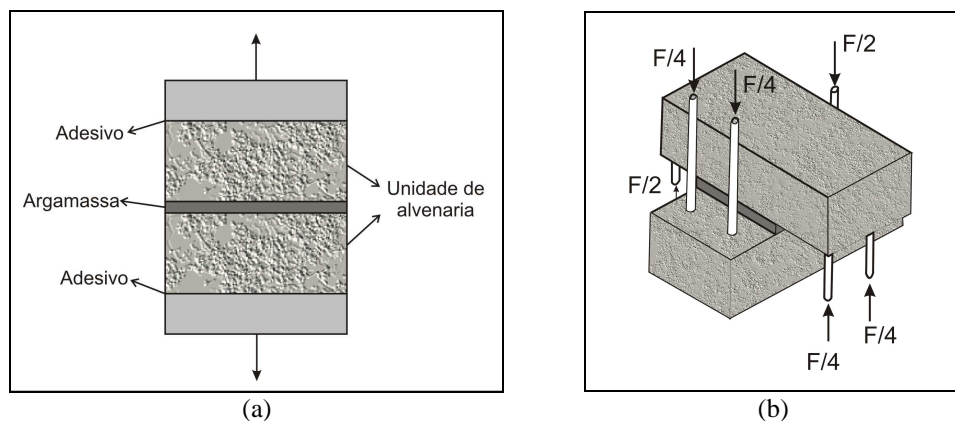


Figura 13. (a) ensaio de tração direta e (b) ensaio de tração direta em “X” (“*crossed brick couplets*”) (Adaptada de Jukes e Riddington, 1998).

A respeito desse ensaio, Anderson e Morton (1986) *apud* Solórzano (1994) concluíram que exige um extremo cuidado na moldagem e ensaio dos corpos-de-prova de modo a evitar os efeitos de excentricidade, que originam tensões não uniformes na junta (ensaio utilizado foi o “*crossed brick couplets*”).

Já os ensaios para avaliar a resistência ao cisalhamento normalmente consistem em aplicar uma carga de cisalhamento concentrada nas proximidades de uma das extremidades da junta de assentamento. Algumas configurações deste ensaio são apresentadas na Figura 14. Maiores informação podem ser obtidas em Jukes e Riddington (1997).

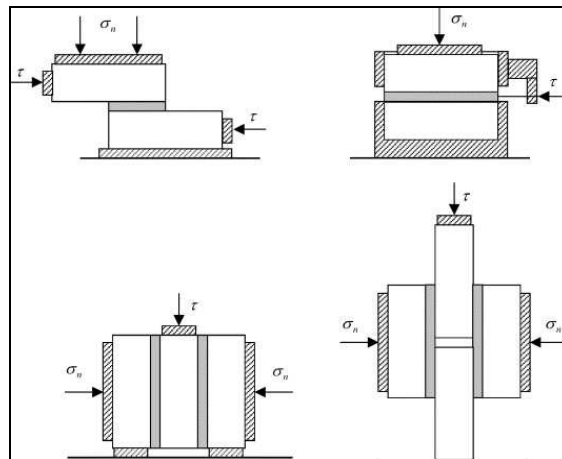


Figura 14. Ensaio de resistência de cisalhamento para argamassas de assentamento (CRISAFULLI, 1997 *apud* ABDON *et al.*, 2006).

Com relação ao ensaio de tração na flexão, consiste em aplicar um carregamento gerando esforços de tração no corpo-de-prova. Na Figura 15 apresentam-se algumas configurações para este ensaio. Maiores informações podem ser obtidas em Jukes e Riddington (1998).

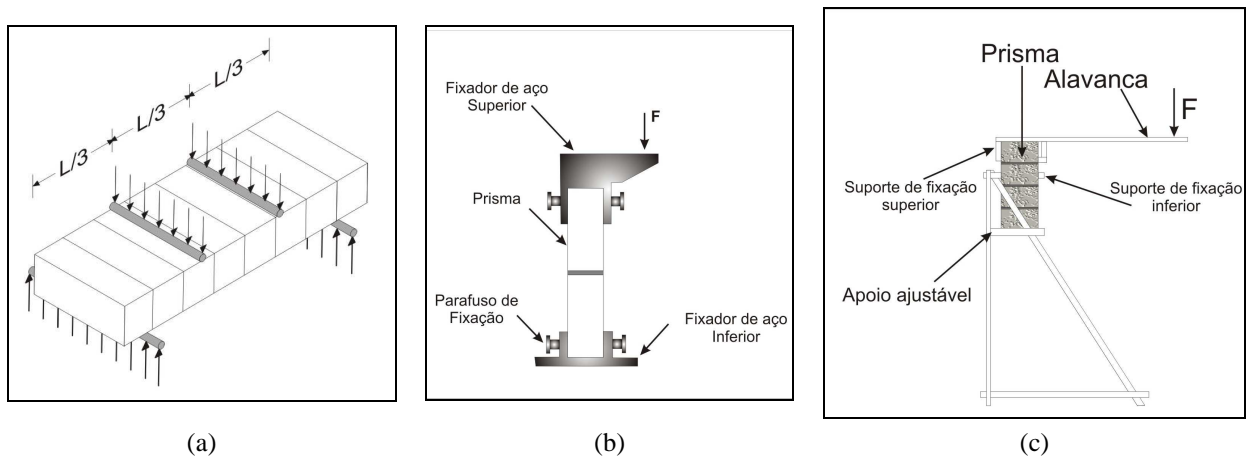


Figura 15. Ensaio de resistência à tração na flexão para argamassas de assentamento: (a) ASTM E 518-80 (2003); (b) ASTM C 952 (1976) e (c) tração por arrancamento (*bond wrench*) ASTM C 1072 (1986).

Anderson e Morton (1986) *apud* Solórzano (1994) consideram que os ensaios mais adequados para se avaliar a aderência bloco-argamassa em laboratório e em obra são os que empregam prismas de quatro blocos, ensaiados como vigas e submetidos à flexão de acordo com o especificado na norma australiana AS 1475 citada por eles (procedimento semelhante a ASTM E 518-80) e também o ensaio de arrancamento (*“bond wrench”*), recomendado nas normas americana *“Draft SAA Masonry Code”* e ASTM C 1072, dada a praticidade destes ensaios e os bons resultados obtidos.

A resistência de aderência na flexão pode ser determinada utilizando a metodologia da norma americana ASTM E 518-80 (2003). Medeiros e Sabbatini (1994), baseados nesta norma, adaptaram o método para controle desta propriedade em canteiro de obras. Esse método consiste em confeccionar um prisma de alvenaria de quatro fiadas<sup>22</sup>. Esse prisma é colocado em posição horizontal apoiado nos dois blocos extremos. O carregamento é aplicado nos dois blocos centrais, gerando um esforço de flexão no prisma. Em obra, os autores realizavam o carregamento com blocos de concreto. O esquema do ensaio é apresentado na Figura 16.

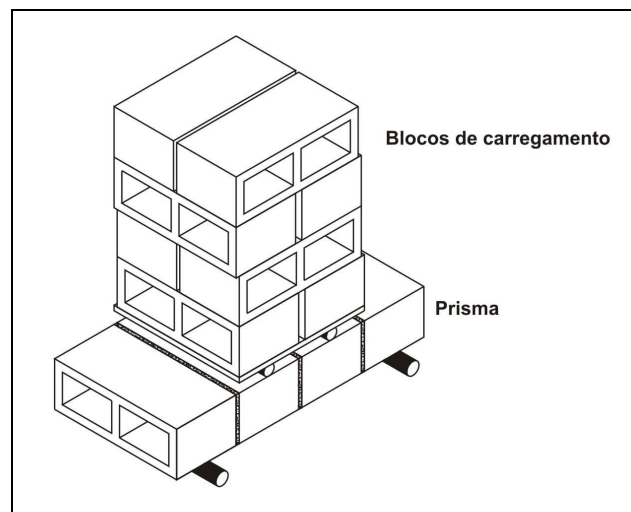


Figura 16. Ensaio de campo para a determinação da resistência à tração na flexão proposto por Medeiros e Sabbatini (1994).

Medeiros e Sabbatini (1994) comprovaram a exequibilidade do método proposto, com uma variação aceitável dos resultados diante da sua simplicidade. Além disso, existe a possibilidade de adoção desse ensaio como parte integrante do controle de produção da alvenaria, obtendo parâmetros de escolha das argamassas e de técnicas de assentamento das unidades.

Os autores também alertaram sobre alguns aspectos para as confecções dos prismas: a utilização de bisnaga de assentamento<sup>23</sup>; moldagem sobre uma superfície plana; após uma hora do término da moldagem foram colocados dois blocos sobre o prisma para homogeneizar as

<sup>22</sup> Respeitando as recomendações da ASTM E 518-80 (2003), cujo vão ( $l$ ) deve ser maior que  $2,5 \times d$ , onde  $d$  é a altura do prisma na horizontal ( $d = 14$  cm). Existe também, segundo a mesma norma, a possibilidade de emprego de prismas de mais blocos seguinte a relação  $(4+3.n)$ , onde  $n$  é igual a 0, 1, 2, 3, ..., assim ter-se-ia na seqüência prisma de sete blocos. Segundo Medeiros e Sabbatini (1994) essa altura de corpo-de-prova mostrou-se pouco prática e apresentou resultados dispersos.

<sup>23</sup> Maiores informações em Prudêncio, Oliveira e Bedin (2002) e Carasek (2007). Segundo Prudêncio, Oliveira e Bedin (2002) essa ferramenta é pouco utilizada, pois exige um esforço do operário para apertá-la, podendo provocar

condições de aderência do último bloco e os prismas foram curados sob condições específicas de temperatura e umidade.

Os valores obtidos por Medeiros e Sabbatini (1994) foram de 0,16 a 0,22 MPa (coeficiente de variação entre 11,2 a 21,4%) ensaiando um total de 36 prismas a 14 dias de idade (blocos de concreto de resistência à compressão média de 8,4 a 14,9 MPa e argamassa mista com traço de 1: 1: 6 e 1: 0,5: 6 em volume).

É importante observar que, a esta idade, 14 dias, a resistência de aderência já atinge os valores máximos (MEDEIROS e SABBATINI, 1994) mostrando um comportamento distinto da resistência à compressão da argamassa em relação à idade. Os autores comentam ainda que os valores de resistência de aderência obtidos foram praticamente constante a partir de 3 dias de idade. Essa constatação foi observada em estudos preliminares dos autores para a Encol (CPDCC/EPUSP/ENCOL, 1989 *apud* MEDEIROS e SABBATINI, 1994) no qual avaliaram 72 prismas.

Este método<sup>24</sup> também foi utilizado por Solórzano (1994) para avaliar a resistência de aderência de argamassas mistas e com saibro em substituição à cal. Este autor utilizou três blocos de concreto com diferentes taxas de absorção de água por capilaridade inicial (IRA) (Tabela 3). Na Tabela 11 são apresentados os valores obtidos por esse autor aos 28 dias.

Tabela 11. Resultados obtidos por Solórzano (1994).

Tipo	Traço (cimento, cal e areia) (volume, materiais úmidos)	Retenção de água <sup>†</sup> (%)	Resistência à compressão da argamassa (MPa)	Resistência de aderência na flexão (MPa) (Coeficiente de variação, %)		
				F1*	F2**	F3***
C1	1: 1,06: 4,33	77	15,8	0,29 (16)	0,29 (18)	0,36 (9)
C2	1: 1,94: 6,03	74	8,43	0,19 (22)	0,22 (17)	0,15 (20)
C3	1: 2,73: 7,73	77	6,22	0,13 (25)	0,09 (13)	0,16 (8)

<sup>†</sup> Determinada pela NBR 9287 (1985)

\* F1 – Resistência média de 6,01 MPa e taxa de absorção inicial (IRA) de 5 a 45 g/ 193 cm<sup>2</sup>/ min;

\*\* F2 – Resistência média de 5,05 MPa e taxa de absorção inicial (IRA) de 45 a 90 g/ 193 cm<sup>2</sup>/ min;

\*\*\* F3 – Resistência média de 4,54 MPa e taxa de absorção inicial (IRA) de 90 a 135 g/ 193 cm<sup>2</sup>/ min;

Observa-se na Tabela 11, que para uma mesma argamassa, a absorção do bloco teve uma influência importante no desenvolvimento de aderência entre bloco-argamassa, porém não foi possível obter uma correlação entre esses dois fatores.

---

dores no punho. Cabe ressaltar, que esta ferramenta pode proporcionar alta produtividade caso a argamassa esteja dosada adequadamente para essa finalidade.

<sup>24</sup> Inclusive com carregamento com blocos de concreto. Segundo o autor é especificado na norma australiana AS 1475.

Esse autor também avaliou a influência da mão-de-obra na resistência de aderência à flexão considerando os dez erros mais frequentes observados na prática, ou seja, erros que são cometidos no momento de execução da parede devido à falta de qualificação da mão-de-obra ou à carência de uma técnica adequada de execução. Neste caso, foram utilizados blocos de concreto F1 e argamassa C2 (Tabela 11). Na Tabela 12 é apresentada os resultados com seus respectivos aspectos de moldagem.

Tabela 12. Influência da mão-de-obra na resistência de aderência na flexão (SOLÓRZANO, 1994).

Tipo	Aspecto de moldagem	Resistência de aderência na flexão (MPa)	Coefficiente de variação (%)	% de perda de aderência em relação a G1
G0	Referência**	0,30	18,3	-
G1	Moldagem após uma hora de mistura da argamassa sem acrescentar nenhuma água	0,18	17,9	40
G2	Moldagem com tempo de espera de 1,5 min antes de assentar o bloco superior	0,22	8,0	27
G3	Moldagem com tempo de espera de 3 min antes de assentar o bloco superior	0,20	13,4	34
G4	Moldagem com tempo de espera de 6 min antes de assentar o bloco superior	0,13	6,0	57
G5	Moldagem com reassentamento do bloco assentado e retirado	0,22	17,0	27
G6	Moldagem com espessura de junta de 5 mm*	0,26	20,7	13
G7	Moldagem com espessura de junta de 15 mm*	0,14	11,2	54
G8	Moldagem sem “batidas” no bloco com a colher de pedreiro durante o assentamento	0,24	17,9	20
G9	Moldagem com adição de água após 1 hora da mistura da argamassa (“retempero”)	0,29	18,2	Não teve
G10	Moldagem com adição de água após 2 horas da mistura da argamassa (“retempero”)	0,16	8,4	50

\* - A junta de referência é de 10 mm;

\*\* - O autor não comenta o processo de assentamento, somente coloca que os prismas foram construídos com o auxílio de um gabarito para garantir o prumo, alinhamento e a uniformidade na espessura da junta. Além disso, os blocos de concreto foram assentados com a utilização de bisnaga.

Os resultados obtidos da Tabela 12 demonstraram que a mão-de-obra é um fator que tem uma importantíssima influência na resistência à aderência entre o bloco-argamassa. Uma técnica inadequada de assentamento causa a diminuição da resistência à aderência entre 13 a 57% em relação a uma situação ideal.

Medeiros (1993) também comenta que, quando não há preocupação com a limpeza da superfície, pode ocorrer uma redução substancial dos valores de aderência e um aumento considerável na variabilidade dos resultados encontrados (ensaios em prismas solicitados à flexão) num estudo realizado por Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Construção Civil (CPqDCC) (1989) *apud* MEDEIROS (1993).

Solórzano (1995), a partir dos resultados obtidos, recomenda a utilização de faixas de resistência de aderência para permitir uma predefinição das características que deveria possuir uma argamassa de assentamento: “baixa” aderência menor que 0,15 MPa; “média” aderência entre 0,15 a 0,25 MPa e “alta” aderência maior que 0,25MPa.

Como já comentado anteriormente (item 1.1), Sabbatini (2002) recomenda que o valor de resistência à tração na flexão em prismas deve ser no mínimo de 0,25 MPa para obras de alvenaria estrutural de blocos de concreto.

A norma americana de cálculo de alvenaria estrutural ACI 530-02/C-31 (2002) especifica que, para cálculo da estrutura, deve-se considerar o módulo de ruptura de tensão de tração na flexão normal a fiada e paralela às fiadas (ver Figura 2) conforme a Tabela 13.

Tabela 13. Tensão de módulo de ruptura ACI 530-02/C-31 (2002).

Tipo de solicitação e tipo de alvenaria		Tipo de argamassa			
		Argamassa mista (Cimento, cal e areia) ou argamassa de cimento		Argamassa com cimento de alvenaria ou argamassas de cimento/cal e aditivos incorporadores de ar	
		M ou S	N	M ou S	N
Normal às fiadas	Unidades sólidas	0,689	0,517	0,413	0,262
	Unidades vazadas*	0,431	0,331	0,262	0,158
Paralela às fiadas	Unidades sólidas	1,379	1,033	0,827	0,517
	Unidades vazadas*	0,86	0,655	0,517	0,331

\* Unidades não grauteadas.

Pode ser observado, na Tabela 13, que para a argamassa mista com traço em volume de 1: 0,50 a 1,25: 3,37 a 6,75 (cimento: cal: areia), o valor de módulo de ruptura é de 0,336 MPa. Além disso, os valores de tensão para argamassas com incorporadores de ar são inferiores aos recomendados para as argamassas mistas. Assim, os calculistas devem considerar esse fato quando for utilizado esse tipo de argamassa.

A norma brasileira de cálculo para alvenaria estrutural, NBR 10837 (1989), considera apenas a tensão admissível na alvenaria não armada. O valor recomendado de tração na flexão normal às fiadas para blocos vazados é de 0,15 MPa (para argamassas com resistência à compressão entre 12 a 17 MPa) e de 0,10 MPa (para argamassas com resistência entre 5 e 12 MPa). Cabe salientar que esta norma considera apenas as tensões admissíveis e que os valores obtidos ainda devem ser multiplicados pelo fator de segurança para ser avaliado o módulo de



ruptura (como na norma americana). Além disso, essa norma não faz distinção ao tipo de argamassa utilizada (mista ou com incorporadores de ar).

Recentemente, Savi, Valduga e Volpato (2006)<sup>25</sup> verificaram a influência do tipo de argamassa (industrializada e mista), das condições climáticas de cura e da execução da alvenaria na resistência de aderência na flexão em prismas de blocos de concreto (resistência característica  $f_{bk}$  igual a 6MPa). Os autores concluíram que as argamassas com cal apresentaram melhor desempenho do que as argamassas sem cal. A maior resistência média de aderência foi de 0,46 MPa (coeficiente de variação de 16%) obtido para uma argamassa industrializada com cal, prisma moldado em obra e sujeito à exposições climáticas (temperatura de 15° C e umidade relativa de 65 %). Enquanto o menor valor foi de 0,047 MPa (coeficiente de variação 17,8%) para argamassa industrializada sem cal, moldado e curado em obra (temperatura de 38° C e umidade relativa 36 %) e os blocos foram umedecidos no momento do assentamento. Os autores verificaram que as condições climáticas adversas (alta temperatura ambiente e umidade relativa baixa) prejudicaram a resistência de aderência. Os valores obtidos pelos autores para argamassa industrializada (possivelmente com aditivos incorporadores) já haviam sido verificados por Sugo, Page e Lawrence (1999). Esses autores analisaram tijolos cerâmicos, argamassas mistas com e sem aditivos incorporadores de ar. Para todas as combinações estudadas, as resistências de aderência para argamassas mistas com incorporadores de ar foram inferiores do que a de referência, sem incorporador de ar.

Uma das explicações para esse comportamento distinto está na diferença da microestrutura da interface dessas argamassas. Essa afirmação foi comprovada nos estudos realizados por Sugo, Page e Lawrence (1996) e Brocken, Pers e Larbi (2000). Segundo esses autores, a argamassa mista (cimento, cal e areia) tem grande retenção de água e, devido a isso, a zona de interface apresentou uma maior compactação em relação a argamassa de cimento com incorporador de ar. Além disso, essas argamassas têm baixa retenção de água e isso acaba resultando num endurecimento do cimento perto da zona de interface. Nessa zona foi encontrado cimento não hidratado e isso pode ter causado uma baixa resistência de aderência entre a argamassa e o tijolo cerâmico (BROCKEN, PERS e LARBI, 2000).

Uma proposta de método de determinação da resistência de aderência na flexão foi apresentada por Werner e Lange (2003). Primeiramente os autores seccionaram o tijolo para obter pedaços, a área de aderência foi menor que a dimensão do tijolo (3x 6) cm e foi realizado

---

<sup>25</sup> Esses autores utilizaram o método da ASTM E 518-80 (2003).

um entalhe para induzir a ruptura no tijolo inferior (Figura 17). Esse entalhe tinha o objetivo de diminuir a variabilidade do ensaio. Os autores utilizaram o ensaio de quatro pontos como a ASTM E 518-03, porém com distâncias diferentes de aplicação da carga (Figura 17).

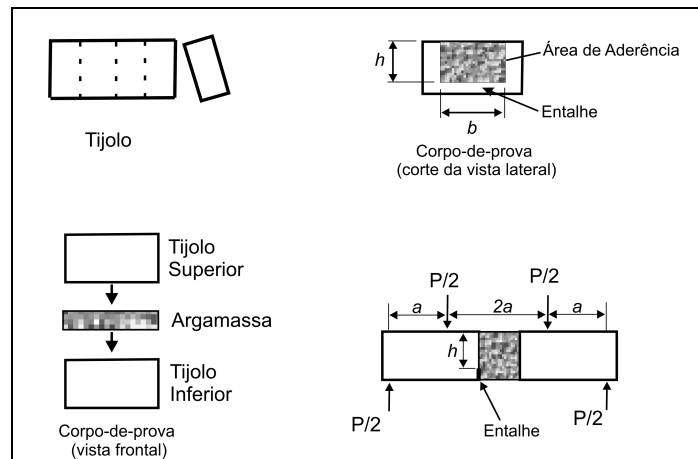


Figura 17. Entalhes utilizados no estudo por Werner e Lange (2003).

Os autores concluíram que a resistência de aderência é influenciada pela granulometria do agregado miúdo e pela adição de aditivos (incorporador de ar e superplastificante). Os valores obtidos de resistência de aderência foram de 0,05 a 2,18 MPa, valores superiores aos obtidos por Medeiros e Sabbatini (1995) e Solórzano (1994). Isso possivelmente se deve ao fato do estudo ter sido realizado com tijolos cerâmicos maciços e argamassas com elevada resistência à compressão (24 a 50 MPa). Com os resultados obtidos não foi possível fazer uma correlação entre a resistência à compressão da argamassa com resistência de aderência argamassa/tijolo, como já era esperado.

A correlação entre a resistência à tração por flexão de paredinhas com os resultados de ensaios de resistência de aderência à tração com prismas como corpos-de-prova foi obtida por Anderson e Morton (1986) *apud* Solórzano (1994). Esses autores concluíram que os valores resultantes dos prismas correspondiam, aproximadamente, a 75% dos valores resultantes das paredinhas e que a variação dos resultados dos ensaios nas paredinhas foi maior que nos prismas. Esses autores comentam ainda um estudo realizado por Lawrence, que correlacionou resultados de ensaios com prismas submetidos à tração na flexão (na forma de viga) com os prismas submetidos à tração na flexão na forma de arrancamento (“*bond wrench*”). Os resultados mostraram que os coeficientes de correlação entre estes dois tipos de ensaios foram da ordem de 99% (independentemente do coeficiente de variação apresentado).

### **Observações gerais sobre a aderência entre argamassa e o bloco de concreto**

Diante do exposto, verifica-se a falta de dados experimentais acerca da aderência entre blocos de concreto e argamassas, o que impede o entendimento amplo do fenômeno.

Os ingleses estudaram a fundo a aderência entre as argamassas de assentamento e tijolos cerâmicos estabelecendo importantes conceitos (SABBATINI, 1984). Entretanto, devido à grande diferença existente entre os materiais cerâmicos e o bloco de concreto, a tentativa de extrapolar os dados existentes pode ser muito perigosa.

Além disso, não existe um ensaio padronizado na norma brasileira para medir a resistência de aderência entre os blocos de concreto e argamassas de assentamento. No ensaio, o processo de moldagem dos prismas e as condições de cura podem influenciar na resistência de aderência. Além disso, a não uniformização dos blocos de concreto a serem utilizados no ensaio também pode gerar variabilidade.

Nesta tese, foi dada uma atenção especial ao ensaio da ASTM E 518 – 80 (2003), pois a maioria das manifestações patológicas nas obras do Oeste de Santa Catarina (ver item 1.1) foram causadas pela falta de aderência da parede na flexão com esforço normal as fiadas. Além disso, Medeiros e Sabbatini (1995), Solórzano (1994) e Savi, Valduga e Volpato (2006) obtiveram valores de resistência de aderência para blocos de concreto e esses valores serviram de base para os obtidos por esse trabalho.

### **3 PROGRAMA EXPERIMENTAL**

O programa experimental foi elaborado com o objetivo de verificar a influência dos blocos de concreto e das argamassas de assentamento na interação entre eles, bem como das condições ambientais. Desta forma, primeiramente selecionou-se as variáveis independentes e definiram-se as variáveis dependentes.

No planejamento dos experimentos foi necessária a realização de alguns estudos-piloto para definição de equipamentos e metodologias para determinar as características dos blocos de concreto, as propriedades do estado fresco e endurecido das argamassas de assentamento, a dosagem das argamassas e a interação entre argamassa de assentamento e bloco de concreto.

Após a apresentação dos estudos-piloto, são apresentadas as características dos materiais utilizados e as metodologias selecionadas para a execução dos ensaios.

#### **3.1 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS**

As variáveis independentes, bem como as variáveis dependentes estabelecidas na avaliação experimental são descritas a seguir.

##### **3.1.1 Variáveis independentes**

Para atingir os objetivos do trabalho, as seguintes variáveis independentes foram arbitradas no experimento: tipos de blocos de concreto, composição das argamassas de assentamento e condições ambientais.

- Tipo de blocos de concreto:
  - Bloco de concreto estrutural de resistência característica ( $f_{bk}$ ) de 6MPa fabricado em Florianópolis, Santa Catarina (TF);
  - Bloco de concreto estrutural de resistência característica ( $f_{bk}$ ) de 6MPa fabricado em Blumenau, Santa Catarina (TB).

Estes dois blocos de concreto foram selecionados por terem resistência características nominais iguais ( $f_{bk}=6\text{MPa}$ ), segundo a NBR 6136 (2006), e serem distintos uma vez que são produzidos em máquinas vibro-prensas diferentes e com materiais regionais. Esta resistência característica nominal ( $f_{bk}$ ) foi escolhida por ser a mais empregada nas obras da grande Florianópolis, além de ser a utilizadas nos prédios em que foram identificadas manifestações patológicas no Oeste de Santa Catarina (item 1.1).

- Composição das argamassas de assentamento:
  - Argamassa mista (cimento, cal e areia);
  - Argamassa mista com aditivo 1 – incorporador de ar - (cimento, cal, areia e aditivo);
  - Argamassa à base de cimento com aditivos (1 – incorporador de ar e 2 – retentor de água) (cimento, areia e aditivos).

A opção pela utilização da argamassa mista se deve ao fato dessa ser muito utilizada no Brasil, particularmente e nas obras de alvenaria estrutural da região da grande Florianópolis e ser a mais indicada para este tipo de estrutura, conforme visto anteriormente.

Já as argamassas à base de cimento aditivadas foram objeto do estudo, pois existe um interesse muito grande dos construtores na sua utilização, principalmente por ser um produto pronto, retirando a responsabilidade da obra em dosar a argamassa. Além disso, atualmente existe um problema ambiental com a utilização de cal hidratada e a tendência é que este produto seja retirado progressivamente do mercado.

Os aditivos utilizados foram um incorporador de ar (aditivo 1) e um retentor de água (aditivo 2). Esses aditivos foram usados devido a seu grande emprego em argamassas industrializadas e por existirem poucos estudos sobre as propriedades das juntas de assentamento com estes produtos. Além disso, com a utilização desses aditivos foi possível verificar a influência da incorporação de ar e da retenção de água na interação entre a argamassa de

assentamento e o bloco de concreto, tanto na transferência de água quanto na resistência à aderência.

- Condições ambientais:
  - Temperatura de  $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $(70 \pm 10)\%$ ;
  - Temperatura de  $(30 \pm 1)^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $(70 \pm 10)\%$ ;

As condições ambientais de temperatura de  $23^\circ\text{C}$  e umidade relativa de 70% foram escolhidas por serem indicadas para ambientes laboratoriais na maioria das normas brasileiras<sup>26</sup> e por se enquadrarem nos limites exigidos na norma ASTM E 518-03 (2003). Já a condição de temperatura de  $30^\circ\text{C}$  e umidade relativa de 70% foi utilizada, por ser teoricamente uma condição mais agressiva, além de ter sido indicada como fator influente nos baixos valores de resistência de aderência na flexão obtidos por Savi, Valduga e Volpato (2006).

### 3.1.2 Variáveis dependentes

As variáveis dependentes estão relacionadas com os materiais constituintes e com a interação entre argamassa de assentamento e bloco de concreto conforme pode ser visto a seguir.

- Relacionadas aos blocos de concreto
  - Absorção de água: taxa inicial de absorção de água e absorção de água por capilaridade ao longo do tempo.
- Relacionadas às argamassas de assentamento
  - Propriedades no estado fresco: consistência, retenção de água e de consistência, trabalhabilidade (GTec Teste), teor de ar incorporado e massa específica; e
  - Propriedades no estado endurecido: resistência à compressão, resistência à tração na flexão e módulo de deformação.
- Interação entre a argamassa de assentamento e o bloco de concreto
  - Quantidade de água transportada para o bloco de concreto;

---

<sup>26</sup> Pode-se citar NBR 13279 (2002), NBR 13277 (2005), NBR 13278 (2005), NBR 13279 (2005), NBR 13280 (2005), NBR 15258 (2005) e NBR 15259 (2005).

- Características das juntas de assentamento: resistência à compressão, resistência à tração na flexão e módulo de deformação; e
- Resistência de aderência entre argamassa de assentamento e bloco de concreto.

Um resumo da disposição geral do experimento, considerando as variáveis independentes e dependentes é apresentado um resumo na Figura 18.

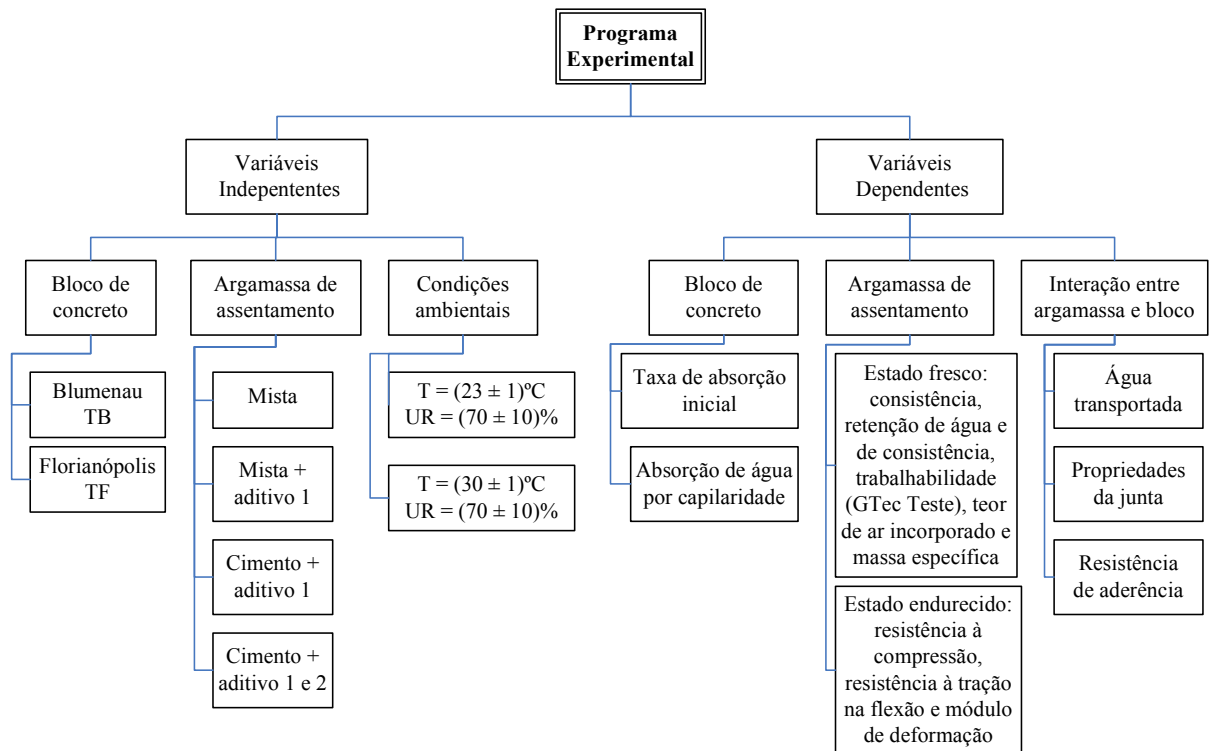


Figura 18. Resumo das variáveis independentes e dependentes do programa experimental.

## 3.2 ESTUDOS-PILOTO PARA DEFINIÇÕES DAS METODOLOGIAS DE ENSAIOS

### 3.2.1 Considerações Iniciais

Os estudos-piloto foram realizados com o objetivo de desenvolver equipamentos e metodologias necessárias para a determinação das características dos blocos de concreto, das propriedades das argamassas de assentamento (estado fresco e endurecido, inclusive na dimensão da junta de assentamento), da dosagem das argamassas e da interação entre argamassa

de assentamento e bloco de concreto (transferência de água da argamassa no estado fresco para o bloco de concreto e resistência de aderência na flexão).

### 3.2.2 Caracterização do bloco de concreto

Nesta pesquisa foram escolhidos dois blocos de concreto de fabricação distinta para alvenaria estrutural. Como comentado anteriormente, os blocos de concreto utilizados tinham uma resistência característica nominal ( $f_{bk}$ ) de 6 MPa classificados, segundo a NBR 6136 (2006) como Classe A.

A resistência característica nominal normalmente é a exigência feita pelo projetista estrutural e cabe aos fabricantes obterem e garantirem esse parâmetro.

Atualmente, a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP)<sup>27</sup> possui um programa que fiscaliza a qualidade e a homogeneidade da produção e emite um selo de qualidade. As duas empresas, tanto de Florianópolis quanto de Blumenau, faziam parte deste programa e tinham o Selo de Qualidade para este produto quando foram produzidos e coletados os blocos de concreto.

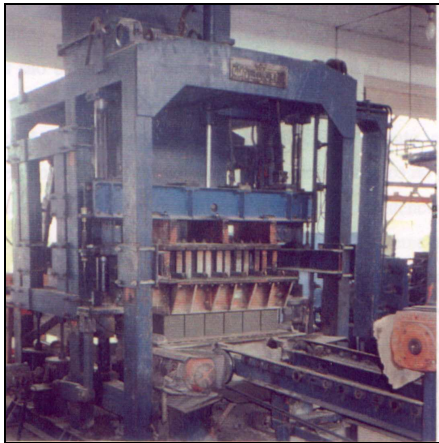


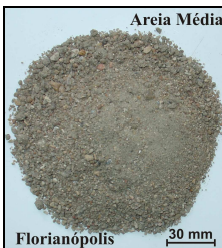



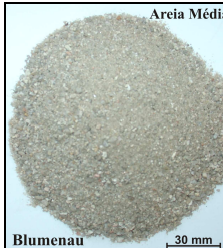
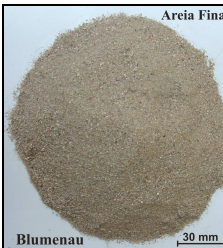
A Tabela 14 apresenta-se as principais diferenças entre as duas fábricas, uma vez que trata-se de fábricas distintas com equipamentos e matéria-prima diferentes.

---

<sup>27</sup> Para cada lote coletado são determinadas as dimensões, absorção total e resistência à compressão (maiores informações no site [www.abcp.org.br](http://www.abcp.org.br) e dados obtidos de [www.blocobrasil.com.br](http://www.blocobrasil.com.br) – acesso 20/02/2006).



Tabela 14. Diferenças entre as fábricas de bloco de concreto de Florianópolis e Blumenau.

Blocos de concreto	Florianópolis (TF)	Blumenau (TB)
Máquinas vibro-prensas	Montana MDX - 975	Montana MDX - 475
Número de blocos/chapa	06	03 (somente 2 de 14x19x39 cm pela forma utilizada pela fábrica)
Visualização das máquinas utilizadas		
Matéria-prima utilizada*	Pedrisco** Areia Média Areia Fina	Pedrisco** Areia Média Pó de pedra Areia Fina
Visualização das matérias-primas	  	   
Traço utilizado	1: 1,5: 6,0: 3,5 (cimento: areia fina: areia média: pedrisco)	1: 0,5: 2,8: 3,8: 2,8 (cimento: areia fina: areia média: pó de pedra: pedrisco)
Quantidade de agregados do traço (m)	11,0	9,9

\* Caracterização completa no Anexo 1

\*\* Agregado graúdo com dimensão máxima característica de no máximo 9,5 mm

A primeira diferença constatada visualmente entre os dois blocos foi quanto às texturas superficiais das faces laterais (Figura 19).

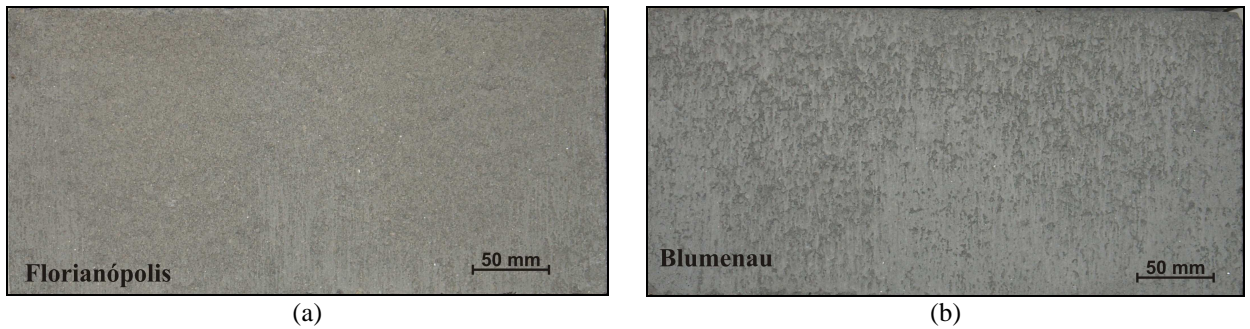


Figura 19. Textura superficial da lateral dos blocos de concreto utilizados: (a) bloco de concreto de Florianópolis (TF) e (b) bloco de concreto de Blumenau (TB).

Por análise visual, o bloco de concreto TF apresenta estrutura de poros menores e textura superficial mais densa e compactada. O bloco de concreto TB, por sua vez, apresenta poros maiores e textura superficial mais aberta. Estas características podem ser determinantes no transporte de água da argamassa para o substrato e, por conseguinte, no desenvolvimento da resistência de aderência. Esta diferença também foi um dos motivos da escolha desses blocos de concreto para o desenvolvimento do trabalho.

Outro fator constatado foi a diferença de áreas entre a face de assentamento e a face de fundo, isso porque o bloco de concreto, em função da conicidade de seus vazados, tem uma posição certa de assentamento. Em outras palavras, o bloco de concreto tem face superior e face inferior. Assim, os blocos de concreto devem ser assentados todos na mesma posição devido ao melhor funcionamento estrutural da alvenaria. A Figura 20 mostra um esquema de um corte no bloco de concreto identificando a correta posição de assentamento.

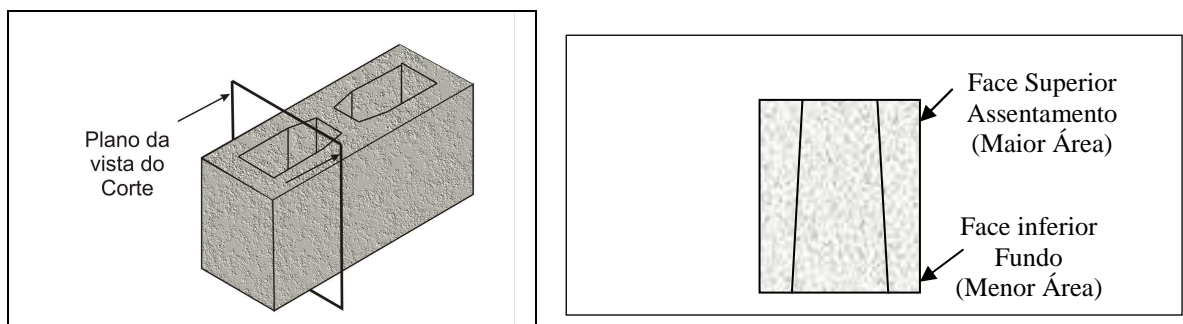


Figura 20. Bloco de concreto na posição correta do assentamento.

A face superior de assentamento tem uma área maior e auxilia no assentamento facilitando a colocação da argamassa. Assim essa face é aquela que recebe primeiro a argamassa. Já a face inferior tem uma área menor e é colocada em contato com a argamassa sob pressão no processo de assentamento.

Essa diferença nas áreas se deve ao processo de fabricação dos blocos de concreto. Assim, primeiramente, será apresentado um esquema do ciclo de produção das máquinas vibroprensas ilustrado por Oliveira (2004) (Figura 21).

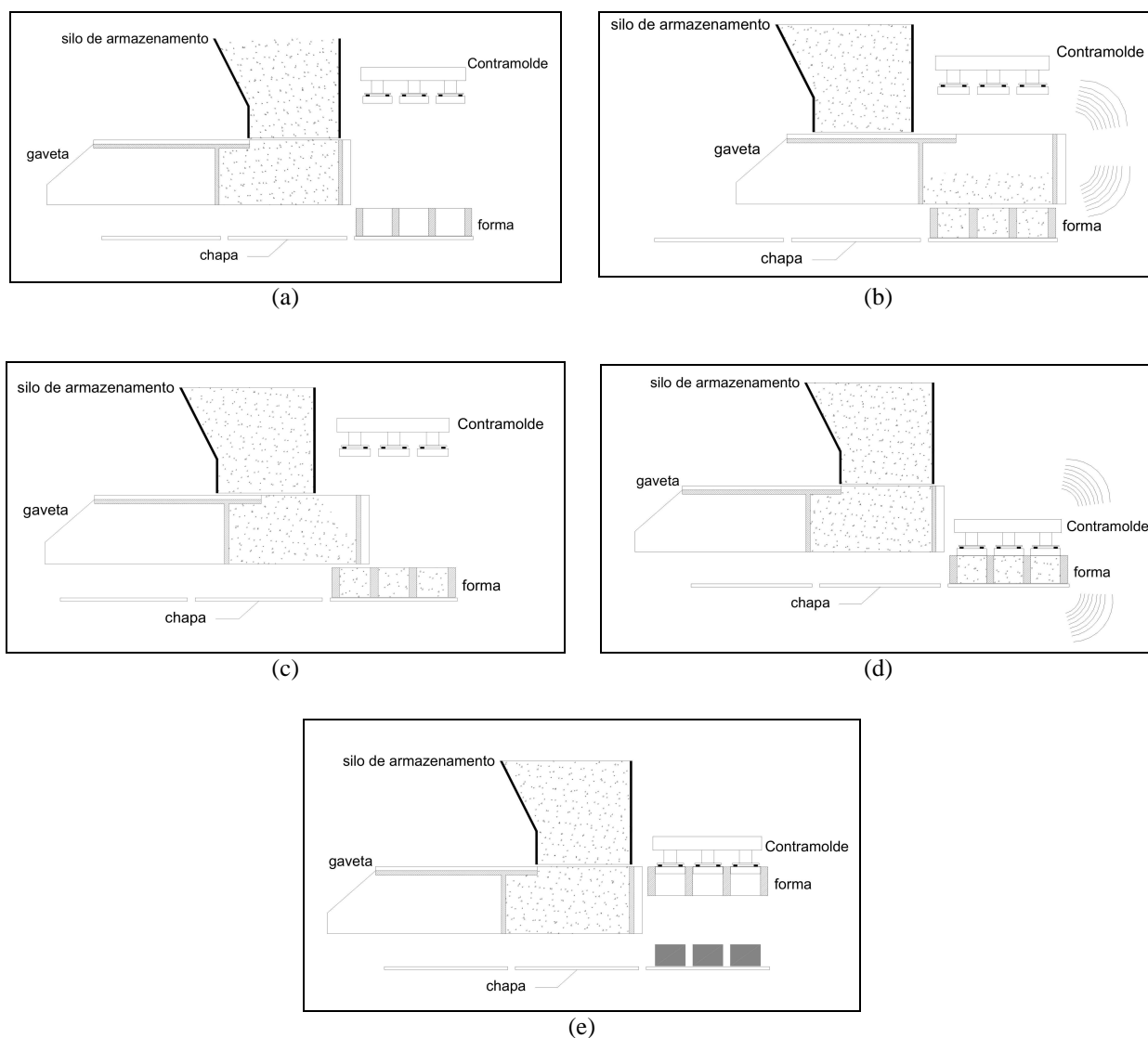


Figura 21. Esquema da produção dos blocos de concreto: (a) posição da forma e avanço da gaveta; (b) alimentação da forma com sistema de vibração; (c) recuo da gaveta; (d) vibro-compressão até que seja atingida a altura final das peças e (e) desforma (subida da forma juntamente com o contramolde) (OLIVEIRA, 2004).

Para facilitar a retirada do contramolde na desforma no final da moldagem dos blocos de concreto (Figura 21e), a forma interna (canecos) possui uma inclinação que promove uma conicidade nos septos transversais e longitudinais gerando assim uma diferença das áreas das faces. Para exemplificar, a Figura 22 apresenta a posição da moldagem dos blocos de concreto.

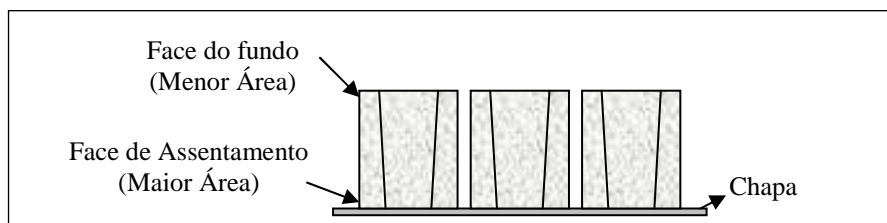


Figura 22. Posição da moldagem dos blocos de concreto.

Outro aspecto diferente, devido à fabricação dos blocos, é a superfície das faces. A face superior (face de assentamento) tem uma superfície plana e mais densa, pois, no momento da fabricação, está em contato com a chapa, geralmente metálica. Já a face inferior contém partículas soltas, pequenas rebarbas nas bordas e marcações do contramolde. Essas rebarbas e marcações estão diretamente ligadas ao processo de fabricação. Uma das medidas para tentar amenizar as diferenças entre as faces é realizada após a vibro-compressão com a passagem de uma escova de aço giratória na face do fundo (topo em relação à produção) para eliminar partículas soltas e uniformizar a altura do bloco de concreto. A Figura 23 apresenta a escova utilizada na fábrica de Blumenau, semelhante para ambas as fábricas.

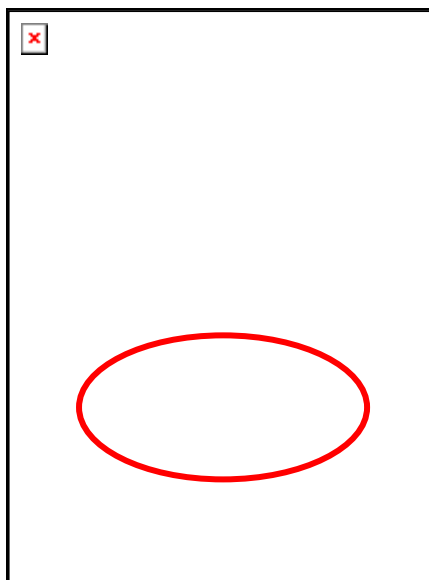


Figura 23. Escova de aço giratória para rebarbar a face inferior do bloco de concreto.

A Figura 24 mostra o aspecto geral dos blocos de concreto das fábricas TF e TB.

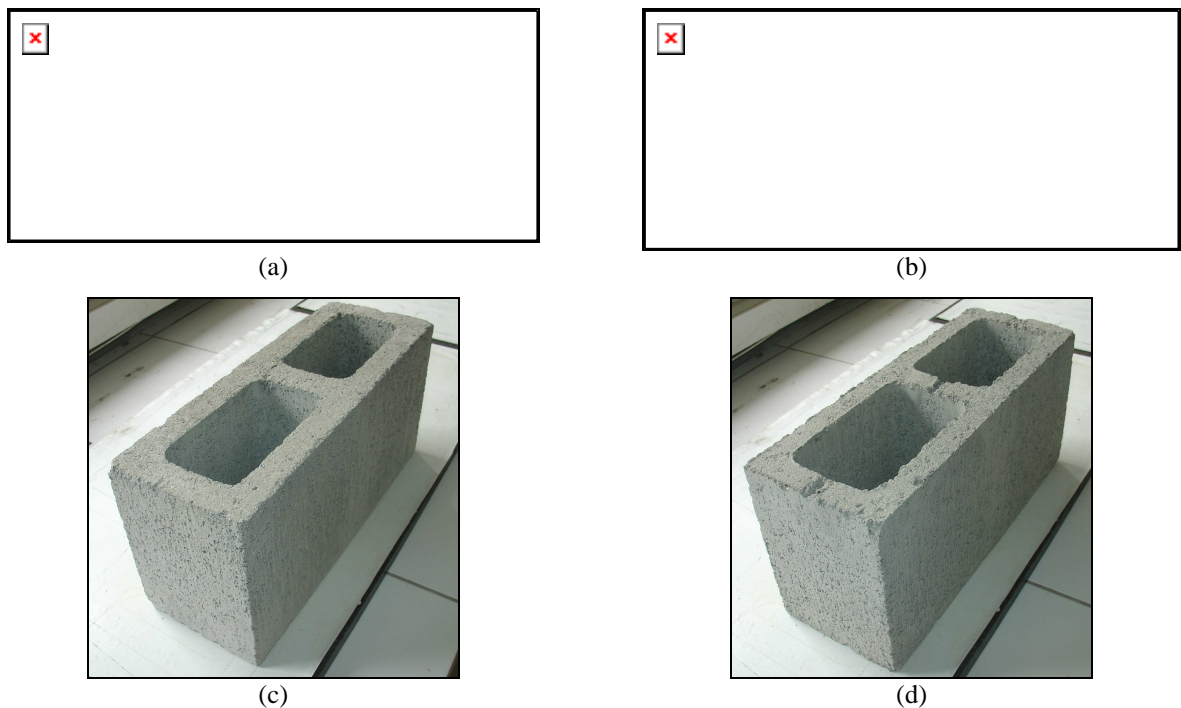


Figura 24. (a) face superior (assentamento) do bloco de concreto TF; (b) e face inferior (fundo) do bloco de concreto TF; (c) detalhe da face superior do bloco de concreto TB e (d) detalhe da face inferior do bloco de concreto TB.

As diferenças das faces também são observadas pela suas áreas líquidas. A Tabela 15 apresenta as áreas brutas<sup>28</sup> e líquidas<sup>29</sup> para as duas unidades obtidas pelo levantamento fotográfico e utilizando *softwares* adequados. As áreas obtidas são a média de 12 blocos de concreto para cada fábrica (procedimentos descritos no Anexo 2).

Tabela 15. - Áreas brutas e líquidas dos blocos de concreto estudados.

Bloco de Concreto	Bruta		Líquida			
			Face Superior		Face Inferior	
	Área (cm <sup>2</sup> )	CV* (%)	Área (cm <sup>2</sup> )	CV* (%)	Área (cm <sup>2</sup> )	CV* (%)
TF	541,00	0,72	316,80	1,35	266,36	0,88
TB	546,14	0,46	312,03	0,42	272,25	1,46

\* CV – Coeficiente de variação.

É possível observar, na Tabela 15, que as diferenças entre as áreas brutas e líquidas das duas fábricas não é significativa (1,0%). Entretanto, quando comparadas as áreas líquidas da face superior com a face inferior verifica-se que existe uma diferença de 50,44 cm<sup>2</sup> (18,9%) e

<sup>28</sup> Área bruta: área da seção perpendicular aos eixos dos furos, sem desconto das áreas dos vazios (NBR 12118, 2006).

<sup>29</sup> Área líquida: área média da seção perpendicular aos eixos dos furos, descontadas as áreas médias dos vazios (NBR 12118, 2006).

39,78 cm<sup>2</sup> (14,6%) para a fábrica de Florianópolis e Blumenau, respectivamente. Assim, verifica-se que a conicidade para a fábrica de Blumenau é menor do que para a fábrica de Florianópolis. Isso significa que as diferenças entre as dimensões das paredes do bloco da face superior e da face inferior são menores para a fábrica de Blumenau. Cabe ressaltar que a conicidade e a geometria dos blocos de concreto são definidas pelo fabricante e dependem do estado da forma no momento da produção, porém devem estar dentro dos limites da NBR 6136 (2006). Os dois tipos de blocos de concreto estudados estão dentro dos limites de norma.

Diante do exposto, verificou-se que existem diferenças entre as faces dos blocos de concreto das duas fábricas e, conseqüentemente, estas poderiam influenciar diretamente na interação entre argamassa e bloco de concreto, principalmente se existisse diferença na absorção de água por capilaridade.

Possivelmente a diferença da absorção de água por capilaridade entre as faces não foi observada pelos outros autores, visto não haver referência a respeito deste comportamento, pois a grande maioria avaliou blocos cerâmicos (KJAER, 1991; GROOT, 1995; JENNINGS *et al.*, 2000; SARANGAPARI, REDDY e GROOT, 2002; entre outros) e, neste caso, o próprio processo de fabricação é diferente (BAUER, 1994).

Na literatura nacional, os ensaios ou a taxa de absorção de água inicial (IRA) normalmente foram realizados na face onde a argamassa iria ser assentada. Já Carasek (1996), Scartezeni e Carasek (2003), Paes, Bauer e Carasek (2003) (ver Tabela 3) avaliaram o taxa de absorção de água inicial (IRA) para blocos de concreto, mas como o objeto de estudo era a argamassa de revestimento, então foi avaliada a absorção de água por capilaridade na face lateral do bloco de concreto onde, efetivamente, iria ser aplicada a argamassa.

Aliás, sequer a literatura internacional atenta para o fato das duas áreas (superior e inferior) serem distintas. A norma ASTM C 67 (1991), que estabelece a determinação da taxa de absorção inicial (IRA), descreve este ensaio somente para componentes cerâmicos e alerta, apenas, que a face analisada deve ser a face de assentamento, não fazendo distinção das áreas.

Assim, tendo sido verificada a diferença nas áreas das faces superiores e inferiores, primeiramente foi realizado um estudo para determinar a absorção de água por capilaridade para a face superior e inferior dos blocos de concreto das duas fábricas que é apresentado a seguir.

### 3.2.2.1 Avaliação da absorção de água por capilaridade para as faces superior e inferior

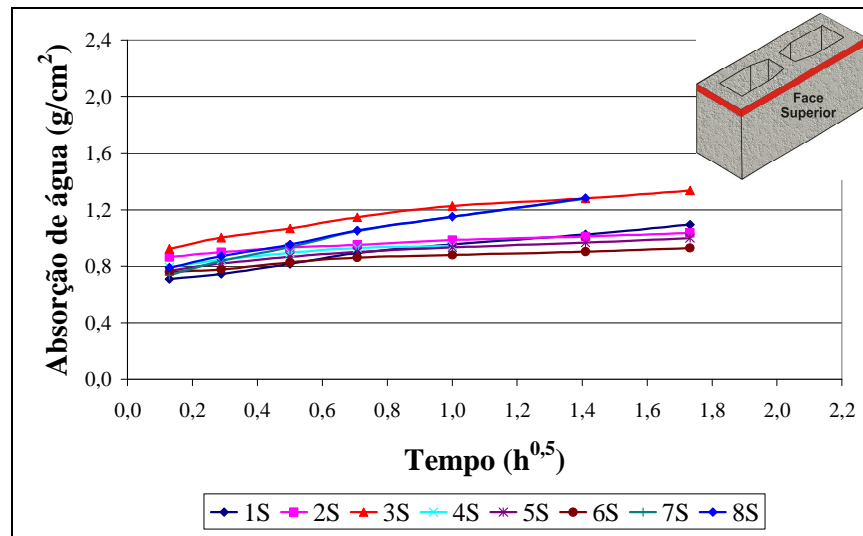
A absorção de água por capilaridade se dá em função da área em contato com a lâmina de água. Por este motivo, deve ser considerada a área de contato, isto é, o valor da área líquida das faces dos blocos de concreto (Tabela 15).

Assim, os blocos de concreto da fábrica TF foram caracterizados quanto à absorção de água por capilaridade ao longo do tempo com uma adaptação da norma NBR 9779 (1995) e NBR 15259 (2005). Para tanto foi utilizada uma lâmina constante de água de  $(5 \pm 1)$  mm e os tempos de medição de 1, 5, 10, 15, 30, 60, 120 e 180 minutos.

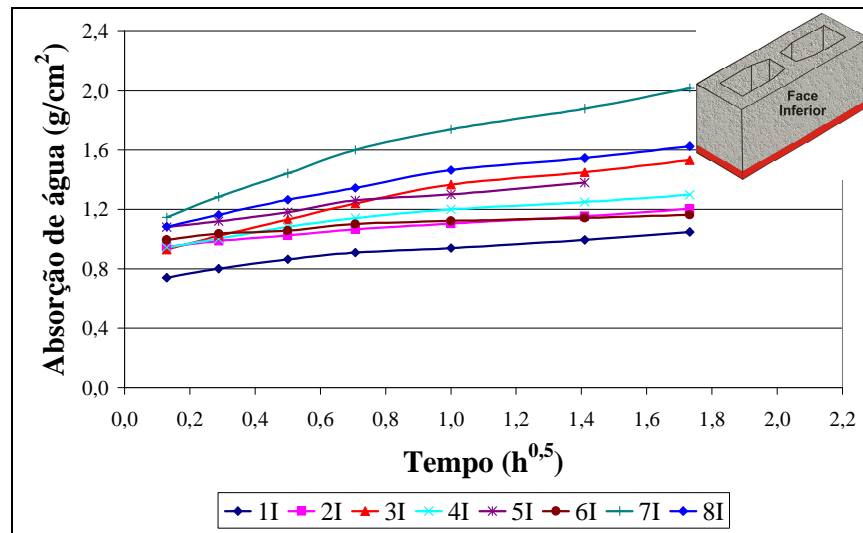
Para o mesmo bloco de concreto, primeiro foi determinada a absorção de água por capilaridade da face superior (maior área) e depois, após a secagem ao ar, foi realizada a mesma medida para a face inferior (menor área). Feitas essas determinações, os blocos de concreto eram colocados em estufa a  $(100 \pm 1)^\circ\text{C}$  para obtenção da massa seca após resfriados em dessecador. Em seguida, os valores de absorção de água por capilaridade eram calculados, em  $\text{g}/\text{cm}^2$ , para cada tempo pré-determinado, considerando as áreas de cada face obtida pelo método do Anexo 2.

Na Figura 25 pode ser observada a absorção de água por capilaridade de oito blocos de concreto TF.





(a)



(b)

Figura 25. Absorção de água por capilaridade *versus* raiz do tempo: (a) face superior (maior área) e (b) face inferior (menor área).

Observa-se, na Figura 25a e Figura 25b, que a dispersão dos valores de absorção de água por capilaridade é maior para a face inferior do que para a face superior. Os valores de coeficientes de variação para a face superior foram de 8 a 15 % (dependendo do tempo analisado), enquanto para a face inferior foram de 12 a 25 %.

Também pode ser observado na Figura 25 que a face superior tem comportamento distinto em relação à face inferior. Na Figura 26 observa-se a média e os “desvios padrão” para cada ponto da face superior e inferior, além de um comparativo das faces dos dois blocos de concreto que apresentaram a maior e a menor diferença entre as faces absorção de água.



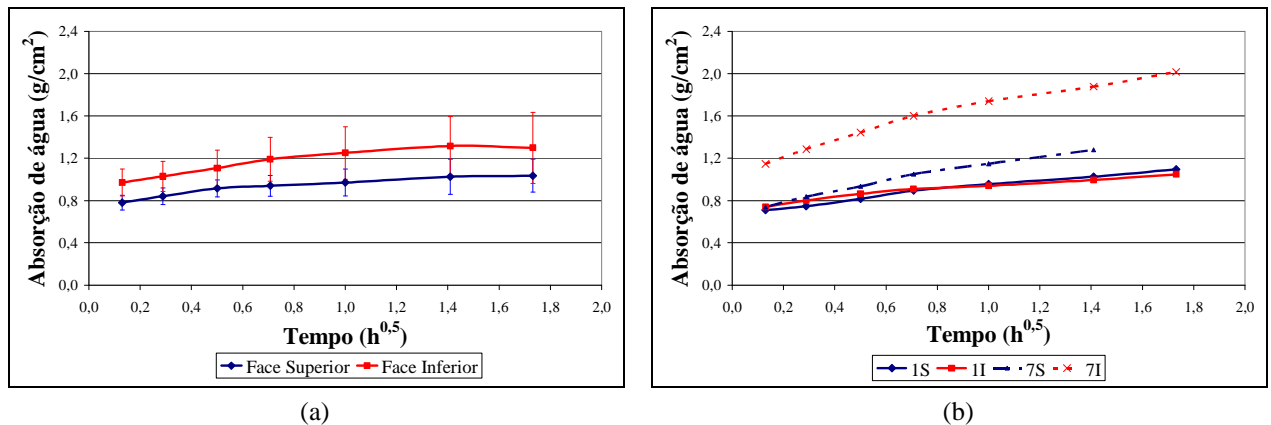


Figura 26. Absorção de água por capilaridade *versus* raiz do tempo: (a) média e desvio padrão das faces superior e inferiores e (b) face superior e face inferior dos blocos TF 1 e 7.

Como pode ser observado na Figura 26a, os valores de absorção média foram maiores para a face inferior do que para a face superior. Além disso, os desvios padrão para a face superior são menores do que para a face inferior, confirmando a análise realizada na Figura 25.

Essa diferença nos desvios padrão e, conseqüentemente, nos coeficientes de variação, é evidenciada na Figura 26b, onde a diferença entre a absorção de água por capilaridade das faces inferiores dos blocos (média de 71,60% nos tempos analisados) é maior que a diferença entre as faces superiores (média de 15,6%). Cabe ressaltar novamente que, na Figura 26b, foram escolhidos os blocos de concreto que apresentaram as menores diferenças entre as duas faces (coeficiente de variação aproximadamente de 2% para o bloco de concreto 1) e as maiores diferenças (coeficiente de variação aproximadamente 50% para o bloco de concreto 7).

Além disso, foi obtida, para os oito blocos, a sortividade (proposta por Gummerson, Hall e Hoff, 1980), o coeficiente de absorção adaptado<sup>30</sup> (C), também recomendado pela norma NBR 15259 (2005) e a massa seca dos blocos de concreto. Todos esses valores são apresentados na Tabela 16.

<sup>30</sup> Coeficiente de absorção adaptado: a norma recomenda NBR 15259 (2005) que esse coeficiente deve ser calculado com sendo o coeficiente angular da reta que passa pelos tempos de 10 e 90 minutos (somente esses tempos são estipulados na norma para medir a absorção de água por capilaridade). No caso obteve-se o mesmo coeficiente angular da melhor reta passando por três pontos (tempos de 15, 30 e 60 minutos) escolhidos por não estar nos momentos iniciais e nem na região de estabilização da absorção de água.

Tabela 16. Sortividade, coeficiente de absorção adaptado e massa seca para os blocos de concreto (TF) analisados.

Bloco de concreto	Sortividade ( $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1/2}$ )		Coeficiente de absorção adaptado ( $\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}^{-1/2}$ )		Massa seca do bloco de concreto (g)
	Face Superior	Face Inferior	Face Superior	Face Inferior	
1	0,31	0,23	2,12	1,17	11290
2	0,13	0,20	0,80	1,21	11595
3	0,32	0,48	2,44	3,65	11440
4	0,23	0,28	0,76	1,81	11460
5	0,17	0,31	1,00	1,81	11425
6	0,13	0,13	0,76	0,96	11775
7	0,54	0,68	3,26	4,53	11495
8	0,50	0,43	3,03	3,12	11420
Mínimo	0,13	0,13	0,76	0,96	11290
Máximo	0,54	0,68	3,26	4,53	11775
Média	0,29	0,34	1,77	2,28	11488
Desvio padrão	0,16	0,18	1,07	1,32	134,51
Coeficiente de variação (%)	54	52	60	58	1

Os valores apresentados na Tabela 16 de sortividade estão entre os obtidos por Gummerson, Hall e Hoff (1980) e Paes, Bauer e Carasek (2003) para blocos de concreto. Novamente verifica-se o alto coeficiente de variação nos resultados tanto de sortividade quanto de coeficiente de absorção adaptado. Isso possivelmente deve ser ao processo de fabricação dos blocos de concreto (diferença entre a compactação dos blocos de concreto) como comentado anteriormente e é descrito com maiores detalhes no item 3.2.2.3.

Outro aspecto que deve ser observado é que, como na absorção de água por capilaridade, tanto para a sortividade quanto para o coeficiente de absorção adaptado, a face superior tem índices menores ou iguais a face inferior, o que, novamente comprova o comportamento distinto das duas faces.

Também foi verificada a possível correlação entre os índices obtidos (absorção de água por capilaridade, sortividade e coeficiente de absorção adaptado) e a massa seca dos blocos de concreto. Este fator foi analisado, pois de acordo com Frasson Jr. (2000), a resistência à compressão dos blocos de concreto é diretamente influenciada pela massa do bloco. Entretanto, não foi possível obter nenhuma correlação satisfatória com os índices obtidos. Existe uma tendência de estes índices serem menores com o bloco de concreto que apresentou a maior massa, porém quando se verifica os outros valores esta afirmação não é verdadeira (Tabela 16).

Diante do exposto, observa-se claramente a dispersão dos resultados obtidos e assim verificou-se a necessidade de uniformizar as amostras principalmente para avaliar a transferência de água da argamassa para o bloco de concreto e a resistência de aderência em mini-prismas.

Outro fator observado durante a realização do ensaio foi a diferença da altura de ascensão capilar verificada ao longo do comprimento da parede mesmo bloco de concreto TF. A Figura 27 ilustra o comportamento observado para a face superior com o tempo de 15 minutos, assim como os valores de altura de ascensão capilar médios de  $H_1$  e  $H_2$  (altura média obtida por meio de levantamento fotográfico e utilizando *softwares* adequados como os realizados para as áreas das faces, Anexo 2, além de serem confirmados através do auxílio de um paquímetro).

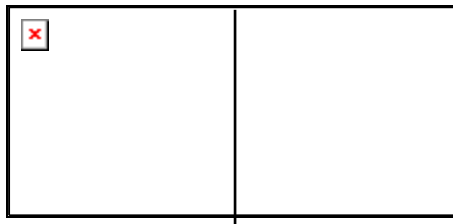


Figura 27. Diferença da altura de ascensão capilar nas faces de assentamento do bloco de concreto TF.

Uma das possíveis causas desse comportamento é o processo de fabricação dos blocos de concreto. Os blocos de concreto são fabricados utilizando concreto “seco”. Esse concreto é colocado na fôrma por meio de uma gaveta, e com a vibração da fôrma e forças gravitacionais o concreto seco preenche a forma (Figura 21). Após esse preenchimento, o contramolde prensa essa mistura até a obtenção da altura desejada (no caso 19 cm) (MEDEIROS, 1993, FRASSON JR., 2000 e PRUDÊNCIO, OLIVEIRA e BEDIN, 2002). Possivelmente ocorreu um preenchimento irregular da forma e um dos lados estava com uma quantidade maior de concreto. Assim, houve uma diferença de compactação ao longo da parede. Provavelmente a parte da parede em que a altura de ascensão capilar é menor sofreu maior compactação.

Esse comportamento distinto pode ser inerente à produção do bloco ou pode ter sido provocado por um problema de regulagem na máquina durante a produção desse lote.

Assim, para avaliar esse efeito e definir como seria realizada a seleção dos blocos de concreto para a pesquisa, foram realizados dois estudos: (i) a avaliação da influência da posição dos blocos de concreto na chapa no momento de fabricação na absorção de água por capilaridade; (ii) a verificação das propriedades mecânicas do concreto constituinte dos blocos de concreto conforme a altura para verificar, principalmente, o seu grau de compactidade. Esta influência do grau de compactidade conforme a altura do bloco de concreto é função, principalmente, da altura do bloco de concreto (19 cm), o que poderia explicar uma possível

diferença nas absorções de água por capilaridade entre as faces superior e inferior. Esse segundo estudo está inserido na caracterização dos blocos de concreto que é apresentada no item 3.3.1.5.

A seguir, apresenta-se o estudo sobre a influência da posição dos blocos de concreto na chapa no momento da fabricação na absorção de água por capilaridade para os blocos produzidos na fábrica de Florianópolis.

### 3.2.2.2 Influência da posição dos blocos de concreto na chapa no momento da fabricação na absorção de água por capilaridade

Para verificar a influência da posição dos blocos de concreto na chapa no momento da fabricação na absorção de água por capilaridade foi realizada, em fábrica, a marcação dos blocos de concreto no momento da produção. As etapas seguintes de fabricação foram as mesmas realizadas para os demais blocos de concreto, como por exemplo, a cura a vapor. A Figura 28 apresenta a marcação da posição da chapa dos blocos de concreto que saíam da máquina de vibro-compressão. No dia seguinte à produção, foi realizada a paletização e após sete dias, foi feito o transporte dos blocos para a universidade.

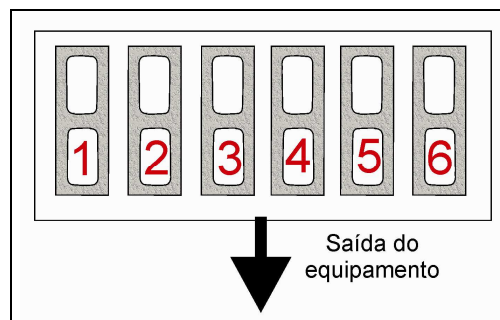


Figura 28. Posição dos blocos de concreto TF na chapa no momento da produção.

Vale ressaltar que este estudo somente foi realizado para os blocos de concreto TF, pois esse comportamento só foi verificado para esses blocos. Isto possivelmente se deve ao fato de se produzirem seis blocos de concreto por chapa e assim podendo existir uma diferença de massa entre eles, enquanto para os blocos de concreto TB, são produzidos apenas dois blocos de concreto por chapa em posições simétricas e equivalentes (Tabela 14).

A Figura 29 apresenta a massa média de cada posição na chapa após o processo de cura e paletização (média de sete chapas distintas de bloco de concreto). Os blocos de concreto estavam “secos ao ar”, em ambiente de laboratório.

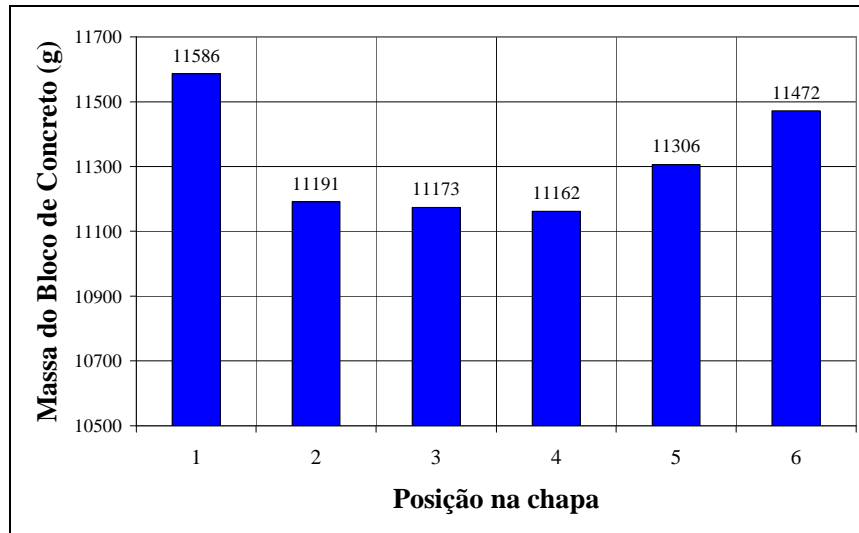


Figura 29. Massa média do bloco de concreto para cada posição na chapa.

Pode ser observado, na Figura 29, que as posições 1 e 6 apresentam as maiores médias de massas de bloco de concreto. Esses resultados já eram esperados, pois também foram observados por Frasson Jr. (2000).

A Figura 30 apresenta os valores de absorção de água por capilaridade para a fábrica TF para os blocos de uma mesma chapa (Chapa A).

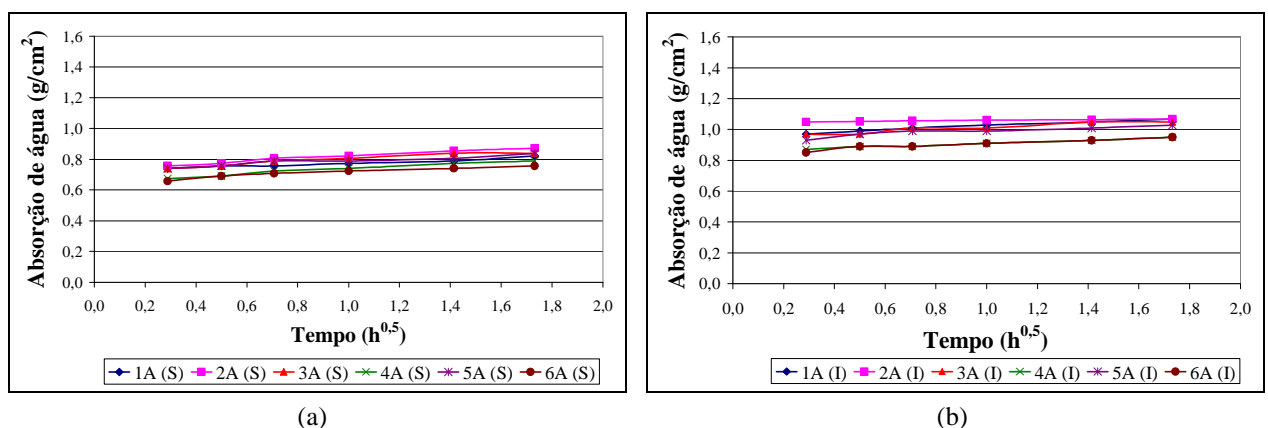


Figura 30. Absorção de água por capilaridade *versus* raiz do tempo para os blocos de concreto TF da chapa A: (a) face superior e (b) face inferior.

Observa-se na Figura 30 que não foi verificada a influência da posição dos blocos de concreto na chapa nos valores de absorção de água por capilaridade.

Esse comportamento é evidenciado também quando foram determinadas as médias e os “desvios padrão” da absorção de água por capilaridade de três chapas distintas para todas as posições, tanto da face superior quanto da face inferior (maior coeficiente de variação encontrado foi de 7% entre todas as chapas) (Figura 31).

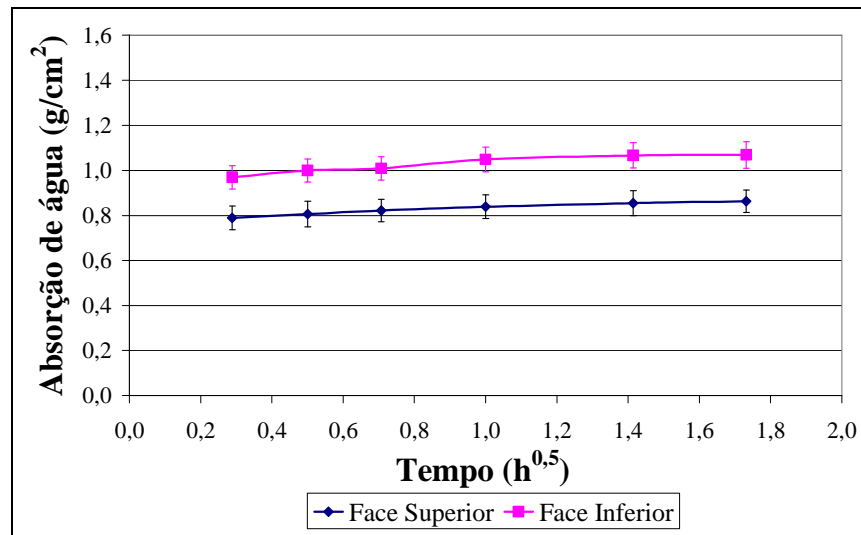


Figura 31. Valores médios de absorção de água por capilaridade *versus* raiz do tempo para os blocos de concreto TF para a face superior e face inferior.

Para esse lote de blocos de concreto foi observado um coeficiente de variação bem inferior ao obtido anteriormente (Figura 26), porém nesse caso houve um maior número de amostras (número de amostra analisadas foi de 36 blocos de concreto). Além disso, os valores obtidos foram inferiores tanto para absorção de água por capilaridade quanto de sortividade das duas faces analisadas para esse lote (A) em relação ao lote anterior (B) (Tabela 17).

Tabela 17. Absorção de água por capilaridade aos 60 minutos, sortividade média, mínima e máxima para os dois lotes de blocos de concreto TF analisados.

Lote	Absorção de água por capilaridade média aos 60 minutos (g/cm <sup>2</sup> ) (CV - %)		Sortividade média (mm.min <sup>-1/2</sup> ) (CV - %)		Sortividade mínima e máxima (mm.min <sup>-1/2</sup> )	
	Face Superior	Face Inferior	Face Superior	Face Inferior	Face Superior	Face Inferior
A	0,97 (13)	1,25 (20)	0,29 (54)	0,34 (53)	0,13 – 0,54	0,13 – 0,68
B	0,84 (6)	1,05 (5)	0,08 (17)	0,09 (18)	0,05 – 0,10	0,06 – 0,12

Observa-se, também na Tabela 17, que os coeficientes de variação para o lote B foram inferiores aos obtidos para o lote A, indicando uma maior homogeneização dos blocos de concreto em relação às características determinadas. Novamente constatou-se que, em média, a

face superior apresenta uma absorção de água por capilaridade menor do que a face inferior (Tabela 17).

Outro fato é que, em todos os blocos de concreto analisados, a altura de ascensão capilar em todas as paredes foi igual, não sendo observadas quaisquer alterações como aquela que havia sido observada na Figura 27. Possivelmente aquele comportamento deve ter sido um problema isolado de produção.

### 3.2.2.3 Preparação e seleção das amostras para o ensaio de transferência de água e resistência de aderência em mini-prismas

Primeiramente cabe ressaltar, em função dos resultados apresentados, que existem valores distintos de absorção de água por capilaridade para a face superior e inferior dos blocos de concreto. Essa diferença entre as absorções de água pode influenciar diretamente as medidas de transferência de água da argamassa para o bloco de concreto e, conseqüentemente, a resistência de aderência, como já mencionado anteriormente.

Outra dificuldade se deve ao fato de que como os blocos de concreto com resistência característica nominal ( $f_{bk}$ ) de 6 MPa, objeto do estudo deste trabalho, pesam aproximadamente 11000 g, não se conseguiria uma precisão adequada na determinação da massa nas balanças disponíveis no Laboratório de Materiais de Construção Civil – LMCC da Universidade Federal de Santa Catarina no ensaio de transferência de água da argamassa. Acredita-se que a precisão necessária para a determinação da massa seja de no mínimo de 0,1 gramas, tanto para o ensaio de absorção de água por capilaridade quanto para a transferência de água da argamassa por capilaridade, que será apresentada em detalhes no item 3.2.6. Por este motivo, foi realizado um seccionamento do bloco de concreto no sentido vertical de tal modo que se obtivessem pedaços dos blocos de concreto. Dessa forma foi possível reduzir a massa para aproximadamente 500 g, permitindo assim a obtenção da precisão desejada.

Assim foi realizado um pré-selecionamento dos blocos de concreto para homogeneizar a amostra, principalmente em relação à massa. Para isso foram descartados os blocos de concreto das extremidades da chapa de fabricação (Figura 28), restando quatro selecionados por chapa (posição 2 a 5).

Esses blocos de concreto eram então pesados, marcados e seccionados para a obtenção de amostras com dimensões reduzidas (10 cm de comprimento, 8 cm de altura<sup>31</sup> e aproximadamente 2,5 cm largura - essa medida variou em função da parede do bloco de concreto). As faces que seriam estudadas, face superior e inferior, foram totalmente preservadas.

Para essa etapa, foi utilizada uma serra de corte com disco diamantado, própria para concretos e argamassas, e o seccionamento foi refrigerado com água (Figura 32a).

As amostras dos blocos de concreto foram retiradas das paredes longitudinais uma vez que essas paredes recebem a maior quantidade de argamassa e, assim, podem influenciar mais fortemente nas medidas de transferência de água. Além disso, as amostras ficariam com uma largura constante de 10 cm e nesse local seria possível obter uma amostra mais homogênea, principalmente em termos de compactação (Figura 32b e Figura 32c).

Outra preocupação foi a compactação da junta no momento do assentamento, ou seja, a massa da amostra que seria colocada sobre a junta, isso porque, na prática, a junta é submetida pelo menos ao peso de um bloco. Assim deveria ser considerada a massa da fatia inteira de 10 cm de comprimento e 19 cm de altura sobre o filete de argamassa (correspondente ao peso do bloco naquele comprimento). Para solucionar esse problema, em alguns blocos foram seccionadas primeiramente as amostras da face inferior e foi preservado o restante para a utilização desse pedaço como massa (“sobrepeso”<sup>32</sup>) (Figura 32d parte azul) na preparação dos corpos-de-prova, tanto para a transferência de água quanto para a resistência de aderência em mini-prisma, deste modo simulando ao máximo o assentamento (detalhamento do procedimento no item 3.2.6).

O aspecto final dos pedaços dos blocos de concreto é apresentado na Figura 32e.

---

<sup>31</sup> Essa altura de 8 cm foi escolhida, pois em todos os blocos de concreto analisados, no ensaio de absorção de água por capilaridade, não foi detectada uma altura de capilaridade superior a esta nem para a face superior nem para face inferior. Além disso, nas obras e nos estudos realizados na Universidade Federal de Santa Catarina, a altura de capilaridade máxima no assentamento (transferência de água da argamassa para o bloco) foi de 2 cm. Outro fator que determinou essa altura do pedaço são as dimensões que foram estabelecidas para o ensaio de resistência de aderência na flexão em mini-prisma (3.2.6.2).

<sup>32</sup> Este “sobrepeso” tinha as dimensões de 10 cm de comprimento, 11 cm de altura e largura variável pela parede do bloco de concreto. A massa do “sobrepeso” era de aproximadamente 600 gramas tanto para os blocos de concreto TF quanto TB.



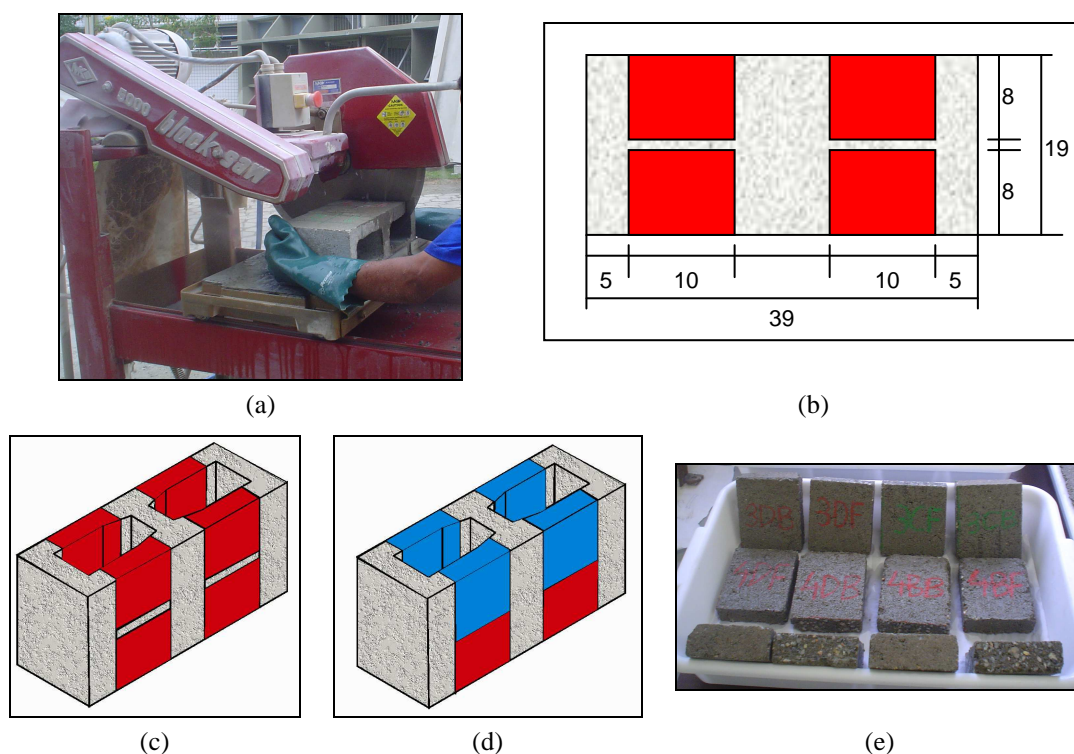


Figura 32. (a) Seccionamento dos blocos de concreto; (b) dimensões das marcações dos cortes dos blocos de concreto; (c) esquema da localização dos pedaços da face superior e inferior; (d) esquema da localização dos pedaços da face inferior (vermelho) e do “sobrepeso” (azul) e (e) aspecto final dos pedaços de bloco de concreto.

Observa-se, na Figura 32c, que para um bloco de concreto eram obtidas quatro amostras da face superior e quatro amostras da face inferior. No caso dos blocos onde eram retirados os “sobrepesos”, semelhante ao anterior, eram obtidas quatro amostras de “sobrepeso” e mais quatro da face inferior (Figura 32d). Cabe ressaltar que os “sobrepesos” utilizados foram os valores médios encontrados em todas as amostras retiradas.

Após a etapa do seccionamento, os pedaços de bloco de concreto eram lavados com escova de cerdas de plástico em água corrente até que não fosse verificado nenhum resíduo proveniente desse procedimento, normalmente pasta de cimento e partículas soltas, principalmente nas faces analisadas. Em seguidas os pedaços dos blocos de concreto eram secos ao ar e depois a face danificada pelo corte era nivelada com pasta de cimento (cuidado extra para não sujar com óleo e/ou outro material a face superior e inferior). Além de nivelar os pedaços para o assentamento, essa regularização da superfície teve como objetivo facilitar o manuseio dos pedaços.

Posteriormente, os pedaços de bloco de concreto eram secos em uma estufa com temperatura de  $(50 \pm 2) ^\circ\text{C}$  até a obtenção da massa constante (secagem das amostras). Essa

temperatura foi escolhida para que não ocorresse dano às amostras, como fissuração por secagem.

Assim que os pedaços atingiam uma massa constante, eles eram retirados da estufa e resfriados dentro de um dessecador com sílica gel até que o equilíbrio com a temperatura ambiente fosse atingido. Então, finalmente, os pedaços eram caracterizados quanto à absorção de água por capilaridade nos tempos de 1, 5, 10, 15, 30, 60, 120 e 180 minutos, com uma lâmina de profundidade de  $(5 \pm 0,5)$  mm para no mínimo 20% das amostras de cada face. Essa profundidade da lâmina de água foi escolhida por ser a recomendada pelas duas normas brasileiras NBR 15259 (2005) e NBR 9779 (1995) e o descrito por Gummerson, Hall e Hoff (1980) para a determinação da sortividade. Além disso, esses autores comentam que pequenas variações na profundidade da lâmina de água não alteram significativamente os resultados. Para redução do tempo de realização do ensaio, no restante, 80% das amostras de bloco de concreto foi medida a absorção de água por capilaridade nos tempos de 10, 60, 90 e 120 minutos. Esses tempos foram escolhidos, pois assim já era possível determinar o comportamento das amostras em relação à absorção de água por capilaridade.

A título de ilustração, a Figura 33 apresenta os resultados de 30 pedaços do bloco de concreto TF para a face superior nos tempos de 1, 5, 10, 15, 30, 60, 120 e 180 minutos. E a Tabela 18 apresenta um resumo dos resultados obtidos para os blocos de concreto de Florianópolis (TF) e Blumenau (TB): quantidade de blocos serrados, absorção de água por capilaridade nos tempos de 1 e 60 minutos e o total de pedaços avaliados tanto para a face superior quanto inferior.

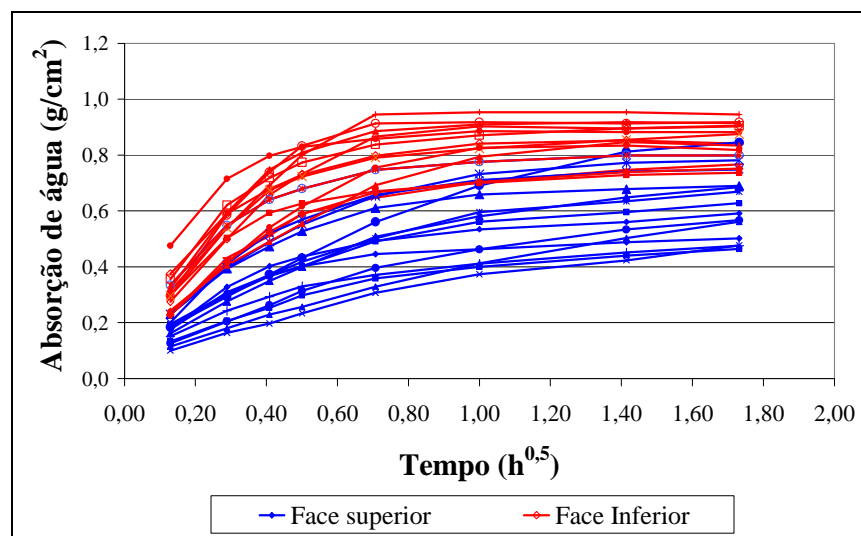


Figura 33. Absorção de água por capilaridade *versus* raiz do tempo para os pedaços de blocos de concreto TF: face superior em azul e face inferior em vermelho.

Tabela 18. Resumo dos resultados obtidos para os blocos de concreto TF e TB.

Bloco de concreto			Florianópolis (TF)		Blumenau (TB)	
			Face Superior	Face Inferior	Face Superior	Face Inferior
Quantidade de blocos serrados			80		30	
Amostra	Absorção de água por capilaridade ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ) no tempo de 1 minuto	Mínimo	0,05	0,04	0,06	0,05
		Máximo	0,32	0,29	0,25	0,17
		Média	0,15	0,13	0,13	0,09
		CV (%)	49	47	31	32
	Absorção de água por capilaridade ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ) no tempo de 60 minutos	Mínimo	0,11	0,16	0,16	0,20
		Máximo	0,87	1,26	0,55	0,60
		Média	0,34	0,39	0,35	0,30
		CV (%)	44	44	21	21
Bloco	Absorção de água por capilaridade ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ) aos 60 minutos dos blocos**	Média	0,84	1,05	1,13	1,16
		CV (%)	6	5	0,4	0,3
Amostra	Medida da largura*** das amostras (mm)	Mínimo	24,58	21,09	25,27	23,20
		Máximo	35,64	28,66	32,50	27,17
		Média	30,18	25,26	29,62	25,67
		CV (%)	11	9,62	6	2
Total de amostras avaliadas			210	304	100	118
Total			732			

\*\* - Absorção de água por capilaridade do bloco de concreto preliminar (caracterização completa está apresentada no item 3.3.1.5).

\*\*\* - Parede do bloco de concreto determinadas após o seccionamento.

A diferença no tamanho das amostras TF e TB foi função da verificação de uma dispersão maior da massa dos blocos de concreto TF e assim obteve-se um coeficiente de variação alto (aproximadamente 44%) dos valores obtidos de absorção de água por capilaridade exigindo um número maior de amostras (sendo utilizado o dobro) (Tabela 18). A principal causa dessa dispersão possivelmente se deve ao número de blocos produzidos por chapa, seis em Florianópolis enquanto que em Blumenau são somente dois (Tabela 14).

Apesar de ser analisado um maior número de amostras para os blocos de concreto de Florianópolis na determinação da absorção de água por capilaridade, o coeficiente de variação médio foi de 44 a 49% (Tabela 18), enquanto os coeficientes de variação para as amostras de Blumenau ficaram entre 21 a 32%.

Também verifica-se, na Tabela 18, que os valores de absorção de água por capilaridade média para o tempo de um minuto para a face superior são maiores do que para a face inferior. Entretanto o comportamento é inverso para o tempo de 60 minutos e também na média de absorção de água por capilaridade obtida nos blocos de concreto em todos os tempos (Figura 25a e Figura 31). Nestes casos, a absorção de água por capilaridade da face superior era menor do que na face inferior.

Esse comportamento distinto entre os tempos de um minuto e de 60 minutos só vem confirmar as conclusões de outros autores como, Gallegos (1995), Carasek (1996), Taha, El-Dieb e Shrive (2001), que comentam que as medidas no tempo de 1 minuto podem não representar com fidelidade o comportamento absorvente da unidade frente à argamassa ao longo do tempo.

O tempo de absorção de água por capilaridade de 60 minutos foi escolhido pois, após vários testes para reduzir o coeficiente de variação do ensaio de aderência na flexão dos mini-prismas (ver item 3.2.6), verificou-se que os valores de absorção de água por capilaridade aos 60 minutos influenciaram na resistência de aderência na flexão. Além disso, com essa homogeneização das amostras de bloco de concreto, o coeficiente de variação do ensaio reduziu consideravelmente.

Esse tempo foi escolhido após a análise de vários valores obtidos de absorção de água por capilaridade tanto de blocos de concreto quanto nas amostras. Os dois motivos mais importantes que levaram a escolha desse tempo foram: (i) as amostras que apresentam as menores absorções de água por capilaridade aos 10 minutos eram os mesmos aos 30 e 60 minutos (comportamento semelhantes para as maiores absorção) e (ii) após os 60 minutos os valores de absorção de água começavam a estabilizar (com poucas exceções).

Essa tendência à estabilização dos blocos de concreto ao longo do tempo também foi observada por Paes (2004). No entanto, para os blocos cerâmicos analisados por essa autora, esse comportamento não foi observado.

Com relação aos valores de absorção de água por capilaridade obtidos nos blocos de concreto e nas amostras serradas, observa-se que os valores médios obtidos para os blocos de concreto estão acima dos valores médios encontrados para as amostras (Tabela 18). Esse fato pode ser explicado, pois no caso dos blocos de concreto a estrutura dos poros capilares está interligada e nos pedaços essa interligação foi destruída pelo corte. Com isso, possivelmente, nos blocos de concreto, a absorção de água é maior (cabe ressaltar também que os blocos de concreto foram apenas secos ao ar e depois que era realizado o ensaio eram secos em estufas, enquanto as amostras serradas eram secas e depois era realizado o ensaio de absorção de água por capilaridade).

Outro fator observado foi a diferença entre as larguras das paredes do bloco de concreto da fábrica de Florianópolis (TF) entre a face superior e face inferior (aproximadamente 19% dos valores médios obtidos). Além disso, as amostras dos blocos de concreto apresentaram

um coeficiente de variação em torno de 10%. Já para os blocos de concreto de Blumenau (TB), também houve uma diferença entre as larguras das duas faces (aproximadamente 15%), porém o coeficiente de variação foi menor (aproximadamente 4%).

Isso ressalta novamente a importância de se avaliar a absorção de água por capilaridade em função da área como estava sendo feito até aquele momento.

A partir dos resultados obtidos, as amostras provenientes dos blocos de concreto de Florianópolis (TF) foram divididas em três grandes famílias: baixa, média e alta absorção de água por capilaridade aos 60 minutos. Essas faixas de absorção de água foram definidas após a obtenção de todos os valores de absorção de água através dos seguintes passos: (i) foram descartados os valores extremos, (ii) obtido o valor médio de absorção das amostras – nesta faixa foi definida a absorção média; e (iii) selecionada os grupos de absorção baixa e alta em função do valor médio. Assim, dentro de cada família, foi possível obter no mínimo 4 grupos de 10 pedaços cada um (6 pedaços foram utilizados para o ensaio de resistência de aderência e 4 para transferência de água por capilaridade). Além disso, cada face, superior e inferior, foi analisada separadamente. A Tabela 19 apresenta os valores de absorção de água por capilaridade para cada faixa de absorção.

Tabela 19. Valores de absorção de água por capilaridade para cada faixa e grupo das amostras do bloco de concreto TF.

Absorção (g/cm <sup>2</sup> ) aos 60 min	Face Superior				Face Inferior			
	Baixa	0,18 Grupo 1	0,20 Grupo 2	0,21 Grupo 3	0,23 Grupo 4	0,18 Grupo 1	0,20 Grupo 2	0,23 Grupo 3
Média	0,27 Grupo 6	0,29 Grupo 7	0,31 Grupo 8	0,34 Grupo 9	0,28 Grupo 6	0,29 Grupo 7	0,31 Grupo 9	0,34 Grupo 11
Alta	0,38 Grupo 11	0,41 Grupo 12	0,46 Grupo 13	0,53 Grupo 14	0,37 Grupo 13	0,41 Grupo 15	0,45 Grupo 17	0,53 Grupo 19

Já, para os blocos de concreto de Blumenau TB, não foi possível obter faixas de absorção como para as amostras dos blocos de concreto de TF, pois o coeficiente de variação dessa medida foi menor. Então novamente foram descartados os valores extremos de absorção de água por capilaridade e foi obtido o valor médio de absorção de água por capilaridade das amostras TB. Assim, as amostras selecionadas foram homogêneas ao máximo utilizando as amostras que apresentavam uma absorção de água por capilaridade média. Para essas amostras, foram verificadas a influência das condições ambientais e de cura. Isso será exemplificado com maiores detalhes nos itens 3.3.5 e 3.3.6.

### 3.2.3 Caracterização das argamassas de assentamento no estado fresco

Existem inúmeras técnicas para caracterizar o comportamento das argamassas no estado fresco, como o índice de consistência (*flow table*), penetração de cone, *dropping ball*, Vane teste, *Squeeze Flow*, entre outros. No caso específico das argamassas de assentamento, um método vem sendo desenvolvido pelo Grupo de Tecnologia em Materiais e Componentes à base de Cimento Portland (GTec) – UFSC – ao longo dos últimos anos, como mencionado no item 2.2.2, denominado GTec Teste. A vantagem desse método é de simular as solicitações práticas reais, exercidas na argamassa, no momento do assentamento. Além disso, a eficácia desse método em avaliar a trabalhabilidade das argamassas em obra foi observada por Casali, Calçada e Prudêncio Jr. (2002) e Casali e Prudêncio Jr. (2008).

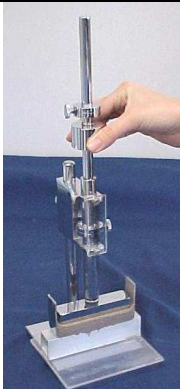
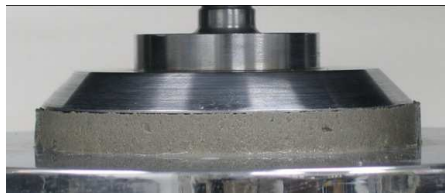
Contudo, o GTec Teste não permite uma caracterização reológica completa, isto é, não determina a tensão de escoamento nem a viscosidade da argamassa e, por isso, é considerado como sendo um ensaio monoponto, relacionado a uma única taxa de cisalhamento, permitindo a mensuração indireta somente de um dos parâmetros reológicos fundamentais (a tensão de escoamento ou a viscosidade) (HOPPE FILHO *et al.*, 2006). E, no caso específico do GTec Teste, esse parâmetro é a viscosidade.

Segundo Hoppe Filho *et al.* (2006), na primeira etapa desse ensaio, na qual ocorre a compressão do filete de argamassa pelo peso da haste, pode-se ter uma estimativa da tensão de escoamento do material, pois o escoamento cessará quando a tensão gerada pela massa da haste igualar-se à tensão resistente propiciada pela amostra. Já na segunda etapa do ensaio, onde são aplicados golpes (energia) até o filete atingir a espessura de 10 mm, a energia fornecida durante os golpes é capaz de superar a tensão de escoamento e provocar um deslocamento referente à taxa de cisalhamento aplicada. Segundo Hoppe Filho *et al.* (2006), a segunda etapa do ensaio exerce inferências sobre a viscosidade da argamassa, porém, restringida a uma única taxa de cisalhamento.

Apesar de o GTec Teste simular o processo de assentamento de um bloco de concreto, não determina, diretamente, os parâmetros reológicos fundamentais. Por isso, além dos parâmetros obtidos pelo GTec Teste, foi escolhido um método que avaliasse estes parâmetros, o *Squeeze flow*. Este método vem sendo empregado em várias pesquisas da Universidade de São Paulo (USP) (ver item 2.2.2). Resumidamente, o *Squeeze Flow* consiste em medir o esforço necessário para a compressão uniaxial de uma amostra entre duas placas paralelas.

Assim, avaliou-se uma possível correlação entre os parâmetros reológicos obtidos pelo *Squeeze flow* (medida direta) e os parâmetros do GTec Teste (medida indireta). Para isso, primeiramente foi necessária uma comparação entre os dois ensaios. A Tabela 20 apresenta características gerais de cada ensaio.

Tabela 20. Características do GTec Teste e *Squeeze flow* utilizado na USP.

Ensaio	GTec Teste	<i>Squeeze flow</i>	
Visualização			
Geometria	Retangular	Circular	
Dimensão da placa (mm)	Superior	100 x 25	101,6
	Inferior	100 x 25	200,0
Dimensão da amostra (mm)	100 x 25 x 20	101,6 x 10 ou 20	
Restrição da amostra	Lateral (apenas no sentido do comprimento)	Livre	
Classificação	Dinâmico	Estático	
Deslocamento	Primeira deformação é obtida apenas pelo peso da haste, e o restante através de energia fornecida (golpes)	Deslocamento constante (Registro da carga)	
Deslocamento máximo (mm)	10	2,5	
Velocidade (mm/s)	-	0,1	
Dados obtidos	Deslocamento e energia	Deslocamento, tempo e carga	
Os dados podem gerar gráficos do tipo:	Deslocamento <i>versus</i> energia	Deslocamento <i>versus</i> tempo, carga <i>versus</i> deslocamento e carga <i>versus</i> tempo.	
Parâmetros analisados	Consistência, plasticidade e coesão Viscosidade (taxa de cisalhamento igual)	Tensão de escoamento e viscosidade	

As principais diferenças entre os dois métodos são: o GTec Teste é um ensaio considerado dinâmico enquanto o *Squeeze flow* ensaio estático; a geometria do aplicador (punção) e da amostra são distintas. No GTec Teste, a amostra é restringida e no *Squeeze Flow* é livre, a área da base para cada ensaio é diferente.

No *Squeeze Flow* existe uma preocupação com relação à geometria de aplicação (punção) e à dimensão do corpo-de-prova (Tabela 20), pois, podem ocorrer diferenças na região de escoamento gerada durante o ensaio, a qual não é homogênea e depende tanto das coordenadas radiais quanto das axiais (SMYRNAIOS e TSAMOPOULOS, 2001).

Matsoukas e Mitsoulis (2003) completam dizendo que os corpos-de-prova com simetria de eixo (Figura 34b) apresentam menor região sem escoamento, se comparados com os planares (Figura 34a).

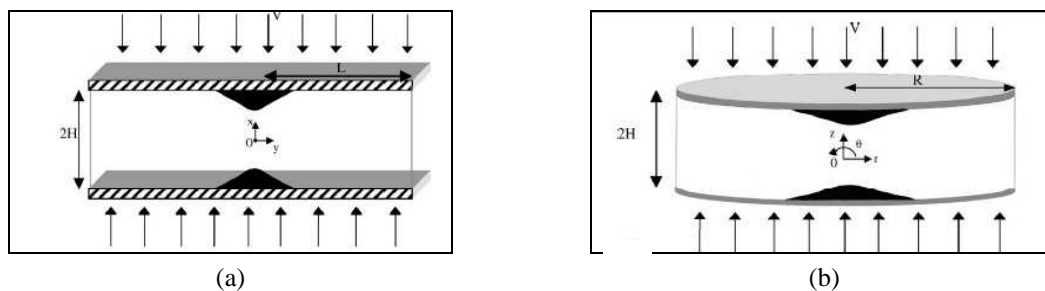


Figura 34. Representação esquemática de um corpo-de-prova (a) retangular e (b) circular para realizar o ensaio de *Squeeze Flow* de um material viscoelástico. A região sombreada próximo ao ponto central de cada corpo-de-prova está sem escoamento (MATSOUKAS e MITSOULIS, 2003).

A geometria cilíndrica e as dimensões das amostras, utilizadas para argamassas convencionais na Universidade de São Paulo para o *Squeeze Flow*, são apresentadas na Tabela 20. Essas dimensões foram escolhidas, pois, a deformação efetiva do material ocorre por cisalhamento radial quando a razão entre o diâmetro e a espessura da amostra for elevada ( $D/h \gg 5$ ) (MEETEN, 2000 e MEETEN, 2004).

Já a geometria do GTec Teste foi definida após uma pesquisa de campo em várias obras de alvenaria estrutural (CASALI, 2003) e, visa simular o assentamento de um bloco de concreto. Assim, obteve-se a configuração retangular, para simular um filete de argamassa de assentamento, com largura de uma parede de bloco de concreto (25 mm) e o comprimento escolhido foi de 100 mm, simulando uma parcela do comprimento de um bloco de concreto (CASALI, 2003).

Durante o assentamento de um bloco de concreto, a deformação transversal somente acontece na direção da largura da parede do bloco, pois, na outra direção, a argamassa fica restringida devido ao filete de argamassa colocado no comprimento do bloco de concreto. Por este motivo é que a deformação no sentido do comprimento é restringida, enquanto na largura é livre. A Figura 35 apresenta um esquema ilustrativo da configuração inicial e final do ensaio, e uma foto representando a deformação lateral que ocorre na argamassa ao final do ensaio.



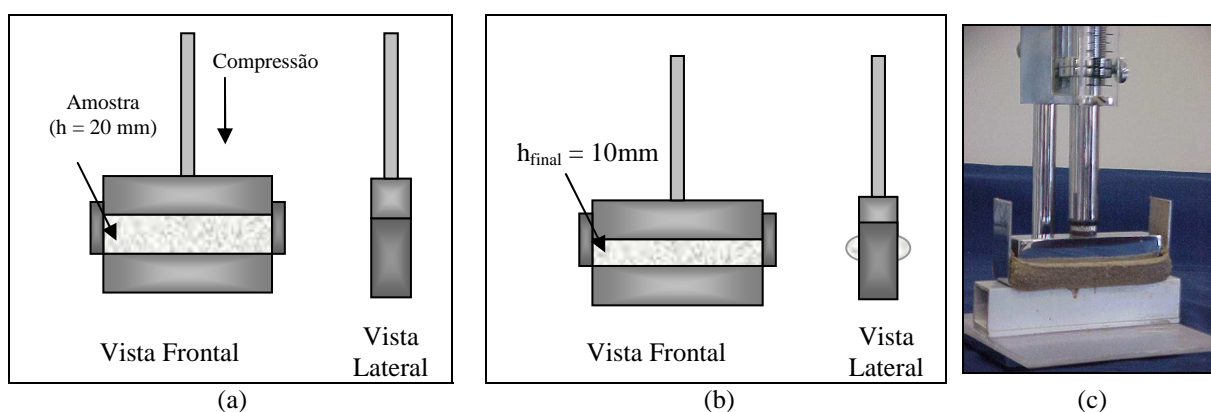


Figura 35. Representação esquemática da condição (a) inicial, (b) final do ensaio e (c) foto ilustrativa do final do ensaio com o GTec Teste.

No caso do *Squeeze Flow* não há restrição e a deformação pode ocorrer em todas as direções conforme a Figura 36.

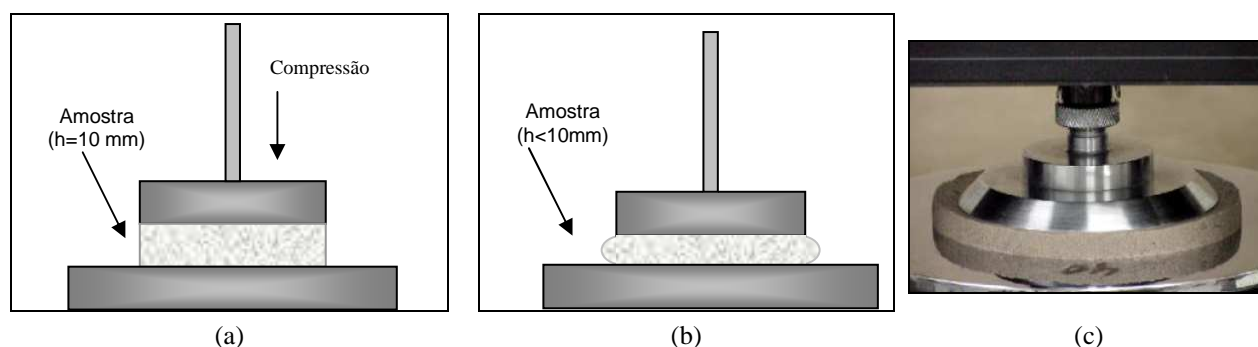


Figura 36. Representação esquemática da condição (a) inicial, (b) final do ensaio e (c) foto ilustrativa do final do ensaio com *Squeeze Flow*.

Além disso, durante a realização do *Squeeze Flow*, a área sob carregamento permanece constante, mas o seu volume é variável, isso é, a área submetida aos fenômenos de escorregamento e atrito entre a base e a amostra é variável (Figura 36), esse comportamento é semelhante ao verificado no GTec Teste.

No entanto, as duas placas (superior e inferior) são do mesmo tamanho no GTec Teste. Deste modo, o material deformado é descartado da área de atuação das placas (Figura 35), configuração para simular o comportamento dos filetes de argamassas durante o assentamento.

Diante do exposto, para realizar uma comparação entre os dois ensaios, foi necessária a realização de um estudo piloto para verificar a influência das principais diferenças: geometria do aplicador (punção) e da restrição ou não da argamassa. Assim, foi possível

correlacionar os valores obtidos com o *Squeeze Flow* e os obtidos pelo GTec Teste para quatro argamassas com trabalhabilidades distintas avaliadas por um assentador experiente.

Esse estudo piloto foi dividido em duas etapas. Na etapa 1 avaliou-se as diferentes configurações (circular e retangular, e para retangular com e sem restrição) para o *Squeeze Flow* e correlacionou-se os valores obtidos com o GTec Teste. Todos os ensaios foram realizados com a mesma altura de amostra, de 20 mm. Esta altura foi escolhida por ser a altura utilizada no ensaio GTec Teste (determinada como sendo a altura média de um filete de argamassa durante a realização de um levantamento em campo, CASALI, 2003).

Na etapa 2, um monitoramento eletrônico do GTec Teste foi realizado para determinar a taxa de deformação obtida no ensaio. Além disso, nesta etapa 2, também realizou-se o GTec Teste utilizando força constante, isto é, ao invés das deformações no filete de argamassa serem geradas pela energia aplicada durante os golpes, a deformação foi aplicada por meio uma de uma massa constante. Esta nova configuração de ensaio se deu ao fato do *Squeeze Flow* ser realizado com força constante, buscando assim, uma correlação ainda melhor entre os ensaios.

A Figura 37 apresenta um resumo dos estudos realizados para caracterização das argamassas no estado fresco.

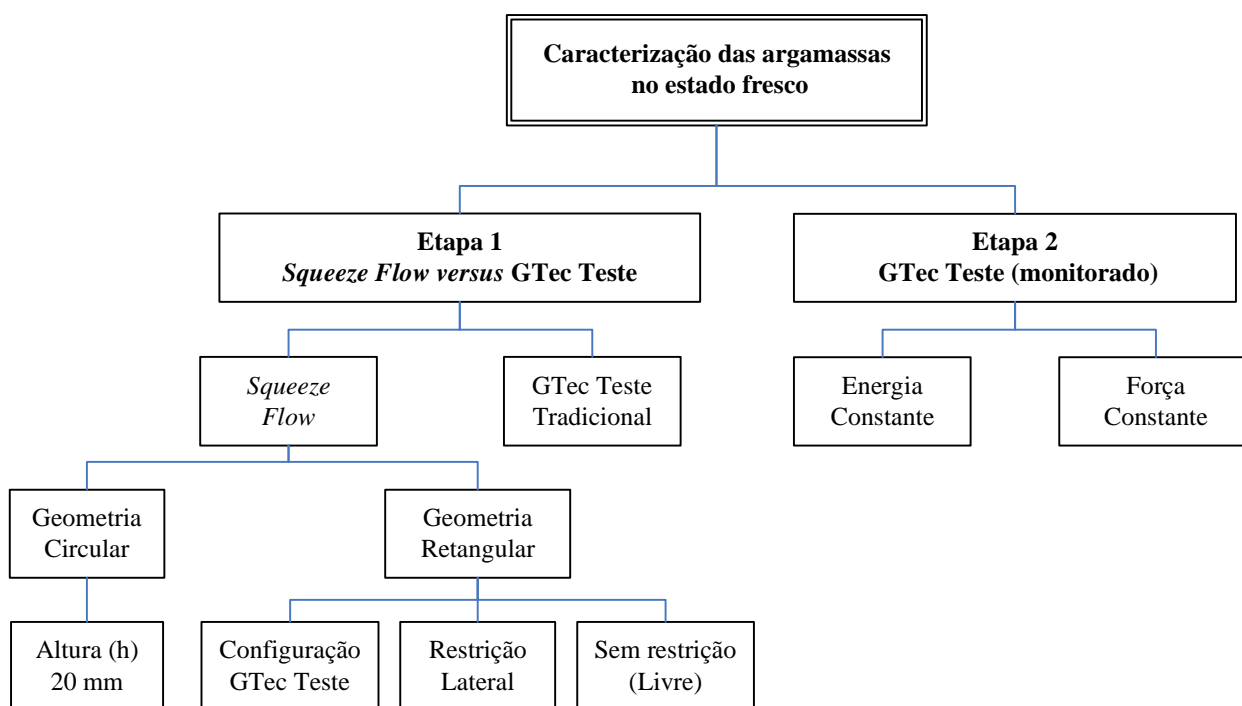


Figura 37. Resumo dos estudos realizados para caracterização das argamassas no estado fresco.

### 3.2.3.1 Etapa 1: *Squeeze flow versus* GTec Teste

#### **Materiais e procedimento de mistura**

Neste estudo preliminar foram avaliadas quatro argamassas de assentamento: duas argamassas mistas (cimento, cal e areia), uma argamassa mista com aditivo (incorporador de ar) e uma argamassa industrializada. Essas argamassas foram selecionadas por apresentarem trabalhabilidade distintas segundo um assentador experiente, principalmente devido à sua composição. Desse modo, poder-se-ia avaliar a sensibilidade do *Squeeze Flow*. Além disso, em outros estudos observou um comportamento diferenciado dessas argamassas obtido pelos parâmetros do GTec Teste (CASALI, CALÇADA e PRUDÊNCIO JR., 2002 e CASALI, 2003).

Os traços escolhidos foram aqueles utilizados em outras pesquisas do Grupo de Tecnologia em Materiais e Componentes a base de Cimento Portland (GTec) e no caso da argamassa mista com aditivo incorporador de ar, a dosagem foi feita de modo que a argamassa apresentasse uma trabalhabilidade adequada pelos parâmetros do GTec Teste (CASALI, 2003).

Os materiais empregados para a confecção das argamassas foram: cimento Portland composto com fíler calcário, CP II – F – 32, cal hidratada do tipo CH III e agregado miúdo conforme limites granulométricos estabelecidos pelas normas americanas e britânicas, ASTM C – 144 (1987) e BS – 1200 (1976). Para argamassa mista, foram avaliados dois agregados miúdos: uma areia média e uma composição entre areia média (80%) e areia fina de duna (20%), isso porque o agregado miúdo influencia consideravelmente na trabalhabilidade das argamassas (agregado miúdo “mais grosseiro” tende a gerar uma argamassa com pouca trabalhabilidade). A caracterização completa de todos os materiais está apresentada no Anexo 3, inclusive o agregado miúdo utilizado na argamassa industrializada.

No dia anterior à produção das argamassas mistas, foi realizada a complementação da maturação da cal através da mistura desta com areia úmida (umidade de 10%). Esse procedimento foi realizado na argamassadeira, conforme a norma NBR 7215 (1996). O tempo de mistura total foi de 4 minutos, conforme a norma NBR 13276 (2005), para argamassas dosadas em obra à base de cimento e cal hidratada. A seguinte ordem foi estipulada: (i) homogeneização dos materiais secos (agregado miúdo e cal) por trinta segundos na velocidade 1 (lenta), (ii) adição da água necessária para obter uma umidade de 10% de maneira constante em trinta segundos na velocidade 1 (lenta) e (iii) homogeneização final durante 180 segundos (3 minutos) em velocidade 1 (lenta). Após o intervalo de maturação (mínimo de 16 horas), antes da

confeção das argamassas, a quantidade de água que eventualmente havia sido perdida por evaporação era compensada (acrescentada à mistura) conforme as especificações da NBR 13276 (2005).

No dia da confeção das argamassas mistas sem aditivos, o procedimento de mistura foi realizado da seguinte ordem: (i) colocava-se um terço da quantidade de água na cuba da argamassadeira; (ii) adicionava-se metade da areia e da cal (já pré-misturadas), (iii) acrescentava-se a quantidade de cimento total e o restante da areia e da cal; e (iv) adicionava-se mais um terço da quantidade a água. Então a argamassadeira era acionada por 30 segundos em velocidade 1 (lenta) e depois durante os próximos 30 segundos era adicionado o restante da água e mais 180 segundos (3 minutos) em velocidade 1 (lenta). O tempo total de mistura era também de 240 segundos (4 minutos) como recomendado pela norma NBR 13276 (2005).

Para a argamassa mista com aditivo, o procedimento foi semelhante ao descrito anteriormente, porém o tempo de mistura na argamassadeira era de 90 segundos. Assim, primeiramente era realizada a mistura (areia, cal e cimento) juntamente com dois terços da água (como mencionado anteriormente) durante 30 segundos, nos próximos 30 segundos adicionava-se o último um terço de água de maneira constante onde era diluído o incorporador de ar, e mais 30 segundos em velocidade 1 (lenta). Após a mistura era realizada a raspagem da pá da argamassadeira e da cuba e uma nova mistura dos materiais (tempo de homogeneização de 30 segundos). Esse procedimento é descrito também na NBR 13276 (2005) para argamassas dosadas em obra à base de cimento com adições ou aditivos.

E finalmente para a argamassa industrializada o tempo de mistura foi aquele recomendado pelo fabricante (30 segundos em velocidade lenta), bem como a quantidade de água (15% em relação ao material anidro). Para essa argamassa foi utilizada também a argamassadeira na velocidade 1 (lenta). Cabe ressaltar que este procedimento é descrito na norma NBR 13276 (2005).

A quantidade de material e de água utilizada para a produção das argamassas, assim como o procedimento de mistura estão apresentados na Tabela 21.

Tabela 21. Quantidade de material utilizado e o procedimento de mistura para a produção das argamassas.

Argamassa	Traço (volume)	Cimento (g)	Cal (g)	Areia (g)	Areia	Material Anidro (g)	a/c	H* (%)	Procedimento e tempo de mistura
Mista 1	1:1:5	350,0	189,0	1988,0	Areia Média	-	1,35	18,7	4 minutos V1 NBR 13276 (2005)
Mista 2	1:1:5	337,0	182,0	1991,7	Mistura <sup>+</sup>	-	1,45	19,5	4 minutos V1 NBR 13276 (2005)
Mista + AR <sup>++</sup>	1:1:6	290,0	156,6	2059,0	Mistura <sup>+</sup>	-	1,45	16,8	90 seg V1 NBR 13276 (2005)
Industrializada	-	-	-	-	-	2500	-	15,0	30 seg V1 + 60 seg parado

\*relação água/ materiais secos;

<sup>+</sup> Mistura – composição granulométrica de 80% de areia média e 20% de areia fina;

<sup>++</sup> Aditivo incorporador de ar líquido – teor utilizado recomendado pela fabricante 0,002 litro/1 kg de cimento;

Todas as argamassas foram caracterizadas quanto ao índice de consistência (*flow table*) (NBR 7215, 1996), a massa específica e ao teor de ar incorporado (NBR 13278, 2005). Já a trabalhabilidade foi avaliada por um assentador experiente, classificadas como: muito seca, seca, boa, muito boa, mole ou muito mole. Além disso, a trabalhabilidade também foi determinada pelos parâmetros obtidos pelo GTec Teste.

A perda de trabalhabilidade com o tempo foi obtida pelas medidas do GTec Teste logo após a mistura e no final dos ensaios (tempo de aproximadamente 30 minutos), quando a mistura era então homogeneizada novamente com uma espátula durante 30 segundos, manualmente.

As argamassas foram preparadas em ambiente climatizado com temperatura controlada de  $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $(70 \pm 5)\%$ . Já o ambiente onde eram realizados os ensaios era climatizado. Normalmente a temperatura estava em torno dos  $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$ . Durante a realização dos ensaios, as argamassas eram mantidas dentro da cuba da argamassadeira, coberta com um pano úmido.

### Métodos

Para auxiliar na confecção do ensaio do *Squeeze Flow*, um estudo piloto foi realizado no Laboratório de Microestrutura da Universidade de São Paulo (USP). Este procedimento possibilitou obter as informações iniciais sobre o ensaio e a troca de experiência entre os pesquisadores.

Com base nas informações obtidas, o *Squeeze flow* foi montado no Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), conforme Figura 38. Para a realização desse ensaio, foi utilizada uma prensa mecânica com deslocamento controlado, com capacidade de 5 toneladas da marca Wykeham Farrance Eng. Ltda. Foram utilizados dois transdutores de deslocamento com capacidade máxima de 20 mm e uma célula de carga de capacidade de 50 kg e outra de 2 ton.

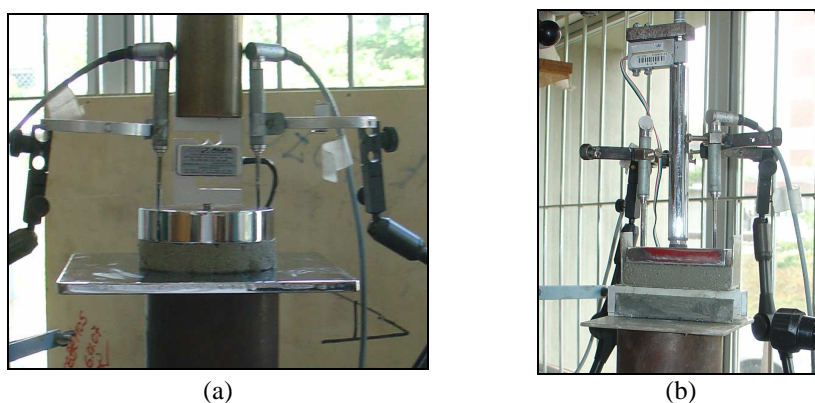


Figura 38. *Squeeze Flow* com geometria (a) circular e (b) retangular.

Conforme mencionado anteriormente (Tabela 20), o ensaio do *Squeeze Flow* foi realizado com velocidade do pistão controlada de 0,095 mm/s ou 5,70 mm/min, semelhante à utilizada na USP (0,1 mm/s).

A Figura 39 apresenta as configurações do ensaio do *Squeeze flow* com geometria retangular: (a) com restrição lateral e sem apoio (configuração tradicional do GTec Teste); (b) com restrição apenas lateral e com apoio; e (c) sem nenhuma restrição (livre) com apoio.

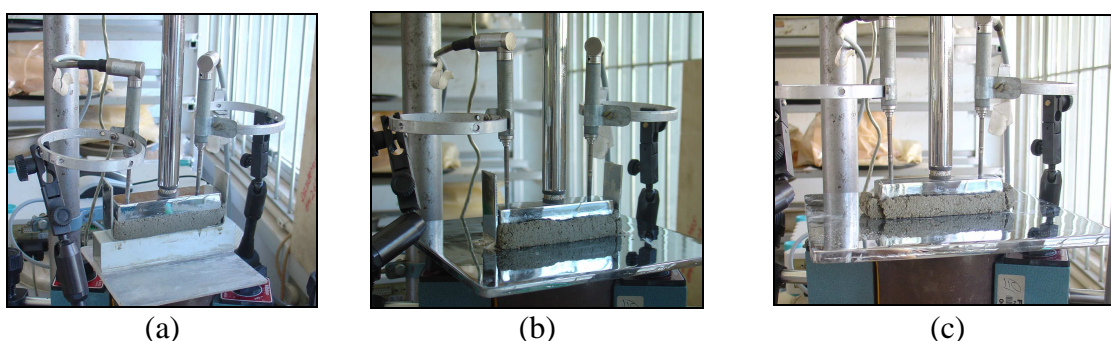


Figura 39. *Squeeze flow* com geometria retangular: (a) restrição lateral e sem apoio (configuração tradicional do GTec Teste); (b) restrição lateral e com apoio (restrição lateral) e (c) sem restrição (livre) com apoio.

A Figura 40 mostra os aparatos utilizados para a moldagem das argamassas para as duas geometrias, circular e retangular.

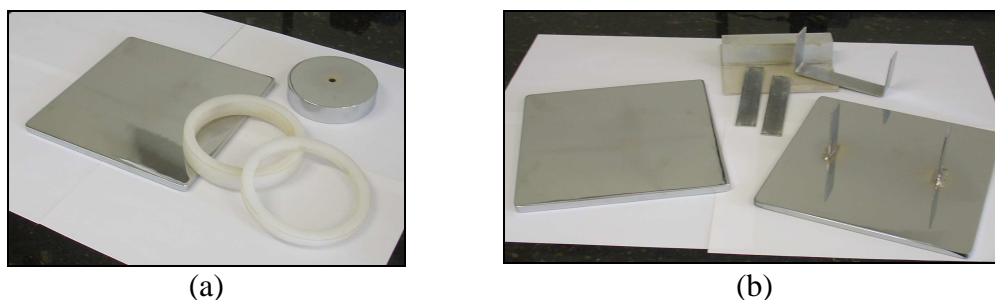


Figura 40. Aparato para moldagem das amostras para ensaio de *Squeeze Flow*: (a) geometria circular e (b) geometria retangular.

Normalmente os resultados obtidos no *Squeeze Flow* são expressos pela curva carga *versus* deslocamento. Min, Erwin e Jennings (1994) apresentaram o perfil típico do comportamento de *Squeeze Flow* com deslocamento controlado para materiais cimentícios (Figura 41). Esse perfil apresenta três regiões bem definidas: estágio I, pequenos deslocamentos – o material comporta-se como um sólido apresentando deformação elástica linear; estágio II, deslocamento intermediário – o material se deforma consideravelmente com reduzido incremento na força aplica, relacionada à deformação plástica ou fluxo viscoso; estágio III, grande deslocamento – a força necessária para esmagar o material aumenta consideravelmente, denominado enrijecimento por deformação.

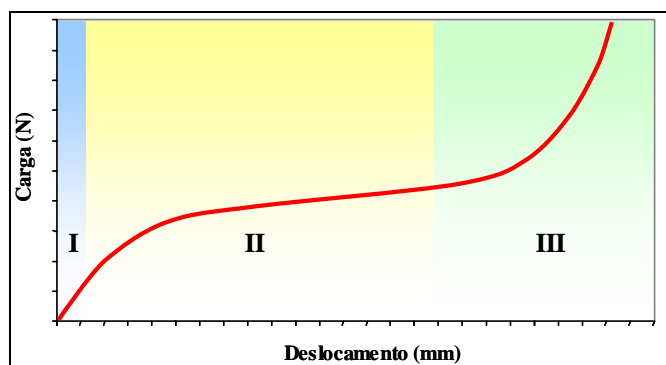


Figura 41. Perfil típico de carga versus deslocamento de um ensaio de *Squeeze Flow* realizado com deslocamento controlado: (I) deformação linear elástica - pequenos deslocamentos; (II) deformação plástica ou fluxo viscoso – deslocamento intermediário; (III) enrijecimento induzido por deformações (*strain hardening*) – grande deslocamento.

A partir dos dados de carga e deslocamento, os parâmetros de viscosidade e tensão de escoamento são calculados utilizando-se diversas equações e modelos existentes na literatura (MEETEN, 2000 e MEETEN, 2004).

Um dos modelos que considera o fluxo elongacional (STEFFE, 1996 *apud* HOPPE FILHO *et al.*, 2006), a viscosidade elongacional ou extensional ( $\eta_E$ ) pode ser calculada pela Equação 1:

$$\eta_E = \frac{\sigma_E}{\varepsilon_E} = 2.F \cdot \left[ \frac{h_o - (v.t)}{v.\pi.R^2} \right] \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

$\eta_E$  – Viscosidade elongacional (Pa.s)

$\sigma_E$  – Tensão gerada na amostra (Pa)

$\varepsilon_E$  – Taxa de deformação elongacional (s<sup>-1</sup>)

$F$  – Carga aplicada (N)

$h_o$  – Altura inicial da amostra (m)

$v$  – Velocidade de deslocamento da placa superior (m/s)

$t$  – Tempo decorrido após o início do ensaio (segundos)

$R$  – Raio da placa superior (m)

Já para a determinação da tensão de escoamento, um método de determinação indireta desta grandeza pode ser utilizado (HOPPE FILHO *et al.*, 2006). Segundo esses autores, a tensão de escoamento é determinada graficamente a partir da ampliação do gráfico tensão *versus* deslocamento na região de pequenos deslocamento (região I da Figura 41). A tensão de escoamento pode ser estimada no ponto de inflexão entre o primeiro trecho linear da curva (regime elástico) e o segundo trecho onde se iniciam as deformações plásticas (queda acentuada de inclinação da curva) (Figura 41), conforme demonstrado Figura 42.

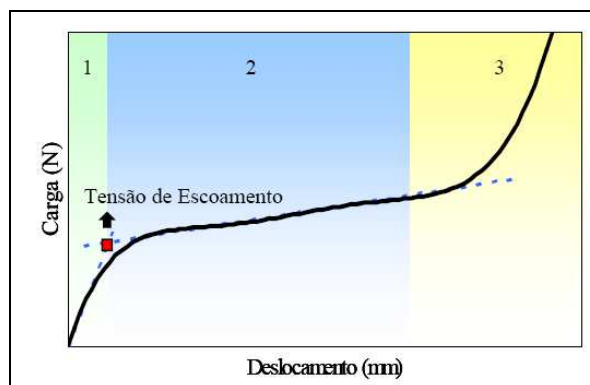


Figura 42. Estimativa gráfica da tensão de escoamento a partir das curvas de tensão versus deslocamento (HOPPE FILHO *et al.*, 2006).

Cardoso, Pileggi e John (2005) afirmam que os resultados das curvas carga *versus* deslocamento e carga *versus* tempo são suficientes para compreensão da natureza reológica dos materiais, através, principalmente, dos perfis das curvas e dos níveis de carga atingidos. Os



autores comentam ainda que as comparações dos perfis reológico, muitas vezes, trazem mais informações do que a viscosidade e a tensão de escoamento obtida por equações matemáticas. Por este motivo, primeiramente foi avaliado o comportamento das curvas obtidas com as argamassas estudadas e, em seguida, os resultados obtidos de tensão de escoamento e viscosidade obtidos pelo *Squeeze Flow*.

Já o GTec Teste avalia a consistência, plasticidade e coesão das argamassas de assentamento, como mencionado anteriormente. Normalmente os resultados obtidos são avaliados com relação aos índices (leitura inicial, número de golpes, índice de plasticidade e coesão) e também a curva leitura *versus* energia (CASALI, 2003). Para que uma argamassa seja considerada com trabalhabilidade adequada para o assentamento, os parâmetros obtidos pelo GTec Teste devem estar entre os limites estipulados: leitura inicial (Li) entre 1,90 a 1,75, número de golpes entre 7 a 15 e o índice de plasticidade entre -7 mm/J a -15 mm/J e apresentar coesão (CASALI, 2003).

### Seqüência de ensaios

Após a mistura das argamassas, a seqüência dos ensaios foi sempre a mesma: massa específica (teor de ar incorporado); GTec Teste e avaliação do assentador experiente; *Squeeze Flow* com geometria circular; *Squeeze Flow* com geometria retangular com restrição lateral e com apoio, livre (com apoio) e com restrição lateral e sem apoio (tradicional do GTec Teste); e por fim, repetia-se a medida do GTec Teste (aproximadamente 35 minutos após a adição da água com o cimento). Para a determinação do índice de consistência (*flow table*), era realizada uma nova mistura onde também eram determinadas massa específica (teor de ar incorporado) e realizado o ensaio GTec Teste.

Também foi verificada a influência do tempo de ensaio após a mistura nas curvas de tensão *versus* deslocamento no ensaio do *Squeeze Flow*. Essa influência foi observada por Cardoso, Pileggi e John (2005). A verificação foi realizada, pois houve uma preocupação em relação à ordem de realização do ensaio, já que o tempo após a mistura era diferente para as diversas configurações. O tempo aproximado da realização dos ensaios de *Squeeze Flow* era de 15 minutos.

Assim, para duas argamassas (Mista 2 e mista com incorporador de ar – Mista + AR) foram realizadas novamente as medidas do *Squeeze flow* com a mesma seqüência de ensaio descrita anteriormente e outra mistura com a seqüência inversa: primeiramente com a geometria

retangular (restrição lateral e sem apoio – tradicional – restrição lateral e com apoio; e sem restrição e com apoio) e sem seguida com a geometria circular.

### Resultados Obtidos

Os resultados obtidos das argamassas no estado fresco estão apresentados na Tabela 22.

Tabela 22. Propriedades das argamassas no estado fresco.

Argamassa	Índice de Consistência ( <i>flow table</i> ) (mm)	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	Teor de ar incorporado (%)	GTec Teste				Avaliação pelo assentador experiente
				Li* (cm)	n**	IP*** (mm/J)	Coesão <sup>+</sup>	
Mista 1	215,5	2,03	3,4	1,90	23	-3,60	Sim	Muito seca
Mista 2	246,6	2,01	2,9	1,75	7	-13,3	Sim	Muito Boa
Mista + AR	215,1	1,86	12,4	1,85	11	-8,00	Sim	Boa
Industrializada	218,3	1,89	17,0	1,15	3	-5,00	Não (1,15 cm)	Muito mole

\* Li – Leitura inicial apenas pelo peso da haste;

\*\* n – número de golpes necessário para obtenção de um filete de argamassa de 1cm;

\*\*\* IP – Índice de Plasticidade relação entre a variação da leitura ( $\Delta y$ ) e a variação da energia ( $\Delta x$ ).

<sup>+</sup> Coesão – altura onde ocorre o seccionamento da rebarba da argamassa: caso ocorra após 1 cm, a argamassa tem coesão para a realização do assentamento dos blocos de concreto.

Observa-se na Tabela 22, que os valores de índice de consistência (*flow table*) não tiveram correlação com a avaliação do assentador experiente e nem com os teores de ar incorporado. Este comportamento já havia sido comprovado por Casali, Calçada e Prudêncio Jr. (2002), Casali (2003), Casali e Prudêncio Jr. (2008). Esses autores verificaram que este índice não é adequado para definir a consistência ideal de uma argamassa de assentamento e só deveria ser empregado quando fixado um determinado tipo de argamassa para o uso. Além disso, os autores verificaram que valores de índices de consistência *flow table* são distintos para argamassas trabalháveis como nos resultados obtidos neste estudo.

O teor de ar incorporado influenciou nos parâmetros obtidos pelo GTec Teste. A argamassa com o maior teor de ar incorporado (industrializada) apresentou os menores valores de leitura inicial, exigiu um pequeno número de golpes para a obtenção de um filete de 1 cm de altura e apresentou-se sem coesão. Além disso, foi considerada, pela avaliação do assentador experiente, como muito mole para o assentamento de blocos de concreto.

Com relação aos parâmetros obtidos pelo GTec Teste, para uma argamassa com trabalhabilidade adequada, duas argamassas apresentaram-se dentro dos limites estipulados e

poderiam ser consideradas com trabalhabilidade adequada<sup>33</sup>, a Mista 2 e a Mista com incorporador de ar (Mista+AR). Estas também foram as argamassas consideradas com trabalhabilidade muito boa e boa, respectivamente, pelo assentador experiente.

As outras duas argamassas, a Mista 1 e a industrializada, não apresentaram trabalhabilidade adequada, nem pelos parâmetros obtidos pelo GTec Teste e nem pela avaliação do assentador experiente, que as considerou como muito seca e muito mole, respectivamente.

As curvas leitura *versus* energia obtida pelo GTec Teste para as argamassas estudadas estão apresentadas na Figura 43.

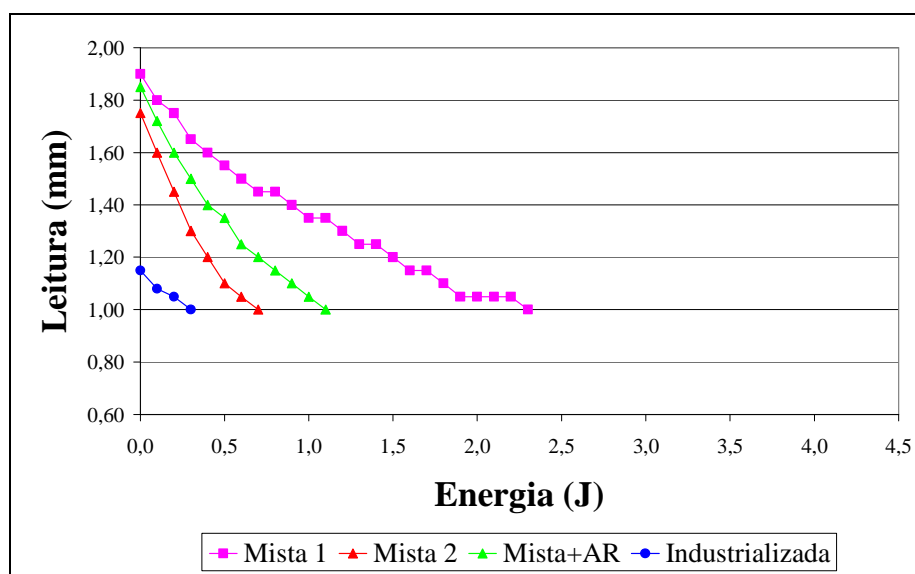


Figura 43. Curvas leitura *versus* energia obtida pelo GTec Teste.

Observa-se na Figura 43, a quantidade grande de energia (2,3 J) necessária para se obter um filete com espessura de 1 cm para a argamassa Mista 1 (com 100% de areia média) e a pequena energia (0,3 J) para a argamassa industrializada. Também se observa o comportamento distintos dessas duas argamassas em relação às argamassas consideradas trabalháveis (Mista 2 e Mista + AR) que apresentaram um comportamento semelhante.

Os resultados obtidos pelo *Squeeze flow* para as argamassas Mista 1 e Mista 2 estão apresentados na Figura 44 e Figura 45, onde pode-se observar os valores de cada geometria, circular e retangular, e cada restrição da geometria retangular: sem restrição e com apoio (“livre”), com apoio e com restrição lateral (“lateral”) e sem apoio e com restrição lateral (“tradicional”).

<sup>33</sup> Leitura inicial (Li) entre 1,75 a 1,90 cm, número de golpes entre 7 a 15 golpes, índice de plasticidade entre

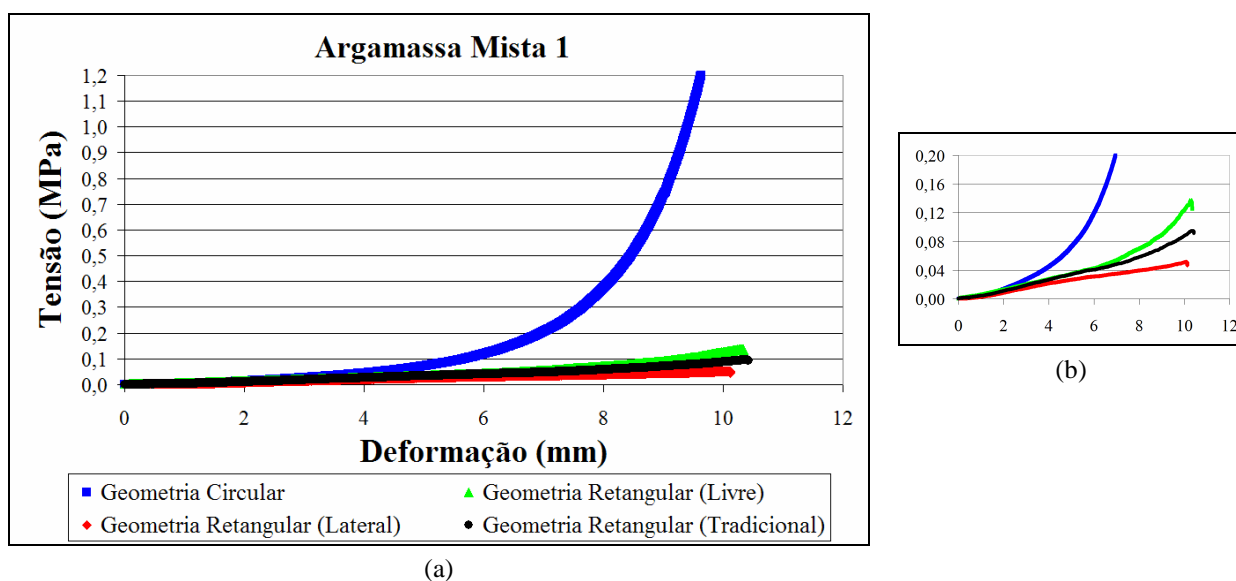


Figura 44. (a) Curvas tensão *versus* deslocamento para a argamassa Mista 1 e (b) ampliação das curvas na região com tensão até 0,2 MPa.

Observa-se na Figura 44 que, para a argamassa Mista 1, a geometria circular proporcionou maiores valores de tensão do que a geometria retangular. Observou-se também que as tensões obtidas foram semelhantes até aproximadamente 2 mm de deformação (Figura 44b). Após essa deformação, as curvas de tensão *versus* deformação são distintas.

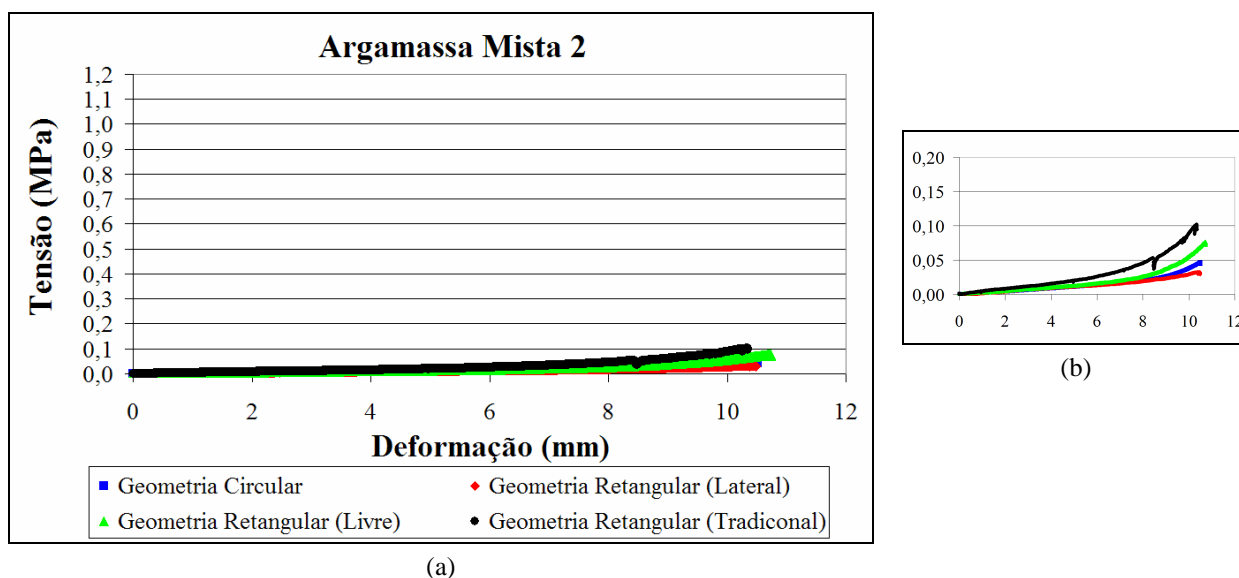


Figura 45. (a) Curvas tensão *versus* deslocamento para a argamassa Mista 2 e (b) ampliação das curvas na região com tensão até 0,2 MPa.

Já para a argamassa Mista 2, observa-se que as tensões obtidas foram semelhantes para todas as configurações analisadas (Figura 45a). Apenas após a deformação de 4 mm as curvas começam a se diferenciar (Figura 45b). Além disso, observa-se que as tensões obtidas para a argamassa Mista 2 foram bem inferiores as apresentadas para a argamassa Mista 1. Este comportamento comprova os resultados apresentados anteriormente, onde a argamassa Mista 1 foi considerada muito seca pelo assentador experiente, e apresentou uma leitura inicial alta ( $L_i=1,90\text{cm}$  - Tabela 22), e ainda um grande número de golpes para obter 10 mm (23 golpes - Tabela 22). Além disso, essa argamassa foi confeccionada com um agregado miúdo médio, sendo o mais grosseiro de todas as argamassas analisadas (Anexo 3). Assim, as tensões também foram influenciadas pelo tipo de agregado miúdo utilizado possivelmente devido ao atrito entre as partículas.

O comportamento da argamassa Mista 2, em relação às curvas de tensão *versus* deslocamento, foi semelhante ao observado para a argamassa mista com incorporador de ar (Mista + AR) (Figura 46). Cabe ressaltar que estas duas argamassas foram consideradas com trabalhabilidade boa e muito boa pelo assentador experiente e pelos parâmetros do GTec Teste. Além disso, as argamassas foram confeccionadas com mesmo agregado: composição de areia média (80%) com areia fina (20%) (Anexo 3) que poderia influenciar nas tensões obtidas.

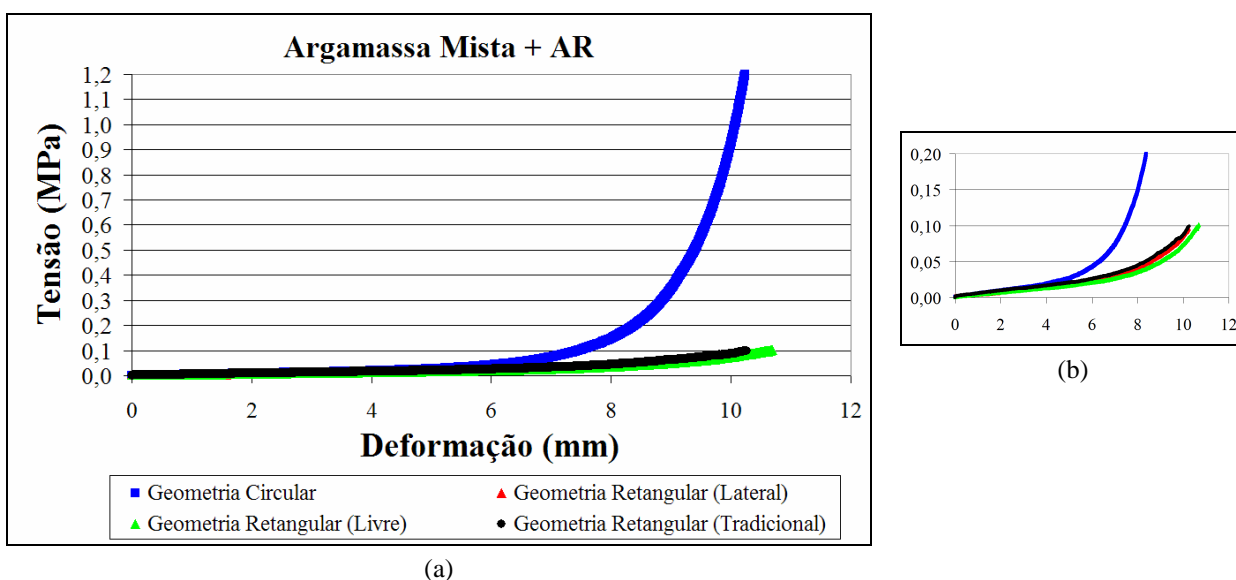


Figura 46. (a) Curvas tensão *versus* deslocamento para a argamassa mista com incorporador de ar (Mista + Ar) e (b) ampliação das curvas na região com tensão até 0,2 MPa.

Observa-se, na Figura 46, que apenas o comportamento da curva com geometria circular da argamassa mista com incorporador de ar (Mista + AR) foi diferente do obtido para a

argamassa Mista 2. Também foi verificado uma influência da geometria nas tensões obtidas. Entretanto, essa influência somente é observada a partir de 4 mm de deformação.

A Figura 47 apresenta a curva tensão versus deslocamento para a argamassa industrializada para todas as geometrias e restrições.

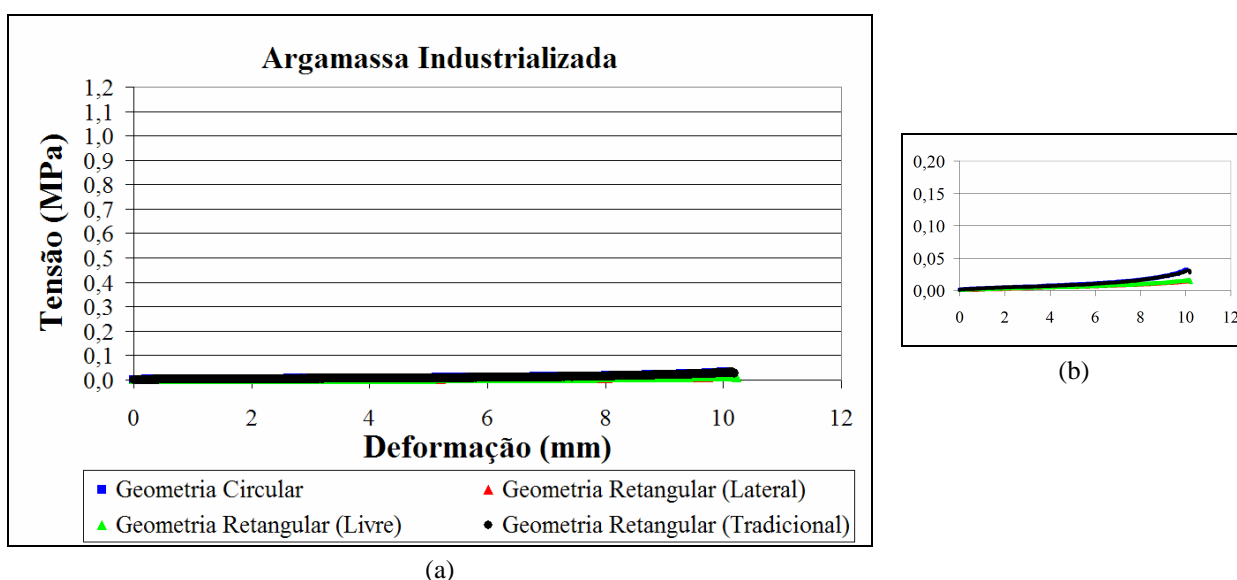


Figura 47. (a) Curvas tensão *versus* deslocamento para a argamassa industrializada e (b) ampliação das curvas na região com tensão até 0,2 MPa.

A argamassa que apresentou os menores valores de tensão foi a argamassa Industrializada (Figura 47) e também foi aquela considerada mole pelo assentador experiente (Tabela 22). Possivelmente as tensões para esta argamassa foram influenciadas por dois motivos: o agregado miúdo muito fino (Anexo 3) e o alto teor de ar incorporado (17%). Cabe ressaltar que esse resultado também já era esperado, pois as bolhas de ar auxiliam para afastar e lubrificar os agregados, fazendo com que a argamassa apresente menores tensões para um mesmo nível de deformação (ANTUNES, 2005). Além disso, as bolhas de ar eliminam, ou minimizam, o atrito dos grãos e aumentam a distância entre eles que são os principais componentes para o comportamento reológico das argamassas.

Para a argamassa industrializada, não foi observada influência da geometria (circular e retangular) para pequenas deformações. No entanto, a geometria e a restrição influenciaram nas tensões após 8 mm de deformação (Figura 47b).

Uma comparação entre as argamassas analisadas para cada geometria e restrição, isoladamente, pode ser observada na Figura 48.

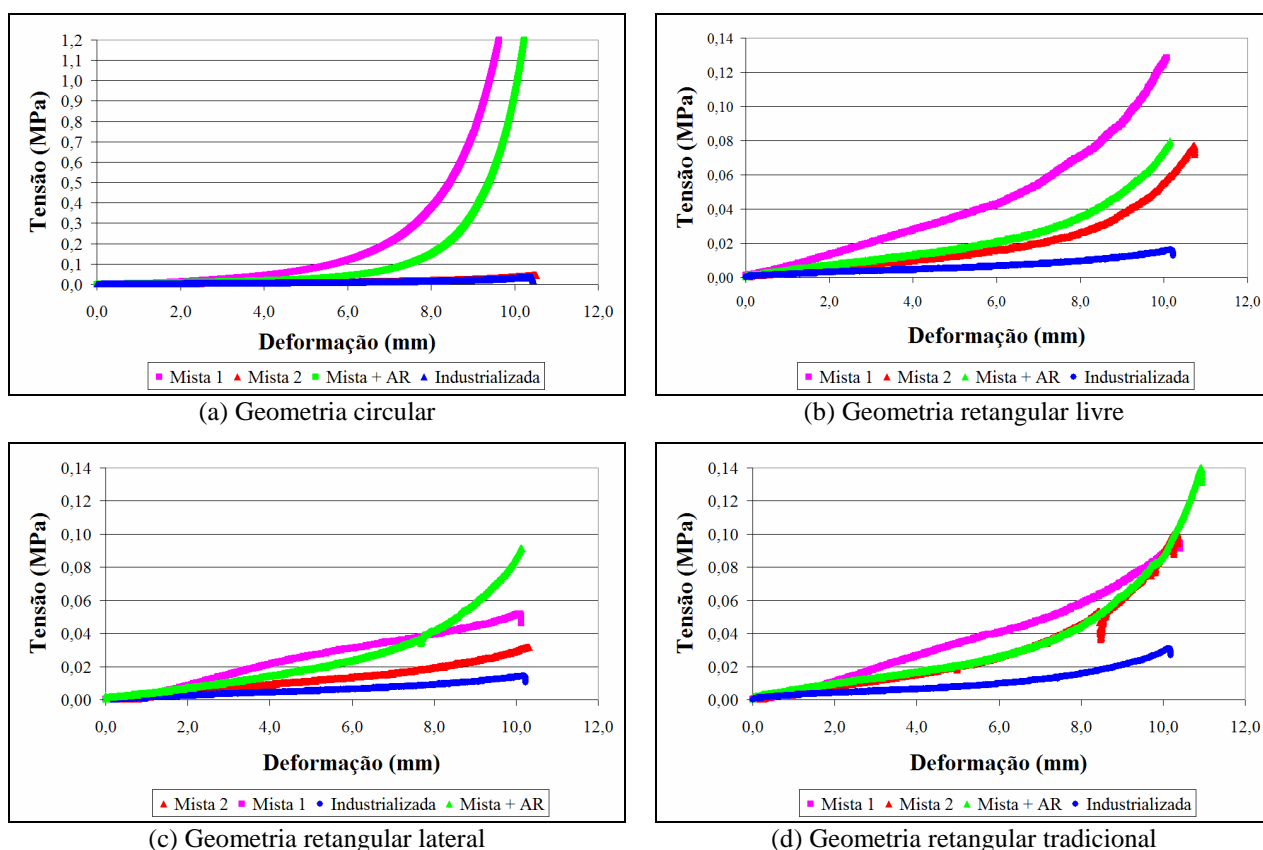


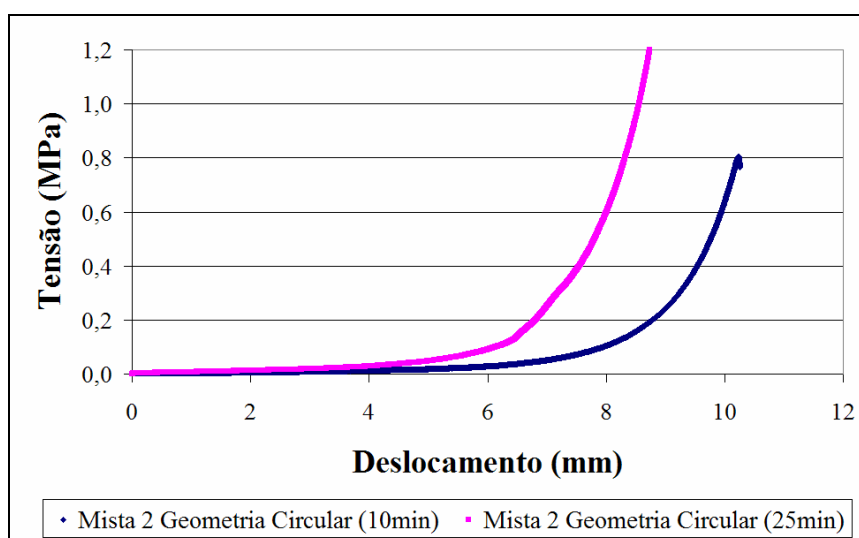
Figura 48. Tensão *versus* deslocamento para o *Squeeze Flow*: (a) com geometria circular com apoio e livre, (b) geometria retangular sem restrição e com apoio (livre), (c) geometria lateral com restrição lateral com apoio (lateral) e (d) geometria retangular com restrição lateral e sem apoio (tradicional).

Observa-se, na Figura 48, que as curvas de tensão *versus* deslocamento para cada geometria e restrição têm perfis semelhantes. De maneira geral, as maiores tensões para a argamassa Mista 1, depois para a argamassa mista com incorporador de ar “Mista + AR”, em seguida a argamassa Mista 2 e as menores tensões obtidas para a argamassa industrializada (como já havia sido comentado anteriormente). Cabe novamente ressaltar, que as maiores tensões foram obtidas para a geometria circular. Este comportamento já era esperado por ser a geometria mais rigorosa em relação à geometria retangular para quaisquer restrições.

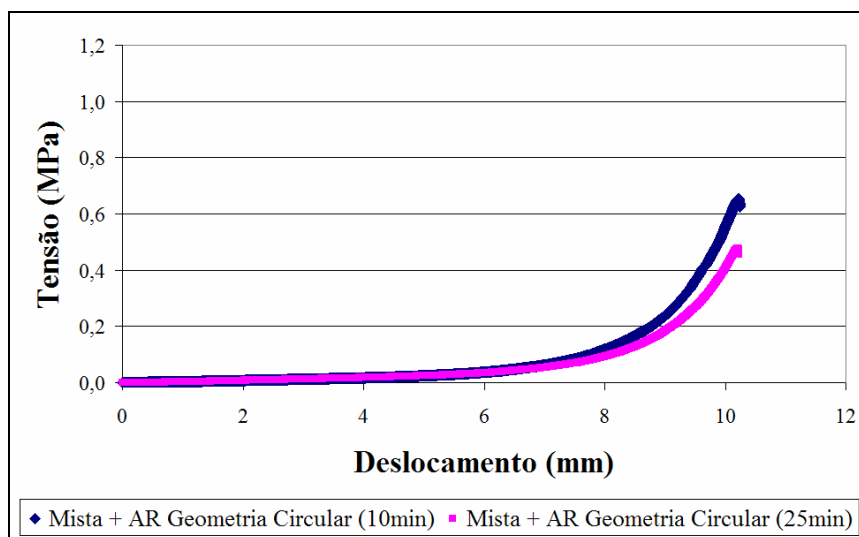
Além disso, para a geometria circular, observa-se que as argamassas têm tensões semelhantes até o deslocamento de 2 mm. Depois o comportamento é distinto para cada argamassa (Figura 48a). Já para a outra geometria e restrições diferentes, cada argamassa tem comportamento distinto desde o início do ensaio, isto é, deslocamento próximo de zero (Figura 48b, Figura 48c e Figura 48d).

A influência do tempo após a mistura nas tensões obtidas no *Squeeze Flow* pode ser observada na Figura 49. Nesta Figura são apresentados os resultados obtidos com geometria

circular nos tempos de 10 e 25 minutos após a mistura, somente para as argamassas Mista 2 e mista com incorporador de ar “Mista+AR”. Apesar de terem sido realizadas todas as configurações do ensaio, aqui serão apresentadas apenas os resultados obtidos para a geometria circular. Esta configuração foi escolhida por ser aquela que apresentou as maiores diferenças de tempo de ensaio (15 minutos) e também por ser a condição mais rigorosa, isto é, aquela que apresentou as maiores tensões em relação às demais geometrias utilizadas.



(a)



(b)

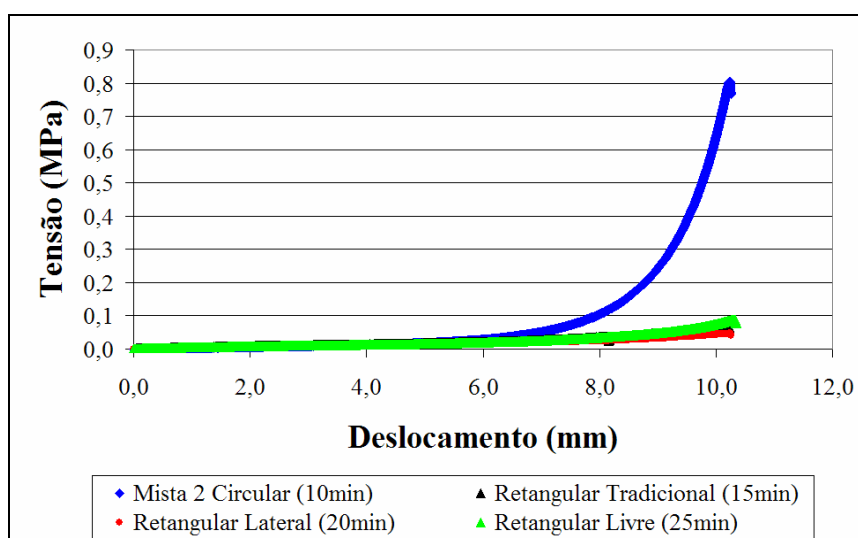
Figura 49. Curvas tensão *versus* deslocamento do *Squeeze flow* com geometria circular para os tempos de 10 e 25 minutos: (a) argamassa mista 2 e (b) argamassa mista com incorporador de ar “Mista + AR”.

Observa-se ainda, na Figura 49, que o tempo após a mistura influenciou nos valores de tensão em função da deformação, para a argamassa Mista 2 (Figura 49a). Já para a argamassa mista com incorporador de ar “Mista + AR”, a diferença da tensão não foi significativa, isto é,

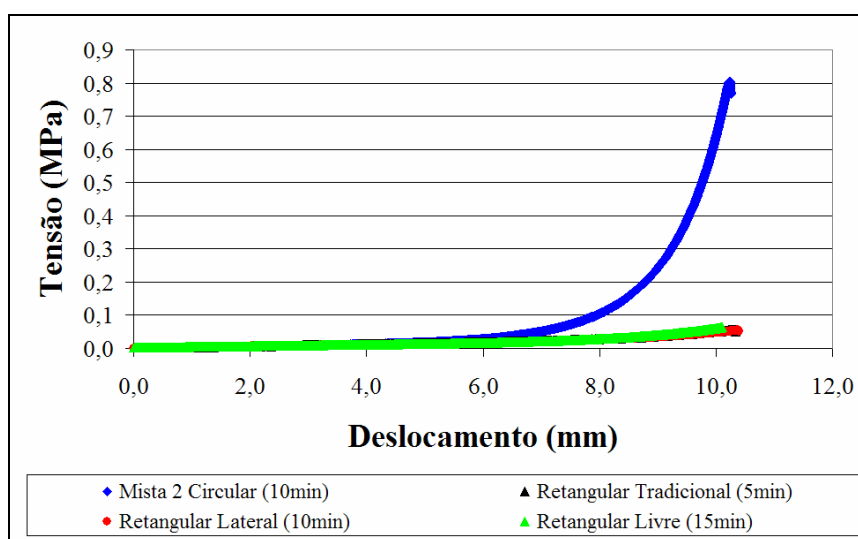


com o tempo de 10 minutos de mistura, as tensões foram semelhantes às tensões obtidas com 25 minutos após o procedimento de mistura (tempo obtido a partir da colocação da água com o cimento).

Para a argamassa Mista 2, para qual se obteve as maiores diferenças de tensões com o tempo de mistura, avaliaram-se as curvas de tensão *versus* deformação com os tempos diferentes (seqüência inicial) (Figura 50a) e com os tempos mais próximos (5 a 15 minutos) em todas as configurações do ensaio (Figura 50b), isto é, utilizando os resultados obtidos tanto na primeira determinação quanto na segunda.



(a)



(b)

Figura 50. Curvas tensão *versus* deslocamento do *Squeeze flow* para argamassa Mista 2: (a) valores de tensão obtidos com tempos determinados (seqüência inicial) e (b) tempos semelhantes (5 a 15 minutos de ensaio).

Pode ser observada, na Figura 50, que o comportamento das curvas foi semelhante não sendo verificadas influências significativas nas tensões obtidas. Isto porque, na realidade, as tensões obtidas para a geometria retangular tiveram uma influência menor em função do tempo após a mistura do que para a geometria circular. Por este motivo, o ensaio com a geometria circular foi realizado antes da geometria retangular (como na primeira seqüência que foi realizada o ensaio) no estudo definitivo.

Outra constatação de que o ensaio com a geometria retangular teve pouca influência do tempo de realização do ensaio após a mistura nas tensões obtidas com geometria retangular para a argamassa Mista 2, foi a pequena diferença nos parâmetros obtidos no GTec Teste com 5 minutos e 35 minutos (após a mistura do cimento com a água). Esse comportamento foi avaliado na perda de trabalhabilidade com o tempo obtido pelo GTec Teste (Figura 51). Esta Figura apresenta a perda de trabalhabilidade com o tempo verificado para as argamassas: argamassa Mista 2, argamassa com incorporador de ar “Mista + AR” e argamassa industrializada.

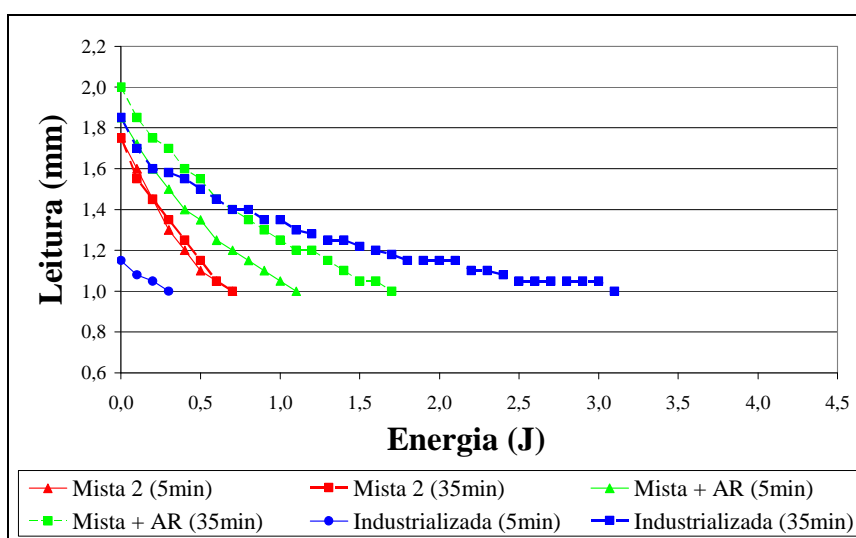


Figura 51. Curvas leitura *versus* energia obtidas pelo GTec Teste nos tempos de 5 e 35 minutos para as argamassas mista 2, argamassa mista com incorporador de ar “Mista + AR” e industrializada.

Verifica-se, pelos valores obtidos da Figura 51 que a argamassa industrializada apresentou a maior perda de trabalhabilidade com o tempo (apenas 35 minutos após a mistura), pois aumentaram consideravelmente todos os parâmetros obtidos no GTec Teste, tais como por exemplo, um aumento da leitura inicial de 1,15 cm para 1,85 cm, e o número de golpes de 3 para 31. Possivelmente, para esta argamassa, a influência dos tempos de ensaio após a mistura nas tensões obtidas para o *Squeeze Flow* seriam muito grandes.

Os valores de viscosidade elongacional (Equação 1) e a taxa de deformação das argamassas estudadas foram obtidas por meio da carga e deslocamento, o seu perfil segue o da curva de tensão *versus* deslocamento pelo *Squeeze Flow*, como mostra a Figura 52.

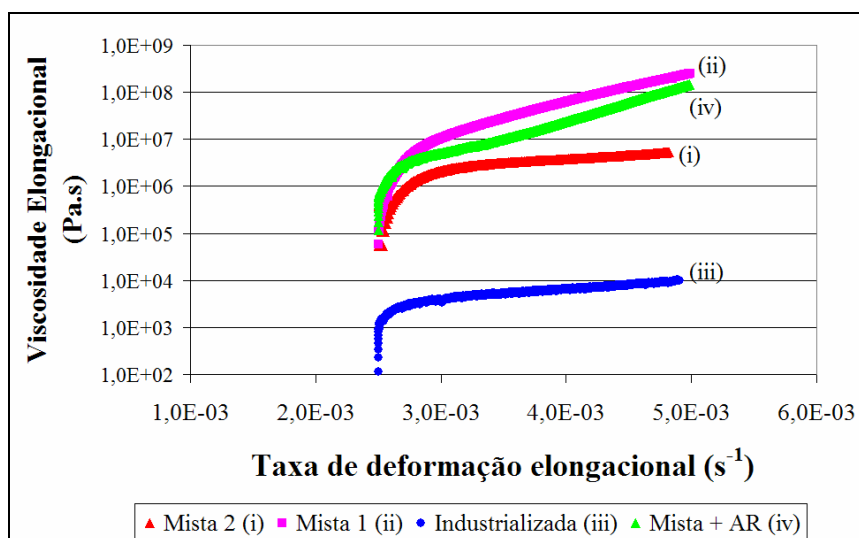


Figura 52. Curvas de viscosidade elongacional *versus* taxa de deformação para as argamassas Mista 1, argamassa Mista 2, argamassa mista com incorporador de ar “Mista + AR” e industrializada.

Observa-se na Figura 52, que a argamassa industrializada apresentou os menores valores de viscosidade elongacional. Novamente este comportamento já era esperado, pois a mesma apresentou o maior teor de ar incorporado (17%) e, como mencionado anteriormente, as bolhas de ar auxiliam na lubrificação dos agregados reduzindo a viscosidade da argamassa devido à postergação da atuação das forças de atrito (ANTUNES, 2005).

Cabe ressaltar que, para as argamassas Mista 2 e industrializadas, a taxa de crescimento da viscosidade diminui tornando-se praticamente constante. Já a argamassa Mista 1 e argamassa mista com incorporador de ar “Mista + AR”, apresentaram um comportamento dilatante, isto é, ocorre um aumento de viscosidade à medida que se eleva a taxa aplicada. Este comportamento é característico de suspensões altamente concentradas, onde as partículas encontram-se muito bem empacotadas e bastante próximas entre si (OLIVEIRA *et al.*, 2000).

Os valores de viscosidade elongacional podem ser comparados com avaliação do assentador experiente: os maiores valores de viscosidade elongacional foram para a argamassa muito seca, assim como os menores valores de viscosidade elongacional para a argamassa muito mole.

Também vale notar que, para as argamassas mistas, houve a influência do agregado miúdo na viscosidade elongacional da mistura (argamassa Mista 1, agregado miúdo com maior módulo de finura em relação à argamassa Mista 2). Isso possivelmente ocorreu porque, na argamassa que contém grão grosseiros (argamassa Mista 1), com o aumento da taxa de deformação, as partículas se aproximam aumentando o atrito e dificultando a fluidez (deslocamento) da mistura.

A tensão de escoamento para os ensaios com geometria circular, estimada graficamente a partir das curvas tensão *versus* deformação conforme apresentado na Figura 42, são mostradas na Tabela 23.

Tabela 23. Estimativa gráfica da tensão de escoamento para o *Squeeze flow* com geometria circular para todas as argamassas estudadas.

Argamassa	Estimativa da Tensão de Escoamento (kPa)
Mista 1	5,40
Mista 2	2,60
Mista + AR	18,8
Industrializada	12,5

Os valores obtidos de tensão de escoamento não foram correlacionáveis com a avaliação do assentador experiente e nem foi verificada nenhuma tendência com os demais parâmetros obtidos pelo GTec Teste.

### **Correlações entre o Squeeze Flow e o GTec Teste**

Primeiramente foram avaliadas as curvas de energia *versus* deslocamento obtido pelo GTec Teste (Figura 53) para todas as argamassas estudadas, comportamento mais próximo ao encontrado pelo *Squeeze Flow*.

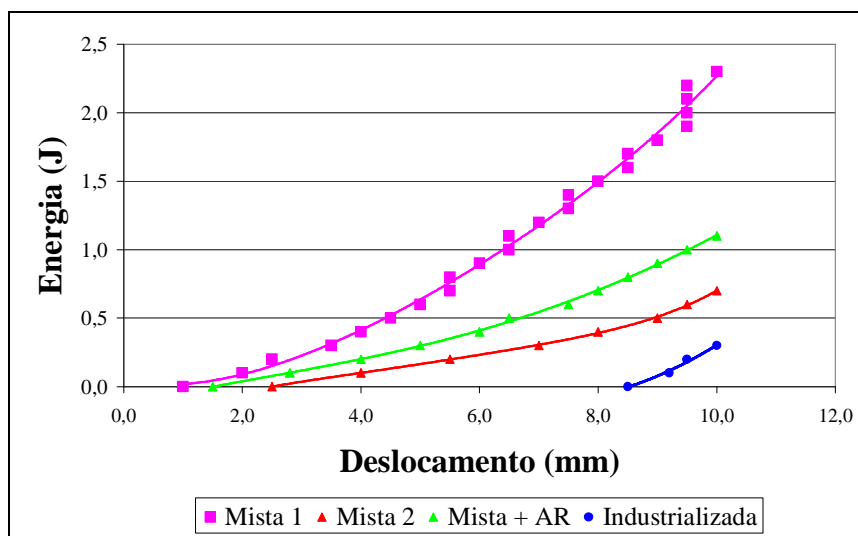


Figura 53. Energia *versus* deslocamento obtido pelo GTec Teste para todas as argamassa estudadas.

Observa-se, na Figura 53, que as curvas apresentaram um comportamento semelhante às curvas tensão *versus* deslocamento obtidas pelo *Squeeze Flow* para geometria retangular sem restrição (livre) (Figura 49b).

Buscando uma correlação entre os métodos, comparou-se a tensão pelo *Squeeze Flow* e a energia pelo GTec Teste para um mesmo deslocamento obtido (10 mm) em todas as configurações do *Squeeze Flow*, como observado na Figura 54 e Figura 55. As melhores correlações lineares foram para a geometria circular e para a retangular sem restrição (livre) (Figura 55).

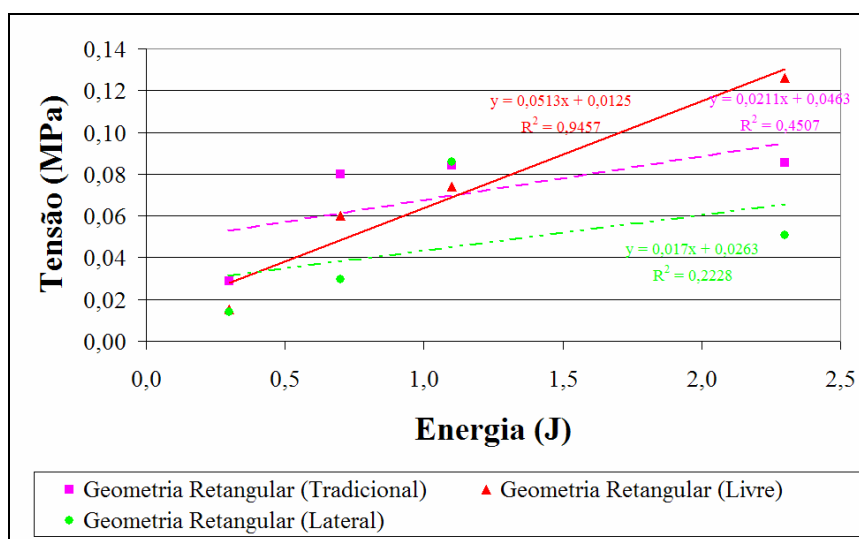


Figura 54. Correlação entre tensão pelo *Squeeze Flow* *versus* energia pelo GTec Teste no deslocamento de 10 mm para as geometrias retangulares.

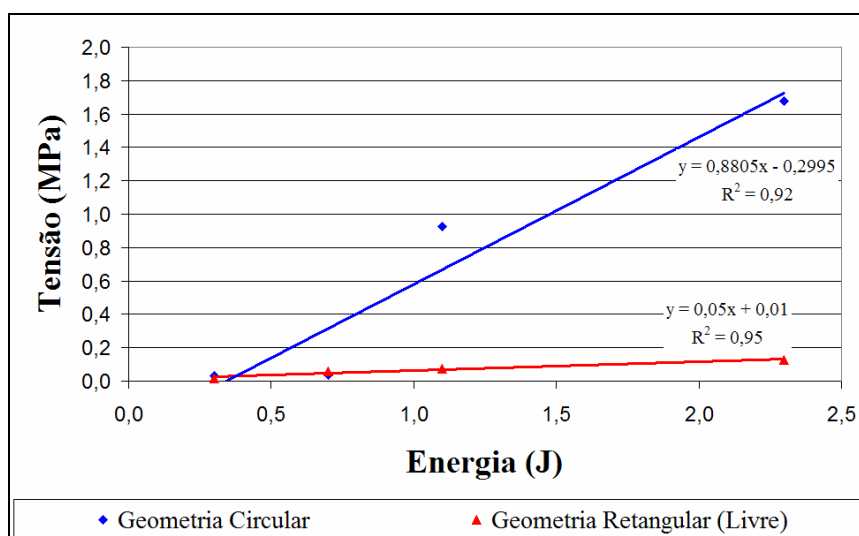


Figura 55. Correlação entre tensão pelo *Squeeze Flow* versus energia pelo GTec Teste no deslocamento de 10 mm para a geometria circular e geometria retangular sem restrição e com apoio (livre).

Hoppe Filho *et al* (2006) afirmam que a tensão de escoamento da argamassa obtida pelo *Squeeze Flow* para a geometria circular (Tabela 23) poderia ser estimada pela leitura inicial (Li) obtida pelo GTec Teste, que corresponde ao peso da haste, mas isso não foi observado como mostra a Figura 56.

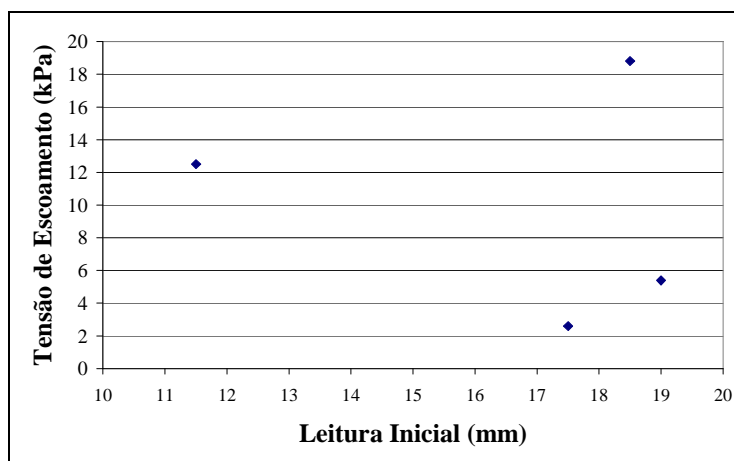


Figura 56. Comparação entre tensão de escoamento obtida pelo *Squeeze Flow* versus leitura inicial pelo GTec Teste para todas as argamassas analisadas.

Possivelmente esses dois parâmetros não sejam correlacionáveis, pois a tensão aplicada (correspondente ao peso da haste) ultrapassou a tensão de escoamento da argamassa, que nada mais é que a tensão mínima para iniciar o movimento. Assim, a leitura inicial é

influenciada pela tensão de escoamento e pela viscosidade da argamassa, não sendo possível separar esses parâmetros.

Diante dos resultados obtidos, a caracterização das propriedades reológicas das argamassas foi feita a partir dos resultados obtidos pelo *Squeeze Flow* com geometria circular e retangular sem restrição (livre), uma vez que as maiores correlações com o GTec Teste foram obtidas para estas geometrias.

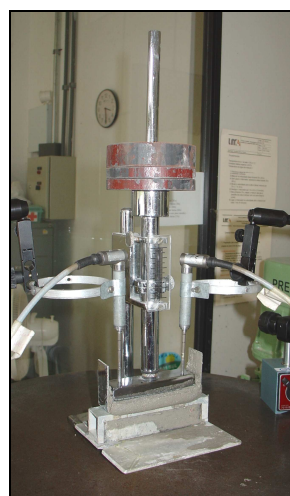
É importante observar que os resultados aqui encontrados aplicam-se apenas para as condições de contorno e matérias-primas utilizadas neste trabalho. Porém, após a verificação de mais quatro argamassas com trabalhabilidade adequada no programa experimental, talvez seja possível obter uma faixa de caracterização reológica para argamassas de assentamento utilizadas para a região da grande Florianópolis.

### 3.2.3.2 Etapa 2: GTec Teste monitorado eletronicamente: energia ou força constante

Com o objetivo de obter maior quantidade de informações (dados) sobre o comportamento da argamassa de assentamento no estado fresco, realizou-se o monitoramento eletrônico das medidas obtidas pelo GTec Teste. Assim, foi monitorado o deslocamento, utilizando-se dois transdutores de deslocamento com capacidade de 20 mm, em função do tempo. A Figura 57 apresenta um esquema do monitoramento eletrônico realizado para o ensaio de energia constante e força constante.



(a)



(b)

Figura 57. Esquema representativo do monitoramento eletrônico no GTec Teste: (a) energia constante e (b) força constante.

Por meio do GTec Teste monitorado eletronicamente obtém-se a seguinte curva: leitura *versus* tempo, leitura *versus* energia e deformação *versus* energia. A Figura 58 apresenta a curva leitura *versus* tempo de um teste preliminar para a argamassa Mista 2.

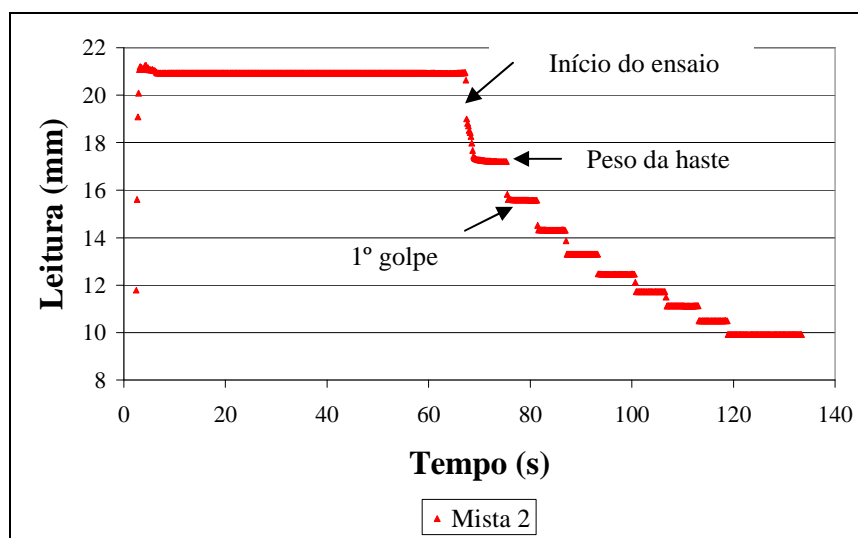


Figura 58. Curva de leitura *versus* tempo para a argamassa mista obtida pelo GTec Teste monitorado eletronicamente.

A partir da Figura 58, é possível observar uma curva típica do ensaio GTec Teste: primeiramente os transdutores são zerados e em seguida é levantada a haste para uma posição acima de 20 mm (geralmente 21 mm), o patamar mostrado nessa posição representa o tempo de moldagem do filete; o segundo patamar é a deformação gerada pelo peso da haste e nesta posição é realizada a leitura inicial ( $L_i$ ), os demais patamares são os golpes aplicados (energia) na argamassa até a obtenção de um filete de 10 mm. Verifica-se, na Figura 58, que não existem pontos entre os golpes e após a aplicação do peso da haste. Isso se deve ao fato de ter sido realizada a aquisição de 7 pontos por segundo, o que se demonstrou ser insuficiente para obter o momento inicial e final de deformação. Após a realização de vários ensaios ficou definido que seriam utilizadas 100 leituras por segundo.

Observou-se, ainda, que não existia uma padronização no tempo de aplicação dos golpes e nem do tempo de estabilização da primeira leitura (peso da haste). Esse comportamento foi evidenciado quando se realizou a medição para uma argamassa industrializada (Figura 59), pois os tempos dos patamares são diferentes durante a realização do ensaio.



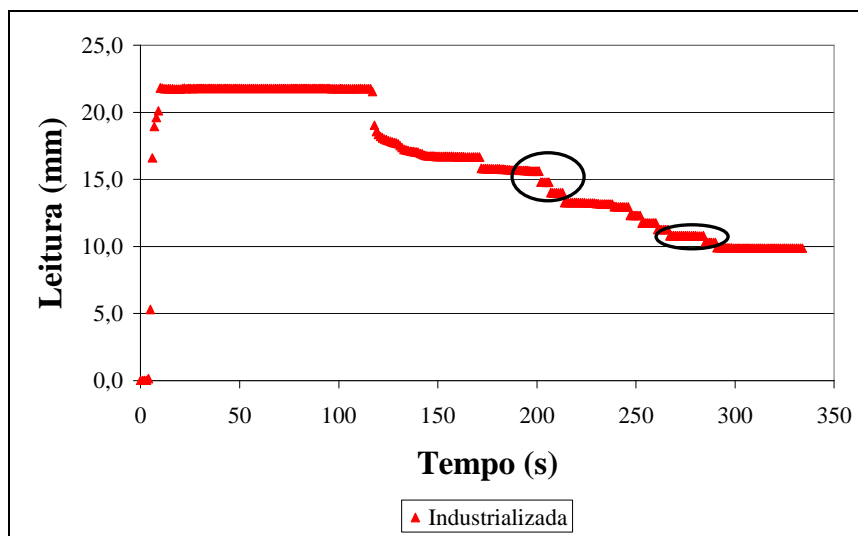


Figura 59. Curva de leitura versus tempo para argamassa industrializada obtida pelo GTec Teste monitorado eletronicamente. Os círculos destacam que não existia padronização no tempo de aplicação dos golpes.

Na Figura 59 também observa-se que, após a aplicação do peso da haste, a argamassa industrializada necessitou de um tempo maior para estabilizar a leitura do que para a argamassa Mista 2 (Figura 58). A observação desses comportamentos só foi possível devido ao monitoramento eletrônico.

Diante do exposto, foram realizadas algumas mudanças na metodologia do GTec Teste: a primeira mudança foi em relação ao tempo de estabilização da leitura inicial (aplicação do peso da haste sobre o filete) estipulado em 60 segundos para a realização da leitura inicial ( $L_i$ ), pois foi verificado em ensaios preliminares, com diferentes argamassas, que esse tempo era suficiente para a estabilização da leitura para a maioria das argamassas. Para os demais golpes, o tempo de estabilização poderia ser menor. Assim, os golpes eram aplicados a cada 15 segundos, uniformizando o tempo para a realização de cada golpe até a obtenção de um filete com espessura de 10 mm<sup>34</sup>.

Para o caso dos ensaios utilizando força constante, a deformação era gerada por uma massa conhecida ao invés de serem aplicados golpes. Assim, as massas conhecidas eram colocadas a cada 15 segundos sobre o filete de argamassa.

<sup>34</sup> Esses tempos estipulados também ocorrem no momento do assentamento, pois normalmente o assentador coloca o bloco sobre o filete de argamassa (peso da haste) e verifica a posição do bloco para nivelá-lo. Em seguida começa a aplicação dos golpes com o martelo de borracha. O tempo entre os golpes é muito menor se comparado com a colocação do bloco.

Outra verificação importante foi que a quantidade de argamassa influenciou consideravelmente no resultado do GTec Teste. Por este motivo, o filete de argamassa moldado foi pesado antes da realização de cada ensaio, garantindo assim a mesma quantidade de argamassa avaliada. Esse procedimento permitiu uma maior reprodutibilidade no ensaio.

Com as medidas de deslocamento *versus* tempo foi possível obter a velocidade calculando-se a derivada da curva, isto é, a relação entre a variação do deslocamento pela variação do tempo ( $\Delta x/\Delta t$ ). Assim, o gráfico de velocidade *versus* tempo (Figura 60a) permitiu a verificação do início do deslocamento (velocidade máxima), ocasionado pelo peso da haste, e também do início do deslocamento, gerado pelos golpes ou massas conhecidas, assim como o instante em que o deslocamento estabiliza (primeira velocidade igual a zero). Esse comportamento pode ser observado na Figura 60b com a superposição dos gráficos deslocamento *versus* tempo e velocidade *versus* tempo.

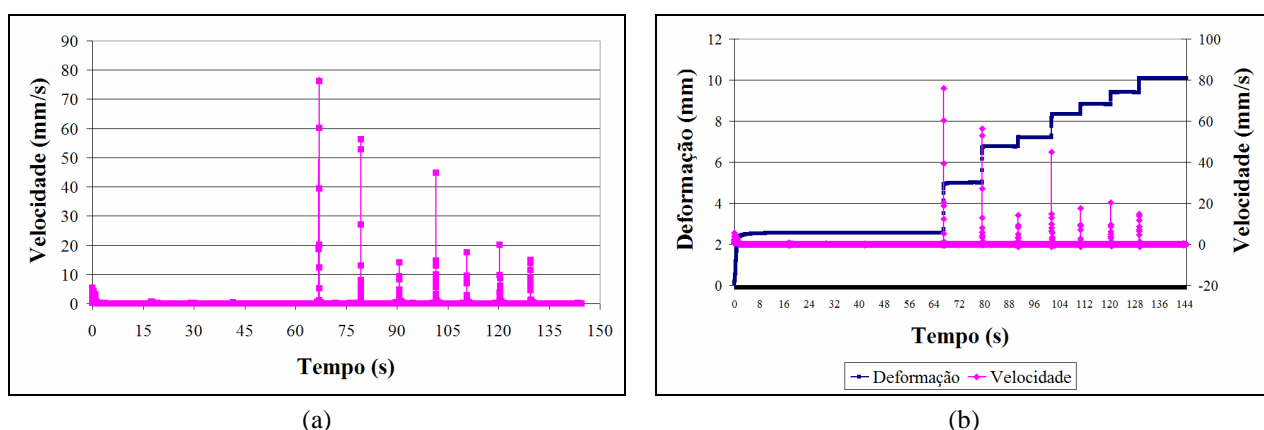


Figura 60. (a) curva de velocidade *versus* tempo e (b) deformação e velocidade *versus* tempo obtida pelo GTec Teste monitorado para uma argamassa mista com aditivo incorporador de ar.

Para cada força (massa conhecida) ou energia aplicada (golpe), no tempo que foi encontrada a velocidade máxima e a primeira velocidade igual a zero, obtém-se os deslocamentos correspondentes e, assim, calcula-se a taxa de deformação ( $\Delta \text{deslocamento}/\Delta \text{tempo}$ ) e o tempo para a estabilização ( $\Delta \text{tempo}$ ) da deformação. Para exemplificar, a Figura 61 mostra o gráfico obtido da leitura *versus* tempo e uma ampliação da região do primeiro golpe aplicado com os valores correspondentes de taxa de deformação e tempo de estabilização.

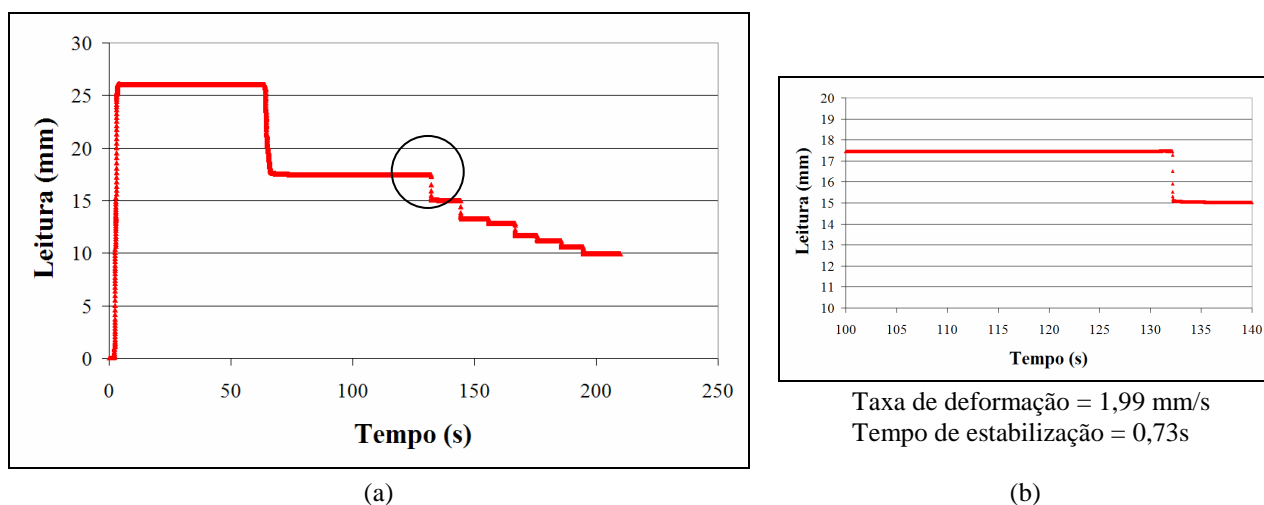


Figura 61. (a) Curva leitura *versus* tempo e (b) ampliação da região do primeiro golpe aplicado com o valor calculado de taxa de deformação e tempo de estabilização obtidas pelo GTec Teste monitorado. O círculo destaca a região da ampliação.

Diante de todas as verificações quanto à padronização e a obtenção de dados, foram selecionadas três argamassas (duas argamassas mistas e uma argamassa mista com incorporador de ar) para análise no GTec Teste monitorado com energia constante e força constante. Essas argamassas são semelhantes às analisadas no estudo anterior da etapa 1 (*Squeeze Flow versus GTec Teste*). A Tabela 24 apresenta o traço, a quantidade de material, as relações água/cimento e água/materiais secos, assim como o procedimento de mistura (conforme descrito anteriormente) para as argamassas estudadas.

Tabela 24. Quantidade de material utilizado para a produção das argamassas.

Argamassa	Traço	Cimento (g)	Cal (g)	Areia (g)	Areia	a/c	H (%)	Procedimento e tempo de mistura
Mista 1	1:1:5	340,0	183,6	1985,6	Areia Média	1,45	19,6	4 minutos V1 (lenta) NBR 13276 (2006)
Mista 2	1:1:5	337,0	182,0	1991,7	Mistura <sup>+</sup>	1,45	19,5	4 minutos V1 (lenta) NBR 13276 (2006)
Mista + AR <sup>++</sup>	1:1:5,5	312,0	168,5	2028,9	Mistura <sup>+</sup>	1,45	18,0	90 seg V1 (lenta) NBR 13276 (2006)

<sup>+</sup> Mistura – composição granulométrica de 80% de areia média e 20% de areia fina;

<sup>++</sup> Aditivo incorporador de ar líquido – teor utilizado recomendado pela fabricante 0,002 litro/1 kg de cimento;

Após o procedimento de mistura, foi determinada a massa específica e o teor de ar incorporado para cada mistura (NBR 13278, 2005). Em seguida foram realizadas as medidas do GTec Teste com energia constante e força constante. Os ensaios foram realizados em ambiente climatizado à temperatura de  $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $(70 \pm 5) \%$ .

A Tabela 25 apresenta as propriedades do estado fresco das argamassas analisadas: massa específica, teor de ar incorporado e os parâmetros obtidos com o GTec Teste com energia constante e força constante. Cabe ressaltar que os valores do GTec Teste apresentados na Tabela 25 foram as leituras realizadas pelo operador, no equipamento do GTec Teste.

Tabela 25. Propriedades do estado fresco das argamassas analisadas: massa específica, teor de ar incorporado, GTec Teste com energia e força constante pelo operador.

Argamassa	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	Teor de ar incorporado (%)	Energia Constante (GTec Teste)			Força Constante	
			Li (cm)	N	IP (mm/J)	Li (cm)	Força Total para obtenção do filete com 10 mm (N)
Mista 1	2,02	2,4	1,85	18	-5,60	1,85	163,8
Mista 2	2,03	2,4	1,80	7	-7,50	1,80	49,8
Mista + AR	1,66	18,3	1,70	7	-11,7	1,70	44,1

Observa-se, na Tabela 25, que o maior teor de ar incorporado foi apresentado pela argamassa mista com incorporador de ar (Mista+AR).

Com relação aos valores obtidos pelo GTec Teste, apresentados na Tabela 25, duas das argamassas estão dentro dos parâmetros estabelecidos para uma argamassa trabalhável (CASALI, 2003): leitura inicial (Li) entre 1,90 a 1,75 cm; número de golpes entre 7 a 15 e o índice de plasticidade entre -7 mm/J a -15 mm/J. A exceção se deu para a argamassa Mista 1, que foi considerada como seca, pois apresentou um número de golpes acima do limite estabelecido (18). Esse comportamento se deve ao agregado miúdo dessa argamassa apresentar maior módulo de finura em relação à outra argamassa mista (Mista 2), pois normalmente quando se utiliza um agregado mais grosseiro existe a tendência da argamassa necessitar de uma energia maior para se obter um filete de argamassa com 1 cm.

Pode-se observar, também na Tabela 25, que as leituras iniciais (Li) tanto do ensaio com energia constante quanto com força constante foram semelhantes para todas as argamassas. Isso porque as leituras foram realizadas pelo operador no equipamento, e, por isso, têm precisão de 0,5 mm, menor do que a precisão obtida pelos transdutores de deslocamento. Além disso, essas medidas devem ser semelhantes, pois é a primeira medida feita apenas pelo peso da haste sendo igual para os dois ensaios. Dessa forma, não foi obtida uma diferença significativa entre essas leituras devido à precisão do equipamento. Na Tabela 26 observa-se os valores de deformação obtidos pelo ensaio GTec Teste monitorado eletronicamente e pelo operador. Cabe ressaltar, também, que a medida obtida eletronicamente foi realizada após a estabilização da leitura que pode não ter ocorrido no mesmo tempo que a medida realizada pelo operador.

Tabela 26. Deformação das argamassas obtidas pelo GTec Teste com energia e força constante medidas eletronicamente e pelo operador.

Argamassa	Deformação (mm)			
	Energia constante		Força constante	
	Eletronicamente	Operador	Eletronicamente	Operador
Mista 1	1,99	1,50	1,41	1,50
Mista 2	2,18	2,00	2,49	2,00
Mista + AR	2,40	3,00	3,04	3,00

Os valores de deformações obtidas eletronicamente apresentaram uma diferença entre os ensaios com energia constante e força constante (Tabela 26). Entretanto, essa diferença para cada argamassa foi de no máximo 0,60 mm (AR 3), um pouco acima da precisão obtida pelo operador. Isso significa que os valores obtidos pelo operador apenas não tem precisão suficientemente, mas não invalidam o ensaio, possibilitando obter informações em campo.

A partir dos resultados apresentados na Tabela 26, verifica-se que a diferença média entre os valores obtidos eletronicamente e pelo operador foi de 0,3 mm. Um exemplo da diferença entre as medidas pode ser observado na curva de deformação *versus* energia para a argamassa Mista 2 (Figura 62). Mesmo com essa pequena diferença, para o restante das análises foi utilizada a medida obtida eletronicamente, pois tem precisão de 0,01 mm e também é possível obter o momento de estabilização da leitura.

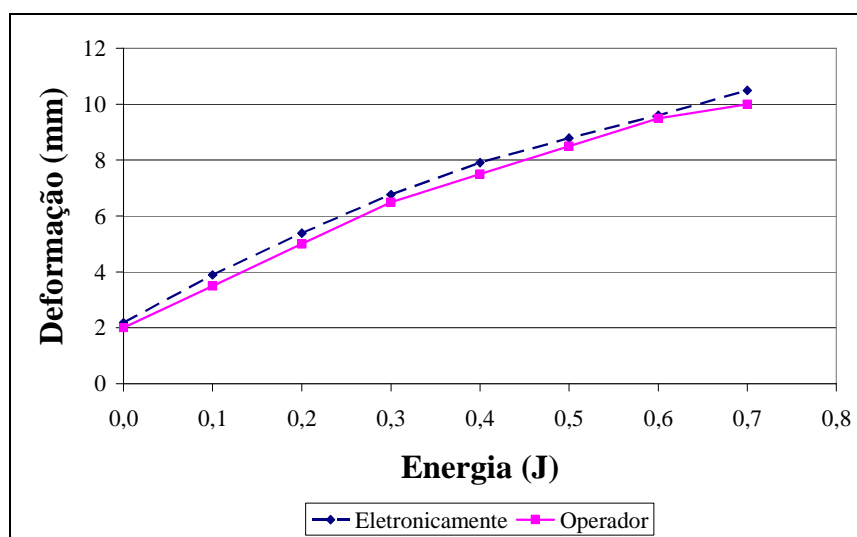


Figura 62. Curvas de deformação real *versus* energia verificada pelo computador e pelo operador obtida pelo GTec Teste monitorado de energia constante para a argamassa Mista 2.

Os valores obtidos para a curva deformação *versus* energia, obtidos pelo GTec Teste, para todas as argamassas, pode ser visualizado na Figura 63.

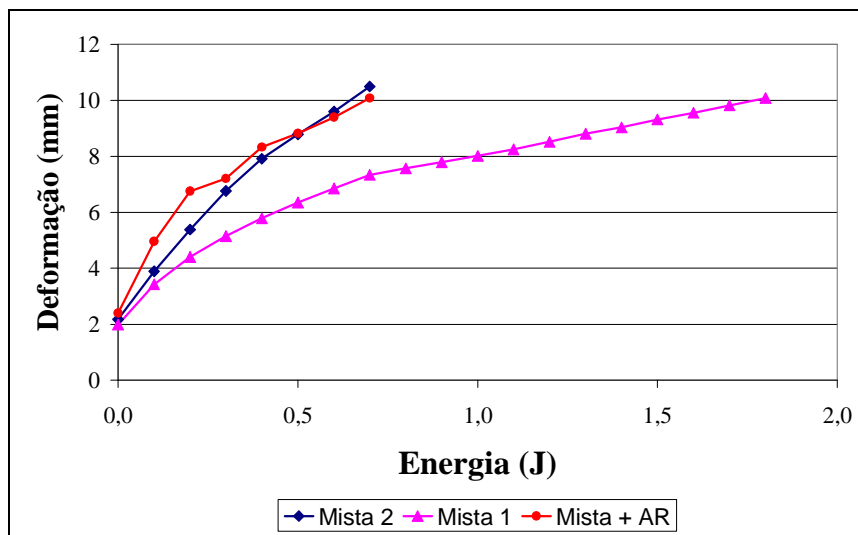


Figura 63. Curvas de deformação *versus* energia obtida pelo GTec Teste monitorado eletronicamente para as argamassas estudadas.

Observa-se, na Figura 63, que a argamassa Mista 1 necessitou de uma energia maior para obter um filete com espessura de 10 mm. Já as argamassas Mista 2 e Mista com incorporador de ar “Mista+AR” tiveram curvas semelhantes e foram consideradas com trabalhabilidade adequada.

Com relação à taxa de deformação ( $\Delta\text{deslocamento}/\Delta\text{tempo}$ ), obtida no GTec Teste com energia constante para o peso da haste e cada golpe, observou-se o mesmo comportamento para todas as argamassas. A taxa de deformação diminuiu conforme a energia aumentava, isso quer dizer que, conforme os golpes eram aplicados, a taxa de deformação diminuía (menor o deslocamento e menor o tempo de deformação). Também verificou-se que a maior taxa de deformação normalmente foi obtida após a aplicação do peso da haste (primeira leitura) ou após os primeiros golpes. A Figura 64 apresenta a curva de taxa de deformação *versus* energia para as argamassas estudadas.

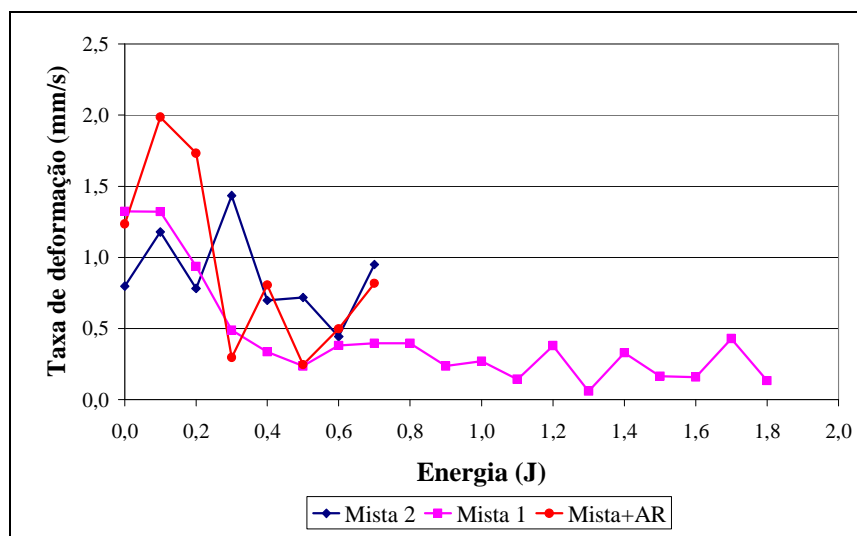


Figura 64. Curvas de taxa de deformação *versus* energia obtida pelo GTec Teste para argamassas mistas e argamassa mista com incorporador de ar.

Verifica-se, na Figura 64, que o comportamento da taxa de deformação é diferente para cada argamassa analisada. Entretanto, quando a energia aumenta, a taxa de deformação tende a diminuir e a estabilizar. O maior valor de taxa de deformação obtido foi de 1,99 mm/s para argamassa mista com incorporador de ar “Mista+AR” para a energia de 0,1 J (primeiro golpe). Cabe ressaltar que a taxa de deformação encontrada foi superior a utilizada nos ensaios estático do *Squeeze Flow* (0,1mm/s).

Também foi avaliado o tempo de estabilização da leitura para cada argamassa analisada (Figura 65). Esta análise foi realizada para verificar se o tempo estabelecido para a realização das leituras no GTec Teste (60 segundos para o peso da haste e 15 segundos para os demais golpes) foi suficiente para a estabilização da deformação.

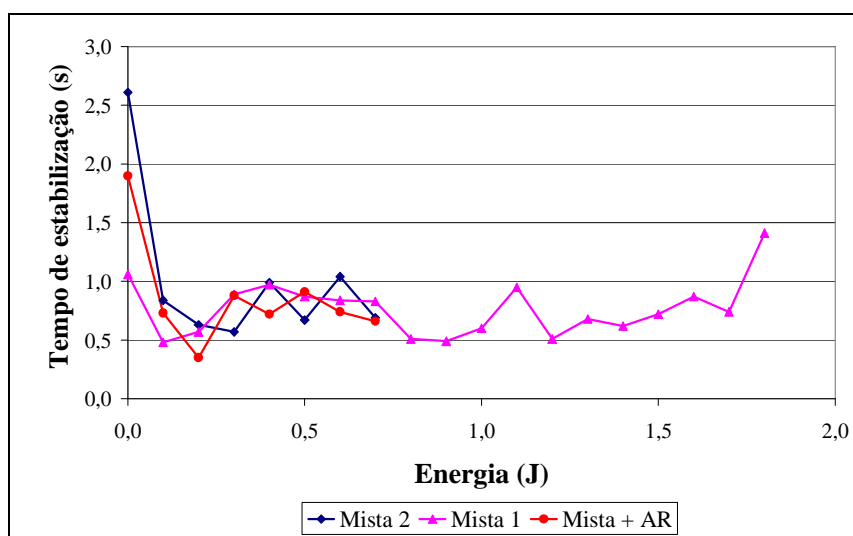


Figura 65. Curvas de taxa de deformação *versus* energia obtida pelo GTec Teste para argamassas mistas e argamassa mista com incorporador de ar.

O maior tempo verificado em todas as argamassas foi de 2,61 segundos para argamassa Mista 2, abaixo do tempo que havia sido estipulado para a aplicação do peso da haste (60 segundos) e demais golpes (15 segundos). Isso possivelmente ocorreu por terem sido utilizadas argamassas industrializadas para a fixação dos tempos de ensaio, que possuíam um comportamento totalmente distinto do das mistas avaliado na Figura 65.

Já os ensaios com força constante, isto é, deformação gerada por uma massa conhecida, observou-se que existe uma tendência de correlação entre a força necessária para obter um filete de 10 mm e a energia aplicada total (número de golpes). Isso quer dizer que a argamassa que precisou da maior força também foi aquela que apresentou a maior energia (número de golpes). A Figura 66 mostra a correlação entre a força acumulada *versus* energia. Cabe ressaltar, que, apesar da pequena quantidade de dados, esse comportamento indica que os dois ensaios são correlacionáveis, conforme esperado.



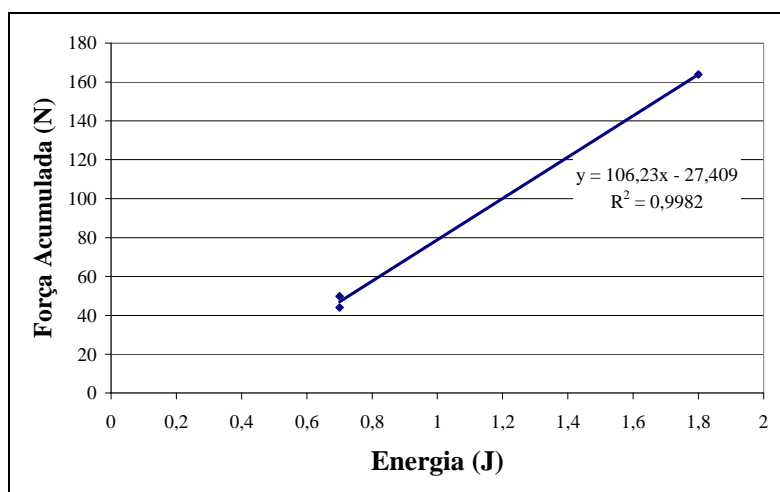
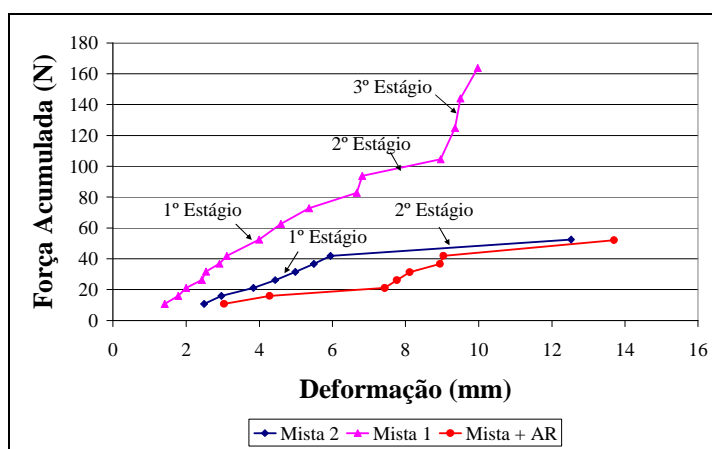
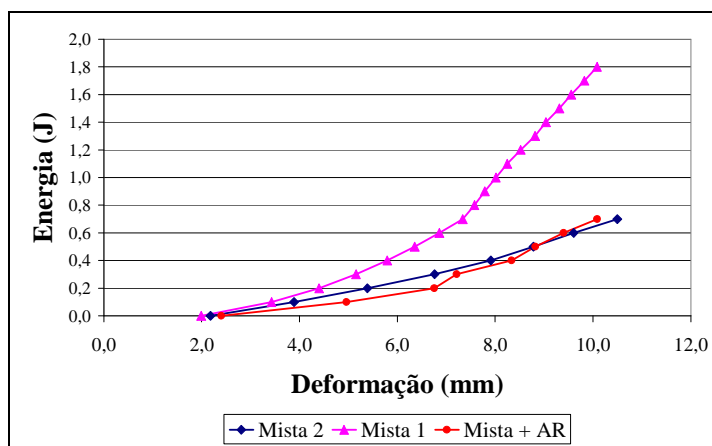


Figura 66. Correlação entre a força acumulada *versus* energia obtida para argamassas mistas e argamassa mista com incorporador de ar.

As curvas obtidas de força acumulada *versus* deformação foram diferentes das curvas obtidas de energia *versus* deformação (Figura 67).



(a)



(b)

Figura 67. (a) Curvas de força acumulada *versus* deformação e (b) energia *versus* deformação.

Observando a Figura 67a e a Figura 41, verifica-se que as curvas força *versus* deslocamento apresentam o perfil típico comentado por Min, Erwin e Jennings (1994). A argamassa mista 2 apresentou os dois primeiros estágios (deformação plástica e deformação elástica). Já as argamassas Mista 1 e mista com incorporador de ar “Mista +AR” foram as que mais se aproximaram do comportamento verificado pelos autores apresentando os 3 estágios comentados.

Apesar das curvas apresentadas pelos dois ensaios (força constante e energia constante) terem comportamentos distintos, as argamassas apresentaram as mesmas tendências, isto é, a argamassa que requer as maiores forças também foi aquela que exigiu maiores energias. Também vale ressaltar que o perfil obtido da curva energia *versus* deslocamento (GTec Teste com energia constante) foi mais próximo ao perfil da curva tensão *versus* deslocamento obtida pelo *Squeeze Flow* (Figura 48), como já havia sido observado no item 3.2.3.1.

A taxa de deformação e o tempo de estabilização tiveram comportamentos distintos para o ensaio do GTec Teste com força constante em relação ao obtido para o GTec Teste com energia constante, conforme ilustra a Figura 68.

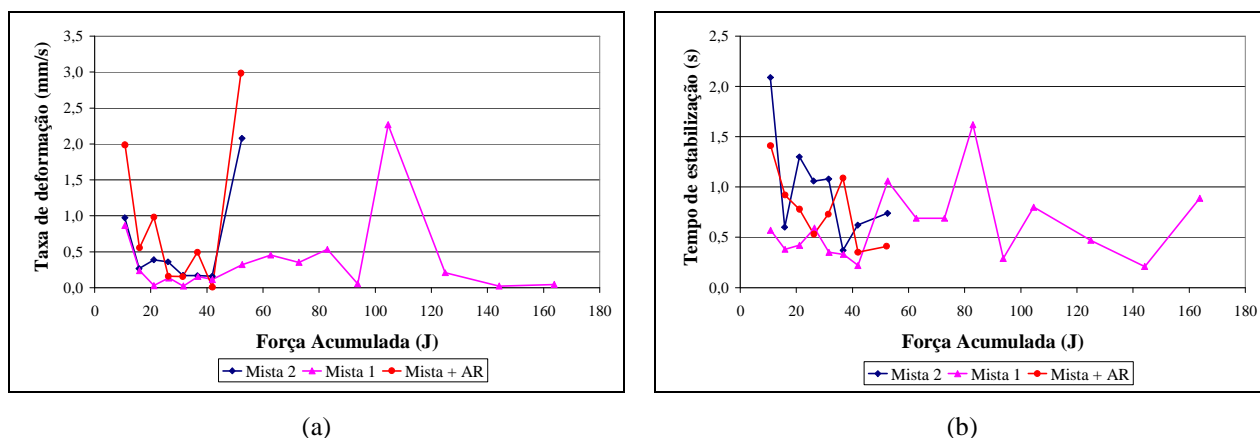


Figura 68. (a) Curvas de taxa de deformação *versus* força acumulada e (b) tempo de estabilização *versus* força acumulada para as argamassas analisadas pelo GTec Teste com força constante.

Observa-se na Figura 68a que a taxa de deformação inicia alta no primeiro ponto (com a aplicação do peso da haste), depois diminuí e novamente aumenta quando a argamassa passa de um estágio para outro (Figura 67a). Assim, para a argamassa Mista 2 e argamassa mista com incorporador de ar “Mista + AR”, a última força aplicada resultou em uma alta taxa de deformação (Figura 68a). Já para a argamassa Mista 1, a máxima taxa de deformação foi obtida quando houve a mudança para o último de estágio da argamassa (Figura 67a). Além disso, a

maior taxa de deformação obtida foi de 2,99 mm/s para a argamassa mista com incorporador de ar “Mista + AR”. Novamente, cabe ressaltar que essa taxa de deformação é superior a realizada no ensaio do *Squeeze Flow* e também a do GTec Teste com energia constante.

Já o tempo de estabilização em relação à força aplicada foi aleatório (Figura 68b), com o tempo máximo de estabilização da leitura de 2,10 segundos para a argamassa Mista 2. Este tempo foi inferior ao estipulado para a primeira leitura obtida pelo GTec Teste (60 segundos) e os demais golpes (15 segundos).

Diante dos resultados expostos, foi possível restabelecer novas padronizações para o GTec Teste tornando o ensaio com maior reprodutibilidade. Além disso, foi selecionado apenas o GTec Teste com energia constante para avaliação das argamassas por dois motivos: primeiro por representar a solicitação da argamassa durante o assentamento do bloco de concreto na prática e segundo, porque este ensaio apresentou uma curva energia *versus* deslocamento semelhante à curva tensão *versus* deslocamento obtido no ensaio de *Squeeze Flow*, além de serem obtidas correlações entre os valores obtidos nos dois ensaios.

### 3.2.3.3 Conclusões Gerais da avaliação das propriedades das argamassas no estado fresco

Como conclusões gerais desse item, verificou-se que a geometria e restrição da amostra influenciam no ensaio de *Squeeze flow*. As melhores correlações entre as tensões obtidas pelo *Squeeze flow* e a energia pelo GTec Teste para um mesmo deslocamento (10 mm) foram verificadas para a geometria circular e a retangular sem restrição (livre). Por este motivo, selecionaram-se essas geometrias para avaliar as propriedades reológicas das argamassas de assentamento no estudo definitivo.

Uma das diferenças observadas entre o ensaio de *Squeeze Flow* e o GTec Teste com energia constante, além de um ser estático (*Squeeze Flow*) e o outro dinâmico (GTec Teste), foi a taxa de deformação desses ensaios: o *Squeeze Flow* com taxa de deformação constante e o GTec Teste com taxas diferentes para cada golpe. Possivelmente, o comportamento seria semelhante caso fosse realizado um *Squeeze flow* com taxas de deformação diferentes para tempos estipulados, similar ao ocorrido no GTec Teste.

Diante do exposto, nesse trabalho as argamassas foram caracterizadas pelo *Squeeze Flow* nas duas geometrias (circular e retangular sem restrição – livre) e pelo GTec Teste com energia constante, com a obtenção de perfil reológico das argamassas estudadas. Além disso, foi

avaliada a possibilidade de apresentar uma faixa de características reológicas para argamassas de assentamento com trabalhabilidade adequadas.

### 3.2.4 Caracterização das argamassas de assentamento no estado endurecido

As propriedades analisadas no estado endurecido foram: resistência à compressão axial, resistência à tração na flexão e módulo de elasticidade. Alguns estudos preliminares foram necessários não para avaliar os ensaios já consagrados, mas sim para verificar a influência da dimensão dos corpos-de-prova nos resultados obtidos. Isto porque se almejava a obtenção dessas propriedades em corpos-de-prova provenientes da junta de assentamento (com a sucção dos blocos de concreto) que possui dimensões distintas daquelas dos corpos-de-prova em ensaio normalizados. Assim, necessitava-se de um estudo para verificar as possíveis correlações e influências nos valores obtidos com os corpos-de-prova dessa natureza.

#### 3.2.4.1 Resistência à compressão axial

Normalmente, a resistência à compressão axial de argamassas é pelo rompimento de corpos-de-prova cilíndricos com dimensões de (5x10) cm. No entanto, a dimensão da junta de assentamento é diferente disso: largura 2,5 cm, espessura de 1 cm e comprimento 39 cm (septo longitudinal do bloco).

Vários autores recomendaram tamanhos de corpos-de-prova distintos, assim como formas de aplicação da carga distintas (ver item 2.2.3 e Tabela 9). No entanto, não existe um consenso no meio técnico sobre qual tamanho ideal para argamassas de assentamento para alvenaria estrutural de bloco de concreto e quais as influências dessas dimensões de corpo-de-prova e metodologia de ensaio nos resultados obtidos.

Diante do exposto, primeiramente foi verificada a influência do tamanho do corpo-de-prova e da aplicação de carga na resistência à compressão axial das argamassas.

As dimensões dos corpos-de-prova utilizados foram de (5x10) cm – cilíndricos - e (2,5x 1,0x 2,5) cm – prismáticos. A dimensão do corpo-de-prova de (2,5x 1,0x 2,5) cm foi escolhida por ser a largura da parede do bloco de concreto e porque a maioria dos autores utilizava corpos-de-prova prismáticos.

Os corpos-de-prova de (5x10) cm foram moldados em formas metálicas. Já os corpos-de-prova (2,5x 1,0x 2,5) cm foram moldados nessas dimensões em formas de vidro vedadas com silicone e também obtidos serrando-se os corpos-de-prova (5x10) cm – cilíndricos - e retirando-se amostra da parte central (para avaliar a influência da moldagem).

Para a aplicação de carga foram escolhidos dois tipos que haviam sido propostos na literatura: aplicação total e pontual. A aplicação total corresponde à aplicação de carga por meio de peças metálicas do mesmo tamanho do corpo-de-prova (2,5x 1,0x 2,5) cm. Já a aplicação pontual, corresponde ao uso de uma peça circular (diâmetro de 7 mm) no centro da amostra (Figura 69).

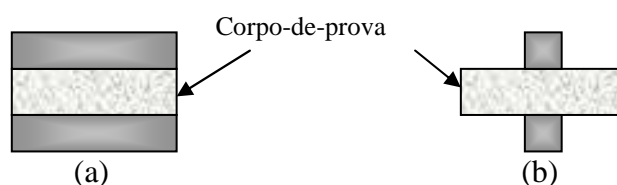


Figura 69. Aplicação da carga no corpo-de-prova: (a) aplicação total e (b) aplicação pontual.

A Figura 70 apresenta um esquema correspondente ao estudo que será realizado.

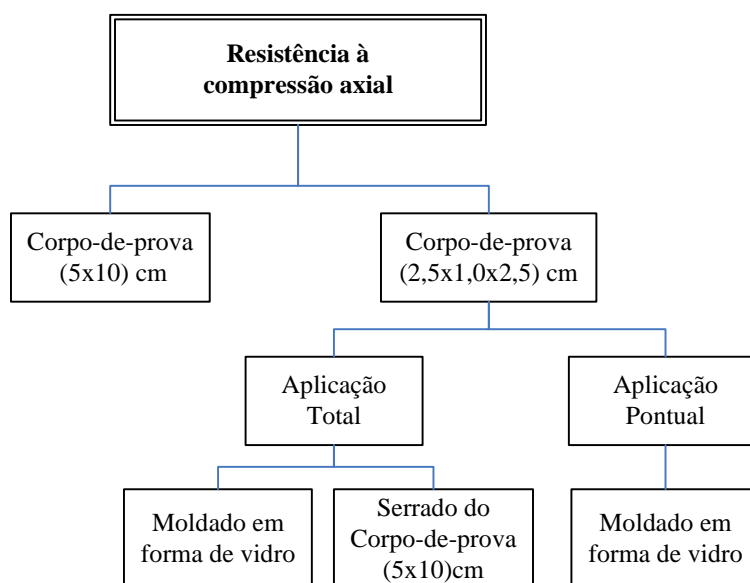


Figura 70. Esquema do estudo de resistência à compressão axial.

Para analisar os fatores descritos anteriormente, foram selecionados quatro traços distintos de argamassas, previstos pela norma americana (ASTM C 270, 1987) e norma britânica (BS-5628, 1992) para o assentamento de blocos de concreto para alvenaria estrutural.

Os materiais empregados para esse estudo foram: Cimento Portland com adição de fíler calcário – CP II F – 32, cal hidratada do tipo CH III e uma composição de 80% areia média e 20% fina. A caracterização completa dos materiais é apresentada no Anexo 4.

No dia anterior à mistura das argamassas era realizada a complementação da hidratação da cal misturando-a com areia úmida (10%). Essa mistura era realizada manualmente e depois colocada num recipiente fechado. Caso ocorresse perda de água por evaporação, essa água era corrigida no dia seguinte.

Para a produção das argamassas foi utilizada a argamassadeira e o procedimento de mistura recomendados pela NBR 7215 (1996).

A Tabela 27 apresenta os traços (em volume e em massa), a quantidade de material utilizado em cada mistura, a relação água/cimento e água/materiais secos.

Tabela 27. Traços e quantidade de material para produção das argamassas analisadas.

Argamassa	Traço*		Cimento (g)	Cal (g)	Areia (g)	a/c (g)	H (%)
	volume	massa					
Traço 1	1: 0,25: 3	1: 0,14: 3,63	542,0	75,9	1967,4	0,90	18,9
Traço 2	1: 0,5: 4	1: 0,27: 4,83	457,0	123,4	2207,3	1,12	18,4
Traço 3	1: 1: 5	1: 0,55: 6,04	390,0	214,5	2355,6	1,39	18,4
Traço 4	1: 2: 8	1: 1,09: 9,67	275,0	299,8	2659,3	2,32	19,7

\* Traço – cimento: cal: areia

Observa-se, na Tabela 27, que os valores da relação água/cimento são distintos, isto porque a quantidade de água foi variada em função da trabalhabilidade obtida pelo GTec Teste.

Após determinada a quantidade de água para cada argamassa, foi realizada uma nova mistura para moldagem de seis corpos-de-prova (5x10) cm – três para resistência à compressão e três para extração de corpos-de-prova prismáticos de menor dimensão – e seis corpos-de-prova (2,5x 1,0x 2,5) cm.

Os corpos-de-prova eram desmoldados com 24 horas e curados por 25 dias em ambiente controlado com temperatura de  $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $(70 \pm 5)\%$ . Aos 25 dias, os corpos-de-prova foram serrados e secos ao ar para a realização do ensaio aos 28 dias.

Antes do ensaio de resistência à compressão axial, todos os corpos-de-prova foram capeados com pasta de gesso para regularização das superfícies.

Os valores de resistência à compressão axial podem ser observados na Tabela 28. Cabe salientar que, para o Traço 4, não foi possível a obtenção dos corpos-de-prova (2,5x 1,0x

2,5) cm serrados pois sua resistência era muito baixa e os corpos-de-prova se quebraram durante o seccionamento.

Tabela 28. Resistência à compressão axial média das argamassas analisadas.

Argamassa	Traço (volume)	a/c	Resistência à compressão axial média (MPa) (Coeficiente de variação - %)			
			Corpo-de-prova (5x10) cm	Corpo-de-prova de (2,5x 1,0x 2,5) cm		
				Aplicação		
				Total		Pontual
			Moldado	Serrado	Moldado	
Traço 1	1:0,25:3	0,90	22,16 (5,6)	32,42 (6,6)	30,45 (5,4)	65,25 (6,3)
Traço 2	1:0,5:4	1,12	17,65 (1,2)	28,05 (7,9)	19,64 (9,5)	54,29 (3,3)
Traço 3	1:1:5	1,39	12,13 (6,0)	23,78 (5,0)	18,43 (12,2)	43,07 (0,6)
Traço 4	1:2:8	2,32	4,13 (6,6)	14,50 (11,2)	-	18,89 (12,2)

Pode ser observado, na Tabela 28, que a relação água/cimento teve grande influência na resistência à compressão axial das argamassas, como já era esperado, tanto para os corpos-de-prova (5x10) cm quanto para os corpos-de-prova (2,5x 1,0x 2,5) cm.

Comparando os valores de resistência à compressão axial com as diferentes dimensões, verifica-se que em todos os casos, os valores de resistência à compressão dos corpos-de-prova (2,5x 1,0x 2,5) cm foram superiores aos obtidos nos corpos-de-prova (5x10) cm. Possivelmente este comportamento pode ter sido ocasionado por alguns fatores entre eles: maior confinamento devido à geometria do corpo-de-prova (2,5x 1,0x 2,5) cm, assim aumentando o valor de resistência à compressão axial e/ou maior compactação da argamassa no momento da moldagem resultando numa microestrutura mais compactada, consequentemente mais resistente.

Com relação à resistência à compressão axial dos corpos-de-prova moldados e serrados de dimensão (2,5x 1,0x 2,5) cm, observou-se que os valores de resistência foram superiores para os corpos-de-prova moldados. Esses valores de resistências menores para os corpos-de-prova serrados podem ser atribuídos a micro fissuras originadas no processo de seccionamento ou devido a menor compactação originada no processo de moldagem, uma vez que a moldagem dos corpos-de-prova foi diferente.

No entanto, observa-se uma correlação entre os valores obtidos de resistência à compressão dos corpos-de-prova (5x10) cm e os corpos-de-prova (2,5x 1,0x 2,5) cm (Figura 71).

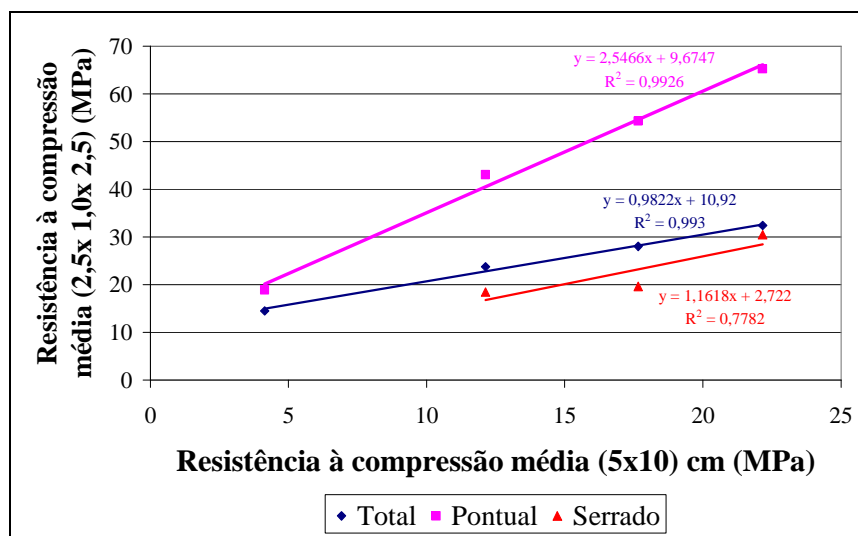


Figura 71. Resistência à compressão axial média dos corpos-de-prova (2,5x 1,0x 2,5) cm *versus* resistência à compressão axial média dos corpos-de-prova (5x10) cm.

As melhores correlações foram obtidas para os corpos-de-prova moldados com aplicações total e pontual (Figura 71). Para os corpos-de-prova serrados a correlação não foi tão boa possivelmente devido ao processo de obtenção dos mesmos.

Com os resultados, concluiu-se que os valores obtidos em corpos-de-prova (2,5x 1,0x 2,5) cm superestimam a resistência obtida em corpos-de-prova (5x10) cm para todas as argamassas analisadas. Assim, foram estudadas novas maneiras para obtenção da resistência à compressão axial de corpos-de-prova com dimensões da junta de assentamento.

Uma das possibilidades seria utilizar a metodologia recomendada pela norma NBR 13279 (2005). Nesta norma empregam-se corpos-de-prova (4x 4x 16) cm que são utilizados primeiramente para determinar a resistência à tração na flexão. Após a realização deste ensaio, se obtém duas metades de (4x 4x 8) cm. Essas duas metades restantes são utilizadas para a avaliação da resistência à compressão aplicando-se a carga numa área quadrada com dimensões (4x4) cm.

Assim, foi realizada uma adaptação dessa norma, moldando-se corpos-de-prova de (2,5x 1,0x 17<sup>35</sup>) cm para avaliação da resistência à tração na flexão e com as metades restantes realizava-se o ensaio de resistência à compressão, aplicando-se a carga numa área de (2,5x 2,5) cm.

<sup>35</sup> A definição desse comprimento foi em função do estudo piloto realizado para resistência de tração na flexão apresentado a seguir.



Para avaliar essa nova geometria e método de ensaio foi selecionada a argamassa Traço 3 (Tabela 27) realizando-se o mesmo procedimento e materiais descrito anteriormente, com exceção do cimento CP II – F – 32, utilizado de outro lote.

Foram moldados corpos-de-prova com dimensões de: (5x10) cm, (2,5x 1,0x 17) cm, (4x 4x 16) cm, (2,5x 1,0x 2,5) cm para aplicação de carga pontual e total. Aos 28 dias foi realizado o ensaio de resistência à compressão axial. Os valores e a quantidade de corpos-de-prova analisados estão apresentados na Tabela 29. Cabe salientar, novamente, que os corpos-de-prova (2,5x 1x 17) cm e (4x 4x 16) cm foram primeiramente submetidos à tração na flexão e depois foi realizado o ensaio de resistência à compressão. Todos os corpos-de-prova foram capeados com pasta de gesso, com exceção do corpo-de-prova (4x 4x 8) cm, pois a norma NBR 13279 (2005) não recomenda esse procedimento, apenas alerta que a face utilizada para a aplicação de carga seja aquela onde estava em contato com o molde metálico (superfície com maior regularidade).

Tabela 29. Resistência à compressão axial média das argamassas analisadas.

Dimensão do corpo-de-prova (cm)	Quantidade de corpos-de-prova rompidos	Resistência à compressão média (MPa)	Coefficiente de variação (%)
5x 10	03	10,71	1,2
2,5x 1,0x 8,5	12	11,14	13,1
4x 4x 8	12	12,29	13,4
2,5x 1,0x 2,5 (aplicação total)	6	17,55	4,7
2,5x 1,0x 2,5 (aplicação pontual)	6	27,24	10,8

Os valores de resistência à compressão axial dos corpos-de-prova (2,5x 1,0x 2,5) cm, tanto de aplicação total e quanto pontual, novamente foram superiores aquelas obtidas em corpos-de-prova (5x10) cm (Tabela 29) confirmando os resultados obtidos anteriormente. No entanto, para os demais corpos-de-prova as resistências à compressão axial média foram próximas não sendo verificada influência da dimensão e geometria do corpo-de-prova.

Assim, para a avaliação da resistência à compressão axial das argamassas de assentamento e das juntas foi selecionado o corpo-de-prova com dimensões de (2,5x 1,0x 8,5) cm.

### 3.2.4.2 Resistência à tração na flexão

Assim como para a resistência à compressão axial, verificou-se a influência da dimensão do corpo-de-prova na resistência à tração na flexão. Neste ensaio geralmente utilizam-se corpos-de-prova de (4x 4x 16) cm como prescreve a NBR 13279 (2005) sendo o ensaio realizado em três pontos.

Como a junta de assentamento já possui duas dimensões fixas, largura 2,5 cm (correspondente à largura da parede do bloco de concreto) e a espessura de 1 cm (prescrita pela norma NBR 8798, 1985), a única dimensão possível de se variar era o comprimento do corpo-de-prova.

Outra adaptação da NBR 13279 (2005) foi a realização do ensaio de tração na flexão em 4 pontos. A escolha desse tipo de ensaio foi em função do ensaio de módulo de elasticidade, pois para esse ensaio seria interessante de medir, também, a flecha na face comprimida do corpo-de-prova, isso quer dizer, em cima do corpo-de-prova. Essa configuração é utilizada para a obtenção da resistência à tração na flexão em vigas de concreto. A Figura 72 apresenta a diferença entre os ensaios de três e quatro pontos para obtenção da resistência à tração na flexão.

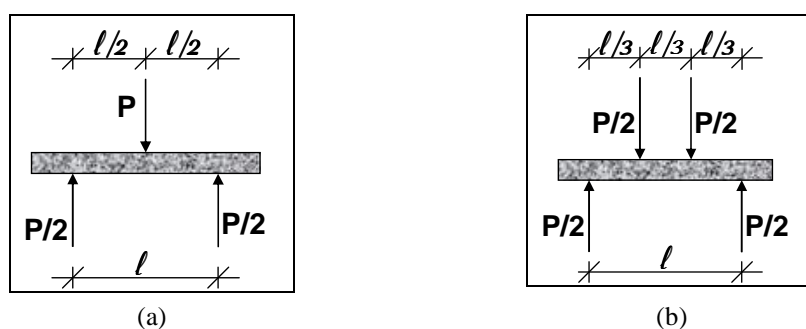


Figura 72. Ensaio de resistência à tração na flexão: (a) três pontos e (b) quatro pontos.

Diante do exposto, foram avaliados três comprimentos de corpo-de-prova: 14, 17 e 20 cm pois, assim, no ensaio de quatro pontos os vãos seriam de 12, 15 e 18 cm (todos divisíveis por 3) para facilitar a divisão da distribuição da carga.

Então para a argamassa Traço 3, com os mesmo procedimentos e mesmos materiais utilizados para resistência à compressão, com exceção do cimento que foi de outro lote, foram moldados 12 corpos-de-prova com dimensões de (2,5x 1,0x 14,0) cm, (2,5x 1,0x 17,0) cm e (2,5x 1,0x 20,0) cm em fôrmas de vidro vedadas com silicone.

Após 24 horas, os corpos-de-prova eram desmoldados e mantidos em ambiente controlado de temperatura de  $(23\pm 1)^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $(70\pm 5)\%$  durante 28 dias.

Para os ensaios de resistência à tração na flexão, foi utilizada uma prensa com capacidade de 5 toneladas e deslocamento constante de 0,2 mm/min.

Assim como o recomendado pela norma NBR 13279 (2005), não foi realizado nenhum capeamento no corpo-de-prova. Para verificar se a resistência à tração na flexão era influenciada pela moldagem e superfície do corpo-de-prova, metade dos corpos-de-prova foi ensaiada na posição em que foram moldados e a outra metade na posição inversa. Os valores de resistência à tração na flexão obtidos estão apresentados na Tabela 30.

Tabela 30. Resistência à tração na flexão da argamassa Traço 3.

Dimensão do corpo-de-prova (cm)	Resistência à tração na flexão média (MPa) (Coeficiente de variação - %) (quantidade de corpos-de-prova ensaiados)		
	Posição inversa da moldagem	Posição da moldagem	Média de todos os corpos-de-prova
2,5x 1,0x 14,0	2,86 (13,5) (5)	2,06 (18,4) (5)	2,46 (22,5) (10)
2,5x 1,0x 17,0	2,71 (6,6) (6)	2,20 (17,0) (5)	2,48 (15,2) (11)
2,5x 1,0x 20,0	3,01 (3,2) (3)	2,40 (4,5) (3)	2,71 (12,7) (6)
Média total	2,52 (17,4) (27)		

Como já era esperada, a resistência à tração na flexão não variou em função do vão utilizado. Além disso, os valores médios de resistência à tração na flexão, da posição inversa foram superiores aos obtidos para a posição de moldagem. Isso pode não ter sido ocasionado pela moldagem dos corpos-de-prova e sim pela diferença entre as superfícies de aplicação de carga. A posição da moldagem apresentava uma superfície rugosa, devido à rasadura, causando concentração de tensão e maiores coeficientes de variação. Já na posição inversa, a superfície era plana não ocasionando pontos de tensão (menores coeficientes de variação).

O valor de resistência à tração na flexão foi semelhante ao obtidos em estudos anteriores em corpos-de-prova de dimensão (4x 4x 16) cm para o mesmo traço.

Também foi observada uma quebra excessiva dos corpos-de-prova no momento de desmoldagem, principalmente para a dimensão com comprimento de 20 cm, onde os corpos-de-prova quebraram inclusive no manuseio, por serem muito frágeis. Devido a estes motivos o número de corpos-de-prova ensaiados apresentados na Tabela 30 é diferente do número de corpos-de-prova moldados (12) para todas as dimensões. Por estes motivos também foi descartado o comprimento de corpo-de-prova de 20 cm. Para os demais ensaios foi escolhido o

comprimento de 17 cm por não ter sido observada diferença em relação ao comprimento de 14 cm e esse comprimento facilitaria no ensaio de módulo de elasticidade (maior vão central).

Para evitar quebras no momento da desforma, foram testadas novas formas e procedimentos de desmoldagem. A melhor solução encontrada foi a utilização de formas metálicas individuais com as laterais presas com parafusos e no fundo um vidro revestido com plástico (comercialmente vendido como “plástico para prancheta”). A vedação entre a forma metálica e o vidro foi feita com a utilização de silicone. Esse novo modelo de forma permitia a desforma primeiramente da maior área em contato (largura de 2,5 cm por 17 cm de comprimento) e depois a retiradas as laterais. Com esse procedimento, a perda do corpo-de-prova pela desforma era nula. A Figura 73 mostra as fôrmas já preparadas para a moldagem dos corpos-de-prova de dimensão (2,5x 1,0x 17,0) cm.



Figura 73. Formas metálicas com as laterais presas com parafuso e o fundo de vidro revestido com plástico, pronta para a moldagem dos corpos-de-prova (2,5x 1,0x 17,0) cm.

Com os novos procedimentos de desmoldagem e definição da posição do ensaio (inversa ao moldado) para os corpos-de-prova (2,5x 1,0x 17,0) cm, foram moldados novos corpos-de-prova com a argamassa Traço 3. Também foram moldados corpos-de-prova de (4x 4x 16) cm como o recomendado pela norma NBR 13279 (2005). Para essas duas dimensões de corpo-de-prova, foi obtida a resistência à tração na flexão aos 14 dias e 28 dias. A Tabela 31 apresenta os valores obtidos e a quantidade de corpos-de-prova utilizada para a determinação de resistência à tração na flexão.

Tabela 31. Resistência à tração na flexão da argamassa Traço 3 e a quantidade de corpos-de-prova utilizada.

Dimensão do corpo-de-prova (cm)	Quantidade de corpos-de-prova ensaiados	Idade	Resistência à tração na flexão média (MPa) (Coeficiente de variação - %)
2,5x 1,0x 17,0	4	14 dias	3,01 (15,4)
	8	28 dias	2,71 (15,9)
4x 4x 16	3	28 dias	2,65 (2,3)

A resistência à tração na flexão para os corpos-de-prova de (4x 4x 16) cm foi semelhante à obtida para os corpos-de-prova de (2,5x 1,0x 17,0) cm aos 28 dias (Tabela 31). Assim, não foi verificada a influência da dimensão dos corpos-de-prova na resistência à tração na flexão. Observou-se um coeficiente de variação maior para os corpos-de-prova com dimensões de (2,5x 1,0x 17), possivelmente ocasionada pela diferença de moldagem dos corpos-de-prova uma vez que para os corpos-de-prova (4x 4x 16) é utilizada uma mesa de adensamento por queda (maior uniformização).

Com relação à idade, obteve-se valores um pouco inferiores de resistência à tração na flexão aos 28 dias em relação aos 14 dias (Tabela 31). Entretanto, novos ensaios devem ser realizados para confirmar esse comportamento, mas possivelmente devido à pequena diferença a resistência à tração na flexão aos 14 dias já esteja próxima à resistência aos 28 dias.

Assim, a dimensão do corpo-de-prova tanto para resistência à tração na flexão quanto para resistência à compressão foi de (2,5x 1,0x 17,0) cm em corpos-de-prova de argamassa de assentamento e das juntas.

#### 3.2.4.3 Módulo de deformação

Após serem definidas as dimensões dos corpos-de-prova para a resistência à tração na flexão, a última propriedade das argamassas no estado endurecido a ser analisada era o módulo de deformação.

Com os corpos-de-prova, (2,5x 1,0x 17,0) cm, uma das maneiras possíveis é obter o módulo de deformação na flexão. Esta metodologia também foi utilizada por Bastos (2001) para medir o módulo de deformação de placas de argamassa. Porém, esse autor mediu a flecha pelo lado de baixo da placa e este método pode resultar em algumas imprecisões: a medição é pontual, podendo ocorrer erros na medida, a flecha medida é a deformação tanto do corpo-de-prova quanto dos apoios podendo resultar num valor acima do esperado e o transdutor de deslocamento pode ser danificado quando o corpo-de-prova se rompe.

Diante do exposto, foi utilizada uma adaptação da metodologia proposta por Gava (2006) para determinação da flecha em vigas de concreto reforçada, em função da dimensão das dimensões dos corpos-de-prova de argamassa aqui utilizados.

A flecha foi obtida pela deformação no meio do vão com o auxílio de uma chapa fina de vidro fixada com cola a base de epóxi. Essa chapa de vidro auxiliava para apoiar os dois transdutores de deslocamento de capacidade máxima de 10 mm que eram posicionados na frente e atrás do corpo-de-prova (Figura 74a). Desse modo, a flecha era obtida pela média da deformação lida pelos dois transdutores de deslocamento.

Esses transdutores de deslocamento foram fixados num aparato de aço que era de um lado apoiado e do outro encaixado em barras de aço também fixadas com cola a base de epóxi em cima do corpo-de-prova, na mesma linha dos apoios. Assim, se houvesse uma deformação do apoio, o conjunto (aparato mais transdutores de deslocamento) também iria se deformar não sendo registrado esse deslocamento. A Figura 74 mostra uma representação do aparato para o ensaio de módulo de deformação e também fotos da montagem do ensaio.

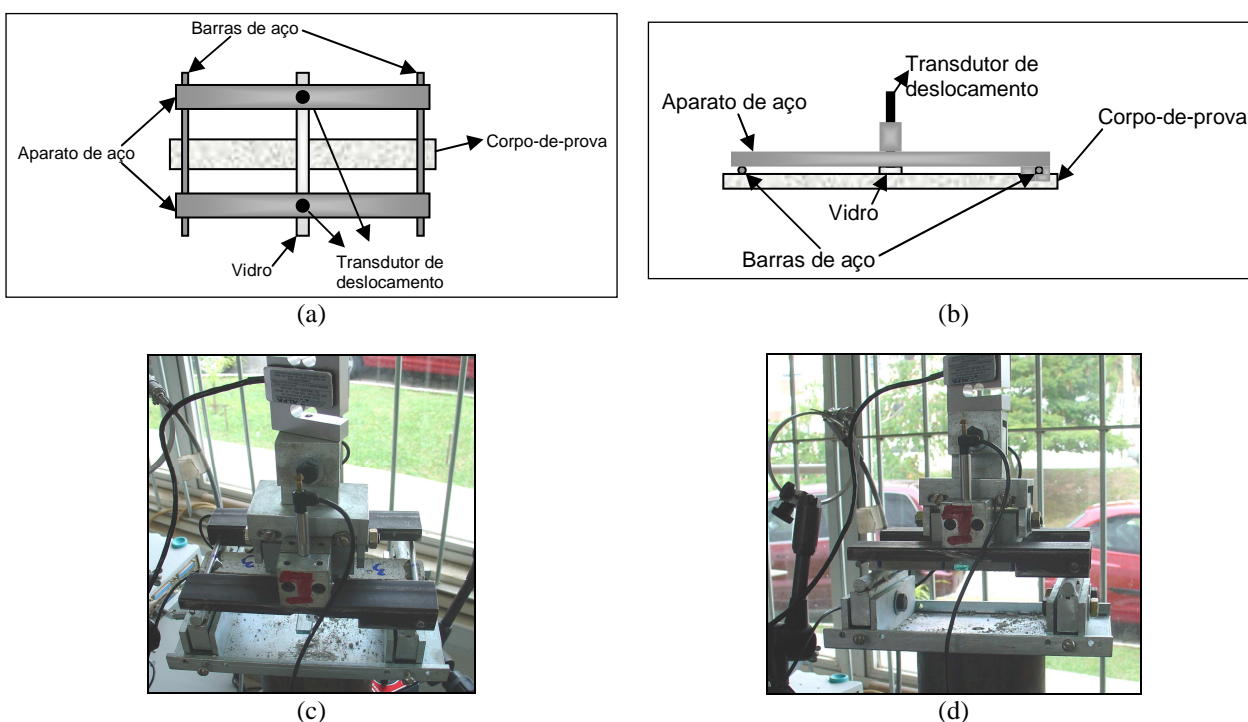


Figura 74. (a) representação da vista superior, (b) representação da vista frontal, (c) foto da vista superior e (d) foto da vista frontal do ensaio para a determinação do módulo de elasticidade.

Para a realização do ensaio também foi necessária uma célula de carga de 50 kg e foi utilizada uma prensa de capacidade de 5 toneladas com deslocamento constante de 0,2 mm/ minuto.

Para avaliação do método foram moldados nove corpos-de-prova de dimensões (2,5x 1,0x 17,0) cm e três corpos-de-prova de dimensões (5x10) cm. Estes corpos-de-prova

foram destinados tanto à resistência à tração na flexão (2,5x 1,0x 17,0) cm quanto à resistência à compressão aos 28 dias. A argamassa utilizada foi a argamassa Traço 3.

O módulo de deformação dos corpos-de-prova (5x10) cm foi determinado utilizando a mesma metodologia empregada por Casali (2003), que consiste em fixar dois aparatos de metal onde eram presos dois transdutores de deslocamento em lados expostos.

Após a realização dos ensaios, foi gerado o gráfico tensão *versus* deformação específica e calculado o módulo da tangente por meio da reta correspondente às tensões de 5 e 30 % da carga de ruptura do corpo-de-prova.

Os resultados obtidos de resistência à compressão, resistência à tração na flexão e módulo de deformação estão apresentados na Tabela 32.

Tabela 32. Resistência à compressão, resistência à tração na flexão e módulo de deformação para a argamassa Traço 3 (1:1:5 em volume).

Dimensão do corpo-de-prova (cm)	Resistência à compressão média (MPa) (Coeficiente de variação - %) (número de corpos-de-prova)	Resistência à tração na flexão média (MPa) (Coeficiente de variação - %) (número de corpos-de-prova)	Módulo de deformação (MPa) (Coeficiente de variação - %) (número de corpos-de-prova)
2,5x 1x 17	8,11 (11,6) (18)	2,90 (7,3) (9)	10662,5 (6,5) (5)
5x 10	8,53 (2,2) (3)	-	9192,2 (7,2) (3)

Pode se verificar, na Tabela 32, que os valores de resistência à compressão e módulo de elasticidade são semelhantes. Novamente não houve influência da dimensão do corpo-de-prova na resistência à compressão e módulo de deformação.

Com relação à resistência à tração na flexão, os valores foram semelhantes aos obtidos anteriormente utilizando a mesma argamassa Traço 3 (Tabela 31), mostrando também a reprodutibilidade do método.

Diante do exposto, decidiu-se que, além dos corpos-de-prova utilizados normalmente para a determinação das propriedades do estado endurecido, foi selecionado o corpo-de-prova de (2,5x 1,0x 17,0) cm para obtenção dos parâmetros em argamassa de assentamento e juntas.

### 3.2.5 Dosagem das argamassas

O meio técnico nacional ainda não dispõe de métodos de dosagem reconhecidos para as argamassas de assentamento para alvenaria estrutural de blocos de concreto. Como já mencionado no item 2.2.1, normalmente têm-se adotado os traços recomendados pelas normas americana e britânica.

O traço mais utilizado para o assentamento de blocos de concreto de 6MPa, objeto desse estudo, é de 1:1:5 (cimento: cal: areia seca em volume). Este traço vem sendo empregado corriqueiramente em obras de alvenaria no país, bem como nas pesquisas em alvenaria estrutural de blocos de concreto.

Por estes motivos, este traço foi selecionado como sendo de referência, o traço base. Para este traço, foi definida uma relação água/cimento para obtenção de uma trabalhabilidade adequada obtida pelos parâmetros do GTec Teste.

Para as outras argamassas, argamassa mista com aditivo e argamassas de cimento com aditivos, foi fixada, então, a mesma relação água/cimento obtida para o traço base (referência). Assim, para obter uma argamassa com trabalhabilidade adequada foi necessário modificar o traço base. Realizou-se, então, um estudo piloto que será apresentado a seguir.

Os aditivos selecionados foram um incorporador de ar e um retentor de água. Os teores iniciais de aditivo utilizados foram recomendados pelo fabricante dos mesmos. Sabe-se, pela literatura, que o uso desses aditivos pode gerar valores muito altos de incorporação de ar. No caso dos aditivos incorporadores esses teores podem chegar a 30% dependendo do tempo de mistura e tipo de misturador (CASALI *et al*, 2001). Devido a isto, adotou-se da norma americana o limite máximo de teor de ar incorporado que é de 15%.

O procedimento de mistura utilizado foi o recomendado pela NBR 13276 (2005) e a seqüência dos materiais com os tempos especificados que já foi descrito no item 3.2.3. Cabe ressaltar, porém, que alguns fatores influentes foram fixados, quais sejam:

- a quantidade de material seco misturado na argamassadeira foi fixada em aproximadamente de 2500 gramas (valor recomendado pela NBR 13276, 2005);
- para as argamassas mistas, foi realizada a pré-mistura da cal com o agregado úmido (10% de umidade) com no mínimo 16 horas de antecedência;



- para as argamassas de cimento, antes da mistura, realizou-se a homogeneização do agregado miúdo com água (correspondente a 10% de umidade). Isto se deu porque, para as argamassas mistas, o agregado miúdo foi utilizado úmido antes de realizar-se a mistura devido à finalização da maturação da cal;
- o aditivo retentor de água (na forma de pó) sempre foi pré-misturado com a quantidade de cimento antes da realização da mistura por recomendação do fabricante;
- o aditivo incorporador de ar (na forma de líquido) foi diluído no último um terço da quantidade de água que seria incorporada à mistura por recomendação também do fabricante. Normalmente o tempo de mistura após toda a adição desta água com aditivo foi de 30 segundos; e
- a ordem de colocação dos materiais na argamassadeira foi rigorosamente a mesma: para argamassa mista (um terço da quantidade de água, em seguida metade da pré-mistura agregado miúdo mais cal, depois a quantidade de cimento e por último o restante da pré-mistura agregado miúdo mais a cal) e para argamassa de cimento (metade do agregado miúdo úmido, a quantidade de cimento e o restante do agregado úmido).

Os materiais utilizados foram: cimento Portland com adição de fíler calcário – CII - F- 32, cal hidratada do tipo CH III e agregado miúdo da região. A caracterização completa é apresentada no Anexo 5.

Após a mistura, eram determinadas as seguintes propriedades no estado fresco, pela ordem: massa específica e teor de ar incorporado (NBR 13278, 2005), trabalhabilidade pelo GTec Teste e retenção de água pelas normas NBR 9287 (1986) e NBR 13277 (2005).

Todos os ensaios eram realizados em ambiente controlado com temperatura de  $(23\pm 1)^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $(70 \pm 5)\%$ .

Primeiramente, foi avaliado o agregado miúdo que seria utilizado para a argamassa mista com o traço base. Para isso foram testadas três composições distintas: areia média (100%), areia média (80%) mais areia fina (20%) e areia média (60%) e areia fina (40%). Após a escolha do agregado miúdo (80% areia média mais 20% areia fina) foi avaliada outra relação água/cimento para definição da argamassa com trabalhabilidade adequada. A Tabela 33

apresenta um resumo das argamassas que foram testadas para a obtenção dos traços finais, os procedimentos e tempos de mistura.

Após a definição do agregado miúdo que seria utilizado e da relação água/cimento, foi analisada a influência dos aditivos, tanto nas argamassas mistas quanto nas argamassas de cimento. Em seguida realizava-se a modificação do traço para obter-se uma argamassa com trabalhabilidade adequada.

Cabe ressaltar que a trabalhabilidade foi avaliada pelos parâmetros obtidos pelo GTec Teste sendo que esses parâmetros devem estar entre os limites estipulados para que uma argamassa seja considerada com trabalhabilidade adequada para o assentamento: leitura inicial (Li) entre 1,90 a 1,75 e número de golpes entre 7 a 15 (CASALI, 2003).

Tabela 33. Resumo dos traços que foram testados previamente.

Argamassa	Traço (volume)	Relação a/c	Teor de ar incorporado (%)	Trabalhabilidade (GTec Teste)		Observação		Procedimento de mistura e tempo
				Li	Golpes			
Mista (100% Areia Média)	1:1:5	1,45	2,36	1,85	18	Muito seca	-	4 minutos V1 NBR 13276 (2005)
Mista (80% AM <sup>+</sup> e 20% AF <sup>++</sup> )	1:1:5	1,35	3,08	1,75	10	Pouco seca	-	4 minutos V1 NBR 13276 (2005)
	1:1:5	1,45	2,85	1,75	7	Ótima	X	
Mista (60% AM <sup>+</sup> e 40% AF <sup>++</sup> )	1:1:5	1,45	3,18	1,70	16	Seca	-	4 minutos V1 NBR 13276 (2005)
Mista com Incorporador de Ar* (80% AM <sup>+</sup> e 20% AF <sup>++</sup> )	1:1:5,3	1,45	11,3	1,75	4	Mole	-	90 seg V1 NBR 13276 (2005)
	1:1:5,5	1,45	13,1	1,20	1	Mole	-	
	1:1:6	1,45	12,5	1,85	8	Boa	X	
Mista +Incorporador de ar + Retentor** (80% AM <sup>+</sup> e 20% AF <sup>++</sup> )	1:1:5	1,45	12,0	1,75	12	Boa	X	90 seg V1 NBR 13276 (2005)
Cimento+Inc*** (80% AM <sup>+</sup> e 20% AF <sup>++</sup> )	1:6	1,45	12,6	1,80	7	Boa	X	90 seg V1 NBR 13276 (2005)

<sup>+</sup> AM – Areia Média;

<sup>++</sup> AF – Areia Fina;

\* - Teor de aditivo incorporador de ar utilizado foi de 0,0021/kg de cimento;

\*\* - Teor de aditivo incorporador de ar de 0,0021/kg de cimento e retentor de água de 0,35% da massa do cimento;

\*\*\* - Teor de aditivo incorporador de ar utilizado foi de 0,0011/kg.

X – Argamassa escolhida como adequada.

Observa-se, na Tabela 33, que a argamassa mista escolhida foi com agregados miúdos (80% areia média com 20% areia fina) e relação água/cimento de 1,45 (observação “X” na Tabela 33). Assim, como mencionado anteriormente, foram fixados esses parâmetros para as

demais argamassas e modificou-se o traço até a obtenção de uma argamassa com trabalhabilidade adequada. O traço definido para as quatro argamassas escolhidas pode ser observado na Tabela 33.

Além das argamassas apresentadas na Tabela 33, também, foram testadas várias argamassas a fim de se obter uma argamassa mista apenas com o aditivo retentor de água. Primeiramente, era obtida uma argamassa com aditivo retentor de água com trabalhabilidade adequada. Em seguida repetia-se o mesmo traço com e sem a presença do aditivo e determinava-se a retenção de água e de consistência. Caso a retenção de água ou de consistência não fosse verificada, aumentava-se o teor de aditivo ou mudava-se, novamente, o traço da argamassa.

O teor de aditivo inicial recomendado pelo fabricante foi de 0,05 % em relação à massa do cimento, entretanto a faixa de utilização poderia ser de 0,05% a 0,35% da massa do cimento. Segundo informações do fabricante, o teor máximo de 0,35 % da massa do cimento, normalmente é utilizado para argamassas colantes, onde o teor desse aditivo é considerado alto.

Cabe ressaltar que o agregado miúdo utilizado em todas as argamassas mistas com retentor de água foi a mistura de 80% de areia média com 20% de areia fina, pois este agregado miúdo havia sido selecionado para a argamassa de referência. Além disso, o procedimento de mistura foi o mesmo utilizado para argamassa mista com aditivo (90 segundos em velocidade baixa conforme a NBR 13276, 2005). A Tabela 34 apresenta um resumo das argamassas mistas com e sem retentor de água analisadas.

Tabela 34. Resumo dos traços que foram testados para obtenção da argamassa mista com retentor de água e sem aditivo.

Traço (volume)	Teor de Aditivo (%)*	Relação a/c	Teor de Ar Incorporado (%)	Retenção de consistência (%)**	Retenção de água (%) após 1 minuto de sucção***	Trabalhabilidade (GTec Teste)		Observação	
						Li	golpes		
1:1:5	-	1,45	2,85	63	95,7	1,75	6	Referência	
1:1:4,7	0,05	1,45	4,47	-	-	1,75	12	Seca	-
1:1:4,5	0,05	1,45	4,61	-	-	1,70	8	Boa	X
1:1:4,5	-	1,45	1,74	54	95,0	1,35	2	Mole	Ref
1:1:4,5	0,05	1,45	4,76	42,4	90,0	1,70	8	Sem retenção	
1:1:4,5	0,10	1,45	7,42	54	92,0	1,65	9		
1:1:4,5	0,20	1,45	-	-	-	-	-	Muito seca	
1:1:4,5	0,15	1,45	-	-	-	-	-		
1:1:4	-	1,45	0,60	76,6	91,3	-	-	Muito Fluida <sup>+</sup>	
1:1:4	0,15	1,45	7,23	62,2	89,9	0,6	-	Muito Fluida <sup>+</sup>	
1:1:4	0,20	1,45	6,00	64,3	92,4	1,05	1	Muito Fluida <sup>+</sup>	
1:1:4	0,30	1,45	6,80	70,6	97,2	0,85	-	Muito Fluida <sup>+</sup>	
1:1:3,5	0,35	1,45	6,20	72,9	95,6	0,4	-	Muito Fluida <sup>+</sup>	
1:1:3,5	0,30	1,45	4,80	71,3	93,7	0,45	-	Muito Fluida <sup>+</sup>	
1:1:4,2	0,30	1,45	7,00	58,0	98,0	1,55	7	Fluida <sup>++</sup>	
1:1:4,3	-	1,45	0,50	75,0	89,0	-	-	Muito Fluida <sup>+</sup>	
1:1:4,3	0,25	1,45	6,30	54,5	93,0	1,55	5	Fluida <sup>++</sup>	
1:1:4,3	0,30	1,45	6,30	65,2	95,0	1,85	11	Boa	-
1:1:4,3	0,35	1,45	7,50	66,0	95,0	1,55	6	Boa	-

\* - Teor de aditivo em porcentagem da massa de cimento;

\*\* - Metodologia da norma NBR 9287 (1986);

\*\*\* - Procedimento da NBR 13277 (2005), porém com o tempo de 1 minuto de sucção.

<sup>+</sup> Muito Fluida – designada para a argamassa que não foi possível sequer determinar a leitura inicial com o GTec Teste;

<sup>++</sup> Fluida – designada para a argamassa que foi possível obter os parâmetros do GTec Teste;

X – Argamassa escolhida como adequada.

Como pode ser observado na Tabela 34, após o teste dessas 15 argamassas com retentor de água, não foi possível obter uma argamassa com trabalhabilidade adequada e retenção, tanto de consistência quanto de água, superior à argamassa com o traço sem o aditivo retentor de água. Em algumas argamassas, mesmo utilizando o teor máximo de aditivo, a retenção de consistência era inferior à argamassa com o mesmo traço sem aditivo. Isso pode ter ocorrido por causa da elevada relação água/aditivo e assim a quantidade de aditivo é tão pequena (em relação à quantidade de água) que não surtiu o efeito desejado de reter a água da argamassa.

Além disso, verificou-se que não existe relação entre a retenção de consistência e a retenção de água com 1 minuto de sucção (Tabela 34). Em alguns casos houve aumento da retenção de água, porém não foi observado aumento da retenção de consistência. Conclui-se, então, que estes ensaios não estavam fornecendo subsídios bem como não apresentavam

sensibilidade suficiente para avaliar e selecionar uma argamassa que obtivesse retenção de água superior à da argamassa de referência, sem aditivo.

Cabe salientar que, quando se optou por este tipo de argamassa, o objetivo era para avaliar a influência da retenção de água das argamassas, principalmente no comportamento dessa argamassa quando colocada em contato com o bloco de concreto, apresentando uma pequena perda de água devido à sucção do mesmo. Por este motivo foi realizado um teste simples para avaliar a altura de ascensão capilar no bloco de concreto após o contato num tempo pré-determinado de uma argamassa mista (referência) e de uma argamassa mista com retentor de água (traço 1:1:4,3 e teor de aditivo de 0,35%). Para isso utilizou-se o mesmo bloco de concreto que de um lado (considerando as paredes longitudinais) foi assentado com a argamassa mista e o outro lado com a argamassa mista com retentor de água. Verificou-se que para o mesmo tempo de contato com a argamassa, a altura de ascensão capilar foi semelhante para as duas argamassas comprovando os resultados obtidos preliminarmente (a argamassa com retentor de água - 1:1:4,3 com 0,35% de aditivo – não teve retenção de água superior a argamassa de referência). Devido ao motivo exposto, optou-se por não utilizar uma argamassa mista com apenas o aditivo retentor de água.

Além disso, buscaram-se outros métodos de avaliação da retenção de água e o método utilizado por Do Ó (2004) *apud* Paes (2004) foi o que apresentou melhores subsídios para a escolha das argamassas. O método consiste no mesmo procedimento recomendado pela norma NBR 13277 (2005), porém, ao invés de somente analisar o comportamento com o tempo de 15 minutos, foi obtida a medida da perda de água ao longo do tempo. Assim, com esse procedimento avaliou-se a retenção de água ao longo do tempo para as argamassas selecionadas da Tabela 33 (argamassa mista – 1:1:5 - “Mista”; argamassa mista com incorporador de ar – 1:1:6 – “Mista+AR”; argamassa mista com retentor de água e incorporador de ar – 1:1:5 – “Mista+AR+Retentor” e argamassa de cimento com incorporador de ar – 1:1:6 – “Cimento+AR”). Os tempos escolhidos de sucção para essa análise foram de 1, 5, 10 e 15 minutos. Na Figura 75 é apresentado um gráfico dos os valores de retenção de água ao longo do tempo, da média de duas argamassas.

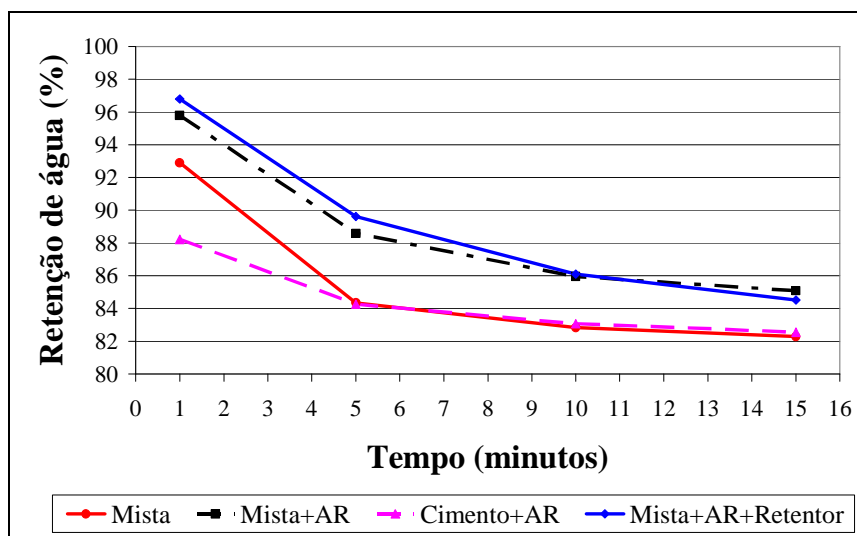


Figura 75. Retenção de água ao longo do tempo para as argamassas analisadas.

Observa-se, na Figura 75, que a retenção de água das argamassas escolhidas é muito distinta. As argamassas que apresentaram os maiores valores de retenção de água ao longo do tempo foram a argamassa mista com retentor de água e incorporador de ar (“Mista+AR+Retentor”) e a argamassa mista com incorporador de ar (“Mista+AR”). Desse modo não foi verificado nenhum efeito do aditivo retentor de água nesta propriedade avaliada. E a argamassa de cimento com incorporador de ar (“Cimento+AR”) apresentou a menor retenção de água inicial, como já era esperado, pois em sua composição não havia nenhum componente que desse a argamassa a capacidade de retenção de água. Porém, com cinco minutos, seu comportamento foi semelhante ao da argamassa mista de referência.

Após essa pré-definição das argamassas foi enviada, ao fornecedor de aditivos, a escolha final das argamassas e o mesmo questionou a utilização da argamassa mista com aditivo retentor de água e incorporador de ar, apesar de alguns países utilizarem como a França. Normalmente se utiliza os aditivos para a substituição da cal, não em conjunto com a cal, visto que os dois materiais têm a função de atribuírem a argamassa uma maior trabalhabilidade. Inclusive, o fornecedor dos aditivos, que também produz argamassas industrializadas, afirmou que normalmente suas formulações são de argamassas de cimento com aditivos. Diante disso, essa argamassa foi substituída por uma argamassa de cimento com aditivo incorporador de ar e retentor de água cuja dosagem será apresentada mais adiante.

Além disso, houve a substituição do agregado miúdo que poderia ter influenciado nas baixas resistências de aderência obtidas em prismas (ver item 3.2.6). Desse modo, foi selecionado um novo agregado miúdo que era utilizado por uma empresa de argamassa da região

da grande Florianópolis. A vantagem desse novo agregado miúdo foi que não precisava da adição de areia fina, pois sua granulometria foi avaliada como adequada para argamassa de assentamento, conforme limites granulométricos estabelecidos pelas normas americanas e britânicas, ASTM C – 144 (1987) e BS – 1200 (1976). A caracterização completa está apresentada no Anexo 5.

Por este motivo, foi realizada, então, a verificação dos traços já pré-estabelecidos e a nova dosagem da argamassa de cimento com aditivos. Os procedimentos foram os mesmos descritos anteriormente. A Tabela 35 apresenta os traços iniciais e finais e o procedimento de mistura utilizado para as argamassas a serem estudadas.

Tabela 35. Traços iniciais e finais e procedimento e tempo de mistura para obtenção das argamassas a serem estudadas.

Argamassa		Traço (volume)	a/c	Teor de ar incorporado (%)	Trabalhabilidade (GTec Teste)		Observação		Procedimento e tempo de mistura
					Li	Golpes			
Mista	Inicial	1:1:5	1,45	2,9	1,75	7	Ótima	X	4 minutos V1 NBR 13276
	Final	1:1:5	1,52	4,4	1,80	14	Boa	X	
Mista + Inc de Ar	Inicial	1:1:6	1,45	12,5	1,85	8	Boa	X	90 seg V1
	Final*	1:1:6	1,52	12,9	1,90	10	Boa	X	NBR 13276
Cimento + Inc de Ar	Inicial	1:6	1,45	12,6	1,80	7	Boa	X	90 seg V1
	Final**	1:6	1,52	12,8	1,90	11	Boa	X	NBR 13276
Cimento + Ret + Inc	Final***	1:5,5	1,52	15,3	1,85	18	Boa/Seca	X	90 seg V1 NBR 13276

\* Teor de aditivo incorporador de ar utilizado 0,0015l/kg de cimento;

\*\* Teor de aditivo incorporador de ar utilizado 0,0005l/kg de cimento;

\*\*\* Teor de aditivo incorporador de ar de 0,002l/kg de cimento e retentor de água de 0,4% da massa do cimento;

X – Argamassa escolhida como adequada.

Observa-se, na Tabela 35, que, para a argamassa com o novo agregado miúdo foi necessária uma relação água/cimento superior à obtida com o agregado miúdo utilizado anteriormente. Por isso, foram testadas, novamente, todas as argamassas com essa nova relação água/cimento e com o novo agregado.

Então, para as argamassas com aditivos, o traço não variou em função do agregado novo e da nova relação água/cimento, porém o teor de aditivo teve que ser alterado (Tabela 33 e Tabela 35). Para o aditivo incorporador de ar houve uma redução no seu teor, pois com os teores anteriores obtiveram-se argamassas muito fluidas, tanto no caso da argamassa mista com incorporador de ar quanto para a argamassa de cimento com incorporador de ar. Já para a argamassa de cimento com retentor de água e incorporador de ar, o teor de aditivo retentor de

água teve que ser aumentado em relação à argamassa mista com retentor de água e incorporador de ar testada anteriormente.

Novamente, foi determinada a retenção de água ao longo do tempo para as quatro argamassas selecionadas (Figura 76).

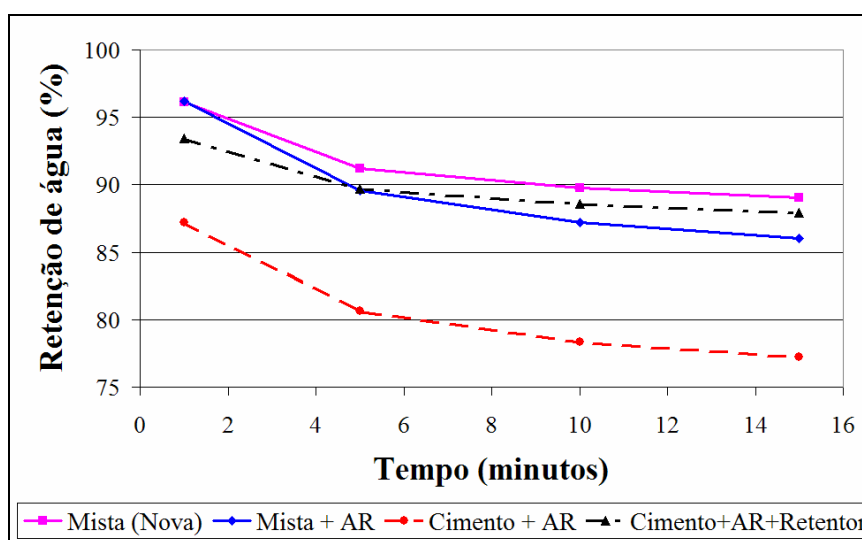


Figura 76. Retenção de água ao longo do tempo para as argamassas analisadas.

Observa-se, na Figura 76, que, para a argamassa com o novo agregado a retenção de água da argamassa mista foi superior à encontrada anteriormente. E essa retenção foi semelhante para a argamassa mista com incorporador de ar (“Mista+AR”) e argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água (“Cimento+AR+Retentor”). Já para argamassa de cimento com incorporador de ar (“Cimento+AR”) observou-se uma retenção de água bem inferior à obtida para as demais argamassas.

Diante do exposto, essas últimas quatro argamassas foram selecionadas para estudo definitivo da interação entre argamassa de assentamento e o bloco de concreto (transferência de água da argamassa para o bloco de concreto e resistência de aderência na flexão, item 3.3.5 e 3.3.6). A metodologia avaliada para o estudo da interação entre bloco de concreto e argamassa é apresentada a seguir.

### 3.2.6 Interação da argamassa de assentamento e o bloco de concreto

Os estudos da interação entre argamassa de assentamento e bloco de concreto podem ser divididos basicamente em dois: no estado fresco e no estado endurecido. No estado fresco



seria o estudo da transferência de água da argamassa para o bloco de concreto e no estado endurecido a resistência de aderência na flexão, tanto em mini-prisma quanto em prisma.

#### 3.2.6.1 Estudo da transferência de água da argamassa no estado fresco para o bloco de concreto

Após levantar vários métodos na literatura para avaliar a transferência de água da argamassa no estado fresco para o bloco de concreto (item 2.3.2), o método escolhido para determinação desse comportamento foi o gravimétrico. Este método é simples e o mais utilizado na literatura, além de necessitar de equipamentos convencionais, como uma balança, pois o método consiste basicamente na verificação da diferença de massa dos materiais.

O método de determinação consistiu no assentamento de uma amostra de bloco de concreto com absorção de água por capilaridade conhecida e em tempos pré-estabelecidos foi determinada a quantidade de água absorvida pelas amostras (face de baixo “1” e de cima “2”) e a quantidade de água perdida pela argamassa por evaporação e pela sucção do bloco.

Primeiramente então era necessária a homogeneização das amostras dos blocos de concreto que seriam utilizados para este ensaio. Esse procedimento já foi descrito anteriormente no item 3.2.2.

Outro fator importante a ser considerado era a escolha do material que seria utilizado entre a argamassa de assentamento e o bloco de concreto para que não ocorresse um depósito de argamassa no bloco de concreto uma vez que o interesse era determinar apenas a quantidade de água absorvida por ele.

Com a finalidade de tentar filtrar a água para o bloco de concreto foram testados alguns materiais como: filtro de papel, tela de poliéster, filtro de café permanente, tecido de “TNT” (tecido não tecido), tule, manta “geotextil” utilizado em solos, entre outros. Para avaliar os materiais foram assentadas amostras de bloco de concreto sem nenhum material entre eles e em outras utilizando o material descrito entre a argamassa de assentamento e a amostra de bloco superior e inferior.

A análise feita com os materiais testados foram as seguintes: (i) se o material fosse colocado seco, ele absorveria água primeiro e somente depois deixaria disponível para o bloco de concreto, logo foram testados todos os materiais umedecidos; (ii) em todos os casos, o material utilizado se comportou como uma barreira física entre a argamassa e o bloco de concreto,

diminuindo consideravelmente a quantidade de água absorvida pelo bloco de concreto, o que foi observado, tanto visualmente pela altura de ascensão capilar, quanto pela medida da massa do bloco de concreto. Em função disso, todos os materiais testados foram reprovados para esta finalidade. Diante do exposto, a opção foi não utilizar nenhum material entre a argamassa de assentamento e o bloco de concreto.

Assim, após vários testes, a realização do ensaio de transferência de água consistiu na execução das seguintes etapas:

- O primeiro passo era a confecção de um filete de argamassa com o auxílio de uma meia desempenadeira (Figura 77a) e determinação da sua massa (Figura 77b). A massa de argamassa fixada em função do tipo de argamassa, pois na realidade fixou-se o volume da mesma. Esse volume de argamassa foi fixado após a determinação de 10 filetes produzidos por um assentador experiente no momento do assentamento de uma argamassa mista (cimento, cal e areia). Para as demais argamassas foi realizada a conversão após a determinação de sua massa específica. Por exemplo, para a argamassa mista foi estipulada a massa de 400 a 500 gramas em 40 cm de comprimento da meia desempenadeira (cabe ressaltar que a meia desempenadeira era previamente umedecida).
- Após a determinação da massa do filete, as pontas do filete eram retiradas de modo a obter um filete de comprimento de 20 cm (Figura 77c). Com esse comprimento era possível realizar o assentamento de dois corpos-de-prova com as amostras de blocos de concreto previamente selecionadas e pesadas. As amostras de bloco de concreto eram mantidas em ambiente climatizado onde seriam realizados os ensaios por no mínimo 24 horas.
- Em seguida esse filete de argamassa era colocado sobre o pedaço de bloco da face superior (maior área) que será denominado de amostra “1” (Figura 77d);
- Logo após a colocação do filete de argamassa, posicionava a amostra de bloco de concreto da face inferior (menor área) (denominado de “2”) (Figura 77e) e mais um sobrepeso (correspondente ao restante da fatia do bloco de concreto explicado no item 3.2.2). A espessura de 1 cm do filete final era obtida com o auxílio de um martelo de borracha (Figura 77f).

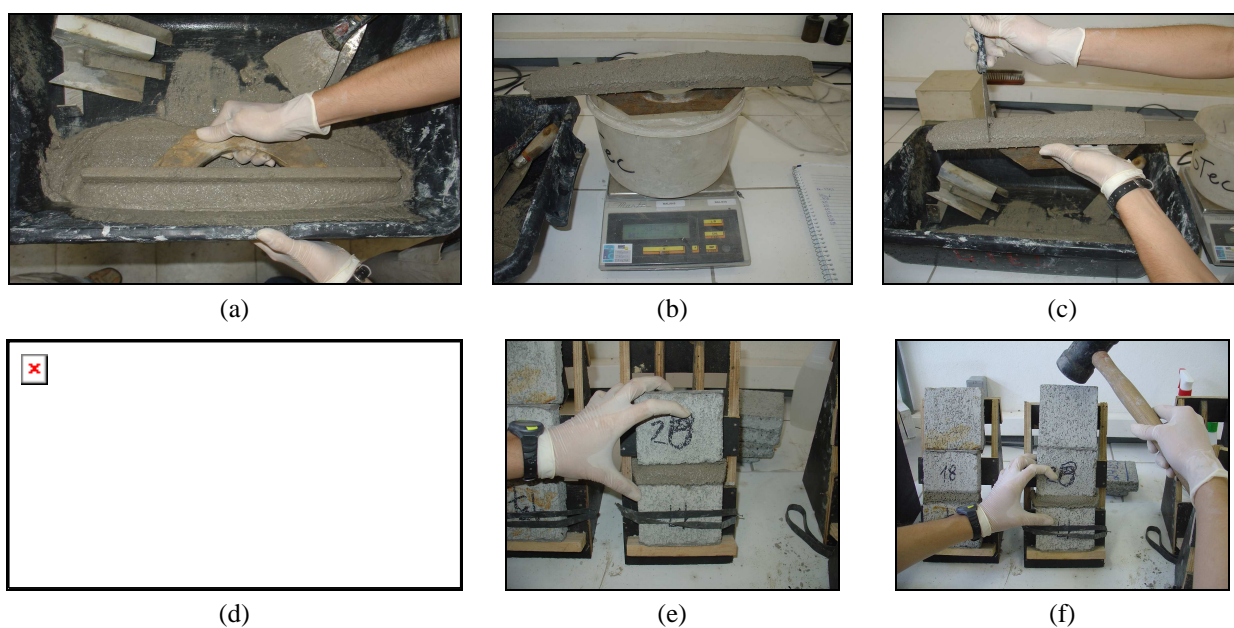


Figura 77. Assentamento das amostras de bloco de concreto para a realização do ensaio de transferência de água da argamassa no estado fresco para o bloco de concreto: (a) filete de argamassa, (b) pesagem do filete de argamassa, (c) corte das pontas do filete de argamassa, (d) colocação do filete sobre a amostra “1”; (e) posicionamento da amostra “2” e (f) colocação do sobrepeso e ajuste com o martelo de borracha até a obtenção da altura do filete de 1 cm.

- Assim que obtinha-se um filete com espessura de 1 cm, o excesso de argamassa em todos os lados era retirado e determinava-se a massa do conjunto ( $M_{\text{bloco/arg/bloco}}$ ) sem o sobrepeso (Figura 78b). Com a realização dessa medida era conhecida a quantidade de argamassa inicial, visto que, as amostras de bloco de concreto já tinham sido pesadas anteriormente (Figura 78a). Esse procedimento era realizado em no máximo de 60 segundos.

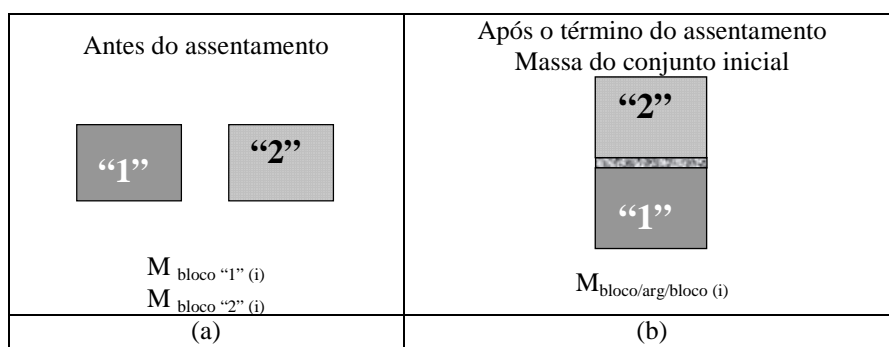


Figura 78. Representação: (a) antes do assentamento e (b) após o término do assentamento.

- No tempo pré-estabelecido, determinado a partir do contato da argamassa com a amostra de bloco de concreto, media-se novamente a massa do conjunto ( $M_{\text{bloco/arg/bloco}}(t)$ ) (Figura 79a); retirava-se a amostra “2” e determinada a sua massa ( $M_{\text{bloco “2”}}(t)$ ) (Figura 79b); em seguida obtinha-se a massa do conjunto amostra “1” e argamassa ( $M_{\text{bloco “1”/arg}}(t)$ ) (Figura 79b); retornava-se o bloco “2” no conjunto e realizava-se uma rotação de 180° no conjunto (Figura 79c); retirava-se o bloco “1” e determinava-se sua massa ( $M_{\text{bloco “1”}}(t)$ ) (Figura 79d). Em seguida retornava-se a amostra “1” e rotacionava-se o conjunto para a mesma posição inicial (Figura 79e).

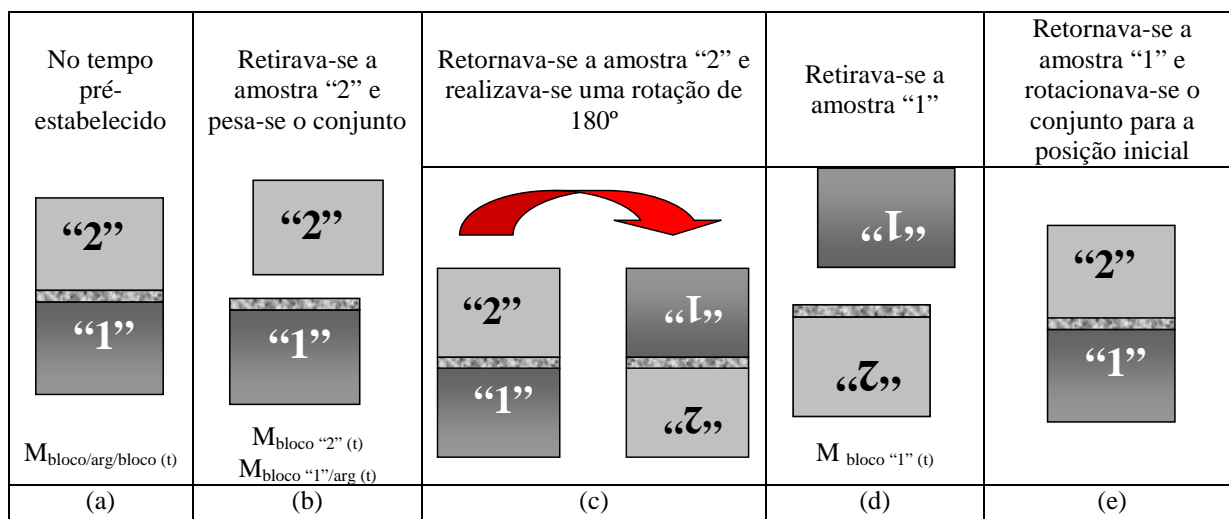


Figura 79. Representação das medidas realizadas: (a) no tempo pré-estabelecido obtinha-se a massa do conjunto, (b) massa do bloco “2” e massa do bloco “1” mais argamassa, (c) rotação de 180° na amostra, (d) massa do bloco “1” e (e) retorna-se para a amostra “1” e rotacionava-se o conjunto para a posição inicial.

Com os dados obtidos do ensaio foram determinadas as quantidades de: argamassa inicial (Equação 7), água evaporável (Equação 8), água absorvida por cada amostra do bloco de concreto (Equação 9 e Equação 10) e água perdida da argamassa (Equação 11). Além disso, pode-se fazer a conferência das medidas realizadas, pois a quantidade de água perdida da argamassa no tempo (t) tem que ser igual à quantidade de água evaporável mais a quantidade de água absorvida por cada amostra de bloco de concreto (Equação 12).

$$M_{\text{Argamassa inicial}} = M_{\text{bloco/arg/bloco (i)}} - M_{\text{bloco "1" (i)}} - M_{\text{bloco "2" (i)}} \quad (\text{Equação 7})$$

$$M_{\text{Água evaporável}} = M_{\text{bloco/arg/bloco (i)}} - M_{\text{bloco/arg/bloco (t)}} \quad (\text{Equação 8})$$

$$M_{\text{Água bloco "2" (t)}} = M_{\text{bloco "2" (t)}} - M_{\text{bloco "2" (i)}} \quad (\text{Equação 9})$$

$$M_{\text{Água bloco "1" (t)}} = M_{\text{bloco "1" (t)}} - M_{\text{bloco "2" (i)}} \quad (\text{Equação 10})$$

$$M_{\text{Água perdida da argamassa (t)}} = M_{\text{Argamassa inicial}} - (M_{\text{Água bloco "2" (t)}} + M_{\text{Água bloco "1" (t)}}) \quad (\text{Equação 11})$$

### Conferência:

$$M_{\text{Água perdida da argamassa (t)}} = M_{\text{Argamassa inicial}} - (M_{\text{Água evaporável}} + M_{\text{Água bloco "2" (t)}} + M_{\text{Água bloco "1" (t)}}) \quad (\text{Equação 12})$$

Os tempos selecionados para a realização dos procedimentos foram 5, 15, 30, 60, 180 e 1440 minutos (24 horas) do início do ensaio.

Após 24 horas, a argamassa foi separada das amostras de blocos de concreto e determinava-se a massa das amostras dos blocos de concreto e das argamassas como juntas de assentamento. As amostras dos blocos de concreto então eram colocadas em estufa à temperatura de  $(100 \pm 5)^\circ \text{C}$ , para determinação da quantidade de argamassa que ficou retida na amostra de bloco. Este valor foi descontado da quantidade de água obtida pela absorção dos blocos de concreto, como recomendação de Totoev e James (2004).

Diante da metodologia descrita anteriormente foi realizado um estudo piloto com uma argamassa mista (cimento, cal e areia) para determinar a influência do tempo de retirada inicial das amostras de bloco de concreto na absorção de água das amostras de bloco de concreto. Este estudo foi necessário para verificar-se se após a quebra do contato inicial da argamassa com a amostra do bloco de concreto, o fluxo de umidade seria interrompido.

Para essa verificação, foram assentadas seis amostras com o procedimento detalhado anteriormente. Nas duas primeiras, as amostras do bloco de concreto eram retiradas com 5 minutos de ensaio (com os tempos de avaliação de 5, 15, 30 e 60 minutos). As outras duas amostras eram retiradas com 15 minutos do início do ensaio (com os tempos de avaliação de 15, 30, 60 e 90 minutos). E nas últimas duas amostras retirava-se com 30 minutos do início do ensaio (com os tempos de avaliação 30, 60 e 90 minutos). Além disso, após 24 horas em contato

com a argamassa, as amostras foram colocadas em estufa à temperatura de  $(100 \pm 5)^\circ \text{C}$  para determinação da quantidade de argamassa que ficou retida nas amostras de bloco de concreto.

As amostras de bloco de concreto tinham valores de absorção de água por capilaridade semelhantes: amostras de bloco “1” – face superior (maior área) – absorção de água aos 60 minutos de 0,37 a 0,40  $\text{g}/\text{cm}^2$ ; e as amostras de bloco “2” – face inferior (menor área) – absorção de água aos 60 minutos 0,38 a 0,40  $\text{g}/\text{cm}^2$ .

Já a argamassa de assentamento utilizada foi argamassa mista (cimento – CP II - F - 32 –, cal hidratada – tipo CH III – e agregado miúdo – 80% areia média e 20% de areia fina). Essa argamassa possuía uma relação água/cimento de 1,40 e água/materiais secos de 19,1%. A trabalhabilidade determinada pelo GTec Teste apresentou os seguintes valores: Leitura inicial (Li) de 1,75, 6 golpes e índice de plasticidade de -15 mm/J. Cabe ressaltar que estes parâmetros estão dentro dos limites estipulados para uma argamassa com trabalhabilidade adequada para o GTec Teste.

A Figura 80 apresenta os resultados médios dos valores obtidos para os tempos de 5, 15 e 30 minutos de retirada da amostra do bloco, tanto da amostra “1” quanto da amostra “2”. Os valores estão expressos em absorção de água ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ), pois as amostras apresentavam áreas diferentes de absorção (ver item 3.2.2). Cabe ressaltar também que foi considerada para o cálculo da absorção de água, a massa da amostra seca.

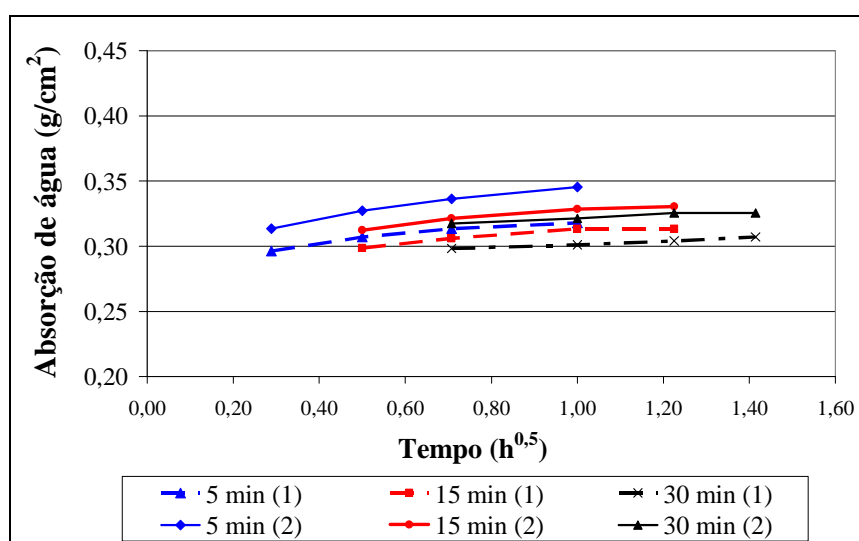


Figura 80. Absorção de água *versus* tempo para os tempos de retirada da amostra de bloco de concreto de 5, 15 e 30 minutos.

Observa-se, na Figura 80, que houve uma pequena diferença entre os tempos de retirada das amostras de bloco, sendo que este fator não influenciou significativamente nos valores de absorção de água. Além disso, os maiores valores foram obtidos para o tempo de retirada das amostras de bloco com 5 minutos. Também se observou uma leve tendência das amostras “2” (colocadas por último) apresentarem valores de absorção de água inferior às amostras “1” (onde a argamassa é colocada primeiro), quando comparadas no mesmo tempo de ensaio.

Outro fator a ser observado é que os valores de absorção de água da argamassa pela amostra de bloco foram inferiores aos obtidos pelas mesmas amostras de absorção de água por capilaridade. Esse valor já era esperado conforme apresenta a literatura no estudo realizado por Totoev e James (2004).

Com relação à diferença entre os valores de absorção de água das duas amostras avaliadas para um mesmo tempo de retiradas do contato com a argamassa foi inferior a 3%, o que foi considerado pequeno.

Diante do exposto, foram especificados dois corpos-de-prova para o tempo de 5 e 15 minutos, dos quais seriam retiradas as amostras. Esses dois tempos foram escolhidos, pois, apesar de não ser verificada influência para argamassa mista, para outros tipos de argamassa que seriam utilizadas poderia existir um outro comportamento. No tempo superior a 15 minutos, a argamassa poderia perder muita água e ficaria muito difícil de separar a amostra de bloco, esse comportamento foi observado para argamassa mista.

Além disso, também foi avaliada a perda de água por evaporação em corpos-de-prova onde as amostras de bloco de concreto foram impermeabilizadas com filme de PVC transparente.

Com os resultados obtidos, conclui-se que a metodologia se mostrou simples e prática, porém pouco precisa, pois utilizava-se uma balança com apenas 0,1 g de precisão. Para os testes com as argamassas selecionadas foi utilizada uma balança com 0,01 g de precisão.

### 3.2.6.2 Estudo da resistência de aderência na flexão em mini-prismas

Uma das hipóteses desse estudo é que a resistência de aderência é influenciada pela transferência de água da argamassa no estado fresco para o bloco de concreto. Assim, era

necessária uma metodologia para avaliar a resistência de aderência na flexão em mini-prismas, semelhante à utilizada no estudo anterior. Além disso, esses mini-prismas representariam uma fatia da junta de assentamento com o bloco de concreto, não sendo modelos reduzidos e sim, seriam como um corte do prisma de bloco de concreto. A Figura 81 apresenta a localização do mini-prisma na representação de um prisma de alvenaria.

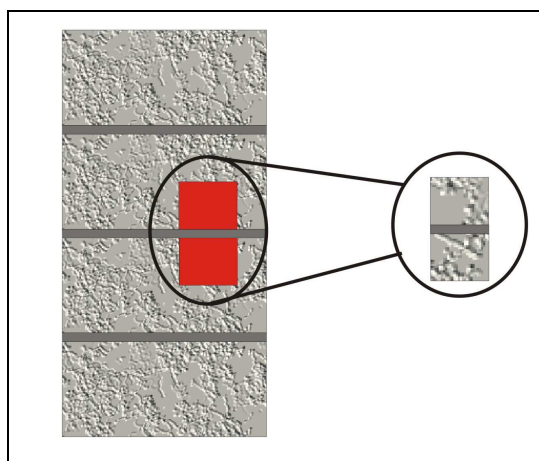


Figura 81. Localização do mini-prisma representado no prisma.

Apesar de ser o desejável, constatou-se que não seria possível obter o mini-prisma seccionando o prisma moldado, pois no momento do corte a interface entre a argamassa de assentamento e o bloco de concreto se romperia por ser o elo mais frágil entre os dois materiais. Além disso, o processo de seccionamento poderia gerar também fissuras no mini-prisma e, assim, os resultados seriam mascarados. Então primeiramente foi realizado o seccionamento do bloco de concreto (maiores informações no item 3.2.2) e posteriormente foi realizado seu assentamento (Figura 77) com os mesmos procedimentos descritos para o estudo de transferência de água da argamassa para o bloco de concreto.

Um dos primeiros estudos utilizando mini-prismas foi num projeto para a Fundação de Apoio à Pesquisa Científica e Tecnológica do Estado de Santa Catarina – FAPESC – utilizando blocos de concreto e argamassas de assentamento com aditivos hidrofugantes para alvenaria estanque desenvolvido pelo Grupo de Tecnologia em Materiais e Componentes a base de Cimento Portland (GTec) - UFSC. Neste projeto a resistência de aderência foi avaliada em mini-prismas, pois o número de blocos de concreto com hidrofugantes era reduzido e havia a necessidade de selecionar uma argamassa que apresentasse maior aderência com o bloco. Dessa forma, foram moldados mini-prismas e submetidos à flexão de quatro pontos como representado na Figura 82 para determinar a resistência de aderência na flexão.



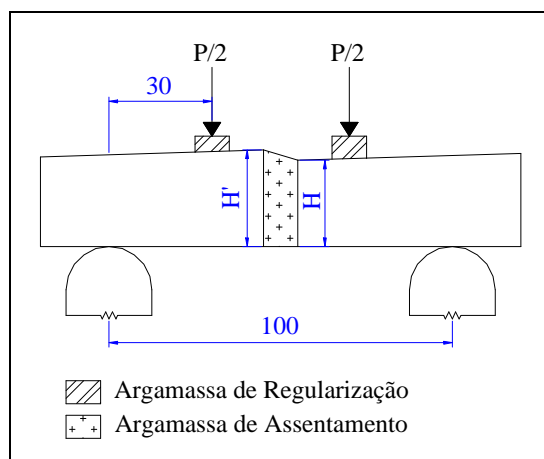


Figura 82. Ensaio de resistência de aderência na flexão de 4 pontos em mini-prismas.

Os valores obtidos de resistência de aderência na flexão em mini-prismas foram parecidos com os encontrados posteriormente em prismas de 4 blocos de concreto utilizando a metodologia de Medeiros e Sabbatini (1995). Porém, o coeficiente de variação encontrado no ensaio de mini-prisma foi de 68 %. Isso foi atribuído à presença dos aditivos hidrofugantes nos blocos e nas argamassas, à pequena quantidade de corpos-de-prova (4 corpos-de-prova) e a fragilidade dos corpos-de-prova que rompiam muitas vezes com seu manuseio (GTEC/FAPESC/02, 2005).

Diante dos resultados expostos foram moldados 12 mini-prismas com amostra de blocos de concreto sem aditivo e argamassa mista (cimento, cal e areia) sem aditivo. Os valores de resistência de aderência foram de 0,05 a 0,62 MPa (resistência média de 0,19 MPa) com o coeficiente de variação de 90,6%. Neste caso o grande coeficiente de variação não poderia ser atribuído à pequena quantidade de corpos-de-prova e nem a presença de aditivos nos blocos de concreto.

A partir dos resultados obtidos foi repensado o ensaio e decidiu-se fazer a aplicação de carga igual ao utilizado pela ASTM E 518-80, ou seja, com a distância da aplicação superior  $1/3$  do vão ( $l$ ).

Também foi modificado o aparato para moldagem dos mini-prismas. O novo aparato utilizado mantém o mesmo plano para as amostras de bloco de concreto (amostras “1” e “2”) e ainda auxilia para manter a massa da “sobrecarga”. A Figura 83 apresenta o aparato que foi utilizado para a moldagem dos mini-prismas.



Figura 83. Aparato utilizado para a moldagem dos mini-prismas.

As amostras de bloco de concreto também foram pré-selecionadas quanto a sua absorção de água por capilaridade aos 60 minutos. Foram selecionados dois grupos de absorção de água com seis amostras cada um: grupo 1 com menor absorção (amostra “1” – face superior –  $0,34 \text{ g/cm}^2$  e amostra “2” - face inferior –  $0,69 \text{ g/cm}^2$ ) e o grupo 2 com maior absorção (amostra “1” - face superior –  $0,52 \text{ g/cm}^2$  e amostra “2” - face inferior –  $0,85 \text{ g/cm}^2$ ).

Para a argamassa de assentamento foi fixada a massa de argamassa na meia desempenadeira, conforme apresentado para o estudo da transferência de água da argamassa no estado fresco para o bloco de concreto.

Outro fator que foi levado em conta foi a posição do mini-prisma no momento do ensaio de resistência de aderência na flexão. Primeiramente o ensaio era realizado conforme a Figura 84a. Os resultados obtidos eram muito variados e a quantidade de pasta de gesso colocada para a regularização era muito grande. Assim foi estipulado realizar-se o ensaio da mesma maneira que seria aplicado no prisma (Figura 84c). Então uma nova configuração do ensaio foi utilizada (Figura 84b).

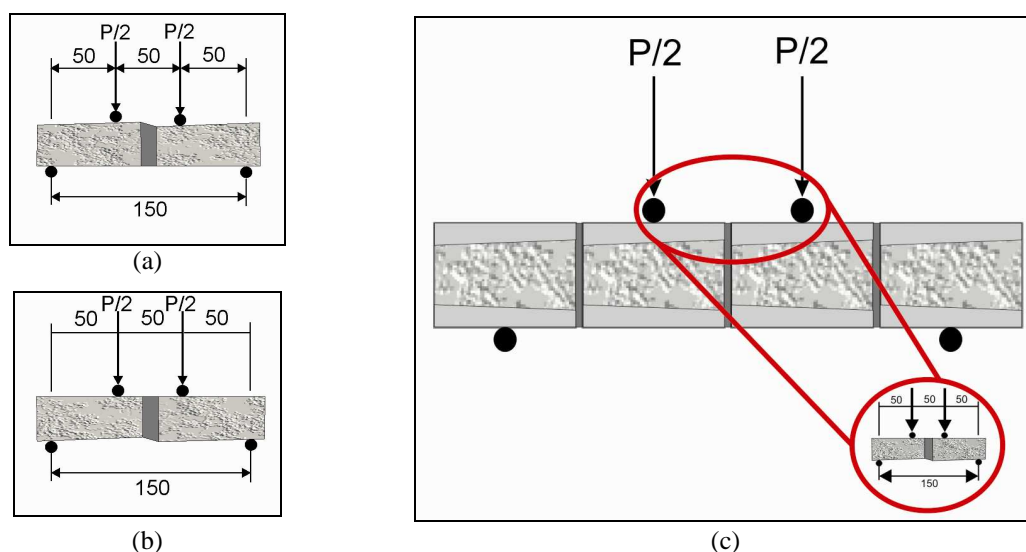


Figura 84. Posição do mini-prisma para a determinação da resistência de aderência na flexão: (a) posição invertida ao do prisma, (b) posição correta de aplicação no prisma e (c) representação da retirada do mini-prisma em relação ao prisma.

Cabe ressaltar que foi realizada uma regularização com pasta de gesso em todas as superfícies em que seriam apoiadas os cutelos para a aplicação da carga. Além disso, houve uma preocupação com o aparato do ensaio: os cutelos inferiores, um era articulado e o outro fixo, e os superiores, os dois cutelos eram articulados e rotulados nos dois sentidos para a acomodação e ajuste de quaisquer irregularidades. A Figura 85 apresenta o aparato de ensaio dos mini-prisma e o ensaio sendo realizado na posição invertida e na posição correta da aplicação no prisma (observa-se a grande diferença na inclinação do aplicador de carga na Figura 85a).

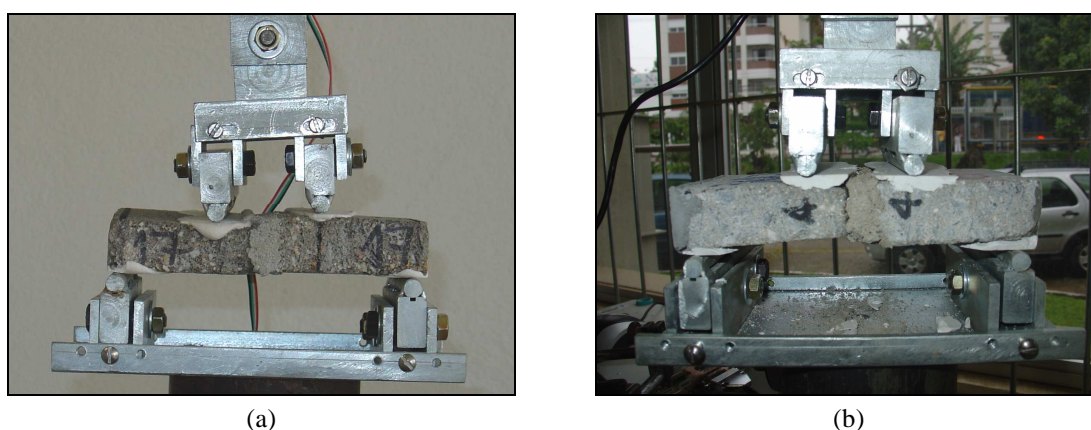


Figura 85. Aparato de ensaio de flexão dos mini-prismas e o ensaio sendo realizado na (a) posição invertida ao do prisma e (b) posição correta de aplicação no prisma.

Os valores de resistência de aderência na flexão obtidos foram maiores para o grupo 2 (maior absorção - resistência média de 0,23 MPa e coeficiente de variação de 20,1%). O valor

de resistência média obtida para o grupo 1, menor absorção, foi de 0,13 MPa (coeficiente de variação de 5%).

Como pode ser observado, o coeficiente de variação do ensaio reduziu para no máximo 20% considerado satisfatório para um ensaio de flexão. Além disso, os valores de absorção de água das amostras de bloco de concreto influenciaram significativamente nos resultados de resistência de aderência.

Assim, foi estipulado o número de seis corpos-de-prova sendo respeitadas as demais condições de: pré-selecionamento das amostras de bloco de concreto, volume de argamassa do filete constante, procedimento de assentamento com a massa de “sobrepeso” e a posição do mini-prisma no momento do ensaio.

### 3.2.6.3 Estudo da resistência de aderência na flexão em prismas de bloco de concreto

O método de ensaio para a avaliação da resistência de aderência na flexão em prismas foi baseado na norma americana ASTM E518-80 e adaptada por Medeiros e Sabbatini (1994). Este método também foi utilizado por Solórzano (1994) e Savi, Valduga e Volpato (2006). O ensaio é realizado com a utilização de prismas de alvenaria com 4 blocos de concreto submetidos à flexão em 4 pontos. Na Figura 86 pode ser observada o prisma no momento do ensaio de resistência de aderência na flexão e um esquema com as dimensões utilizadas para a realização do ensaio.

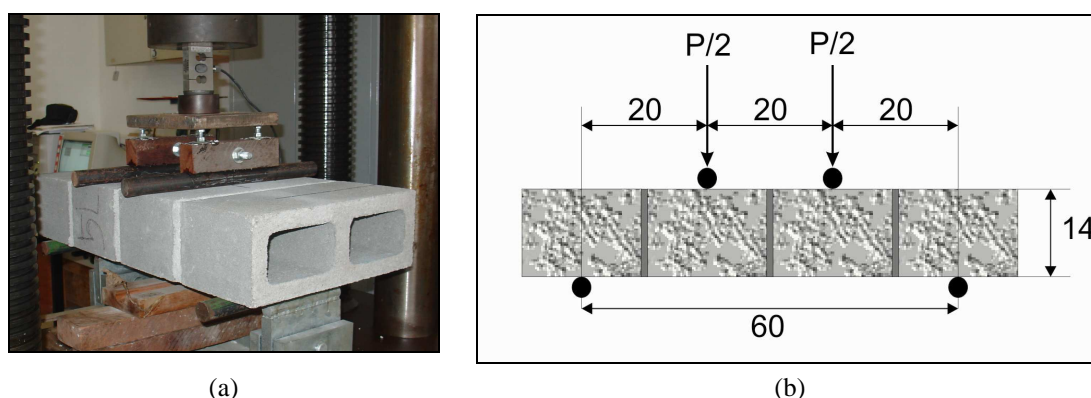


Figura 86. (a) Prisma no ensaio de realização do ensaio de resistência à aderência na flexão em quatro pontos e (b) esquema das dimensões utilizadas no ensaio.

No teste preliminar foram confeccionados seis prismas conforme a norma NBR 8215 (1983), moldados com uma argamassa mista (cimento, cal e areia) com traço 1:1:5

(volume) e relação água/cimento 1,43. A trabalhabilidade foi obtida pelo GTec Teste com leitura inicial ( $L_i = 1,75$  cm), 10 golpes e o índice de plasticidade de -8 mm/J.

Os blocos de concreto utilizados foram produzidos em Florianópolis e tinham resistência característica nominal ( $f_{bk}$ ) de 6MPa. Os blocos foram pré-selecionados pela massa e separados em grupos: Grupo 1 - os primeiros blocos a serem assentados nos prismas, blocos inferiores sendo os mais pesados (média 11438 g); Grupo 2 – os segundos e terceiros blocos a serem assentados nos prismas, blocos intermediários (média 11280 g); Grupo 3 - os últimos blocos a serem assentados nos prismas, blocos superiores sendo os mais leves (média 11128 g).

Os valores de resistência de aderência na flexão obtidos aos 28 dias podem ser observados na Figura 87, assim como a junta de ruptura do prisma.

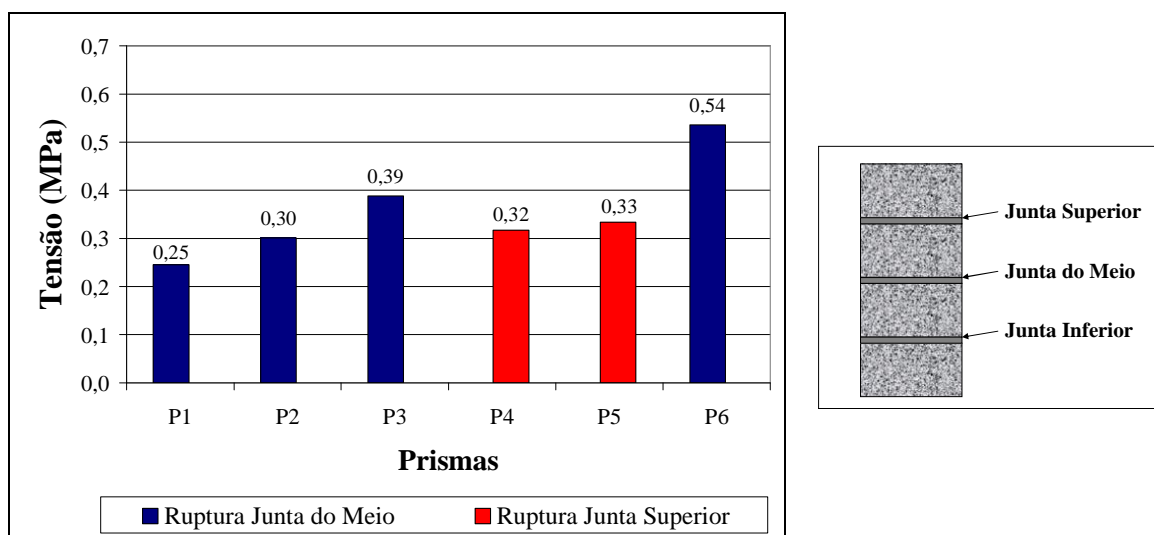


Figura 87. Resistência à tração na flexão nos prismas para argamassa mista no primeiro estudo preliminar.

Como pode ser observado na Figura 87, quatro prismas tiveram suas rupturas na junta do meio, ou seja, no terço médio central. Neste caso a resistência média à tração na flexão foi de 0,38 MPa (coeficiente de variação igual a 34%). Em dois casos a ruptura ocorreu na junta superior. Cabe salientar que a tensão na junta do meio estava muito acima da tensão de ruptura da junta superior. Os resultados da tensão na junta do meio podem ser observados na Figura 88.

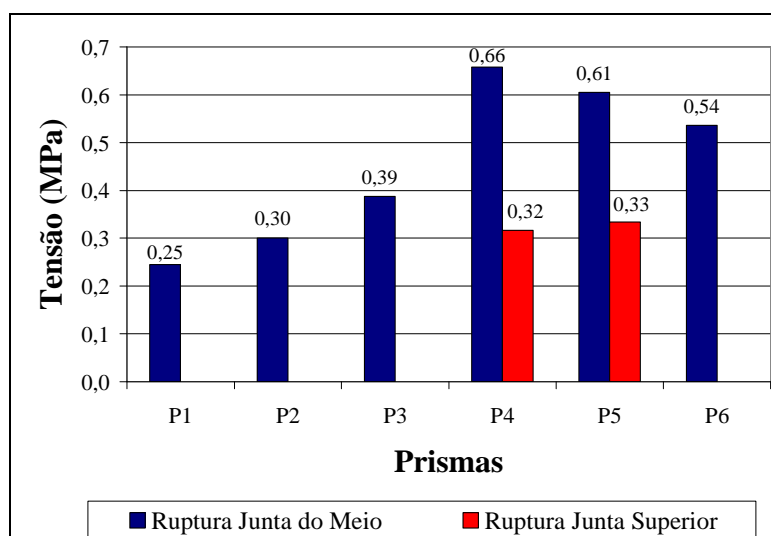


Figura 88. Resistência de aderência na flexão nos prismas para argamassa mista no primeiro estudo preliminar.

Considerando somente as tensões obtidas na junta do meio no momento de ruptura, verifica-se que a tensão média aumentaria para 0,46 MPa (coeficiente de variação igual a 37 %). Este valor foi acima do esperado e do obtido por Medeiros e Sabbatini (1995) e Solórzano (1994). Cabe ressaltar que, segundo a norma americana ASTM E518-80 e as normas de ensaio de flexão em vigas de concreto, somente os valores obtidos na ruptura no terço central (junta do meio) deverão ser considerados, os outros valores deverão ser desconsiderados.

No segundo estudo preliminar foram utilizados os mesmos blocos utilizados no estudo preliminar anterior e, no momento do assentamento, tinham seis meses de fabricação. Os blocos também foram pré-selecionados pela massa, porém agora em apenas dois grupos: Grupo 1 – blocos inferiores (mais pesados) (média de 11551 g) e Grupo 2 – blocos intermediários e superiores (média 11394 g). Além disso, antes do assentamento os blocos de concreto foram limpos com ar comprimido (utilizando um compressor de ar) para retirada do pó sobre as superfícies dos blocos que poderia influenciar na resistência de aderência.

Foram confeccionados seis prismas conforme norma NBR 8215 (1983), moldados com uma argamassa mista (cimento, cal e areia) semelhante à utilizada anteriormente com o mesmo agregado miúdo. No momento do assentamento foi fixado o volume de argamassa sendo pesados todos os filetes realizados pelo assentador. Os valores de resistência de aderência na flexão aos 28 dias podem ser observados na Figura 89.

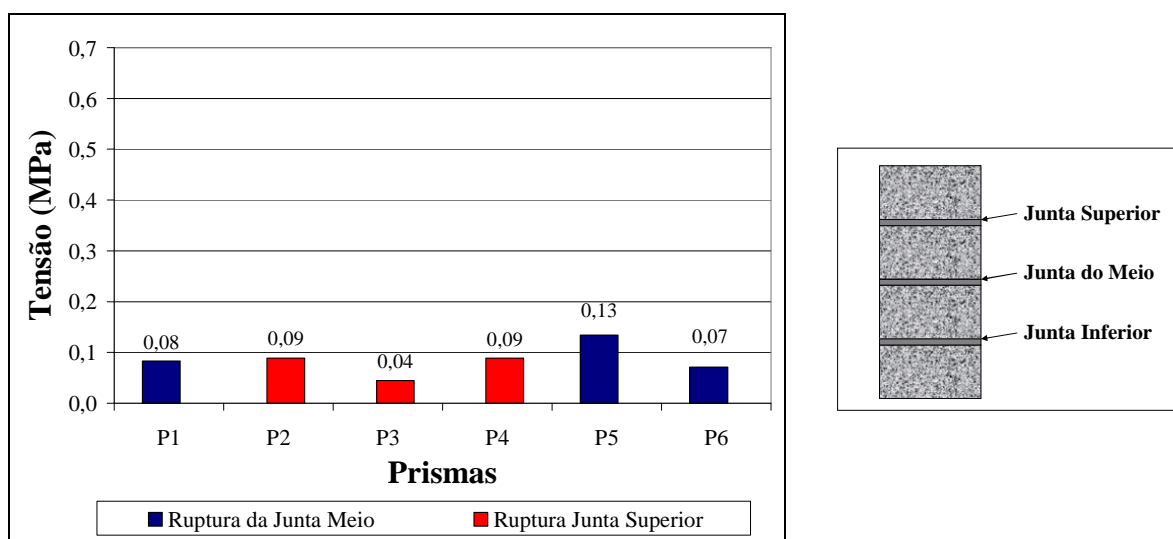


Figura 89. Resistência de aderência na flexão nos prismas para argamassa mista no segundo estudo preliminar.

Observa-se, na Figura 89, que três prismas romperam na junta do meio e os outros três na junta superior. Além disso, os valores foram muito inferiores aos obtidos no primeiro estudo preliminar. A resistência média dos prismas com ruptura na junta do meio foi de 0,085 MPa (coeficiente de variação de 36 %) sendo aproximadamente quatro vezes menor aos valores obtidos anteriormente.

Como os valores foram muito inferiores aos obtidos anteriormente, foi realizado um estudo exploratório com as metades restantes dos prismas após a ruptura. Nessa segunda ruptura, o vão foi reduzido pela metade (30 cm) e os cutelos superiores tinham distância de 10 cm (Figura 90b). A Figura 90a apresenta o ensaio sendo realizado. Assim foi possível obter a resistência de aderência em todas as juntas dos prismas.

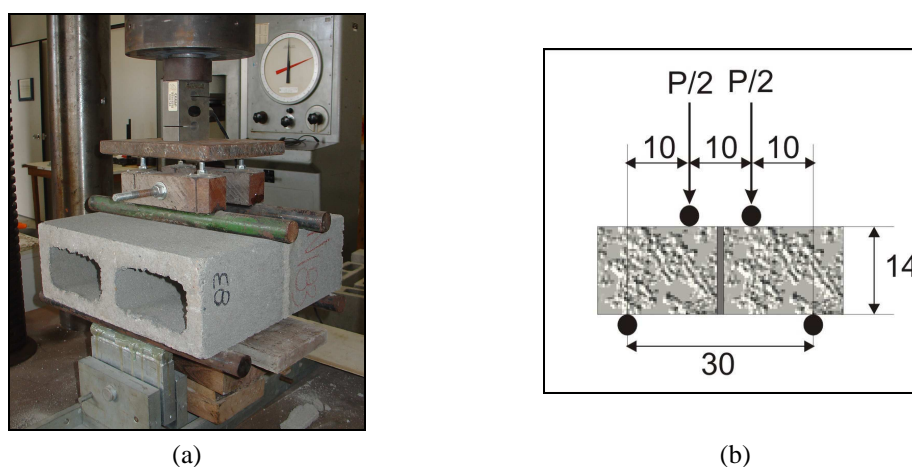


Figura 90. (a) Ensaio de resistência de aderência na flexão nos prismas (segunda ruptura) e (b) esquema com as dimensões deste ensaio.



Os valores de resistência individuais estão apresentados na Figura 91 e os valores médios na Tabela 36.

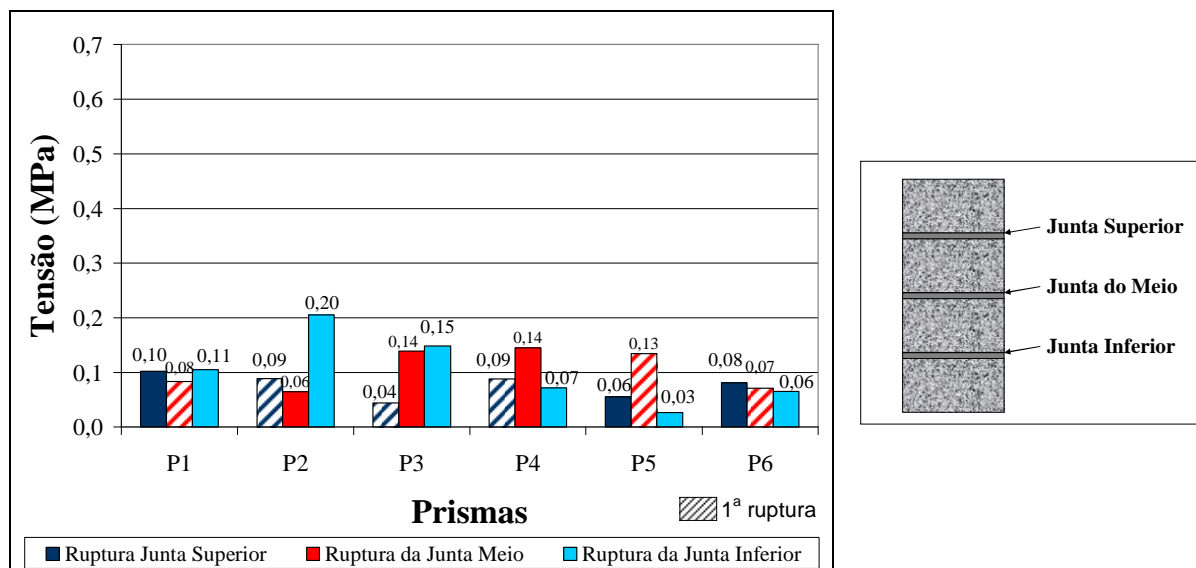


Figura 91. Resistência de aderência na flexão nos prismas da primeira e segunda ruptura.

Tabela 36. Resistência média de aderência na flexão para todas as juntas dos prismas analisados.

	Junta Superior	Junta do Meio	Junta Inferior
Resistência de aderência média (MPa)	0,08	0,11	0,10
CV (%)	28,9	35,0	62,2

Observa-se, na Figura 91, que os valores de resistência de aderência na flexão na segunda ruptura deveriam ser superiores aos obtidos na primeira ruptura. Porém em alguns casos esse comportamento não foi observado como, por exemplo, para o prisma 5. Para este prisma provavelmente ocorreu microfissuras nas outras juntas (superior e inferior) durante a primeira ruptura.

Com os valores de resistência média obtidos para cada junta (Tabela 36), verifica-se que a junta superior apresentou uma resistência de aderência levemente inferior as demais juntas. Possivelmente essa baixa resistência de aderência ocasiona, no primeiro ensaio, a ruptura nesta junta (superior) e não na junta do meio como era esperado, pois a junta do meio durante o ensaio está submetida as maiores tensões (no meio do vão).

Já a junta inferior obteve resistência média semelhante à obtida para a junta do meio. Uma das causas poderia ser a compactação do filete de argamassa em função do peso dos blocos no momento do assentamento sobre esta junta, ou seja, a junta inferior é sempre submetida ao peso de três blocos enquanto a junta do meio submetida a dois blocos e a junta superior a apenas



um bloco de concreto. Além disso, foram colocados blocos de concreto com menor massa na última fiada podendo ocorrer uma menor compactação. Para amenizar a diferença de compactação da junta, o ideal seria submeter à junta superior a pelo menos a massa de dois blocos no momento do assentamento.

Quanto à baixa resistência de aderência encontrada, pode ter sido provocada por alguns fatores: blocos de concreto estocados por muito tempo, cimento aventado (velho) e cal hidratada estocada por muito tempo.

Diante do exposto foi realizado um terceiro estudo preliminar com novos blocos de concreto produzidos também pela fábrica de Florianópolis, cimento Portland com adição de fíler calcário (CP II – F – 32) com 5 dias de produção e cal hidratada do tipo CH III nova.

Os blocos de concreto foram também pré-selecionados por massa: Grupo 1 – bloco inferior (massa = 11520 g), Grupo 2 – blocos meio inferiores (massa = 11440 g), Grupo 3 – blocos meio superiores (massa = 11475 g) e Grupo 4 – blocos superior (massa = 11490 g). Os blocos utilizados com sobrepeso para o último filete tinham massa entre 11525 g e 11535 g.

Foram moldados apenas dois prismas com a argamassa mista com as mesmas características apresentada anteriormente. Antes do assentamento, os blocos de concreto foram limpos com ar comprimido (utilizando um compressor de ar) e os filetes de argamassa pesados.

Os valores individuais de resistência de aderência na flexão aos 14 dias podem ser observadas na Figura 92 tanto para a primeira quanto para a segunda ruptura. Cabe ressaltar que, segundo Medeiros e Sabbatini (1994), a resistência de aderência na flexão de prismas de blocos de concreto já apresenta as resistências máximas aos 14 dias e são semelhantes aos 28 dias.

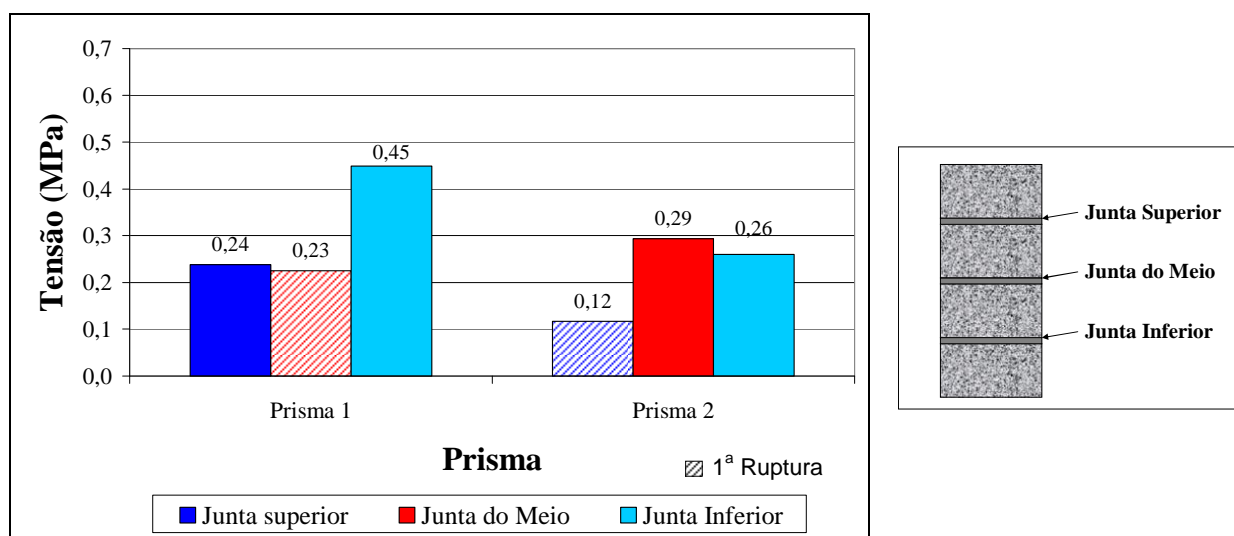


Figura 92. Resistência de aderência na flexão nos prismas da primeira e segunda ruptura para o terceiro estudo preliminar.

Os valores de resistência de aderência continuaram inferiores aos obtidos no primeiro estudo preliminar. A resistência média da primeira ruptura foi de 0,17 MPa (coeficiente de variação de 44 %). Novamente um prisma rompeu na junta do meio e o outro prisma na junta superior, apesar de ser colocado mais um bloco sobre prisma para amenizar esse efeito.

Já para a segunda ruptura, os valores de resistência de aderência foram superiores aos obtidos para a primeira ruptura, não sendo afetadas pela realização do primeiro ensaio.

Os valores baixos de resistência de aderência podem ter sido provocados por dois motivos: a limpeza dos blocos de concreto com compressor de ar, assim pequenas partículas de óleo (junto ao filtro do compressor) poderiam estar ficando aderidas na superfície, diminuindo assim a resistência de aderência; e o agregado miúdo estocado úmido dentro de uma caixa de água por dois anos (isso pode ter criado microorganismos que poderiam ficar aderidos na superfície dos grãos), além de utilizar areia fina de duna.

Assim, foi realizado o quarto estudo preliminar utilizando um novo agregado miúdo utilizado por uma empresa de argamassa da grande Florianópolis (não utilizando mais a mistura de areia média com areia fina de duna) e a limpeza dos blocos de concreto foi realizada com uma escova de nylon bem seca.

Os blocos de concreto foram novamente pré-selecionados em função da massa e também separados para utilização de sobrepeso no último filete como realizado anteriormente.

Foram moldados três prismas com argamassa mista (cimento, cal e areia), semelhante à utilizada anteriormente, porém a relação água/cimento foi de 1,52 em função da troca do agregado miúdo. A massa dos filetes foi determinada durante todo o assentamento.

Os valores individuais de resistência de aderência aos 14 dias obtidos no quarto estudo preliminar podem ser observados na Figura 93.

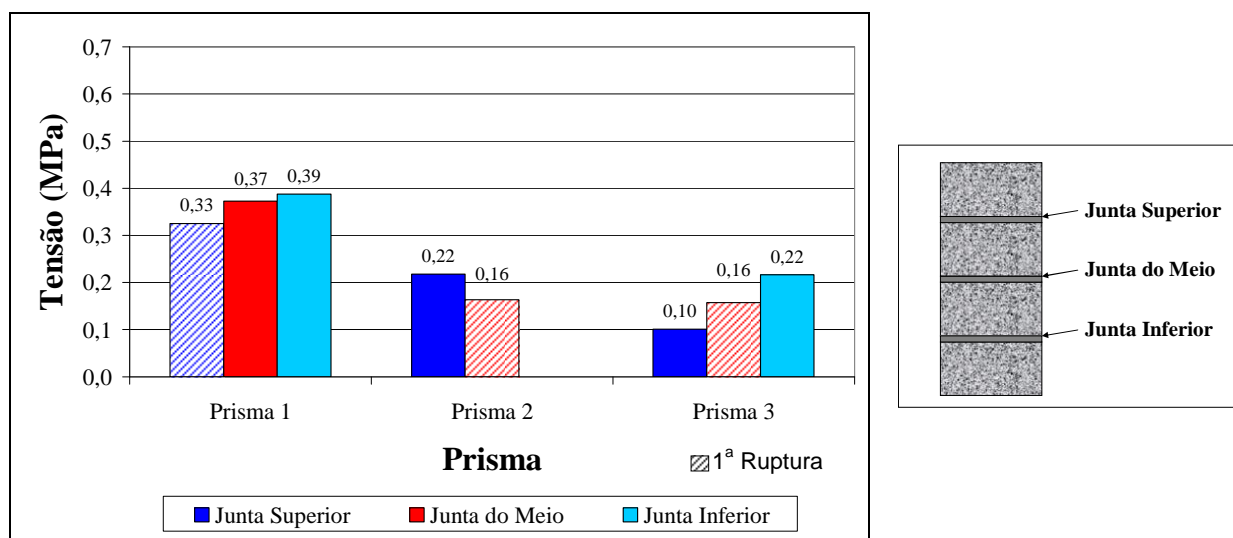


Figura 93. Resistência de aderência na flexão nos prismas da primeira e segunda ruptura para o quarto estudo preliminar.

O valor de resistência de aderência na flexão à ruptura da junta do meio foi de 0,16 MPa (coeficiente de variação de 2,7 %), novamente inferiores aos obtidos no primeiro estudo preliminar e a primeira ruptura para um prisma ocorreu na junta superior (maiores tensões de resistência de aderência verificados).

Neste caso os valores de resistência de aderência baixos foram influenciados significativamente pela temperatura verificada durante toda a cura (temperatura em torno dos 15°C), muito diferente daquelas ocorridas para o primeiro estudo preliminar (temperatura média de 26°C). Na realidade todos os ensaios dos estudos preliminares descritos anteriormente podem ter sido afetados de alguma maneira pela temperatura ambiente.

Então, para o quinto estudo preliminar, foi verificada a influência da temperatura na resistência de aderência.

Os prismas foram moldados em ambiente climatizado com temperatura de  $(23 \pm 1)^\circ \text{C}$  e umidade relativa de  $(70 \pm 5) \%$ . Os materiais utilizados para a confecção dos prismas (blocos de concreto, cimento, cal, agregado miúdo e a água) foram climatizados durante, no mínimo,

24 horas. O procedimento de mistura da argamassa mista também foi realizado nesse ambiente climatizado. A dosagem foi a mesma utilizada para o quarto estudo preliminar.

Os blocos de concreto, novamente, foram pré-selecionados em função da massa e a sua limpeza foi realizada apenas passando a mão com luva de látex para retirar o pó em todas as superfícies dos blocos que estariam em contato com a argamassa. Essa limpeza foi feita com o intuito de retirar as partículas de pó para estas não afetarem a resistência de aderência e uniformizar a superfície dos blocos de concreto.

Foram confeccionados seis prismas, sendo que três seriam mantidos numa temperatura de cura de  $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$  e os outros três com temperatura de  $(30 \pm 1)^\circ\text{C}$ . Para isso foram confeccionadas caixas de blocos de poliestireno expandido preparadas especialmente para controlar a temperatura durante 13 dias. A temperatura era controlada por termostatos que acionavam lâmpadas incandescentes para realizar o aquecimento dos ambientes que seriam mantidos os prismas. A Figura 94 apresenta o interior de uma caixa e as duas caixas utilizadas para a determinação da temperatura de cura e moldagem. Após 24 horas da moldagem dos prismas, os blocos de sobrepeso foram retirados e os prismas foram colocados dentro das caixas.



Figura 94. (a) Interior da caixa e (b) vista geral das duas caixas utilizadas para controlar a temperatura de cura.

Aos 14 dias foram obtidos os valores de resistência de aderência que estão apresentados na Figura 95.

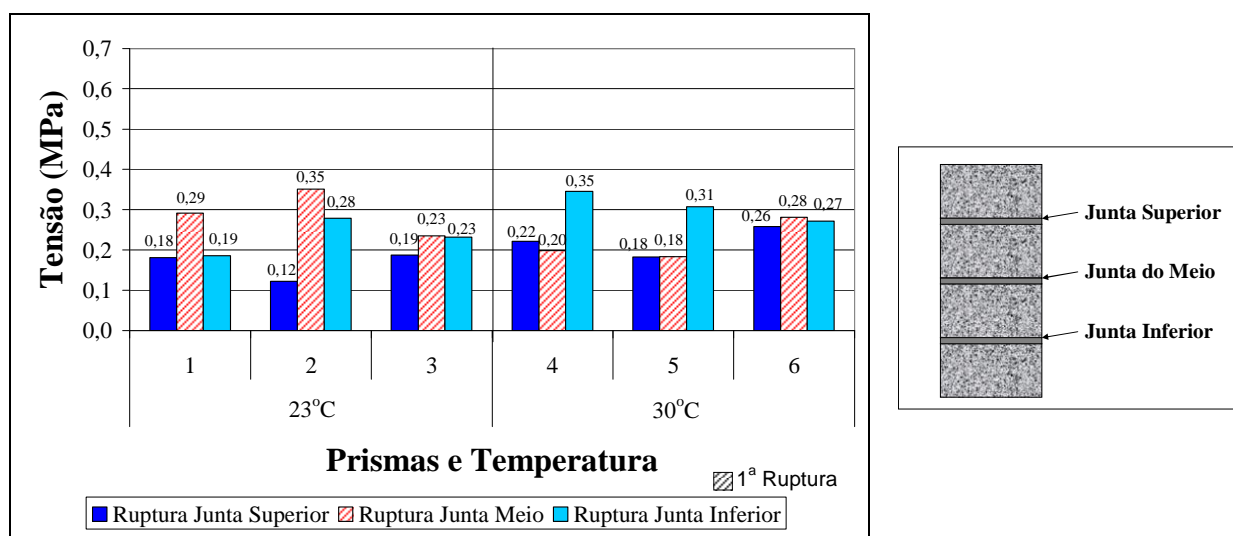


Figura 95. Resistência de aderência na flexão para prismas com temperatura de 23° C e 30° C para primeira e segunda ruptura para quinto estudo preliminar.

Para todos os prismas, a primeira ruptura ocorreu na junta do meio independentemente da temperatura (Figura 95). A resistência média da junta do meio para a temperatura de cura de 23° C foi de 0,29 MPa (coeficiente de variação de 20%), enquanto a resistência média para a temperatura de 30° C foi de 0,22 MPa (coeficiente de variação de 24%), mostrando, assim uma possível influência da temperatura na resistência de aderência na flexão, portanto esse parâmetro deve ser observado. Além disso, os valores obtidos de resistência de aderência na flexão para a temperatura de 23° C foi o mais próximo ao obtido no primeiro estudo preliminar. Cabe ressaltar a importância do controle de temperatura tanto de moldagem quanto de cura.

Já os valores médios da segunda ruptura, as rupturas nas juntas superiores, tiveram resistência média inferiores ou semelhantes às rupturas obtidas na junta do meio.

Com os resultados obtidos, conclui-se que após os cinco estudos preliminares foi possível definir a metodologia para determinar a resistência de aderência em prismas de blocos de concreto detalhada no item 3.3.6.2.

### 3.3 ESTUDO DEFINITIVO

Com todas as definições feitas a partir dos resultados obtidos dos estudos-piloto, prosseguiu-se com o Programa Experimental da pesquisa, na seguinte ordem: (i) primeiramente

são apresentados os materiais utilizados, (ii) apresentação e produção das argamassas, (iii) caracterização das argamassas de assentamento e das juntas de assentamento, (iv) estudo da transferência de água da argamassa para o bloco de concreto e (v) o estudo da resistência de aderência em mini-prismas e prismas.

### 3.3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Como já mencionado anteriormente, nesta pesquisa foram utilizados dois blocos de concreto, segundo critério já comentados no item 3.1.1. Já para a confecção das argamassas de assentamento empregaram-se os seguintes materiais: cimento Portland composto com adição de fíler calcário, CP II–F–32, cal hidratada do tipo CH III e agregado miúdo natural de origem quartzosa. Esses materiais foram escolhidos por serem adquiridos com facilidade na região da grande Florianópolis e utilizados nas obras de alvenaria estrutural da região.

A caracterização de todos os materiais que foram utilizados no restante do estudo está apresentada a seguir.

#### 3.3.1.1 Cimento

A caracterização do cimento utilizado, fornecida pelo fabricante, está apresentada nas Tabela 37 e Tabela 38. Apenas os ensaios massa específica e massa unitária foram realizados pela pesquisadora.

Observa-se, na Tabela 37, que foram utilizados cinco lotes de cimento. Isto porque o cimento era utilizado até no máximo 15 dias após a data de sua fabricação, pois após esse tempo foi verificada uma queda de resistência à compressão das argamassas, possivelmente devido ao processo de armazenamento (o cimento era retirado dos sacos de papelão e colocado em sacos plásticos que foram depositados em tambores de plástico fechados). Por isso optou-se pela utilização de cimentos com, aproximadamente, a mesma idade.

Tabela 37. Caracterização química do cimento Portland com adição de filer calcário – CP II - F - 32 – utilizado.

Lote	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Perda ao Fogo.	CaO Livre	Resíduo Insolúvel.	Eq. Alc.
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1	4,12	18,50	2,60	60,05	5,03	3,05	5,00	1,96	1,41	0,60
2	4,15	18,62	2,59	60,03	5,11	2,81	4,95	1,99	1,21	0,59
3	4,12	18,39	2,57	59,94	5,13	3,01	5,24	1,96	1,91	0,59
4	4,16	18,50	2,58	59,89	5,02	2,94	5,42	1,01	1,49	0,60
5	4,11	18,37	2,57	59,99	5,10	2,97	5,05	1,54	1,56	0,60
Média	4,13	18,48	2,58	59,98	5,08	2,96	5,13	1,69	1,52	0,60
CV	0,47	0,49	0,45	0,10	0,88	2,77	3,40	22,44	15,12	0,82

Tabela 38. Caracterização física do cimento Portland com adição de filer calcário - CP II - F - 32 – utilizado.

Lote	Exp Que	Tempo de pega (h:min)		Con Nor	S. E. Blaine	# 200	# 325	Resistência à compressão (MPa)				M Esp.	MU
	mm	Início	Fim	%	cm <sup>2</sup> /g	%	%	1	3	7	28	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>
1	0,5	02:55	03:45	25,5	3280	3,7	15,4	15,6	28,7	34,9	42,8	3,08	1,17
2	0,5	03:00	04:00	25,7	3160	4,7	18,0	14,2	25,0	30,5	38,8	3,09	1,16
3	0,0	03:05	04:00	25,7	3220	4,1	17,7	14,6	26,9	33,0	41,0	3,08	1,15
4	0,5	03:10	04:00	25,5	3190	4,1	16,9	13,9	27,0	33,3	41,2	3,08	1,17
5	0,5	03:00	04:00	25,1	3120	3,4	16,1	14,8	27,1	33,7	-	3,09	1,17
Média	0,4	03:02	03:57	25,5	3194	4,0	16,8	14,6	26,9	33,1	40,9	3,08	1,16
CV	50	2,80	2,53	0,86	1,70	11,0	5,8	4,0	4,4	4,4	3,5	0,16	0,69

Legenda da tabela:

Exp Que – Expansão à quente

Con Nor – Água da pasta de consistência normal

S. E. – Superfície específica

# 200 – Porcentagem em massa retida na peneira de abertura de 0,075mm

# 325 – Porcentagem em massa retida na peneira de abertura de 0,045mm

M Esp – Massa específica

MU – Massa unitária

Vale ressaltar que praticamente não houve alterações da composição (Tabela 37), nem das propriedades físicas determinadas (Tabela 38), para os cinco lotes de cimento utilizados neste trabalho, que pudesse prejudicar a análise dos resultados desta pesquisa.

### 3.3.1.2 Cal hidratada

A caracterização da cal hidratada do tipo CH III, fornecida pelo fabricante, é apresentada na Tabela 39. Apenas os ensaios de massa específica e massa unitária foram realizados pela pesquisadora.

Para a cal hidratada, foram utilizados quatro lotes distintos. A cal hidratada era armazenada durante, no máximo, um mês. Após esse período a cal se aglomerava e não conferia a mesma plasticidade à argamassa. Assim, ultrapassado esse tempo, era adquirido um novo lote.

Novamente vale ressaltar que, como ocorreu para o cimento, praticamente não houve alterações na composição e nas propriedades físicas determinadas para os quatro lotes utilizados, de modo que pudesse prejudicar a análise dos resultados dessa pesquisa.

Tabela 39. - Características da cal hidratada do tipo CH III

Lote	Componente				Resíduo insolúvel	Massa específica	Massa unitária
	CaO	MgO	FeO e AlO	Perda ao fogo			
	%	%	%	%			
1	40,1	27,9	0,46	27,9	3,65	2,42	0,63
2	39,8	27,6	0,48	27,7	3,82	2,40	0,66
3	39,9	27,8	0,45	28,1	3,93	2,42	0,64
4	40,0	27,9	0,44	27,7	3,65	2,41	0,62
Média	40,0	27,8	0,46	27,8	3,76	2,41	0,64
CV	0,28	0,44	3,23	0,60	3,16	0,34	2,32

### 3.3.1.3 Agregado miúdo

A caracterização do agregado miúdo é apresentada na Tabela 40 e na Figura 96. Foi necessária a utilização de dois lotes do agregado miúdo obtidas do mesmo fornecedor. Percebe-se pouca diferença entre as características avaliadas para cada um dos lotes.

Tabela 40. Características dos agregados miúdos.

Propriedade	Norma	Areia Média Fina*	
		Lote 1	Lote 2
Módulo de finura	NBR 7217 (1987)	1,80	1,85
Material pulverulento (%)	NBR 7219 (1987)	4,70	4,85
Massa específica (g/ cm <sup>3</sup> )	NBR 9776 (1987)	2,60	2,61
Massa unitária (g/ cm <sup>3</sup> )	NBR 7251 (1982)	1,18	1,18

\* Classificação do fornecedor do agregado miúdo

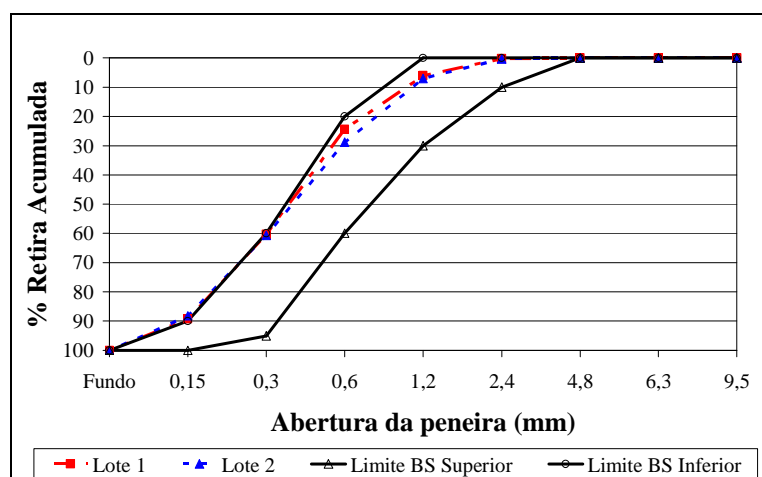


Figura 96. Curvas granulométricas dos agregados miúdos utilizados.



### 3.3.1.4 Aditivos

Conforme mencionado no item 3.1.1, neste estudo foram utilizados dois tipos de aditivo: incorporador de ar e retentor de água. As características dos aditivos empregados estão apresentadas na Tabela 41 e foram fornecidas pelo fabricante, com exceção da massa específica do aditivo retentor de água.

Tabela 41. Características dos aditivos empregados.

Denominação do aditivo	Incorporador de ar	Retentor de água
Composição química	Saponificação do breu	Derivado de um polissacarídeo natural
Massa específica	1004 g/l	1,28 g/ cm <sup>3</sup>
Estado físico	Líquido	Pó
Teor de sólidos	0,5%	-
Dosagem recomendada pelo fabricante	0,002l/ kg de cimento	0,05 a 0,35 % da massa do cimento

### 3.3.1.5 Bloco de Concreto

Conforme citado e justificado anteriormente (item 3.1.1), nesta pesquisa foram utilizados blocos de concreto procedentes de duas fábricas distintas, uma localizada na região da grande Florianópolis (Santa Catarina) e outra no município de Blumenau (Santa Catarina). Os blocos de concreto das duas empresas tinham resistência característica nominal ( $f_{bk}$ ) de 6MPa.

As características básicas determinadas são aquelas já normalizadas para os blocos de concreto: dimensões, resistência à compressão, teor de umidade ao ar, absorção de água total, área bruta e líquida, massa específica seca e saturada. Além disso, determinou-se a absorção de água por capilaridade para cada face dos blocos de concreto. A Tabela 42 mostra um resumo dos ensaios, normas e o número de corpos-de-prova utilizados.

Tabela 42. Caracterização básica dos blocos de concreto.

Característica determinada	Método de ensaio	Número de corpos-de-prova
Dimensões/geometria	NBR 12118 (2006)	3
Resistência à compressão	NBR 12118 (2006)	6
Teor de umidade ao ar	NBR 12118 (2006)	3
Absorção de água total	NBR 12118 (2006)	3
Absorção de água por capilaridade	NBR 15259 (2005) adaptada (item 3.2.2)	3
Massa específica seca	NBR 12118 (2006)	3
Massa específica saturada	NBR 12118 (2006)	3
Área bruta	NBR 12118 (2006) Levantamento fotográfico (anexo 2)	3
Área líquida	NBR 12118 (2006) Levantamento fotográfico (anexo 2)	3

Os ensaios apresentados na Tabela 42 foram realizados tanto para a fábrica de Florianópolis quanto Blumenau para todos os lotes utilizados. Para a fábrica de Florianópolis, utilizaram-se dois lotes e para a fábrica de Blumenau apenas um lote. A Tabela 43 apresenta a data de moldagem de cada lote para cada fábrica correspondente e o número de blocos de concreto coletados.

Tabela 43. Data de moldagem para cada lote conforme a fábrica de bloco de concreto.

Fábrica	Lote	Data de moldagem	Número de blocos de concreto
Florianópolis	Lote 1	13/ 11/ 2006	240
	Lote 2	07/ 05/ 2007	240
Blumenau	Lote 1	12/ 01/ 2007	260

A porosidade dos blocos de concreto foi caracterizada por meio de porosimetria por intrusão de mercúrio (equipamento da marca Micromeritics pore sizer 9320 disponível no Laboratório de Meios Porosos – LMPT/ UFSC), sendo determinadas, a distribuição dos tamanhos dos poros e o diâmetro médio dos poros, além da área específica (considerando um ângulo de contato de 140° e uma tensão superficial do mercúrio de  $4,8 \cdot 10^{-1}$  N/m). A localização da retirada da amostra para este ensaio foi realizada após os resultados do item 3.2.2. Assim foram selecionadas duas regiões dos blocos de concreto TB (face superior e face inferior) e uma região para os blocos TF (face superior). Os corpos-de-prova foram retirados das regiões citadas sem alterar a superfície da face e possuíam um formato de cubo de lado de 10 mm. Após o seccionamento, as amostras foram limpas em álcool isopropílico num ultra-som durante 5 minutos. Em seguida foram secas em estufa a vácuo numa temperatura a  $(40 \pm 2)$  °C durante no mínimo 72 horas. Cabe ressaltar que os corpos-de-prova foram retirados as amostras cujas faces haviam sido caracterizadas em função da absorção de água por capilaridade e apresentaram os mesmos valores nesta propriedade.

Também, foram determinadas as propriedades físicas e mecânicas do concreto constituinte dos blocos de concreto. Esse levantamento foi realizado pois, conforme comentado no item 3.2.2, as faces superior e inferior apresentaram propriedades distintas, causadas devido ao processo de fabricação nas máquinas de vibro-compressão. Assim, o concreto integrante dos blocos poderia apresentar variações nas propriedades de acordo com a posição no bloco de concreto.

Para avaliar a diferença das propriedades em função da altura, os blocos de concreto foram divididos em três regiões ao longo da altura (superior, meio e inferior) e sete regiões ao longo da largura e comprimento. As amostras foram numeradas conforme a Figura 97.

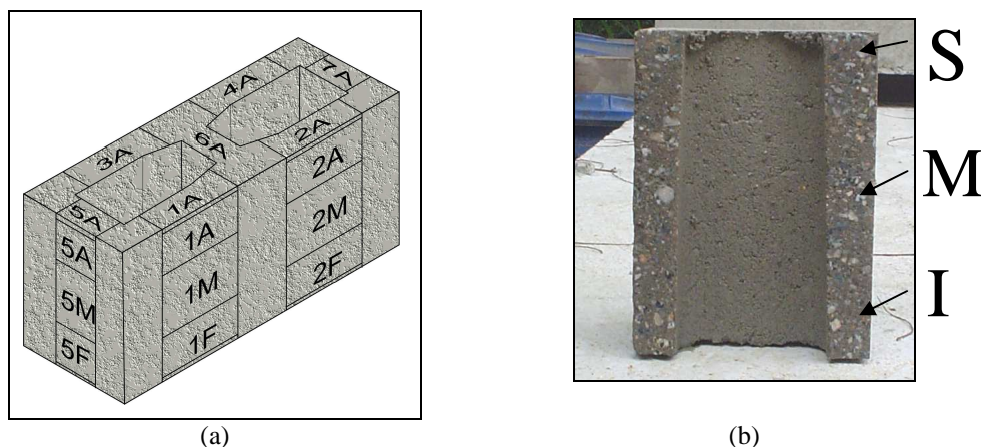


Figura 97. (a) Numeração das paredes e (b) posição dos corpos-de-prova.

Para este levantamento, utilizaram-se quatro blocos de concreto de cada fábrica. Desses blocos de concreto retiraram-se corpos-de-prova nos formatos prismáticos e cilíndricos, para determinação da porosidade aberta, absorção de água por capilaridade, absorção total, resistência à compressão e resistência à tração por compressão diametral.

Os corpos-de-prova destinados à resistência à compressão (formato prismáticos), foram preparados utilizando-se uma serra diamantada para o seccionamento dos blocos de concreto. Na Figura 98 pode ser observada o processo de seccionamento dos blocos de concreto e do aspecto final dos corpos-de-prova prismáticos. Esses corpos-de-prova foram serrados até a obtenção de dimensões de aproximadamente (25x25x50) mm. As dimensões da largura dos corpos-de-prova foram variáveis devido à conicidade das paredes do bloco de concreto que muda conforme a altura. Por este motivo, os corpos-de-prova eram medidos antes da realização do ensaio e utilizava-se a menor área para o cálculo da resistência à compressão.

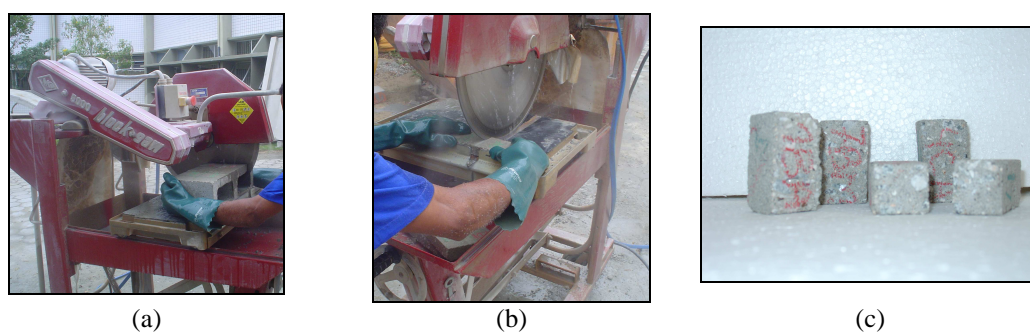


Figura 98. - Preparação dos corpos-de-prova prismáticos: (a) seccionamento do bloco de concreto, (b) detalhe do seccionamento e (c) aspecto final dos corpos-de-prova prismáticos.

Já para os corpos-de-prova cilíndricos destinados a resistência à tração por compressão diametral, a preparação se deu utilizando-se uma serra-copo de diâmetro interno de 50 mm acoplada numa furadeira de bancada. A Figura 99 mostra a preparação das amostras e o aspecto final dos corpos-de-prova cilíndricos. Cabe ressaltar também que, assim como para os corpos-de-prova prismáticos, antes da realização do ensaio, os corpos-de-prova eram medidos e suas dimensões levadas em consideração para o cálculo da resistência à tração por compressão diametral.

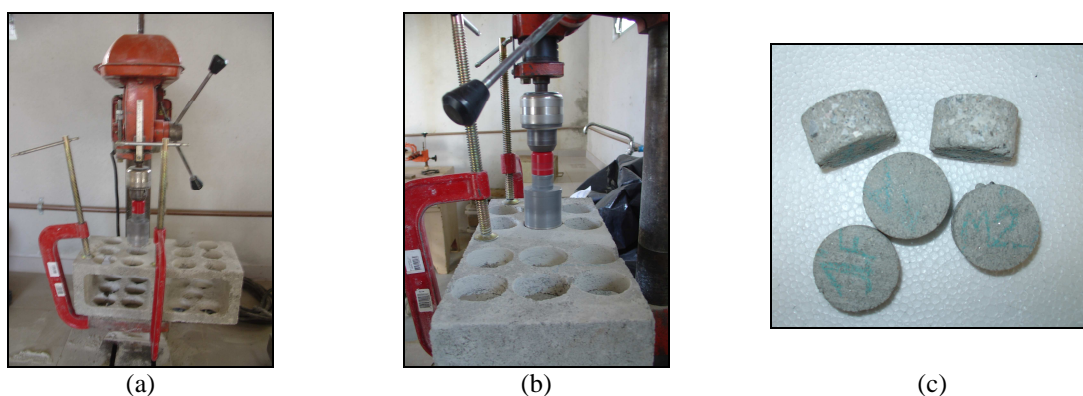


Figura 99. Preparação dos corpos-de-prova cilíndricos: (a) seccionamento do bloco de concreto, (b) detalhe do seccionamento e (c) aspecto final dos corpos-de-prova cilíndricos.

Após a preparação dos corpos-de-prova, tanto prismáticos quanto cilíndricos, estes foram limpos com ar comprimido para a remoção das impurezas (pós) provenientes do seccionamento. Em seguida, os corpos-de-prova foram mantidos numa estufa a  $(50 \pm 2) ^\circ\text{C}$  até a constância de massa. Esta redução da temperatura de secagem foi utilizada para evitar os efeitos de microfissuras nos corpos-de-prova e assim todas as amostras foram ensaiadas nas mesmas condições e, portanto, foram sujeitas as mesmas alterações.

Assim que era realizada a determinação da massa seca, os corpos-de-prova eram imersos em água para a saturação total. A porosidade aberta foi obtida pela determinação da massa saturada e seca do corpo-de-prova, assim como o volume dos corpos-de-prova, determinado por meio da balança hidrostática.

Após a determinação da porosidade aberta, os corpos-de-prova foram novamente secos em estufa a  $(50 \pm 2)$  °C até a constância de massa. Em seguida, os corpos-de-prova prismáticos foram capeados com pasta de gesso para realização do ensaio de resistência à compressão.

Para os ensaios de resistência à compressão e à tração por compressão diametral foi utilizada uma prensa com aplicação de carga numa velocidade de deslocamento do pistão constante de 1,0 mm/min.

### 3.3.2 Apresentação e produção das argamassas de assentamento

Após a realização do estudo-piloto foram selecionadas quatro argamassas de assentamento (conforme o item 3.2.5). Cabe ressaltar que as argamassas possuíam trabalhabilidade adequada para o assentamento do bloco de concreto e relações água/cimento iguais.

Todas as argamassas foram produzidas utilizando um misturador mecânico – argamassadeira – preconizado na norma NBR 7215 (1996). O procedimento de mistura utilizado foi o recomendado pela norma NBR 13276 (2005) e está detalhado no item 3.2.5.

A quantidade de material utilizada foi sempre a mesma para todos os ensaios realizados. A Tabela 44 resume as argamassas produzidas.

Tabela 44. Traços, quantidade de material utilizado, relação água/cimento, relação água/materiais secos procedimento e tempo de mistura das argamassas a serem estudadas.

Argamassa	Traço (volume)	Cimento (g)	Cal (g)	Agregado miúdo (g)	a/c	H <sup>+</sup> (%)	Procedimento e tempo de mistura
Mista	1:1:5	380,0	205,2	1915,2	1,52	23,1	4 minutos V1 <sup>++</sup> NBR 13276 (2005)
Mista + Incorporador de Ar <sup>*</sup>	1:1:6	330,0	178,2	1996,5	1,52	20,0	90 seg V1 <sup>++</sup> NBR 13276 (2005)
Cimento + Incorporador de Ar <sup>**</sup>	1:6	355,0	-	2147,8	1,52	21,6	90 seg V1 <sup>++</sup> NBR 13276 (2005)
Cimento + Retentor + Incorporador de ar <sup>***</sup>	1:5,5	383,0	-	2121,8	1,52	23,2	90 seg V1 <sup>++</sup> NBR 13276 (2005)

\* Teor de aditivo incorporador de ar utilizado 0,00151/kg de cimento

\*\* Teor de aditivo incorporador de ar utilizado 0,00051/kg de cimento

\*\*\* Teor de aditivo incorporador de ar de 0,0021/kg de cimento e retentor de água de 0,4% da massa do cimento

<sup>+</sup> H - Relação água/materiais secos

<sup>++</sup> V1 - Velocidade 1 (baixa)

As argamassas apresentadas na Tabela 44 foram utilizadas para o estudo da transferência de água da argamassa para o bloco de concreto e de resistência de aderência na flexão, tanto em prisma quanto em mini-prisma. Para a moldagem dos prismas, o procedimento de mistura era repetido várias vezes para a confecção das juntas, uma vez que a quantidade de argamassa não era suficiente para a moldagem de todas as fiadas dos prismas. Além disso, assim estaria se padronizando a argamassa para todos os ensaios, principalmente para aquelas com aditivos onde o misturador e a quantidade de material no misturador influenciam nas propriedades das argamassas.

Cabe ressaltar que, todas as argamassas foram produzidas em ambiente climatizado, temperatura de  $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $(70 \pm 5)\%$ , e seus materiais constituintes eram mantidos dentro desse ambiente, inclusive água.

### 3.3.3 Caracterização das argamassas de assentamento

As argamassas de assentamento foram caracterizadas segundo diversos métodos de ensaio, no estado fresco e endurecido. Alguns métodos foram selecionados após a realização dos estudos-piloto que serão citados a seguir.

No estado fresco, foram avaliadas as seguintes propriedades: trabalhabilidade (GTec Teste – Casali, 2003), retenção de água (NBR 9287, 1986 e NBR 13277, 2005), índice de consistência – *flow table* (NBR 7215, 1996), teor de ar incorporado e massa específica

(NBR 13278, 2005). Também foram determinadas as características reológicas dessas argamassas pelo *Squeeze Flow* com geometria circular e retangular sem restrição (livre) conforme metodologia apresentada no item 3.2.3.1.

Além disso, avaliou-se o tempo de início de pega para todas as argamassas analisadas. Esta análise foi realizada pois a utilização de aditivos retentores de água pode retardar as reações de hidratação do cimento, como mencionado no item 2.2.1. Outro fator que motivou a realização desse ensaio foi a verificação do tempo de realização da rasadura dos corpos-de-prova (5x10) cm entre as argamassas. Quando era realizada a moldagem dos corpos-de-prova (5x10) cm, normalmente deixava-se um excesso de argamassa sobre o molde. Após aproximadamente uma hora, para as argamassas mistas, realizava-se a rasadura do corpo-de-prova (regularização da superfície). Com esse procedimento não ocorria a redução da dimensão dos corpos-de-prova e minimizavam-se os efeitos de exsudação e retração plástica da mistura. Já para as argamassas com aditivos, esse tempo aumentava de uma hora para duas horas no mínimo.

Para a determinação do tempo de pega utilizou-se o método calorimétrico semi-adiabático. Logo após sua preparação, as argamassas eram isoladas dentro de blocos de poliestireno expandido, onde foram imersos os termopares. A quantidade de argamassa utilizada no ensaio era determinada e em seguida o calorímetro era tampado e vedado. A partir desse momento dava-se início do monitoramento com um sistema de aquisição de dados<sup>36</sup> da variação da temperatura em função do tempo, proveniente das reações de hidratação. Foram realizadas duas repetições para cada argamassa. Cabe ressaltar que todos os calorímetros utilizados tinham medidas semelhantes (Figura 100) e foram mantidos durante todo o ensaio em um ambiente climatizado, temperatura de  $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $(70 \pm 5)\%$ .

---

<sup>36</sup> Aquisição de dados realizadas por meio de um *datalogger* marca Agilent modelo 34970A, com a disponibilidade de 40 canais.



Figura 100. Calorímetro utilizado para a determinação do tempo de pega das argamassas de assentamento.

No estado endurecido, as seguintes propriedades foram determinadas: resistência à compressão, resistência à tração na flexão e módulo de elasticidade. Para a resistência à compressão foram utilizados corpos-de-prova com dimensões (5x 10) cm (NBR 7215, 1996), (4x 4x 8) cm (NBR 13279, 2005) e (2,5x 1,0x 8,5) cm (item 3.2.4.1). Já resistência à tração na flexão determinou-se em corpos-de-prova (4x 4x 16) cm (NBR 13279, 2005) e (2,5x 1x 17) cm (item 3.2.4.2). O módulo de elasticidade avaliou-se em corpos-de-prova (5x 10) cm e (2,5x 1x 17) cm (item 3.2.4.3). Essas dimensões de corpos-de-prova foram selecionadas, pois são preconizadas pelas normas (NBR 7215, 1996 e NBR 13279, 2005) ou após ter sido realizado um estudo piloto (item 3.2.4).

Apesar de não ter sido verificada influência da dimensão dos corpos-de-prova na determinação das propriedades mecânicas no estudo piloto, optou-se por determiná-las nas dimensões preconizadas por norma, pois no estudo piloto analisou-se apenas argamassa mista (cimento, cal e areia). Assim, para outros tipos de argamassa, a dimensão do corpo-de-prova poderia influenciar as propriedades do estado endurecido.

### 3.3.4 Caracterização das juntas de assentamento

As juntas de assentamento foram caracterizadas no estado fresco (tempo de início de pega) e no estado endurecido (resistência à compressão, resistência à tração na flexão, módulo de elasticidade e porosidade).

A determinação do início de pega das juntas de assentamento foi realizada com o intuito de verificar uma possível diferença no tempo de início de pega em função da transferência de água da argamassa para o bloco de concreto. Esse estudo foi motivado pois, após uma hora da moldagem dos prismas, foi verificada uma diferença visível da altura de



ascensão capilar no bloco de concreto em função do tipo de argamassa (Figura 101). Para a argamassa que apresentava maior altura de ascensão capilar (argamassa de cimento com incorporador de ar), a junta apresentava-se mais rígida. Entretanto, essa mesma argamassa que havia sido moldada em corpos-de-prova impermeáveis logo após o término da moldagem dos prismas, apresentava-se ainda fluída (obviamente por não ter ocorrido a perda de água da argamassa para o molde metálico).



Figura 101. Diferença da altura de ascensão capilar no bloco de concreto (destacadas pelos círculos): prisma da esquerda moldado com argamassa de cimento com incorporador de ar mais retentor de água e prisma da direita moldado com argamassa de cimento apenas incorporador de ar.

Assim o objetivo desse estudo era verificar se uma junta de assentamento submetida à perda de água apresentava tempo de início de pega menor que uma junta de assentamento que não fosse submetida a essa perda, além de se comparar os tipos de argamassa.

Para atingir esse objetivo foi montado um calorímetro com dimensões suficientes para colocar dois prismas de dois blocos de concreto no seu interior. Um prisma era moldado com blocos de concreto impermeáveis (revestido com filme de PVC transparente – Figura 102e) e o outro com blocos de concreto pré-selecionados pela massa. Desse modo ter-se-ia uma junta com sucção e a outra sem sucção. Além disso, a junta sem sucção teria a mesma compactação gerada pelo bloco de concreto, devido ao assentamento, em relação à outra junta com sucção.

Logo após a mistura da argamassa, o prisma com os blocos impermeáveis era moldado já dentro do calorímetro. Após seu assentamento, o prisma era posicionado e os termopares eram fixados na junta de assentamento (no mínimo eram utilizados 4 termopares). Em seguida era realizado o assentamento do outro prisma, fora do calorímetro, que logo após a moldagem, este era colocado dentro do mesmo. Assim que o prisma era posicionado, os termopares eram colocados ao longo da junta com sucção. Logo após o término da colocação dos

termopares, o calorímetro era fechado e começava o monitoramento da variação da temperatura com o tempo. Cabe ressaltar que também foi monitorada a temperatura dentro do calorímetro e do ambiente climatizado. A Figura 102 apresenta as dimensões do calorímetro utilizado, o posicionamento dos termopares, o ensaio pronto para iniciar e a configuração final do ensaio.

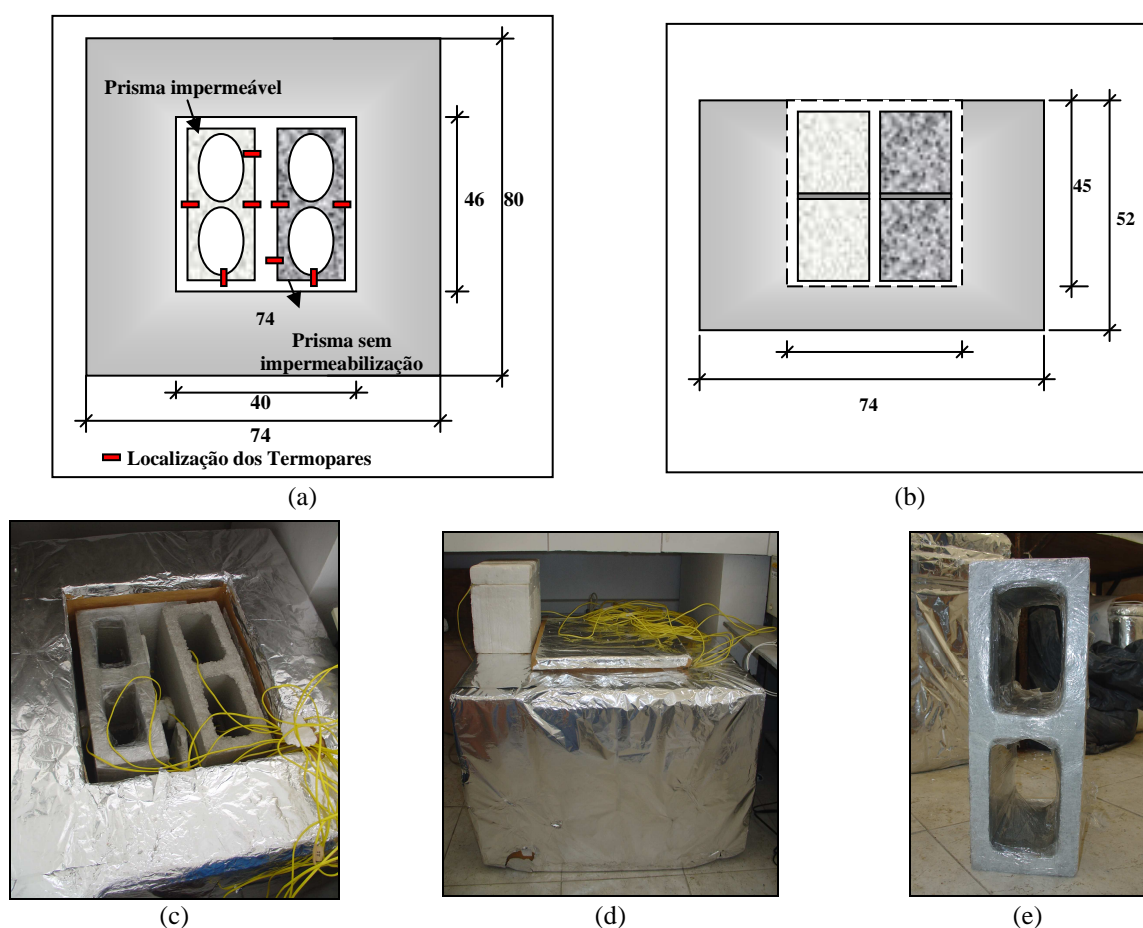


Figura 102. Ensaio de início de pega das juntas de assentamento: (a) dimensões da vista superior de calorímetro e localização dos termopares, (b) dimensões da vista frontal do calorímetro, (c) ensaio pronto para iniciar, (d) configuração final do ensaio e (e) bloco de concreto revestido com filme de PVC transparente.

Esse ensaio foi realizado para as quatro argamassas selecionadas e foram feitas duas repetições para cada uma.

Após 24 horas do início do ensaio, o monitoramento era cessado e verificava-se o posicionamento real dos termopares, pois a intenção era posicioná-los no meio da junta (Figura 103). O posicionamento dos termopares no meio da junta se deu com auxílio pedaços de poliestireno expandido (Figura 103c).

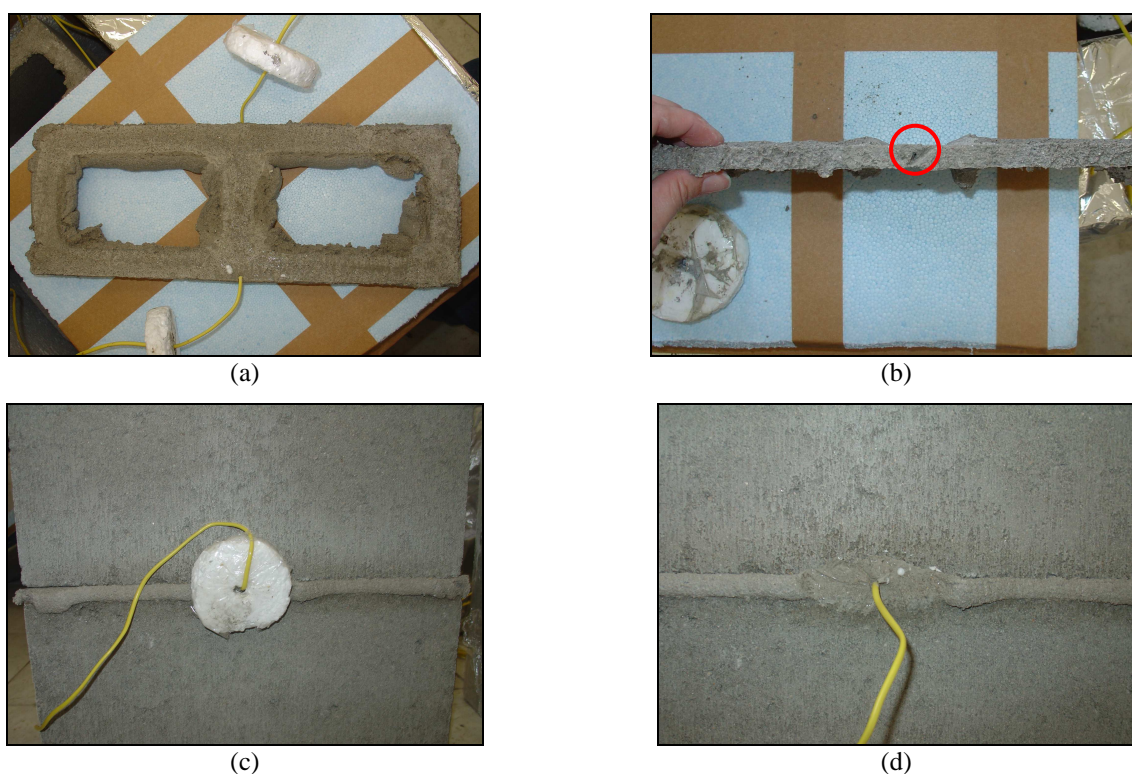


Figura 103. (a) junta moldada com o bloco impermeável, (b) detalhe da marcação do termopar no meio da junta moldada com bloco impermeável, (c) junta moldada com bloco de concreto e (d) detalhe do termopar no meio da junta após o ensaio.

Para a determinação das propriedades da argamassa de assentamento no estado endurecido foi necessário preparar os corpos-de-prova com dimensões (2,5x 1,0x 17,0) cm (pré-definida no item 3.2.4) para avaliação da resistência à compressão, resistência à tração na flexão e módulo de elasticidade. Assim, foi realizado o assentamento de um prisma com dois blocos de concreto (Figura 104a) e após 5 minutos do contato do bloco de concreto com a argamassa realizava-se o seguinte procedimento: (i) retirava-se o bloco superior “2” (Figura 104b), (ii) retornava-se o bloco “2” para a mesma posição, (iii) rotacionava-se o prisma em 180° (Figura 104c), (iv) retirava-se o bloco “1” que agora era o superior, (v) cortava-se a argamassa com estilete de modo a obter corpos-de-prova com as dimensões desejadas (Figura 104d) e (vi) recolocava-se o bloco “1” e era mantido até 24 horas após a moldagem (Figura 104e).

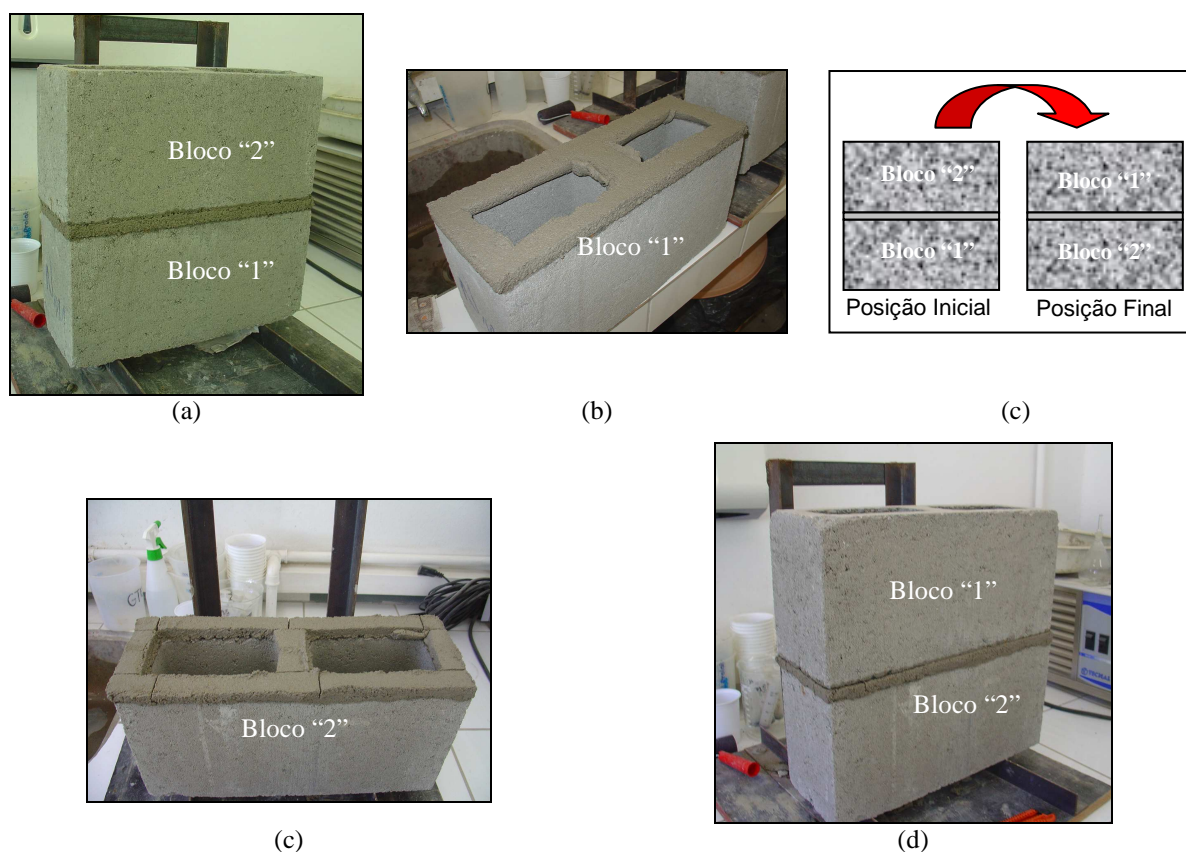


Figura 104. Preparação dos corpos-de-prova da junta de assentamento: (a) moldagem do prisma, (b) retirada do bloco superior, (c) corte da junta de assentamento e (d) retorno do bloco no prisma.

De cada prisma moldado, eram retirados quatro corpos-de-prova de cada argamassa. No dia seguinte era retirado o bloco e obtido os corpos-de-prova. Esses corpos-de-prova eram mantidos durante 13 dias em ambiente controlado de temperatura de  $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $(75 \pm 5)\%$ . Os ensaios foram realizados com 14 dias, pois esta foi a idade utilizada nos ensaios de prismas e mini-prismas como será descrita posteriormente.

Os procedimentos dos ensaios de resistência à compressão, resistência à tração na flexão e módulo de elasticidade foram definidos nos estudos pilotos e estão detalhados no item 3.2.4.

Para verificar a influência da sucção na microestrutura das juntas foi determinada a porosidade por meio do ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio para duas argamassas: argamassa mista e a argamassa de cimento com incorporador de ar. As amostras foram retiradas após a determinação do tempo de início de pega. As amostras foram seccionadas com 14 dias com dimensões de  $(10 \times 10 \times 10)$  mm e limpas em seguida com álcool isopropílico utilizando o



ultrassom. Após a limpeza, as amostras foram secas numa estufa à vácuo a  $100 \pm 2^\circ \text{C}$  até o momento da realização do ensaio.

### 3.3.5 Estudo da transferência de água da argamassa de assentamento para o bloco de concreto

A avaliação da transferência de água da argamassa para o bloco de concreto foi determinada tanto pela absorção dos blocos de concreto (água de amassamento<sup>37</sup>) quanto pela perda de água da argamassa. A metodologia foi desenvolvida no estudo piloto apresentado no item 3.2.6.1.

Primeiramente foi necessária a homogeneização das amostras de blocos de concreto, pois o substrato exerce grande influência e poderia ser uma variável no ensaio. Por este motivo, as amostras de bloco de concreto para as duas fábricas foram pré-selecionadas em função da absorção de água por capilaridade aos 60 minutos conforme o item 3.2.2. Após a avaliação da absorção de água por capilaridade, as amostras de bloco de concreto foram separadas diferentemente para as duas fábricas.

As amostras do bloco de concreto fabricado em Florianópolis (TF) foram separadas em três classes conforme a absorção: absorção baixa (0,18 a 0,23 g/cm<sup>2</sup>), absorção média (0,27 a 0,34 g/cm<sup>2</sup>) e absorção alta (0,38 a 0,53 g/cm<sup>2</sup>). Essas classes foram definidas pela pesquisadora em função dos resultados obtidos para essas amostras. Desse modo, foi possível avaliar a influência da absorção de água por capilaridade das amostras na transferência de água da argamassa de assentamento para o bloco de concreto para as quatro argamassas selecionadas. A Tabela 45 apresenta as classes, os grupos de amostra de blocos de concreto com suas respectivas absorções de água por capilaridade e a argamassa selecionada para cada grupo.

---

<sup>37</sup> Água que contém em dissolução ou estado coloidal os componentes do aglomerante (CARASEK, 1996).

Tabela 45. Classes e grupos de amostras de bloco de concreto TF com suas absorções de água por capilaridade com suas respectivas argamassas.

Amostra dos blocos de concreto TF		Grupo (Absorção de água por capilaridade da amostra do bloco de concreto aos 60 minutos)			
		Argamassa			
Classes	Face (posição no mini-prisma)	Mista com Incorporador de ar	Mista	Cimento com incorporador de ar	Cimento com incorporador e retentor de água
Baixa	Face superior ("1")	Grupo 1 (0,18 g/cm <sup>2</sup> )	Grupo 2 (0,20 g/cm <sup>2</sup> )	Grupo 3 (0,21 g/cm <sup>2</sup> )	Grupo 4 (0,23 g/cm <sup>2</sup> )
	Face inferior ("2")	Grupo 1 (0,18 g/cm <sup>2</sup> )	Grupo 2 (0,20 g/cm <sup>2</sup> )	Grupo 3 (0,23 g/cm <sup>2</sup> )	Grupo 4 (0,25 g/cm <sup>2</sup> )
Média	Face superior ("1")	Grupo 6 (0,27 g/cm <sup>2</sup> )	Grupo 7 (0,29 g/cm <sup>2</sup> )	Grupo 8 (0,31 g/cm <sup>2</sup> )	Grupo 9 (0,34 g/cm <sup>2</sup> )
	Face inferior ("2")	Grupo 6 (0,28 g/cm <sup>2</sup> )	Grupo 7 (0,29 g/cm <sup>2</sup> )	Grupo 9 (0,31 g/cm <sup>2</sup> )	Grupo 11 (0,34 g/cm <sup>2</sup> )
Alta	Face superior ("1")	Grupo 11 (0,38 g/cm <sup>2</sup> )	Grupo 12 (0,41 g/cm <sup>2</sup> )	Grupo 13 (0,46 g/cm <sup>2</sup> )	Grupo 14 (0,53 g/cm <sup>2</sup> )
	Face inferior ("2")	Grupo 13 (0,37 g/cm <sup>2</sup> )	Grupo 15 (0,41 g/cm <sup>2</sup> )	Grupo 17 (0,45 g/cm <sup>2</sup> )	Grupo 19 (0,53 g/cm <sup>2</sup> )

Para exemplificar a indicação da Tabela 45, observa-se que para a classe baixa, da face superior (posição "1" no mini-prisma), avaliando a argamassa mista com incorporador de ar, o grupo utilizado foi o número 1, onde as amostras de blocos de concreto apresentavam absorção de água por capilaridade aos 60 minutos de 0,18 g/cm<sup>2</sup>. Para uma mesma argamassa, observa-se também que a absorção de água por capilaridade da amostra da face superior e inferior foi semelhante quando avaliada a mesma classe (baixa, média e alta). Verifica-se que a diferença entre as classes baixa, média e alta para uma mesma argamassa é de aproximadamente 0,10 g/cm<sup>2</sup>. Por exemplo, para a argamassa mista e face superior às absorções foram: 0,20 g/cm<sup>2</sup> para classe baixa, 0,29 g/cm<sup>2</sup> para classe média e 0,41 g/cm<sup>2</sup> para classe alta (Tabela 45).

Para cada combinação (amostra-argamassa-amostra), isto é, para cada classe (baixa, média e alta) de cada argamassa para foram moldados seis mini-prismas, sendo dois com amostras de bloco de concreto impermeáveis (revestidas com filme de PVC transparente) para avaliação somente da água evaporável, dois para a determinação a partir dos 5 minutos e dois para a determinação a partir dos 15 minutos da quantidade de água transferida da argamassa para o bloco de concreto.

Já, para as amostras de bloco de concreto fabricados em Blumenau, não foi possível fazer a mesma separação (ver item 3.2.2), pois as amostras de bloco de concreto tiveram absorções de água por capilaridade muito semelhantes. Assim, para um único grupo de absorção de água por capilaridade (similar a classe média para o bloco de concreto de Florianópolis)

avaliou-se a influência das condições ambientais (para a argamassa mista e argamassa de cimento com incorporador de ar) na quantidade de água transferida da argamassa para o bloco de concreto. Essas condições ambientais foram simuladas pela temperatura inicial da amostra do bloco de concreto, temperatura de  $(23\pm 1)^\circ\text{C}$  e temperatura de  $(30\pm 1)^\circ\text{C}$ . Também, para a temperatura mais alta, realizou-se a molhagem das faces que entrariam em contato com a argamassa com rolo de pintura umedecidos. Esse procedimento foi utilizado para minimizar o efeito da temperatura e é recomendado pela NBR 8798 (1985) para dias quentes.

Além disso, com amostras de blocos de concreto com a mesma absorção de água por capilaridade verificou-se a influência do processo de fabricação (Florianópolis e Blumenau) na transferência de água da argamassa para os blocos de concreto.

A Tabela 46 apresenta a absorção de água por capilaridade das amostras de blocos de concreto de Blumenau (TB) para cada temperatura e argamassa analisada.

Tabela 46. Amostras de bloco de concreto TB com suas absorções de água por capilaridade com as respectivas argamassas.

Amostra dos blocos de concreto TB		Absorção por água por capilaridade aos 60 minutos da amostra			
		Argamassa			
		Mista		Cimento com incorporador de ar	
Classe	Face (posição no mini-prisma)	Temperatura de $23^\circ\text{C}$	Temperatura de $30^\circ\text{C}$ e molhando a superfície	Temperatura de $23^\circ\text{C}$	Temperatura de $30^\circ\text{C}$ e molhando a superfície
Média	Face Superior ("1")	0,27 g/cm <sup>2</sup>	0,33 g/cm <sup>2</sup>	0,30 g/cm <sup>2</sup>	0,32 g/cm <sup>2</sup>
	Face Inferior ("2")	0,27 g/cm <sup>2</sup>	0,29 g/cm <sup>2</sup>	0,29 g/cm <sup>2</sup>	0,27 g/cm <sup>2</sup>

Para exemplificar a indicação da Tabela 46, para a classe média, face superior (posição do mini-prisma "1"), argamassa mista e temperatura de  $23^\circ\text{C}$  foi utilizada amostras de blocos de concreto com absorção de água por capilaridade aos 60 minutos de  $0,27\text{ g/cm}^2$ . O procedimento de moldagem das amostras com o bloco de concreto TB foi semelhante ao descrito anteriormente, sendo a única modificação o fato de as amostras com temperatura de  $30^\circ\text{C}$  terem sido mantidas em ambiente controlado, temperatura de  $(30\pm 1)^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $(70 \pm 5)\%$ , por no mínimo 24 horas antes da realização do ensaio. Instantes antes do ensaio, as amostras eram retiradas da caixa com ambiente controlado e, em seguida, já realizava-se a molhagem da superfície, determinando-se suas massas iniciais. Logo após esse procedimento iniciava-se o assentamento do corpo-de-prova. O número de corpos-de-prova foi o mesmo utilizado para os blocos de concreto TF (seis amostras).

Cabe ressaltar que todos os ensaios foram realizados em ambiente climatizado, temperatura de  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $(70 \pm 5)\%$ , inclusive as amostras com temperatura inicial de  $30^\circ\text{C}$  e molhagem da superfície.

Para melhor compreensão das variáveis no estudo de transferência de água da argamassa para o bloco de concreto, a Figura 105 traz o resumo desse estudo.

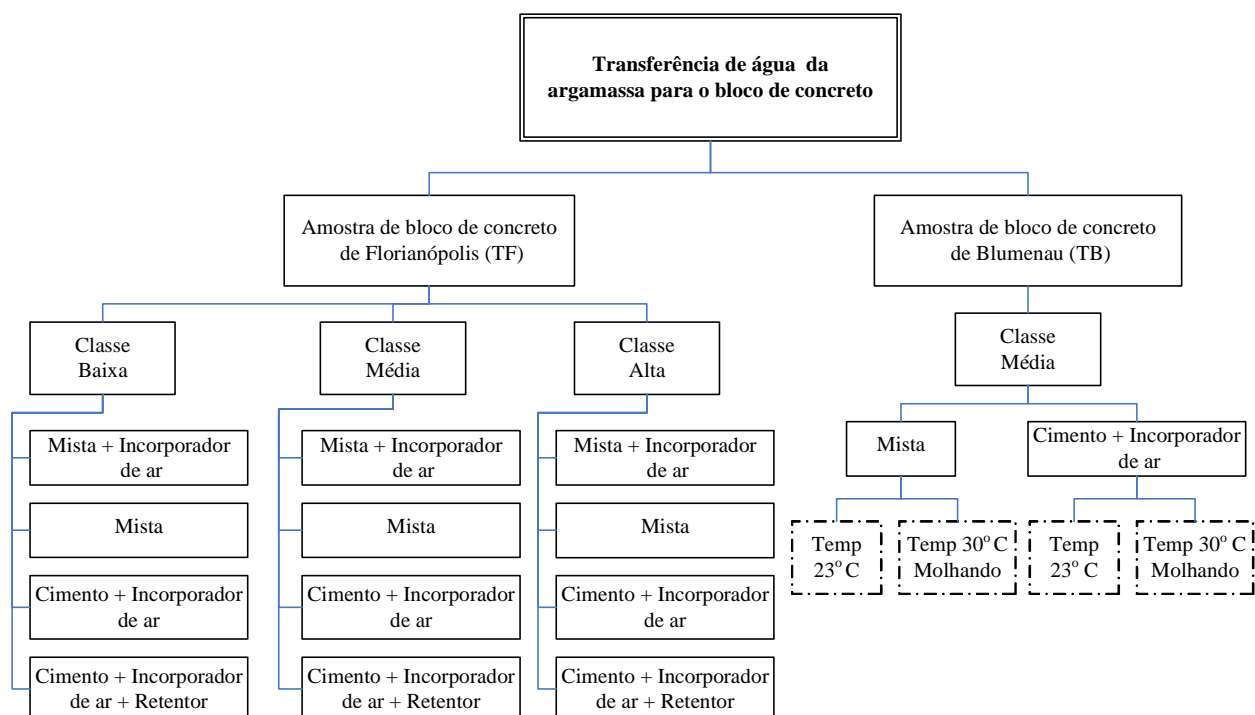


Figura 105. Resumo das variáveis do estudo da transferência de água da argamassa para o bloco de concreto.

Todas as combinações analisadas no estudo de transferência de água da argamassa para o bloco de concreto também foram avaliadas para a resistência de aderência na flexão em mini-prismas para verificar uma possível correlação entre os resultados.

### 3.3.6 Estudo de resistência de aderência à flexão

O estudo de resistência de aderência à flexão foi realizado em mini-prismas e prismas. A escolha da metodologia desses ensaios está apresentada no item 3.2.6. A seguir são descritos as variáveis de cada estudo.



### 3.3.6.1 Mini-prismas

O procedimento de moldagem dos mini-prismas foi o mesmo realizado para a transferência de água da argamassa para o bloco de concreto descrito no item 3.2.6.1.

Para o bloco de concreto de Florianópolis (TF) foi avaliada a influência da absorção de água por capilaridade das amostras para as quatro argamassas pré-selecionadas, como mencionado anteriormente, igual ao realizado para a transferência de água da argamassa para o bloco de concreto.

Já para os blocos de concreto de Blumenau (TB), além de se avaliar a influência das condições ambientais citadas no estudo anterior, também se determinou a influência das condições de cura para as amostras com temperatura de 30° C. Assim, realizou-se a cura nas primeiras horas após a moldagem dos mini-prismas. A cura foi realizada por aspersão de água com o uso de um borrifador de água nos tempos de 12, 36 e 48 horas após a moldagem. Para esse processo de cura, os corpos-de-prova eram retirados do ambiente climatizado e, feito o processo de cura, retornavam novamente para os ambientes. Também foram controladas as diferenças de massa dos corpos-de-prova (antes e depois do processo de cura) e a quantidade de água que havia sido utilizada.

Os mini-prismas foram moldados em ambiente climatizado, temperatura de  $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $(70 \pm 5)\%$ . Para os mini-prismas com as amostras com temperatura inicial de  $(30^\circ \pm 1)^\circ\text{C}$ , após moldagem, os corpos-de-prova foram colocados em uma caixa de blocos de poliestireno expandido e mantidos por 12 horas em temperatura de  $(30 \pm 1)^\circ\text{C}$ . A Figura 106 apresenta os mini-prismas logo após a moldagem e a caixa utilizada para manter a temperatura de  $(30 \pm 1)^\circ\text{C}$ .



Figura 106. (a) mini-prismas já moldados e (b) caixa utilizada para manter a temperatura de  $(30 \pm 1)^\circ\text{C}$  após o término da moldagem.

Após a moldagem dos mini-prismas, eram moldados três corpos-de-prova (5x10) cm de argamassa para determinação da resistência à compressão. Estes corpos-de-prova eram curados juntamente com os mini-prismas.

Para todos os casos após 12 horas da moldagem, os mini-prismas eram transferidos para caixas climatizadas, com temperatura de  $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $(75 \pm 5)\%$ , ou temperatura de  $(30 \pm 1)^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $(75 \pm 5)\%$ . Para controle da umidade relativa no interior dos ambientes foram utilizadas soluções salinas saturadas com corpo de fundo. As soluções saturadas de diversos sais para manter constante a umidade relativa dentro de um recipiente são reportadas na norma americana ASTM E 104-85 (1996). O uso de soluções apresenta duas vantagens, segundo Meourani (1987): fraca sensibilidade à variação de temperatura e grande facilidade de utilização, não havendo variação da umidade relativa desde que a solução se mantenha saturada. Para a umidade relativa escolhida de  $(75 \pm 5)\%$  foi utilizado cloreto de sódio.

Cabe ressaltar que não foram respeitadas as dimensões máximas permitidas pela norma ASTM E 104-85 (1996) para o ambiente em que seria controlada a umidade relativa. Assim, realizou-se um monitoramento constante durante os 13 dias nos quais as amostras estavam em ambiente climatizado para manter a umidade relativa do ambiente. O período com maior variação de umidade relativa eram os primeiros dias até que ocorresse o equilíbrio entre os corpos-de-prova e o ambiente.

Para cada combinação foram ensaiados seis corpos-de-prova para obtenção da resistência de aderência na flexão aos 14 dias. Aos 13 dias de idade, realizou-se a regularização da superfície dos corpos-de-prova (ver item 3.2.6.2) que, após o procedimento, retornavam para os ambientes controlados até o momento da realização do ensaio.

Também, foi avaliada a diferença de resistência de aderência na flexão das faces em contato com a argamassa. Isso foi possível, pois geralmente a ruptura ocorre em uma das interfaces entre bloco de concreto e a argamassa. Então, primeiramente era realizado o ensaio e registrada a primeira ruptura. Em seguida, a face onde ocorreu a ruptura era unida com cola epóxi ao bloco e realizava-se novamente o ensaio (Figura 107) registrando a segunda ruptura que ocorria na outra face.



Figura 107. União da junta com a amostra do bloco de concreto após a primeira ruptura (a) vista superior e (b) vista lateral.

Para facilitar a compreensão de todo o estudo de resistência de aderência na flexão, a Figura 108 apresenta um resumo com as variáveis estudadas na resistência de aderência na flexão em mini-prismas.

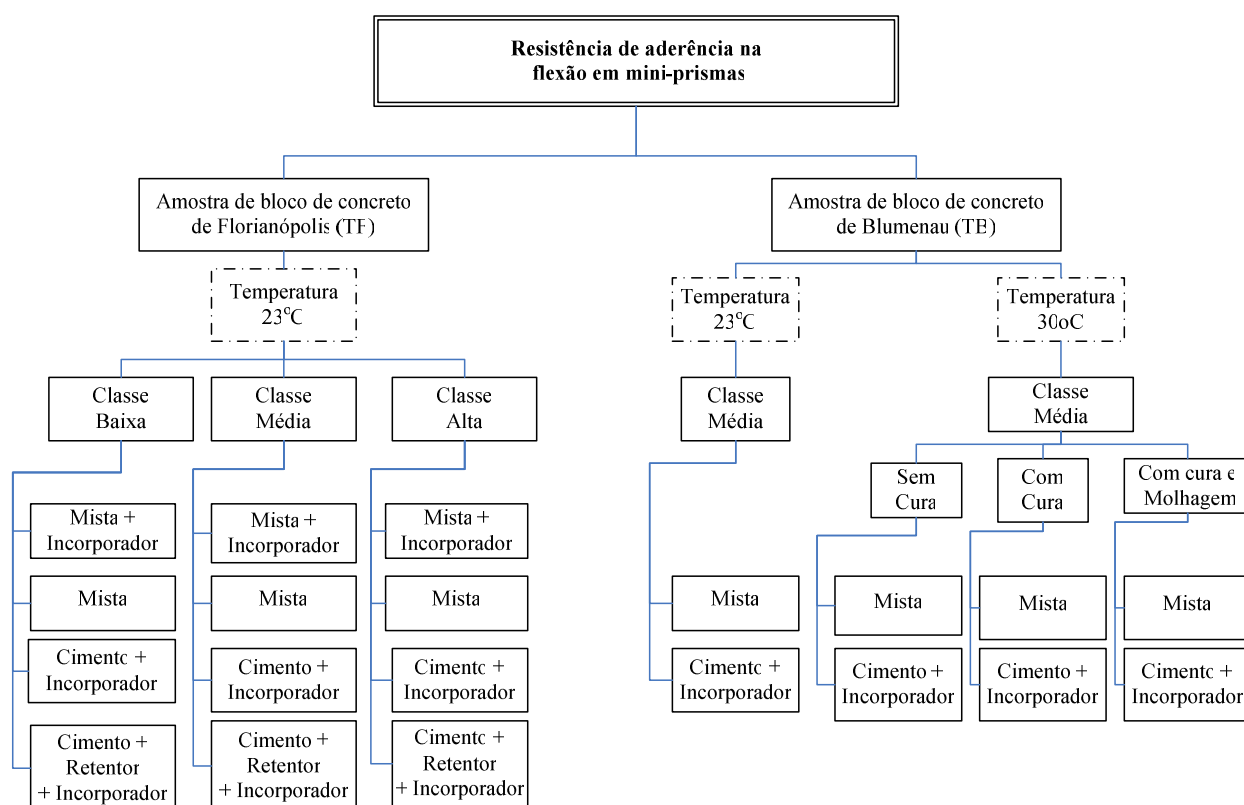


Figura 108. Resumo das variáveis do estudo resistência de aderência na flexão em mini-prismas.

### 3.3.6.2 Prismas

No estudo de resistência de aderência na flexão em prismas, foi avaliada a influência do tipo de argamassa (argamassa mista, argamassa mista com incorporador de ar, argamassa de cimento com incorporador de ar e argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água), das condições ambientais (temperatura de 23° C e 30°C) e de cura dos prismas.

Após serem verificadas muitas variáveis que influenciam no ensaio de resistência de aderência em prismas, como comentado no item 3.2.6.3, foram fixadas metodologias para a pré-seleção e preparação dos blocos de concreto para a moldagem dos prismas e cura dos mesmos. Essas metodologias são apresentadas a seguir.

Os blocos de concreto utilizados nesse estudo foram produzidos na fábrica de Florianópolis.

#### **Pré-selecionamento e preparação dos blocos de concreto**

Para a moldagem dos prismas foi realizado uma pré-selecionamento e preparação dos blocos de concreto que seriam utilizados. O procedimento foi realizado na seguinte seqüência:

- Numeração dos blocos de concreto.
- Determinação da massa do bloco de concreto.
- Separação dos blocos de concreto em função da sua massa em quatro grandes grupos conforme a Tabela 47, para posicionamento no prisma de acordo com o ilustrado na Figura 109.
- Para os blocos do grupo 1, que seriam utilizados na primeira fiada, realizou-se a regularização da face inferior com pasta de cimento. Esse procedimento foi utilizado para facilitar o assentamento dos prismas e nivelar o primeiro bloco, principalmente devido às rebarbas encontrada nessa face (ver item 3.2.2).
- Antes do assentamento dos blocos de concreto, as superfícies em contato com a argamassa eram limpas retirando-se o excesso de pó e partículas soltas com a mão utilizando uma luva de látex. Além disso, os blocos de concreto eram mantidos no ambiente climatizado por no mínimo 24 horas antes do assentamento dos prismas ou, para o caso dos blocos de concreto com temperatura de 30° C, mantidos por 12 horas num ambiente com essa temperatura.

Tabela 47. Grupos dos blocos de concreto pré-selecionados.

Grupo	Finalidade	Posição no prisma	Massa (g)
1	Primeira fiada e sobrepeso	Primeiro bloco	11560 a 11630
2	Segunda fiada	Bloco meio baixo	11460 a 11510
3	Terceira fiada	Bloco meio cima	11420 a 11460
4	Quarta fiada	Ultimo bloco	11380 a 11400

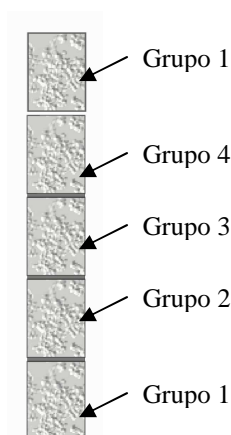


Figura 109. Representação esquemática da posição dos grupos no prisma de bloco de concreto.

### **Moldagem dos prismas**

A moldagem de todos os prismas foi realizada num ambiente climatizado, temperatura de  $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $(70 \pm 5)\%$ , e os materiais para a confecção das argamassas também eram climatizados por, no mínimo, 24 horas antes da moldagem, inclusive a água.

A argamassa foi confeccionada segundo o procedimento descrito no item 3.2.5. Logo após a mistura, avaliou-se a massa específica e a trabalhabilidade pelo GTec Teste. Em seguida a argamassa era colocada num recipiente apropriado de plástico (maseira), levemente umedecido, e iniciava-se o assentamento dos prismas.

Os prismas foram assentados com o auxílio de uma meia desempenadeira. Após a confecção do filete de argamassa, a quantidade de argamassa era determinada. Para cada argamassa fixou-se uma quantidade a ser utilizada, para que o volume de argamassa se mantivesse fixo. Além disso, o volume de argamassa foi fixado dependendo da localização no bloco de concreto, isto é, para os filetes longitudinais e transversais. A Figura 110 traz uma representação da localização dos filetes e a Tabela 48 apresenta a quantidade de argamassa fixada para cada filete (em função da massa específica de cada argamassa).

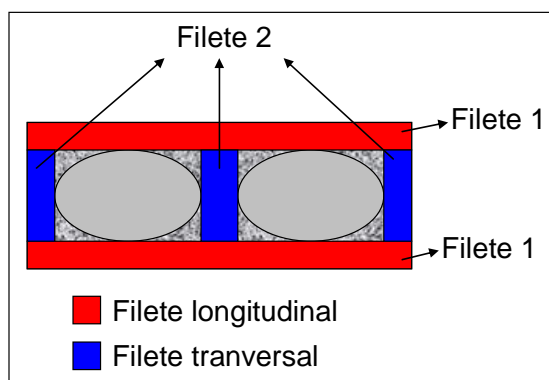


Figura 110. Representação esquemática da localização dos filetes de argamassa.

Tabela 48. Quantidade de argamassa em função da localização dos filetes e do tipo de argamassa.

Argamassa	Quantidade de argamassa (g)	
	Filete 1	Filete 2
Mista	400 a 500	300 a 400
Mista + incorporador de ar	361 a 451	271 a 361
Cimento + incorporador de ar	361 a 452	271 a 361
Cimento + incorporador de ar + retentor de água	351 a 439	263 a 351

Assim, primeiramente confeccionaram-se os filetes longitudinais (filete 1) e depois o filete transversal (Filete 2), que era dividido nas posições indicadas na Figura 110. Logo em seguida era posicionado o bloco e realizado o seu nivelamento com martelo de borracha.

No caso dos prismas com blocos de concreto com temperatura de 30° C, cuja face foi molhada com rolo de pintura umedecido no momento do assentamento, esse procedimento era realizado antes da colocação da argamassa sobre a face do bloco de concreto. A Figura 111 mostra a molhagem da face sendo realizada. Cabe salientar que todas as faces em contato com a argamassa, foram molhadas, tanto o bloco superior quanto o inferior.



Figura 111. Procedimento de molhagem da face do bloco de concreto com a utilização de um rolo de pintura umedecido antes da colocação da argamassa.

Para cada argamassa foram confeccionados três prismas que eram moldados simultaneamente por fiada, ou seja, primeiro realizou-se o assentamento da primeira junta de todos os prismas, em seguida a segunda e por último a terceira junta. E para cada fiada realizou-se uma mistura de argamassa diferente. Assim, as argamassas tinham tempo de utilização praticamente igual. O tempo total entre as misturas era de no máximo 15 minutos.

Após o assentamento dos três prismas, os blocos de concreto utilizados como “sobrepeso” eram posicionados (Figura 112) e finalizava-se o processo de assentamento.



Figura 112. Prismas no final do procedimento de moldagem.

Em seguida realizava-se novamente uma mistura de argamassa para a confecção de três corpos-de-prova (5x10) cm para determinação da resistência à compressão para cada argamassa analisada. Esses corpos-de-prova foram curados juntamente com os prismas.

### **Processo de cura dos prismas**

Para os prismas que foram curados na temperatura de  $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$ , após 24 horas da moldagem retiravam-se os blocos de concreto de “sobrepeso” e os prismas eram revestidos por uma caixa de blocos de poliestireno expandido juntamente com os corpos-de-prova (5x10) cm (ver Figura 94). A umidade relativa dentro das caixas foi monitorada e era de aproximadamente  $(75 \pm 5)\%$  após os primeiros dias.

Já, para os prismas curados a temperatura de  $(30 \pm 1)^\circ\text{C}$  foi feita uma caixa maior de modo que o prisma recebia calor ao longo da sua altura com a utilização de lâmpadas incandescentes. Além disso, os prismas já foram assentados em cima de uma placa de poliestireno expandido nivelada para não precisar movimentar o prisma com apenas 12 horas.



O procedimento de cura foi igual ao realizado para os mini-prismas, utilizando um borrifador de água onde procedia a molhagem da junta de assentamento. A cura foi realizada nos tempos de 12, 36 e 48 horas após o término da moldagem. Logo após a primeira cura, em volta dos prismas foram colocadas caixas de poliestireno expandido e foi controlada a temperatura de  $(30 \pm 1)^\circ \text{C}$ . Para os outros tempos de cura, a caixa era desmontada, realizava-se a cura e novamente montava-se a caixa. O aspecto dos prismas antes e após o processo de cura pode ser observado na Figura 113, assim como também a montagem da caixa feita em seguida.

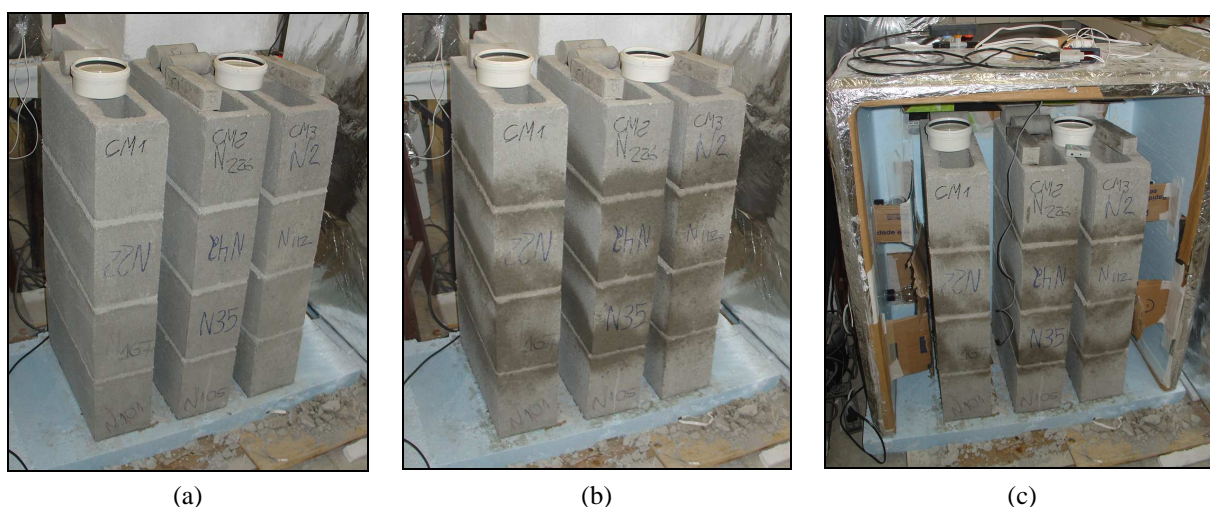


Figura 113. Aspecto dos prismas (a) antes da cura, (b) após a cura e (c) montagem das caixas após o processo de cura.

Cabe salientar que a umidade relativa dentro das caixas também foi monitorada durante todo o ensaio. Após o processo de cura, a umidade relativa aumentava para  $(80 \pm 5) \%$  e depois retornava para  $(75 \pm 5) \%$  em aproximadamente duas horas.

O ensaio de resistência de aderência na flexão era realizado aos 14 dias da moldagem com a metodologia apresentada no item 3.2.6, realizando-se a primeira e a segunda ruptura. Além disso, no cálculo da tensão de ruptura foi levado em conta o peso próprio do prisma (carga distribuída) e o peso do aparato de ensaio.

Para facilitar a compreensão desse estudo, a Figura 114 apresenta um resumo com as variáveis estudadas na resistência de aderência na flexão em prisma.



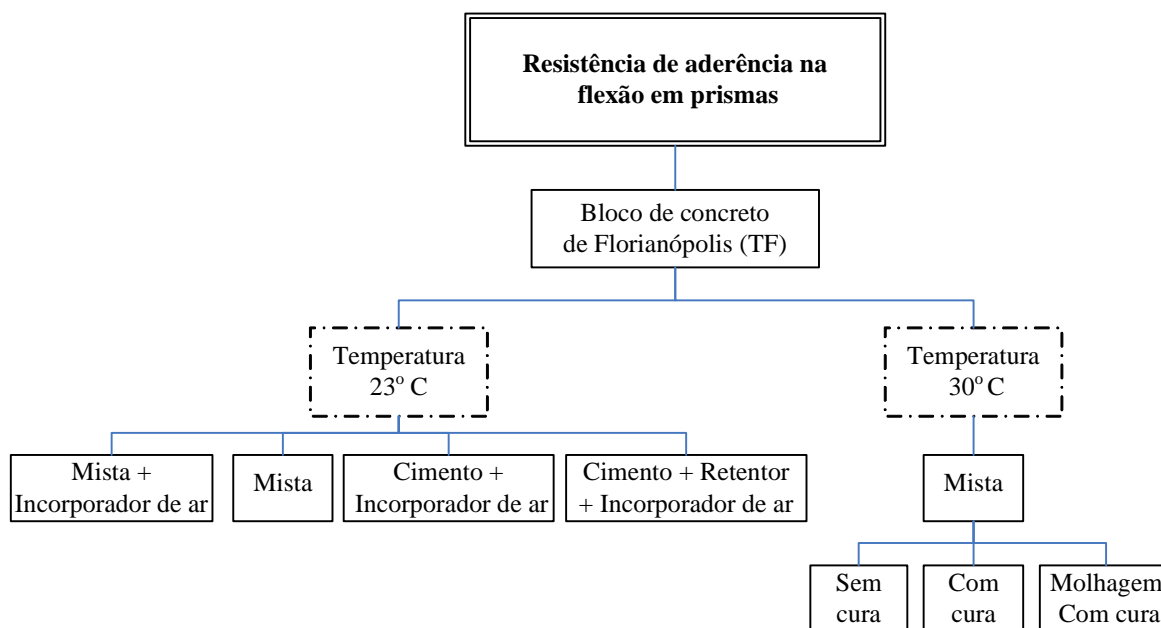


Figura 114. Resumo das variáveis do estudo resistência de aderência na flexão em prismas.

### 3.3.7 Resumo do programa experimental completo

Para melhor visualização do programa experimental completo do estudo definitivo, é apresentado na Figura 115 um resumo de todas as variáveis para cada ensaio.

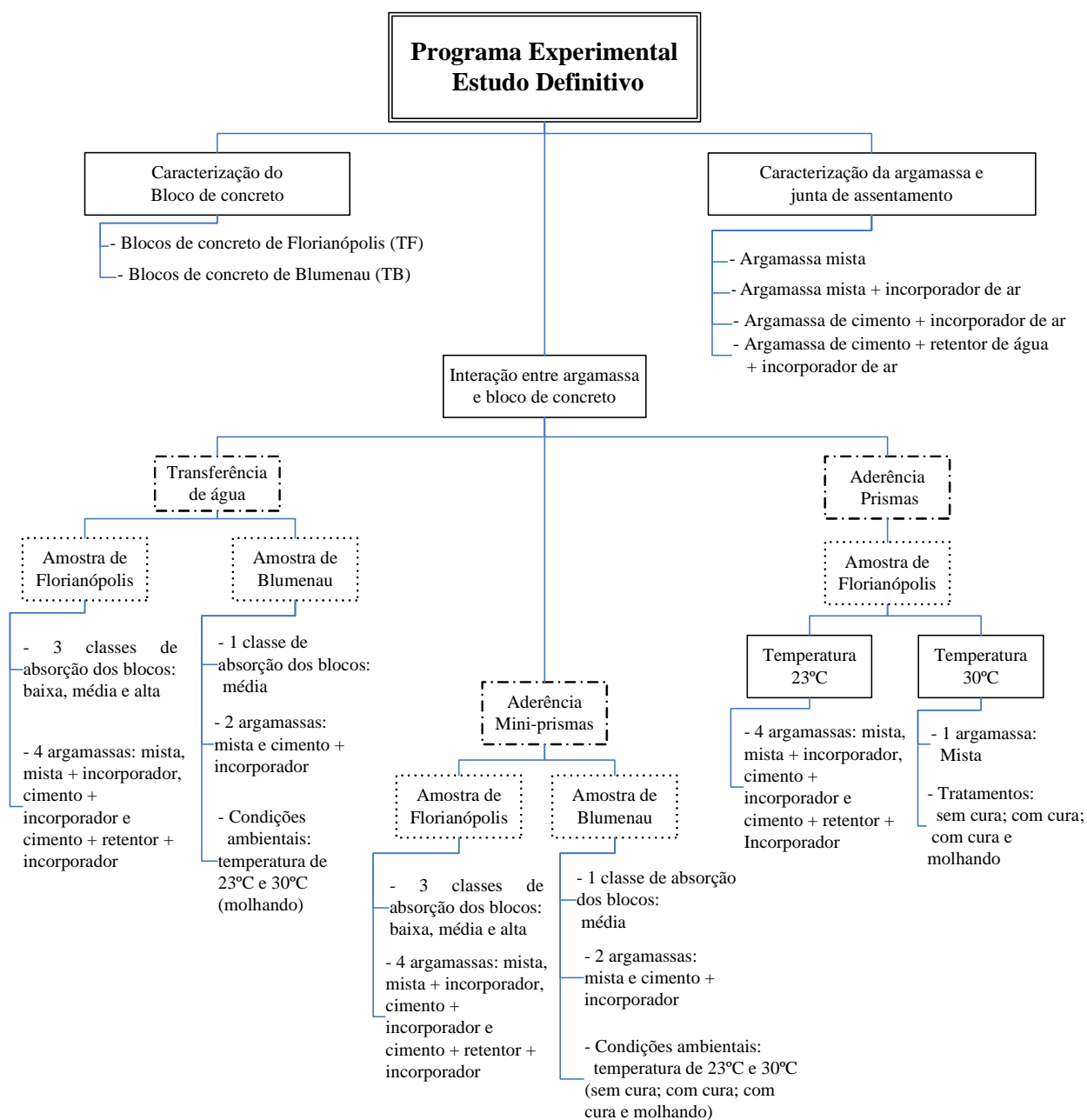


Figura 115. Resumo do programa experimental completo do estudo definitivo.

## **4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos no estudo definitivo descrito no programa experimental desta tese. Primeiramente são abordadas as características dos blocos de concreto estudado, em seguida as características das argamassas e das juntas de assentamento estudadas e, posteriormente, os resultados da interação entre a argamassa de assentamento e o bloco de concreto (transferência de água da argamassa para o bloco de concreto e resistência de aderência na flexão em mini-prisma e em prisma).

### **4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS DE CONCRETO**

A Tabela 49 mostra os resultados médios obtidos de: dimensões, teor de umidade ao ar, absorção de água total, massa específica seca e saturada, resistência à compressão, resistência característica, área bruta e área líquida para cada bloco de concreto analisado: Florianópolis e Blumenau. Cabe ressaltar que todas as características físicas dos blocos de concreto apresentadas na Tabela 49 foram avaliadas após seis meses de fabricação. Os valores médios apresentados para os blocos de concreto de Florianópolis são referentes aos dois lotes, pois os valores encontrados foram semelhantes.

Tabela 49. Caracterização física dos blocos de concreto estudados.

Característica física		Valores médios (coeficiente de variação, %)	
		Florianópolis	Blumenau
Dimensões (mm)	Largura	139,43 (0,4)	140,27 (0,7)
	Comprimento	390,58 (0,1)	390,17 (0,1)
	Altura	187,84 (0,5)	190,04 (0,4)
	Espessura da parede*	25,02 (8,2)	25,28 (1,9)
Teor de umidade ao ar (%)		1,35 (16,8)	0,93 (5,3)
Absorção de água total (%)		7,66 (9,3)	6,89 (11,6)
Massa específica seca (kg/dm <sup>3</sup> )		2,07 (2,1)	2,16 (0,5)
Massa específica saturada (kg/dm <sup>3</sup> )		2,23 (1,7)	2,30 (0,3)
Resistência à compressão (MPa)		9,47 (14,9)	9,84 (7,0)
Resistência característica (f <sub>bk</sub> ) (MPa)		6,97	8,65
Área bruta (cm <sup>2</sup> )	NBR 12118 (2006)	544,59 (0,3)	547,30 (0,5)
	Levantamento fotográfico	544,63 (0,2)	544,81 (0,1)
Área líquida (cm <sup>2</sup> )	NBR 12118 (2006)		287,28 (1,9)
	Levantamento fotográfico	Face superior	314,44 (0,1)
		Face inferior	267,66 (0,2)

\* - Tomadas na face de menor espessura (face inferior no momento do assentamento) segundo a recomendação NBR 12118 (2006).

Além das dimensões verificadas na Tabela 49, recomendadas por norma, também foram determinada as dimensões médias de todas as paredes dos blocos de concreto (longitudinais e transversais) pelo método da NBR 12118 (2006). Na Figura 116 observa-se os valores médios encontrados para os dois blocos de concreto analisados.

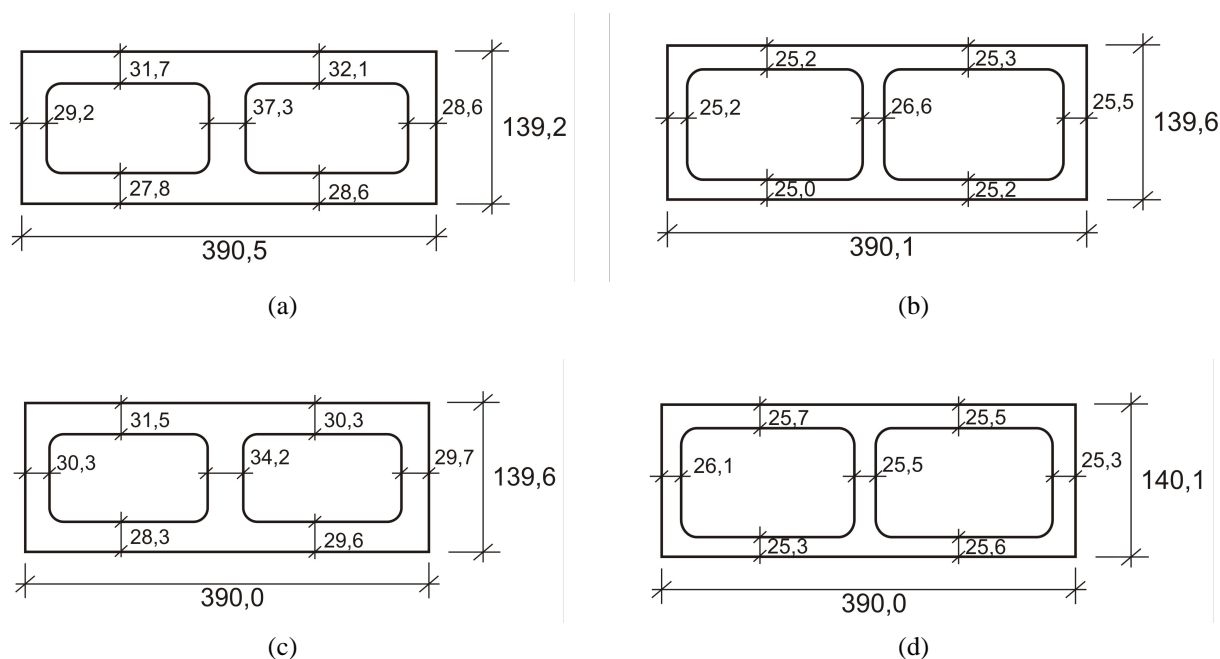


Figura 116. Valores médios das dimensões de todas as paredes, em milímetro, obtidos para os dois blocos analisados: (a) face superior e (b) face inferior do bloco de concreto fabricado em Florianópolis e (c) face superior e (d) face inferior do bloco de concreto fabricado em Blumenau.

Pode-se observar, na Figura 116, que a maior diferença encontrada entre os blocos de concreto das duas fábricas foi o septo central da face superior (Figura 116a e Figura 116b). As dimensões das paredes longitudinais e das demais transversais são semelhantes. Além disso, as dimensões estão dentro dos limites estipulados pela norma NBR 6136 (2006), assim como também os valores de absorção de água total (Tabela 49).

Com relação aos valores obtidos da área bruta, observou-se que pelos dois métodos, levantamento fotográfico e NBR 12118 (2006), os valores foram semelhantes (Tabela 49). Entretanto, para os valores obtidos da área líquida, nota-se que, com o método recomendado pela NBR 12118 (2006), obtêm-se o valor médio das faces superior e inferior. Este resultado já era esperado pelo próprio método de ensaio. Já com o método fotográfico, verifica-se o valor individual para cada face (superior e inferior). Também pode ser observado, na Tabela 49, a diferença das áreas para a face superior e a face inferior para as duas fábricas estudadas.

A absorção de água por capilaridade dos blocos de concreto com idade superior a seis meses ao longo do tempo pode ser observada na Figura 117 e Figura 118, assim como sua variabilidade.

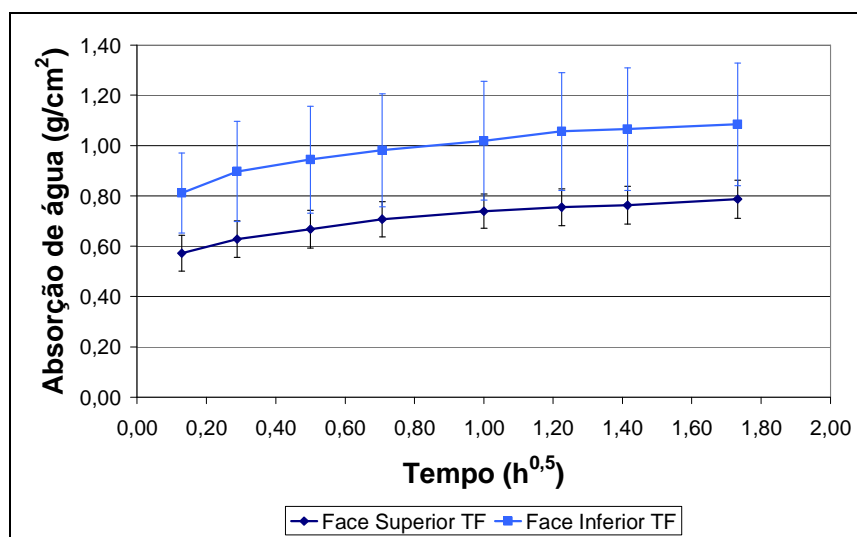


Figura 117. Absorção de água por capilaridade média ao longo do tempo com seu desvio padrão para face superior e face inferior para os blocos de concreto fabricados em Florianópolis.

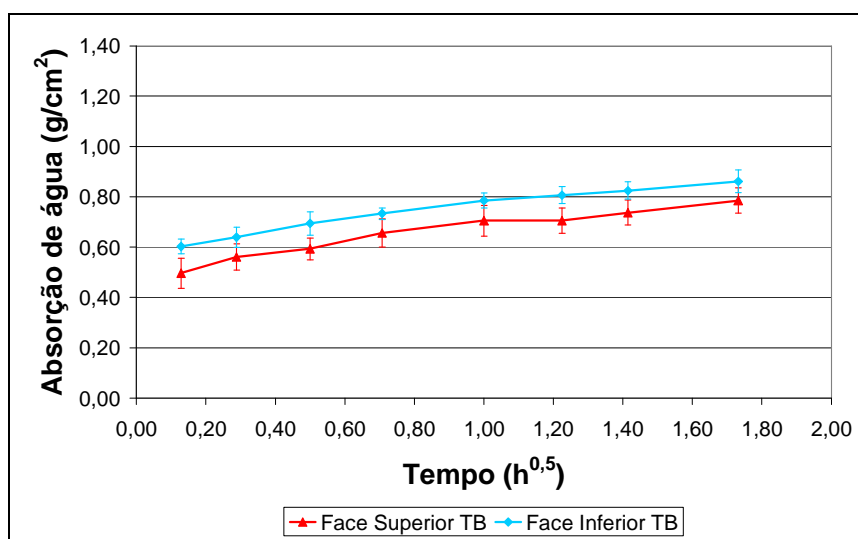


Figura 118. Absorção de água por capilaridade média ao longo do tempo com seu desvio padrão para face superior e face inferior para o bloco de concreto fabricado em Blumenau.

Observa-se, na Figura 117 e Figura 118, que a variação encontrada nos valores obtidos dos blocos de concreto de Florianópolis foi superior à verificada para os blocos de concreto de Blumenau, confirmando os valores obtidos no item 3.2.2. Além disso, novamente verificaram-se valores distintos de absorção de água por capilaridade para as duas faces. Os valores para a face superior foram menores do que os obtidos para a face inferior. Esse comportamento foi observado para os dois blocos estudados e possivelmente é devido ao processo de fabricação.

A Tabela 50 mostra os valores médios de absorção de água por capilaridade para os tempos de 1 e 60 minutos, além do índice de sortividade para diferentes idades dos blocos de concreto analisados.

Tabela 50. Valores médios de absorção de água por capilaridade nos tempos de 1 e 60 minutos e o índice de sortividade para diferentes idades para os dois blocos de concreto estudados.

Bloco de Concreto	Idade (dias)	Face	Absorção de água por capilaridade em 1 min (g/cm <sup>2</sup> ) (coeficiente de variação - %)	Absorção de água por capilaridade em 60 min (g/cm <sup>2</sup> ) (coeficiente de variação - %)	Sortividade (mm.min <sup>-1/2</sup> ) (coeficiente de variação - %)
Florianópolis	30	Superior	-	0,84 (6,0)	0,08 (15,5)
		Inferior	-	1,05 (5,0)	0,09 (31,9)
	192	Superior	0,57 (12,0)	0,74 (9,2)	0,17 (34,4)
		Inferior	0,81 (19,7)	1,02 (23,2)	0,24 (38,3)
Blumenau	30	Superior	1,02 (0,5)	1,13 (0,4)	0,10 (0,1)
		Inferior	1,03 (0,2)	1,16 (0,1)	0,10 (0,2)
	306	Superior	0,50 (12,1)	0,71 (8,7)	0,22 (0,98)
		Inferior	0,60 (4,8)	0,79 (3,8)	0,22 (5,25)

Os valores obtidos de absorção de água por capilaridade foram influenciados pela idade dos blocos de concreto (Tabela 50). A absorção de água por capilaridade diminui conforme aumentou a idade do bloco de concreto, principalmente para os blocos de concreto de Blumenau (maior diferença encontrada). Esse comportamento já era esperado, pois as reações de hidratação do cimento continuam se processando ao longo do tempo, porém sua velocidade de hidratação decresce. Além disso, pode ter ocorrido carbonatação nos blocos de concreto. Por estes motivos, a estrutura porosa dos blocos de concreto sofre mudanças ao longo do tempo, assim as suas características podem variar por não terem uma estrutura completamente “estabilizada” como, no caso, os valores de absorção de água por capilaridade. Esse comportamento também foi verificado por Paes (2004) para blocos de concreto avaliados.

Cabe ressaltar que os blocos de concreto foram ensaiados com idades avançadas e distintas (192 dias e 306 dias - Tabela 50), pois os lotes foram obtidos em datas diferentes e a avaliação foi realizada com a maior idade possível (sendo os ensaios realizados na mesma data).

Já o índice de sortividade, que avalia indiretamente a velocidade de absorção de água dos blocos de concreto, aumentou conforme a idade. Este resultado não era esperado, pois a velocidade deveria diminuir com o tempo conforme os resultados obtidos Paes (2004).

Os resultados obtidos pelo ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio são apresentados de duas formas: (i) volume de mercúrio acumulado *versus* diâmetro dos poros onde é possível verificar a quantidade total de mercúrio intrudido, por unidade de massa da amostra, a um determinado nível de pressão atingida durante o ensaio, representando a porosidade do material até o diâmetro de poro correspondente; e (ii) volume de mercúrio incremental *versus* diâmetro dos poros, em função do volume de mercúrio intrudido. Neste caso observa-se a quantidade de poros de um determinado diâmetro.

A Figura 119 mostra os resultados obtidos para a face superior do bloco de concreto de Florianópolis e Blumenau e na Figura 120 para as duas faces do bloco de concreto de Blumenau.

Além disso, a 0 apresenta outros parâmetros importantes a serem considerados na porosimetria por intrusão de mercúrio: (i) diâmetro crítico – definido nesta tese como a menor dimensão de poro onde se observa-se uma mudança na curvatura na curva obtida pelo volume de mercúrio acumulado *versus* diâmetro dos poros; (ii) diâmetro característico – neste trabalho sendo considerado como o tamanho de poros onde se tem o valor máximo de volume intrudido, sendo o valor obtido da curva de volume incremental *versus* diâmetro dos poros, (iii) a área total

de poros e (iv) volume total intrudido obtidos pelo ensaio. Cabe ressaltar que as amostras utilizadas no ensaio por intrusão de mercúrio foram previamente pré-selecionadas e tinham absorção de água por capilaridade aos 60 minutos de  $0,26 \text{ g/cm}^2$ .

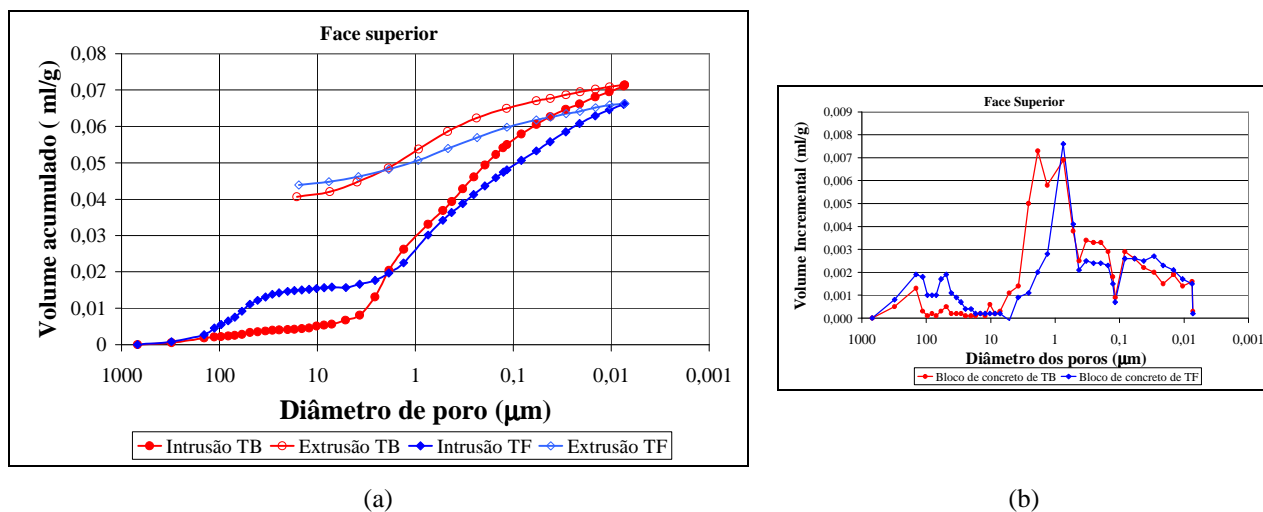


Figura 119. Distribuição do tamanho dos poros dos blocos de concreto obtidos com o uso da porosimetria por intrusão de mercúrio para a face superior de Florianópolis e Blumenau: (a) volume incremental *versus* diâmetro dos poros e (b) volume acumulado *versus* diâmetro dos poros.

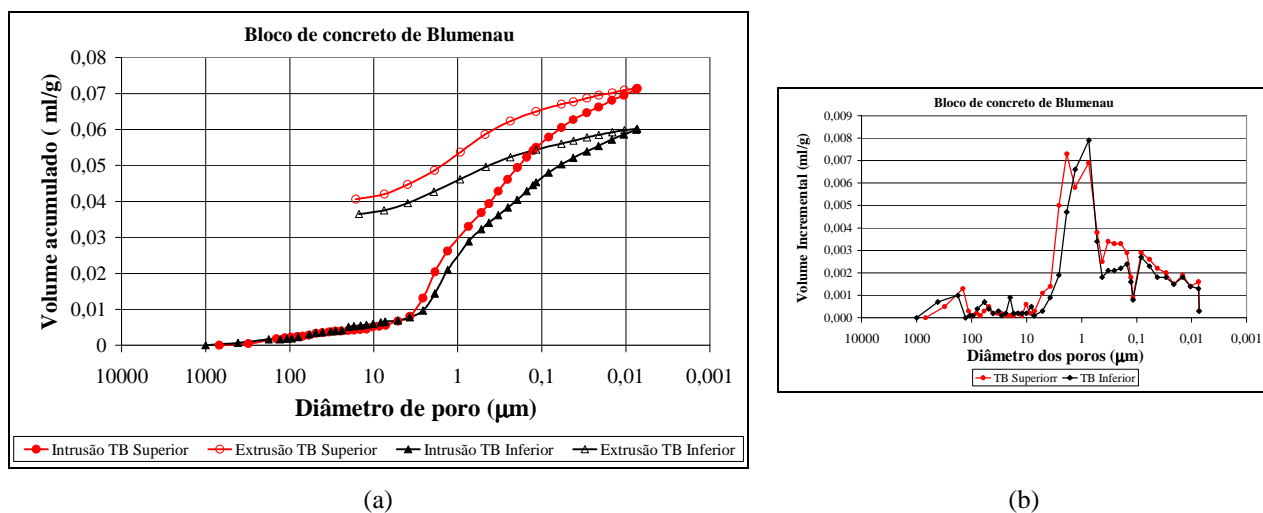


Figura 120. Distribuição do tamanho dos poros dos blocos de concreto obtidos com o uso da porosimetria por intrusão de mercúrio para a face superior e inferior do bloco de concreto de Blumenau: (a) volume incremental *versus* diâmetro dos poros e (b) volume acumulado *versus* diâmetro dos poros.



Tabela 51. Resultados de porosimetria por intrusão de mercúrio dos blocos de concreto analisados.

Característica	Bloco de concreto		
	Florianópolis	Blumenau	
	Face Superior	Face Superior	Face Inferior
Diâmetro crítico ( $\mu\text{m}$ )	113,58	3,72	19,97
Diâmetro característico ( $\mu\text{m}$ )	0,74	1,86	0,74
Área total de poros ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	3,24	3,08	2,71
Volume total intrudido ( $\text{ml}/\text{g}$ )	0,066	0,071	0,060

Analisando as curvas obtidas na Figura 119a, percebe-se que existe uma diferença nas curvas obtidas para a mesma face (superior) para o bloco de concreto de Florianópolis e Blumenau. A amostra de Florianópolis possui uma classe de poros entre 100 a 1,87  $\mu\text{m}$  com quantidade de poros superior a amostra do bloco de concreto de Blumenau (comprovado também pela Figura 119b e pela diferença verificada no diâmetro crítico na Tabela 51). Já para os micro poros (diâmetro  $< 0,1 \mu\text{m}$ ) foi observada uma diferença menor entre as fábricas, sendo também verificada pela pequena diferença entre a área total de poros e o volume total intrudido (Tabela 51).

Já comparando as curvas obtidas para as amostras do bloco de concreto de Blumenau (Figura 120), observa-se que para os macro poros não foi verificada diferença entre as duas faces. A diferença entre as faces é verificada somente para os poros com diâmetro inferiores de 3,74  $\mu\text{m}$ , onde a face superior apresenta um volume maior de poros considerando o mesmo diâmetro. Além disso, verificaram-se diferenças na área total de poros e volume total intrudido.

Para os poros capilares (diâmetro de poros, maior ou igual a 0,1  $\mu\text{m}$ , e menor ou igual a 20  $\mu\text{m}$ ), que seriam aqueles que influenciariam na absorção de água por capilaridade pelo bloco de concreto, observa-se um comportamento distinto para as amostras de Blumenau e, como mencionado anteriormente, para as amostras de fábricas diferentes (Florianópolis e Blumenau). Para as amostras de Blumenau, comparando as faces superior e inferior, observou-se um comportamento semelhante no início da faixa dos poros capilares e depois face superior apresentou os maiores valores de volume acumulado – maior quantidade de poros.

Na Figura 119a e na Figura 120a são apresentadas às curvas tanto de intrusão quanto de extrusão do mercúrio, verificando-se uma histerese nas curvas como já era esperado.

Com os valores obtidos de porosidade, observou-se uma diferença nesta propriedade nas faces analisadas. A seguir será apresentada a avaliação das propriedades mecânicas do concreto constituinte do bloco de concreto.

**Propriedades mecânicas do concreto constituinte dos blocos de concreto**

Como mencionado no item 3.3.1.5, para os dois blocos de concreto, Florianópolis e Blumenau, foram avaliadas as propriedades mecânicas do concreto constituinte, entre elas: a resistência à compressão, a resistência à tração por compressão diametral, a porosidade aberta, a absorção total de água e a absorção de água por capilaridade.

Para simplificar a apresentação dos resultados, as paredes dos blocos de concreto foram divididas em paredes longitudinais (valores médios das paredes 1, 2, 3 e 4), em septo central (parede 6) e paredes transversais (valores médios da parede 5 e 7). A escolha de unir as paredes longitudinais veio do conceito que no processo produtivo essas paredes possivelmente teriam a mesma compactação, diferentemente do que acontece no caso das paredes transversais e do septo central. Por este motivo, nessas paredes seriam obtidas as maiores diferenças nas características determinadas. A Figura 121 apresenta um esquema para exemplificar as paredes longitudinais (destaque em azul, paredes 1, 2, 3 e 4), septo central (destaque em vermelho, parede 6) e paredes transversais (destaque em rosa, paredes 7 e 5).

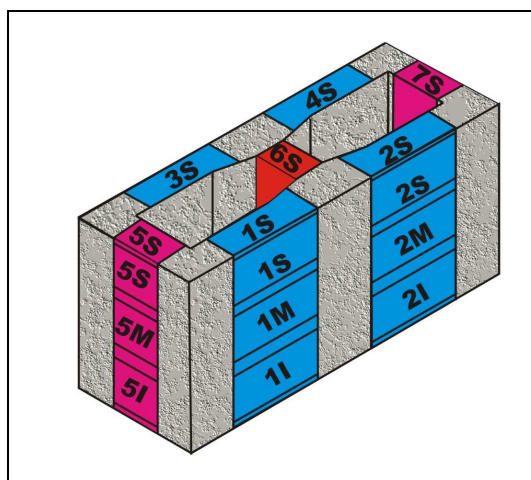
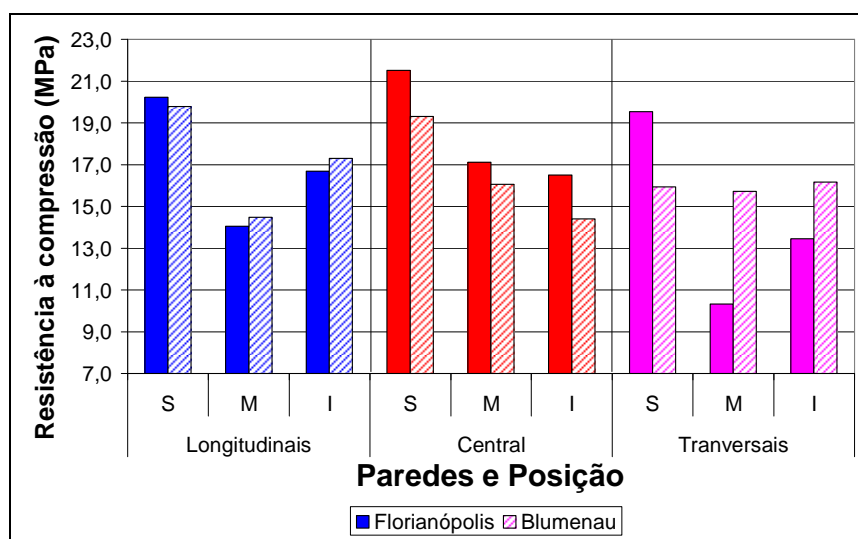
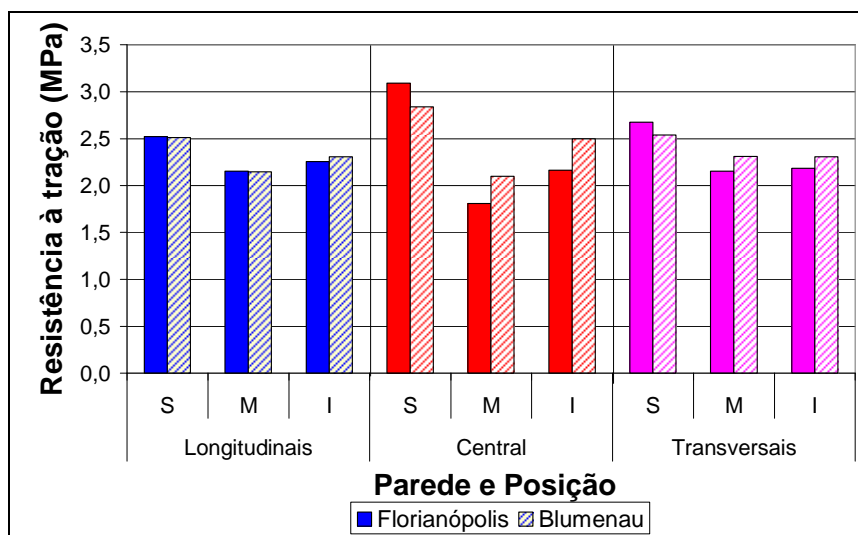


Figura 121. Esquema representativo para exemplificar as paredes longitudinais (azuis), septo central (vermelho) e paredes transversais (rosa) (“S” - superior, “M” - meio e “I” – inferior).

A Figura 122 apresenta os resultados obtidos de resistência à compressão e de resistência à tração por compressão diametral das amostras dos blocos de concreto de Florianópolis e Blumenau para cada parede e posição analisada.



(a)



(b)

Figura 122. (a) resistência à compressão e (b) resistência à tração na compressão diametral para as amostras dos blocos de concreto de Florianópolis e de Blumenau com suas respectivas paredes e posições.

Os valores obtidos de resistência à tração média foram aproximadamente 14% das resistências à compressão para a mesma posição e parede e tiveram o mesmo comportamento. Os corpos-de-prova da posição "S" (superior) apresentaram os maiores valores de resistência à compressão e à tração em relação às demais posições ("M" e "I") para uma mesma parede (Figura 122). Esse comportamento já era esperado devido ao processo de produção, onde a posição "S" tende a ter uma maior compactação por dois motivos: o primeiro por corresponder à parte inferior do bloco de concreto durante sua moldagem e o segundo por sofrer uma maior vibração por estar em contato direto com a mesa vibratória (ver item 3.2.2). Já a posição "I", que corresponde à parte superior do bloco na produção, sofre compactação pela força de compressão

imprimida pelo contramolde (pente). E a posição “M” (meio) apresenta uma menor compactação. Normalmente esse efeito é mais expressivo quanto maior for a altura da peça fabricada. Por este motivo, os corpos-de-prova da posição “M” tiveram as menores resistências (menor compactação), com exceção do septo central para os valores de resistência à compressão.

A Figura 123 apresenta os valores obtidos de porosidade aberta para os corpos-de-prova de bloco de concreto de Florianópolis e Blumenau.

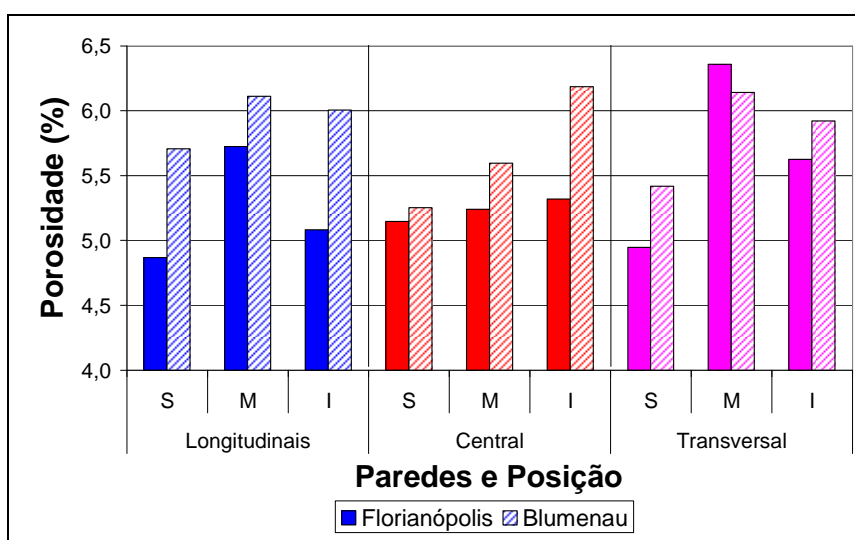


Figura 123. Porosidade aberta dos corpos-de-prova de bloco de concreto de Florianópolis e Blumenau.

Os resultados de porosidade aberta confirmaram os valores obtidos de resistência à compressão, pois as menores porosidades foram obtidas para a posição “S” (maiores resistências) e as maiores porosidades para as posições “M” e “I” (menores resistências).

Diante do exposto foi realizada uma correlação entre a porosidade aberta e a resistência à compressão dos corpos-de-prova, apresentada na Figura 124. Cabe ressaltar que os valores apresentados são individuais e apenas dos corpos-de-prova que tiveram as duas propriedades avaliadas.

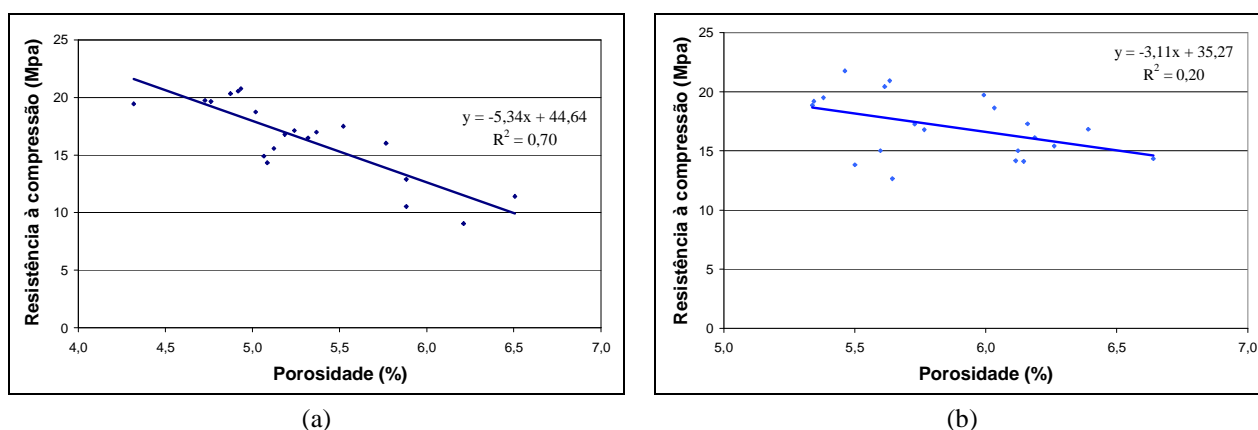


Figura 124. Resistência à compressão versus porosidade: (a) blocos de concreto de Florianópolis e (b) blocos de concreto de Blumenau.

Pode-se observar, na Figura 124, que existe uma tendência (mesmo que pequeno para os blocos de Blumenau) de que, com o aumento da porosidade, ocorre a diminuição da resistência à compressão. Esse comportamento é mais acentuado para os blocos de concreto de Florianópolis.

Na Figura 125 observa-se os valores médios de absorção de água por capilaridade dos corpos-de-prova prismáticos em função da raiz quadrada do tempo para as posições “S”, “M” e “I” para os dois blocos de concreto, Florianópolis e Blumenau.

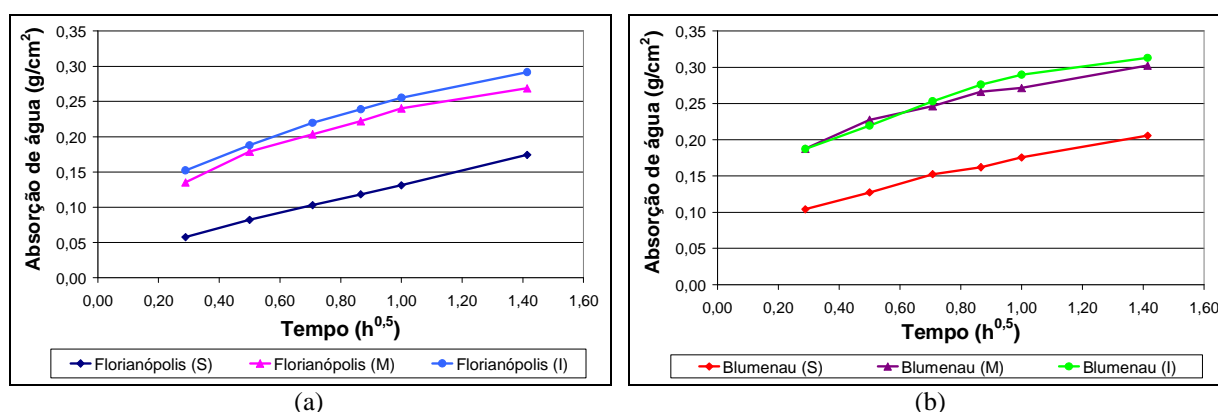


Figura 125. Valores médios de absorção de água por capilaridade *versus* tempo para as posições “S”, “M” e “I”: (a) bloco de concreto de Florianópolis e (b) bloco de concreto de Blumenau.

Analisando as curvas de absorção de água por capilaridade, percebe-se que os valores obtidos para a posição “S” foram inferiores aos da posição “I” e “M”. Isto já era esperado devido aos valores obtidos anteriormente de porosidade e resistência, além dos resultados obtidos no estudo piloto (item 3.2.2.1). Observa-se, também, que os valores médios de absorção de água por capilaridade obtida para os corpos-de-prova de Florianópolis foram

menores aos corpos-de-prova de Blumenau comparando o mesmo tempo de ensaio. Esse comportamento também foi verificado para os blocos de concreto analisados no estudo piloto (item 3.2.2.3). Uma comparação entre os valores médios obtidos para os corpos-de-prova e os blocos de concreto verificados para a mesma idade (28dias) é apresentada na Tabela 52.

Tabela 52. Valores médios obtidos nos corpos-de-prova e blocos de concreto com idades semelhantes.

Característica		Valores Médios e (coeficiente de variação - %)			
		Florianópolis		Blumenau	
		Corpos-de-prova	Blocos	Corpos-de-prova	Blocos
Resistência à compressão (MPa)		16,3 (23,0)	7,67 (10,6)	16,4 (17,1)	9,46 (14,3)
Resistência à tração (MPa)		2,34 (10,2)	-	2,32 (13,9)	-
Absorção de água total (%)		4,60 (11,5)	5,80 (2,8)	5,17 (7,4)	7,61 (0,6)
Porosidade (%)		5,28 (9,7)	-	5,84 (6,6)	-
Absorção de água aos 60 min (g/cm <sup>2</sup> )	Face Superior	0,13 (1,1)	0,84 (6,0)	0,18 (20,7)	1,13 (0,4)
	Face Inferior	0,25 (18,8)	1,05 (5,0)	0,29 (3,7)	1,16 (0,1)

Analisando os valores obtidos de resistência à compressão dos corpos-de-prova e dos blocos de concreto, percebe-se que a geometria (dimensões) dos corpos-de-prova influenciou nos valores médios obtidos (Tabela 52). Além disso, não se verificou diferenças nas resistências à compressão dos corpos-de-prova das duas fábricas enquanto que para os blocos de concreto de Florianópolis os valores médios foram inferiores aos dos blocos de concreto de Blumenau.

Com relação às demais propriedades, como absorção de água total e de água por capilaridade, observou-se que os valores médios obtidos para os corpos-de-prova foram inferiores aos verificados para os blocos de concreto. Para a absorção de água total possivelmente houve a influência do processo de preparação dos corpos-de-prova, onde foi realizado um seccionamento ocorrendo um fechamento dos poros nas faces modificadas pelo corte. Cabe ressaltar que se realizou uma limpeza nos corpos-de-prova após o corte para tentar minimizar esse efeito.

Já os valores de absorção de água por capilaridade, que foram determinados na face preservada do bloco de concreto, possivelmente com o processo de corte foi reduzida à interconexão dos poros capilares. Desse modo, ocorreu uma redução muito grande dos valores médios obtidos para os corpos-de-prova em relação aos verificados para os blocos de concreto. Isso já havia sido previsto, pois no momento de preparação das amostras foi observada uma modificação considerável da superfície das quais as dimensões foram reduzidas, isto é, das seis faces dos corpos-de-prova prismáticos, três faces foram modificadas. Esse comportamento

também foi verificado no momento de preparação das amostras que seriam utilizadas para a avaliação da transferência de água da argamassa para o bloco de concreto e a resistência de aderência em mini-prisma (item 3.2.2.3). A Tabela 53 apresenta os valores médios de absorção de água por capilaridade obtida no tempo de 60 minutos para a face superior e face inferior nos corpos-de-prova (2,5x 5,0x 2,5) cm, nas amostras (2,5x 8,0x 10,0) cm e nos blocos de concreto (14x 19x 39) cm com idades semelhantes.

Tabela 53. Valores médios obtidos nos corpos-de-prova, nas amostras e nos blocos de concreto com idades semelhantes.

Amostra (cm)	Face	Absorção de água por capilaridade aos 60 minutos (g/cm <sup>2</sup> ) (coeficiente de variação - %)	
		Florianópolis	Blumenau
		Corpos-de-prova (2,5x 5,0x 2,5)	Superior
	Inferior	0,25 (18,8)	0,29 (3,7)
Amostras (2,5x 8,0x 10,0)	Superior	0,34 (44,0)	0,35 (21,0)
	Inferior	0,39 (44,0)	0,30 (21,0)
Bloco de concreto (14x 19x 39)	Superior	0,84 (6,0)	1,13 (0,4)
	Inferior	1,05 (5,0)	1,16 (0,1)

Pode-se observar na Tabela 53 que os valores de absorção de água por capilaridade média foram influenciados pela dimensão do corpo-de-prova analisado. Quanto menor a dimensão do corpo-de-prova menor sua absorção de água por capilaridade. Entretanto o comportamento observado independentemente da dimensão é semelhante: a absorção de água por capilaridade média da face superior é menor do que aquela obtida para a face inferior, com exceção da amostra (2,5x 8,0x 10,0) cm para o bloco de concreto de Blumenau.

Diante dos resultados obtidos, pode-se concluir que os valores encontrados para posição “S” (superior) dos blocos de concreto indicam uma porosidade aberta menor (maior compactação) em relação às demais posições. Essa maior compactação influenciou diretamente nas propriedades de resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral e na absorção de água por capilaridade. Desse modo, ficou confirmado que existe uma diferença das propriedades obtidas para cada face (superior e inferior). Essa diferença ocorreu devido ao processo de fabricação, demonstrando mais uma vez a importância de avaliar as duas faces distintamente no estudo da interação entre argamassa de assentamento e bloco de concreto.

## 4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO

No estado fresco foram avaliadas as seguintes propriedades: trabalhabilidade (GTec Teste – CASALI, 2003), retenção de água (NBR 9287, 1986 e NBR 13277, 2005), índice de consistência (*flow table*) (NBR 7215, 1996), teor de ar incorporado e massa específica (NBR 13278, 2005), *Squeeze Flow* e tempo de início de pega.

A Tabela 54 apresenta os valores médios obtidos para as propriedades no estado fresco determinadas durante a realização dos ensaios do estudo definitivo. Além disso, a Figura 126 mostra as curvas leitura *versus* energia obtidas pelo GTec Teste.

Tabela 54. Propriedades no estado fresco das argamassas estudadas.

Argamassa	Trabalhabilidade (GTec Teste)			Retenção de água			Índice de consistência ( <i>flow table</i> ) (mm)	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	Teor de ar incorporado (%)
	Li <sup>+++</sup> (cm)	Golpes	IP* (mm/J)	NBR 9287 (%) **	NBR 13277 (%)				
				1 min	1 min	15 min			
Mista	1,85	8	-10,0	73,6	97,7	87,6	244,5	1,92	4,8
Mista + Ar <sup>+</sup>	1,90	10	-10,2	65,0	96,2	86,1	205,0	1,79	13,5
Cimento + Ar <sup>+</sup>	1,90	11	-8,4	36,3	87,2	77,2	249,0	1,80	12,4
Cimento + Ar <sup>+</sup> + Ret <sup>++</sup>	1,85	18	-4,8	52,8	93,5	87,9	223,5	1,76	13,5

<sup>+</sup> Ar – Incorporador de ar.

<sup>++</sup> Ret – Retentor de água.

<sup>+++</sup> Li – Leitura Inicial.

\* IP – Índice de plasticidade

\*\* Cabe ressaltar que na NBR 9287 (1986) na realidade mede-se retenção de consistência, apesar da norma denominar de retenção de água.

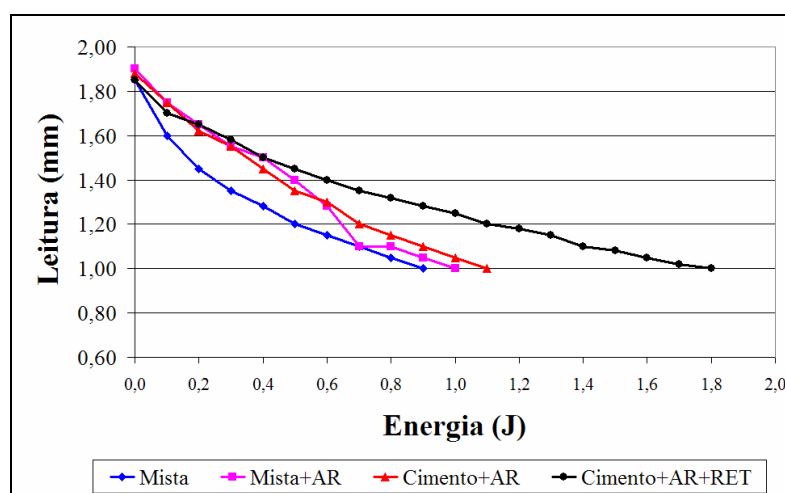


Figura 126. Curvas leitura *versus* energia para as argamassas estudadas.



Observa-se, na Tabela 54, que os parâmetros obtidos pelo GTec Teste estão dentro dos limites estabelecidos para argamassas de assentamento com trabalhabilidade adequada, com exceção da argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água, que apresentou um número de golpes acima do especificado (15 golpes) (Tabela 54 e Figura 126). Isso significa que a argamassa estava um pouco seca para o assentamento de blocos de concreto, indicado pela plasticidade inadequada. Cabe ressaltar que esta argamassa apresentou trabalhabilidade adequada na dosagem (item 3.2.5), porém no momento da execução dos prismas ela se mostrou ligeiramente mais consistente, dificultando o trabalho do assentador. Apesar de não ser considerada com trabalhabilidade “ótima”, foi possível assentar os prismas com esta argamassa.

Analisando as curvas da Figura 126, observa-se que o comportamento foi semelhante da argamassa mista com incorporador de ar e argamassa de cimento com incorporador de ar. Já o comportamento da argamassa mista foi distinto das demais e essa argamassa foi a considerada pelo assentador com a de melhor trabalhabilidade no momento da realização do ensaio.

Com relação à retenção de água, os valores obtidos pelos métodos analisados apresentam-se distintos, porém as argamassas tiveram comportamentos semelhantes independentemente do método, isto é, as maiores retenções de água foram obtidas para a argamassa mista, em seguida para a argamassa mista com incorporador de ar e argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água, e a argamassa que apresentou a menor retenção foi a argamassa de cimento com incorporador de ar. Este resultado já era esperado pois esta argamassa não continha em sua composição nenhum componente que lhe proporcionasse essa propriedade.

O índice de consistência (*flow table*) apresentou valores entre 205 a 249 mm, demonstrando, como mencionado anteriormente, não ser um bom parâmetro para avaliar a consistência de argamassas de assentamento quando são avaliados tipos de argamassas diferentes.

As curvas tensão *versus* deslocamento obtidos pelo *Squeeze Flow* para as argamassas analisadas são apresentadas na Figura 127 (com geometria circular) e na Figura 128 (retangular sem restrição e com apoio - livre).

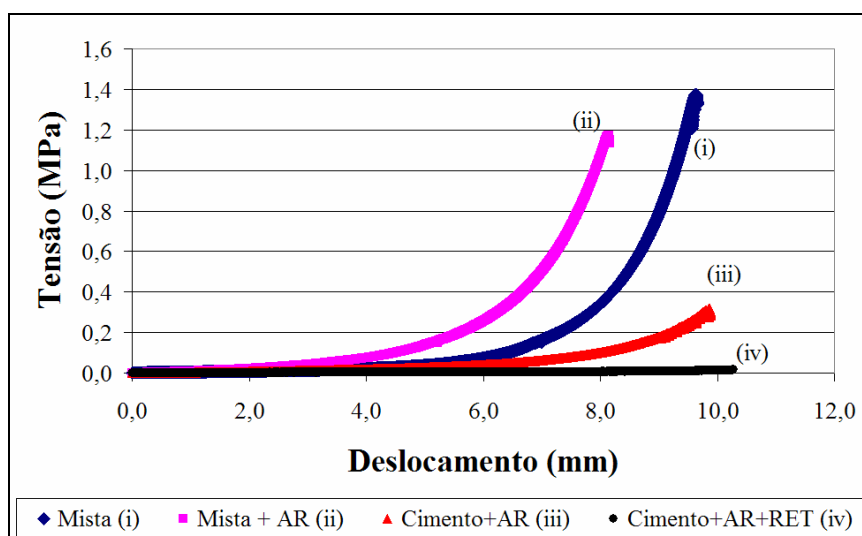


Figura 127. Curvas tensão *versus* deslocamento obtidas pelo *Squeeze Flow* com geometria circular.

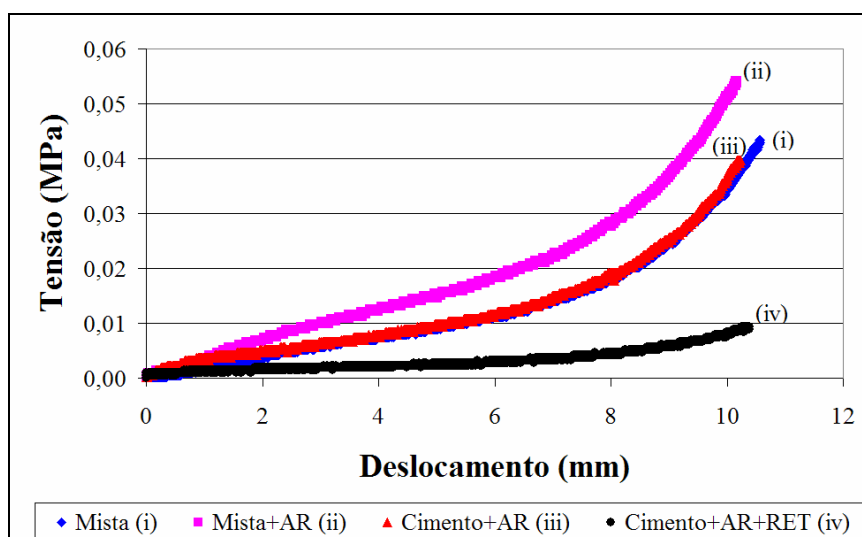


Figura 128. Curvas tensão *versus* deslocamento obtidas pelo *Squeeze Flow* com geometria retangular, sem restrição e com apoio.

As curvas obtidas pelo *Squeeze Flow* para as duas geometrias apresentaram perfil semelhante para as argamassas analisadas (Figura 127 e na Figura 128). Porém o comportamento da argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água foi distinto daquele obtido na Tabela 54 e Figura 126, onde a argamassa apresentou a maior quantidade golpes para a obtenção de um filete com espessura de 10 mm. Esse comportamento ocorreu pois no dia da avaliação dos parâmetros reológicos das argamassas do estudo definitivo, esta argamassa apresentou comportamento distinto do obtido anteriormente, caracterizado por uma incorporação de ar alta (20,2%) e uma leitura inicial ( $L_i$ ) de 1,0 cm (neste caso não necessitando de nenhum

golpe para a obtenção de filete de 1 cm). Desse modo essa argamassa estaria muito fluida para o assentamento com um filete de espessura 2 cm, por isso, também apresentou as menores tensões em relação às argamassas analisadas. Possivelmente o aditivo retentor de água não teve o efeito desejado (retenção de água) e por este motivo uma maior quantidade de água estava disponível na mistura para conferir fluidez. Isso pode ter ocorrido, pois a avaliação das características reológicas foi realizada no final do programa experimental e o aditivo pode ter modificado suas propriedades em função do tempo. Cabe ressaltar que foi repetida a mistura para a argamassa com incorporador de ar e retentor de água no mesmo dia e obteve-se os mesmos resultados. Para as demais argamassas, o comportamento apresentado foi semelhante ao obtido anteriormente (Tabela 54). Para exemplificar o comportamento das argamassas no momento da realização do *Squeeze Flow*, a Figura 129 apresenta a curva energia *versus* deslocamento obtidas pelo GTec Teste.

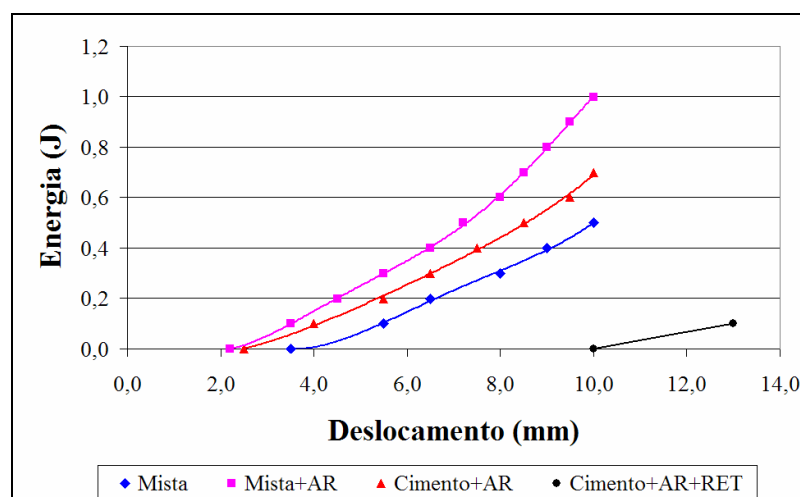


Figura 129. Curvas energia *versus* deslocamento obtidas pelo GTec Teste no momento da realização do *Squeeze Flow*.

Analisando as curvas obtidas pelo *Squeeze Flow* (Figura 127 e Figura 128) e o GTec Teste (Figura 129), observa-se que o comportamento mais semelhante foi quando se compara as curvas de tensão *versus* deslocamento do *Squeeze Flow* de geometria retangular sem restrição (livre) e as curvas obtidas de energia *versus* deslocamento pelo GTec Teste. Essa semelhança já havia sido constatada no estudo piloto (item 3.2.3.1), onde a melhor correlação obtida foi entre os valores de tensão do *Squeeze Flow* com a geometria retangular sem restrição (livre) e a energia avaliada pelo GTec Teste para uma mesma deformação (10 mm).

Com os valores obtidos no programa definitivo e no estudo piloto (item 3.2.3.1) foi possível avaliar o perfil das oito argamassas analisadas para o *Squeeze Flow* com geometria circular e geometria retangular sem restrição (livre) (Figura 130).

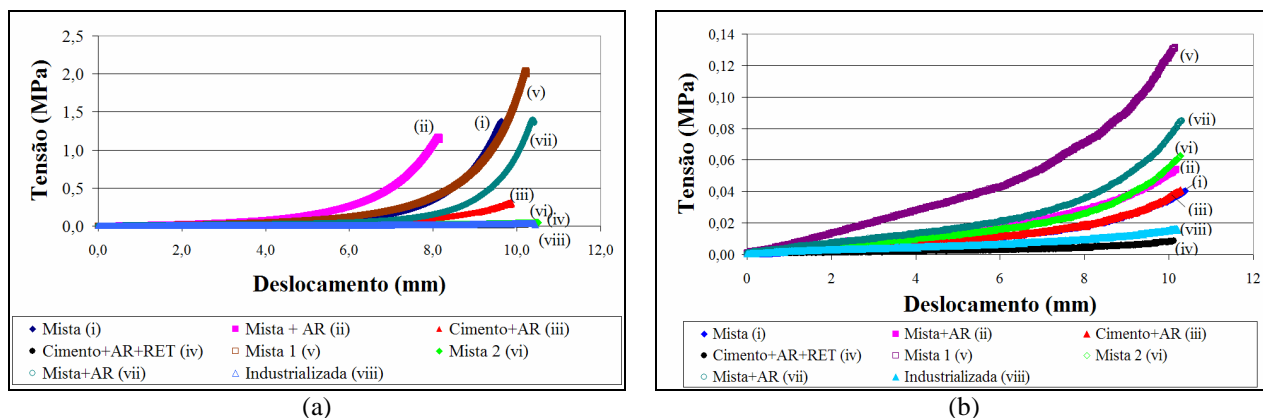


Figura 130. Curvas tensão *versus* deslocamento obtidas pelo *Squeeze Flow* para as argamassas avaliadas neste estudo: (a) com geometria circular e (b) com geometria retangular sem restrição e com apoio (livre).

Observando-se as curvas obtidas na Figura 130, percebe-se que, os parâmetros do GTec Teste juntamente com as avaliações de cada argamassa feitas pelo assentador permitem a criação de uma “faixa” para os perfis reológicos de argamassas de assentamento com trabalhabilidade adequada (Figura 131). A delimitação desta “faixa” só foi possível para as curvas obtidas pelo *Squeeze Flow* com geometria retangular sem restrição e com apoio. Cabe ressaltar novamente que para esta geometria e restrição foi obtida a melhor correlação entre a tensão do *Squeeze Flow* e a energia pelo GTec Teste para um mesmo deslocamento no estudo piloto.

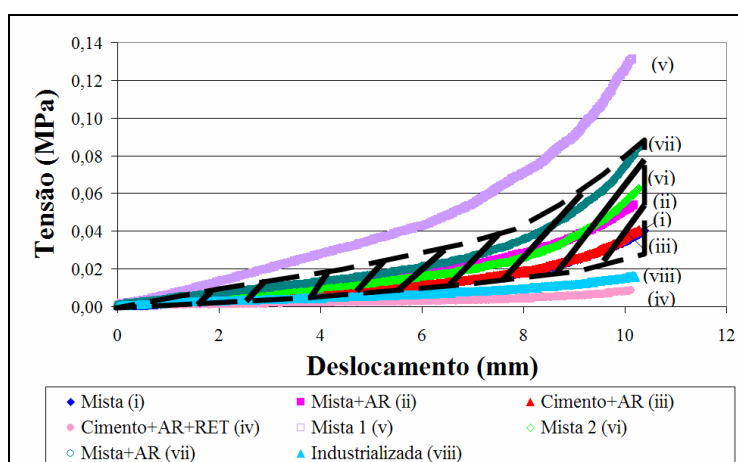


Figura 131. Curvas tensão *versus* deslocamento obtidas pelo *Squeeze Flow* com geometria retangular sem restrição e com apoio (livre) para as argamassas avaliadas neste estudo. Destaca-se, em preto, a “faixa” do perfil reológico para argamassas de assentamento com trabalhabilidade adequada.

É importante ressaltar que esta “faixa” de caracterização reológica obtida na Figura 131 aplica-se para as condições de contorno e matérias-primas utilizadas neste trabalho, porém é possível obter um indicativo inicial. Para se obter uma faixa que possa ser utilizada como parâmetro de dosagem é necessário realizar um amplo trabalho de caracterização da trabalhabilidade avaliada por vários assentadores em diversas regiões do país e com argamassas produzidas com a maior variedade possível de matérias-primas.

Com os valores obtidos pelo *Squeeze Flow* com geometria circular não foi possível obter uma faixa de caracterização reológica como para a geometria retangular. No entanto, a partir dos resultados obtidos com a geometria circular, foi possível calcular a tensão de escoamento (Tabela 55) e viscosidade elongacional (Figura 132) para as argamassas avaliadas no estudo definitivo.

Tabela 55. Propriedades no estado fresco das argamassas estudadas.

Argamassa	Tensão de Escoamento (kPa)
Mista	21,85
Mista + AR	21,27
Cimento + AR	8,59
Cimento + AR + Retentor	2,48

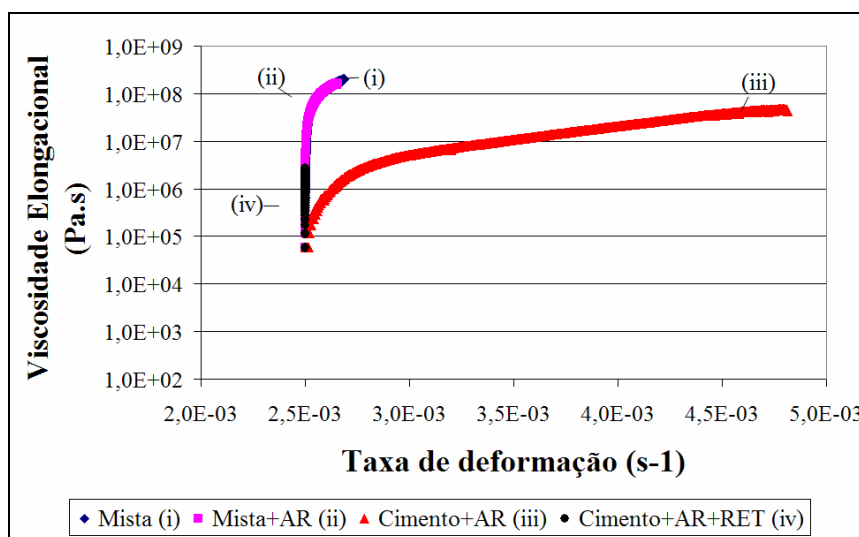


Figura 132. Curvas viscosidade elongacional *versus* taxa de deformação para as argamassas estudadas.

Com relação os valores obtidos de tensão de escoamento, observa-se que as argamassas mistas (com e sem incorporador de ar) apresentaram comportamento semelhante e não foi possível verificar a influência do aditivo incorporador de ar. Já para as argamassas de cimento (com incorporador de ar e com incorporador de ar mais retentor de água) verificou-se

uma diminuição da tensão de escoamento. O menor valor obtido de tensão de escoamento foi para argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água. Isto já era esperado pois esta argamassa apresentou leitura inicial ( $L_i$ ) de 1,0 cm, não exigindo nenhum golpe para se obter a espessura de 1 cm. Esse comportamento, como mencionado anteriormente, significa uma argamassa muito fluida e com alto teor de ar incorporado (20,2%).

Além disso, não foi verificada nenhuma tendência de comportamento entre a tensão de escoamento e os parâmetros obtidos pelo GTec Teste ou pela avaliação do assentador. Isto também já havia sido observado no estudo piloto.

As curvas de viscosidade elongacional foram semelhantes para três argamassas: argamassa mista, argamassa mista com incorporador de ar e argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água, para as quais a viscosidade aumentou consideravelmente para pequenas taxas de deformação. Já os valores obtidos de viscosidade elongacional para a argamassa de cimento com ar incorporado foram semelhantes aos verificados no estudo piloto para argamassa Mista 1 e mista com incorporador de ar, onde se observou um comportamento dilatante. Esse comportamento é caracterizado pelo aumento da viscosidade à medida que se eleva a taxa de cisalhamento aplicada.

Outro fator avaliado no estado fresco foi o tempo de início de pega para as quatro argamassas analisadas, sendo este parâmetro obtido pelas curvas de temperatura *versus* tempo (Figura 133).

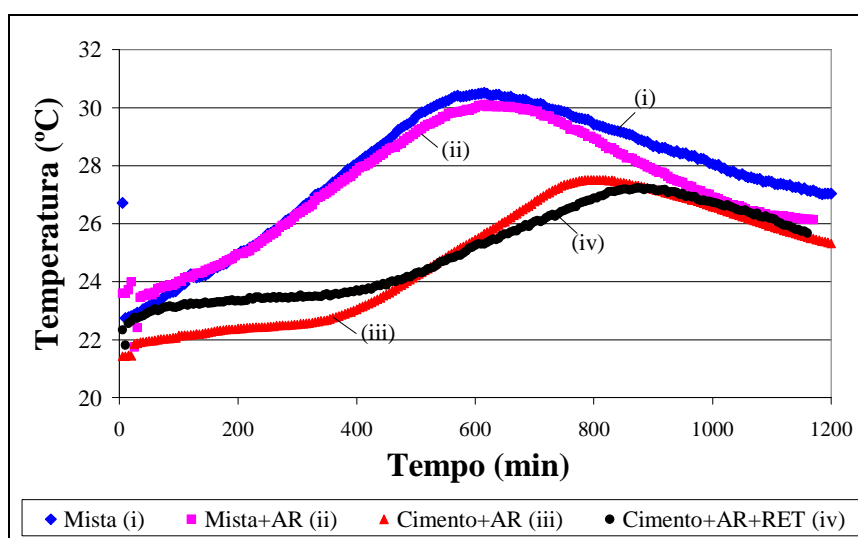


Figura 133. Curvas temperatura *versus* tempo para as argamassas analisadas.

A partir das curvas obtidas na Figura 133, percebe-se claramente a diferença entre as argamassas mistas e as argamassas à base de cimento. Para as argamassas mistas observou-se uma elevação de temperatura logo nos primeiros minutos<sup>38</sup> e após essa elevação não foi verificado o período de indução ou dormência descrito pela literatura (TAYLOR, 1990), diferentemente do observado anteriormente, para as argamassas à base de cimento, sem a presença da elevação inicial da temperatura e com o período de indução.

O tempo de início de pega, avaliado graficamente pela inflexão da curva temperatura *versus* tempo, foi muito pequeno para as argamassas mistas (15 minutos e 35 minutos para a argamassa mista e argamassa mista com incorporador de ar respectivamente). Já para as argamassas à base de cimento foram obtidos valores superiores: para a argamassa de cimento com incorporador de ar (380 minutos – 6h: 20 min) e a argamassa de cimento com incorporador de ar mais o retentor de água (425 minutos – 7h: 05 min). Observou-se claramente a influência dos aditivos no tempo de início de pega, retardando a hidratação do cimento como já havia sido verificado na literatura.

Como mencionado anteriormente, o perfil das curvas obtidas das argamassas mistas foi muito distinto e não se obteve informações na literatura que respaldasse esse comportamento, ou seja, após a elevação de temperatura, a ocorrência de um aumento gradativo da temperatura das argamassas para materiais cimentícios. Uma das possíveis causas de não ter sido verificado o período de indução ou dormência, seria uma elevação da temperatura devido à liberação de calor ocasionada pela hidratação da cal que não estaria totalmente hidratada. Cabe ressaltar que foi utilizada cal hidratada e também se realizou uma pré-mistura de cal hidratada com areia úmida no mínimo 16 horas antes do processo de mistura para o término da maturação da cal. Assim, para verificar os valores obtidos anteriormente, realizaram-se novas medidas do tempo de pega para a argamassa mista (4 repetições) e também medidas da mistura de cal hidratada, agregado miúdo e água nas mesmas proporções empregadas na argamassa (3 repetições). A Figura 134 apresenta curvas com os valores médios obtidos para a argamassa mista e a mistura de cal, agregado miúdo e água. A decisão pela apresentação dos valores médios, ao invés dos individuais foi em decorrência do comportamento extremamente similar entre as amostras ensaiadas.

---

<sup>38</sup> Comportamento explicado com detalhes na caracterização das juntas de assentamento nos resultado obtidos de

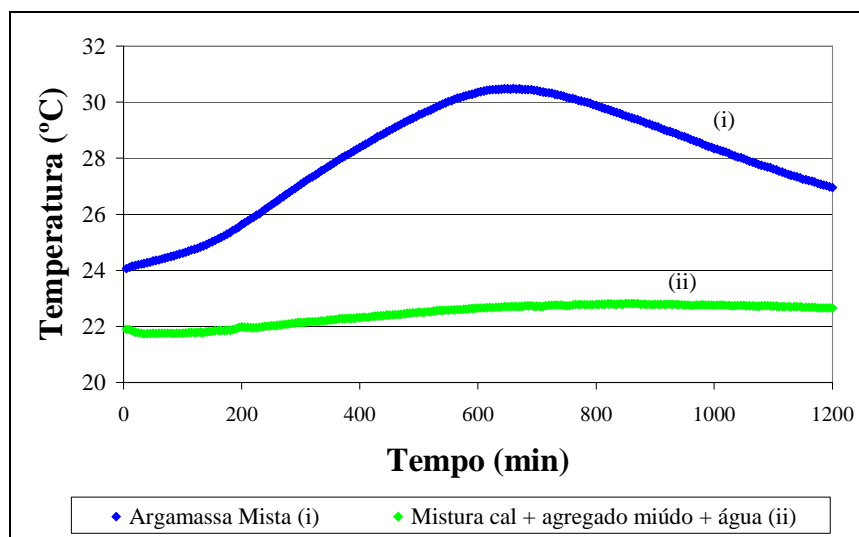


Figura 134. Curvas temperatura *versus* tempo para a argamassa mista e mistura de cal + agregado miúdo + água.

Observando-se a curva obtida para a argamassa mista (Figura 134), vê-se que a curva foi semelhante à obtida anteriormente confirmando os resultados encontrados. Já os valores de temperatura obtidos da mistura de cal hidratada, agregado miúdo e água aumentaram ligeiramente com o aumento do tempo (aumento de  $1,1^{\circ}\text{C}$ , 4%). Desse modo, o aumento de temperatura nos primeiros minutos para as argamassas mistas não pode ser atribuído às reações isotérmicas de hidratação da cal. Então, uma das possíveis causas para não ter sido verificado o período de indução para as argamassas mistas foi o meio fortemente alcalino encontrado pelo cimento que acelerou a formação dos produtos de hidratação do mesmo.

Diante dos resultados obtidos de tempo de início de pega observou-se que realmente houve um retardo no início das reações do cimento com a utilização dos aditivos incorporadores de ar e retentores de água. Cabe ressaltar que as argamassas à base de cimento foram dosadas com quantidade maior de agregado miúdo em relação ao cimento, diminuindo assim a quantidade de cimento na mistura em comparação à argamassa mista, apesar de ter sido mantida a relação água/cimento. Isso já poderia causar uma diminuição na elevação de temperatura obtida no ensaio de tempo de início de pega.

Além disso, os resultados obtidos também confirmaram o comportamento diferenciado das argamassas estudadas após a moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos (5x10) cm, como mencionado na metodologia.



A Tabela 56 apresenta as propriedades no estado endurecido determinadas para diversas dimensões de corpos-de-prova para as argamassas estudadas: resistência à compressão, resistência à tração na flexão e módulo de elasticidade.

Tabela 56. Propriedades no estado endurecido das argamassas e das juntas de assentamento estudadas.

Propriedade	Dimensão do CP* (cm)	Valores médios (MPa) (Coeficiente de variação - %)			
		Mista	Mista + incorporador de ar	Cimento + incorporador de ar	Cimento + incorporador de ar + retentor de água
Resistência à compressão	5x10	7,22 (13,0)	5,53 (14,3)	4,29 (16,0)	3,80 (25,0)
	4x4x8	6,54 (15,9)	3,51 (18,0)	3,91 (8,6)	-**
	2,5x1x8,5	7,77 (7,6)	6,09 (16,2)	4,82 (6,21)	3,23 (10,8)
Módulo de elasticidade	5x10	6609,5 (4,8)	5685,8 (27,1)	4915,2 (15,3)	3768,9 (12,9)
	2,5x1x17	9743,8 (9,2)	6741,8 (1,1)	4561,0 (6,6)	3327,0 (14,3)
Resistência à tração na flexão	4x4x16	1,98 (7,8)	1,35 (12,7)	1,43 (4,9)	-**
	2,5x1x17	2,35 (8,6)	2,07 (5,7)	1,07 (22,4)	0,54 (5,9)

\* CP – corpo-de-prova

\*\* Problemas na execução do ensaio

Pode-se observar, na Tabela 56, que os maiores valores obtidos de resistência à compressão foram para a argamassa mista. Esse comportamento já era esperado pois as demais argamassas tinham, em sua composição, aditivos incorporadores de ar e como foi mantida a relação água/cimento a tendência era de diminuição da resistência à compressão como foi observada. Além disso, verificou-se uma influência da dimensão do corpo-de-prova na resistência à compressão. Para os corpos-de-prova de (4x 4x 8) cm, os valores obtidos subestimaram a resistência à compressão das argamassas em relação aos valores obtidos para os corpos-de-prova de (5x 10) cm (Tabela 56 e Figura 135). Isso pode ter sido ocasionado pelo aparecimento de microfissuras devido à realização do ensaio de resistência à tração na flexão antes da obtenção da resistência à compressão. Já os valores obtidos para a geometria (2,5x 1,0x 8,5) cm apresentaram valores superiores ou próximos aos obtidos para os corpos-de-prova (5x 10) cm (Tabela 56 e Figura 135).

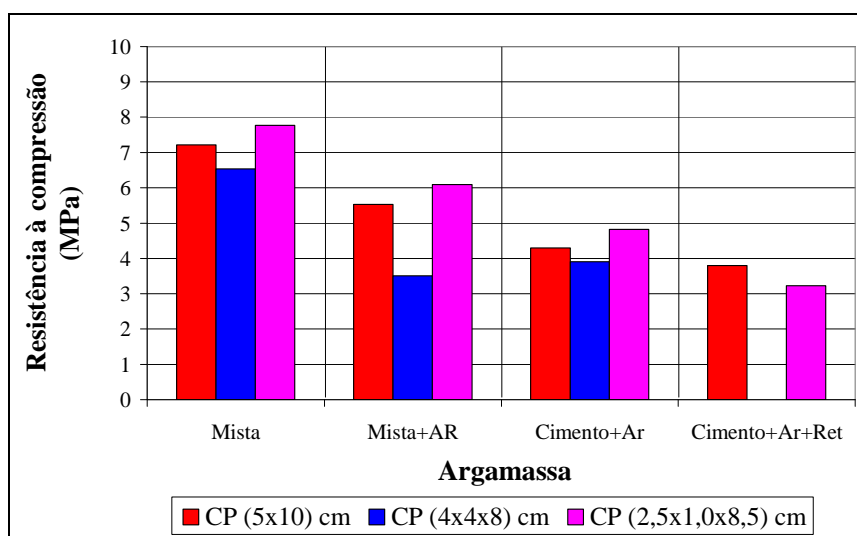


Figura 135. Resistência à compressão das argamassas analisadas especificando a dimensão do corpo-de-prova.

Para todas as argamassas, verificou-se que o módulo de elasticidade foi proporcional à sua resistência à compressão obtida para seu respectivo corpo-de-prova (Tabela 56). A exceção foi a argamassa mista que, para o corpo-de-prova (2,5x 1,0x 17,0) cm, não foi proporcional (valor superior) ao obtido de resistência à compressão do corpo-de-prova (2,5x 1,0x 8,5) cm.

Já para a resistência à tração na flexão foram obtidos valores entre 17 a 34% dos valores verificados de resistência à compressão (Tabela 56). A literatura aponta que o valor de resistência à tração normalmente é em torno de 20% da resistência à compressão. Assim, os valores obtidos estão próximos ao verificado na literatura. Como já era esperado, a argamassa mista apresentou os maiores valores de resistência à tração em relação ao de todas as argamassas estudadas.

Na caracterização das argamassas, observa-se uma variação marcante nos valores das propriedades medidas entre elas, o que era o objetivo de estudar diferentes formulações, para poder gerar possíveis distintas interações entre a argamassa e o bloco de concreto que serão abordadas no item 4.4.

### 4.3 CARACTERIZAÇÃO DAS JUNTAS DE ASSENTAMENTO

As juntas de assentamento foram caracterizadas no estado fresco (tempo de início de pega) e no estado endurecido (porosidade, resistência à compressão, módulo de elasticidade e resistência à tração na flexão).

A Figura 136 apresenta as curvas temperatura *versus* tempo para a junta de assentamento com sucção (prisma moldado com blocos de concreto normais) e para a junta sem sucção (prisma moldado com blocos de concreto impermeáveis) para a argamassa mista. Cabe ressaltar que os valores de temperaturas apresentados representam as maiores temperaturas observadas para cada junta (com e sem sucção).

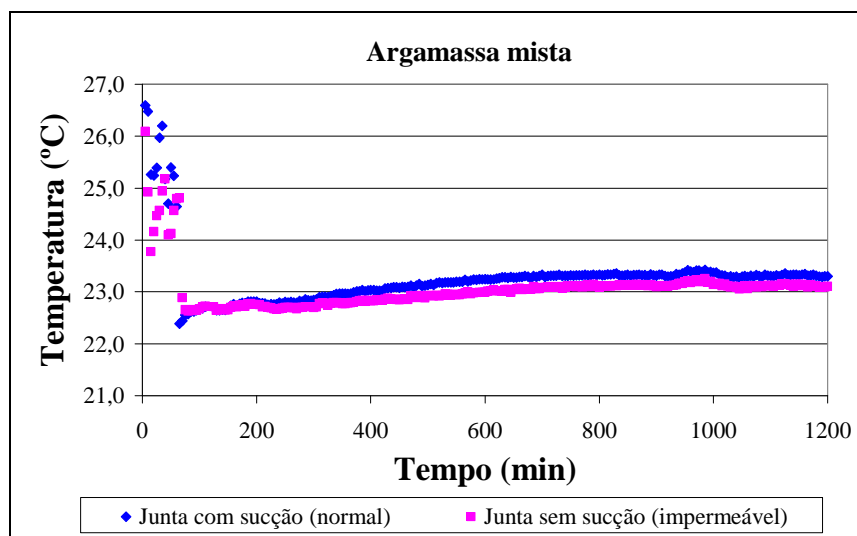


Figura 136. Curvas temperatura *versus* tempo para a argamassa mista da junta de assentamento com e sem sucção.

Observa-se na Figura 136 que, existe uma elevação de temperatura nos minutos iniciais logo após a moldagem dos prismas e o início do monitoramento. Esta elevação é explicada pela literatura (TAYLOR, 1990) como sendo devido à dissolução completa dos sulfatos alcalinos e liberações dos íons  $K^+$ ,  $Na^+$  e  $SO_4^-$ , à dissolução do sulfato de cálcio até a saturação, à liberação dos íons  $Ca^+$  e  $SO_4^-$ , e ao início da dissolução das fases anidras do cimento  $C_3S$ <sup>39</sup>,  $C_3A$ <sup>40</sup> e  $C_4AF$ <sup>41</sup>.

Outro fator importante a ser observado na Figura 136 é uma pequena diferença na temperatura de elevação de (26,6° C) nos primeiros minutos (aos 5 minutos) verificada para a junta com sucção (prisma moldado com blocos de concreto normal) em relação a junta sem sucção (impermeável). Possivelmente este comportamento foi observado pela perda de água da argamassa para o bloco de concreto causando o aumento de temperatura por dois motivos: (i) com a retirada da água da argamassa, diminui a relação água/cimento e, assim, maior é a

<sup>39</sup>  $C_3S$ : silicato tricálcico

<sup>40</sup>  $C_3A$ : aluminato tricálcico

<sup>41</sup>  $C_4AF$ : ferroaluminato tetracálcico

quantidade de cimento em relação à água para reagir; e (ii) também com a retirada da água, menor o volume de água na junta e assim menor dissipação do calor da hidratação do cimento. Por estes motivos, verifica-se uma influência inicial da perda de água da argamassa para o bloco de concreto tanto na hidratação dos componentes do cimento como na microestrutura das juntas de assentamento.

O mesmo comportamento das curvas temperatura *versus* tempo para a argamassa mista foi observado para a argamassa mista com incorporador de ar e argamassa de cimento com incorporador de ar. A Figura 137 e a Figura 138 apresentam as curvas temperatura *versus* tempo para a argamassa mista com incorporador de ar e argamassa de cimento com incorporador de ar, respectivamente.

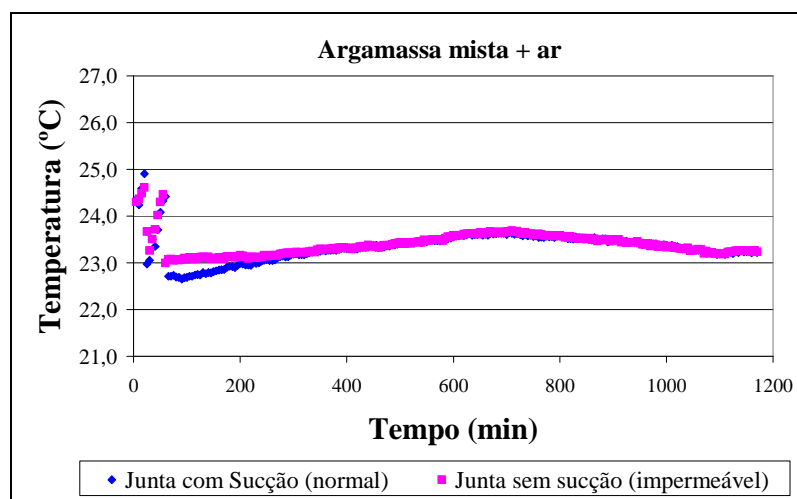


Figura 137. Curvas temperatura *versus* tempo para a argamassa mista com incorporador de ar da junta de assentamento com e sem sucção.

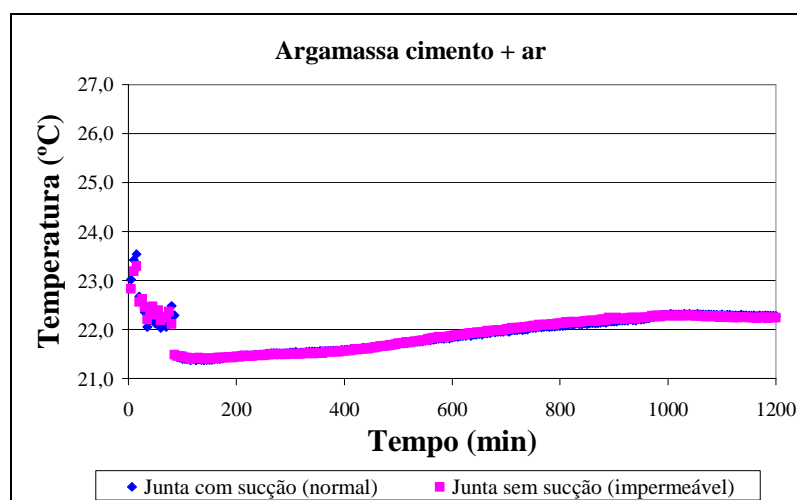


Figura 138. Curvas temperatura *versus* tempo para a argamassa cimento com incorporador de ar da junta de assentamento com e sem sucção.

Observando as curvas da Figura 137 e da Figura 138 percebe-se que o comportamento foi semelhante ao verificado para a argamassa mista. No entanto, as temperaturas de elevação foram inferiores ( $25,0^{\circ}\text{C}$  para argamassa mista com incorporador de ar e  $23,5^{\circ}\text{C}$  para a argamassa de cimento com incorporador de ar) e também a ocorrência desta elevação foi verificado apenas com 20 e 15 minutos para a argamassa mista com incorporador de ar e argamassa de cimento com incorporador de ar, respectivamente. Assim, observa-se um pequeno retardo do início das reações do cimento em relação à argamassa mista.

Já as curvas obtidas para a argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água são apresentadas na Figura 139.

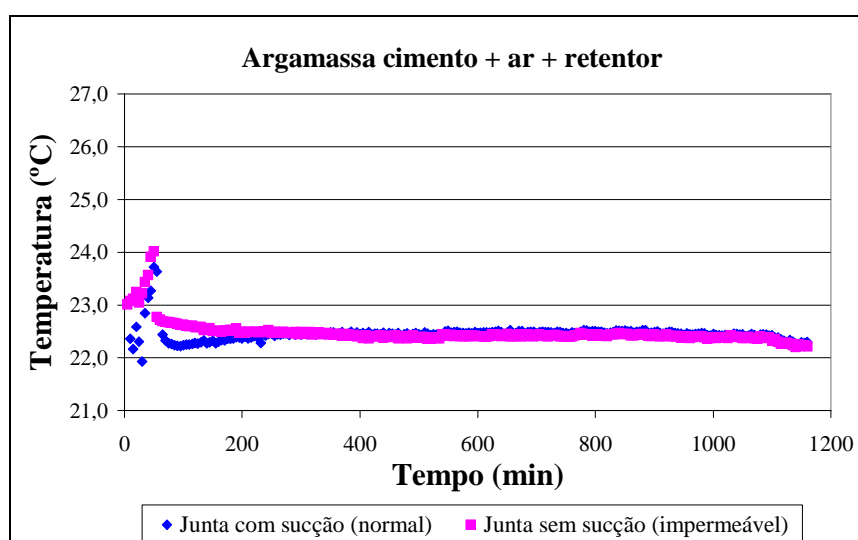


Figura 139. Curvas temperatura *versus* tempo para a argamassa cimento com incorporador de ar e retentor de água da junta de assentamento com e sem sucção.

Pode-se verificar, na Figura 139, que a temperatura de elevação foi semelhante à verificada para argamassa de cimento com incorporador de ar ( $24,0^{\circ}\text{C}$ ), entretanto a maior elevação verificada foi para a junta sem sucção (impermeável), demonstrando um comportamento distinto das demais argamassas analisadas. Além disso, a temperatura de elevação somente ocorreu com 50 minutos após o início do monitoramento. Novamente aqui se percebe um retardo do início das reações de hidratação do cimento que também já havia sido verificada para essa argamassa (tempo de início de pega de 7 horas e 5 minutos).

A partir das curvas de temperatura *versus* tempo foi verificada a influência da perda de água da argamassa para o bloco de concreto na temperatura obtida: para as argamassas mistas e de cimento com incorporador de ar, a junta de assentamento com sucção apresentou as maiores

temperaturas; e já para a argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água, a junta sem sucção apresentou as maiores temperaturas obtidas no tempo de 50 minutos do monitoramento do ensaio, mostrando claramente a influência do retentor de água. Esse comportamento também havia sido verificado no momento do assentamento dos prismas com argamassa de cimento com incorporador de ar e argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água, como mencionado anteriormente (detalhes no item 3.3.4 e exemplificada na Figura 101).

Para as juntas de assentamento, também foi avaliada a porosidade por meio do ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio para a argamassa mista e argamassa de cimento com incorporador de ar das juntas de assentamento com sucção (blocos de concreto normais) e sem sucção (blocos de concreto impermeável). Essa análise foi realizada para a verificação da influência da perda de água da argamassa para o bloco de concreto na microestrutura das argamassas.

Os resultados obtidos pelo ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio são apresentados conforme mencionados anteriormente no item 4.1 e podem ser observados na Figura 140 para argamassa mista, na Figura 141 para a argamassa de cimento com incorporador de ar e na Tabela 57.

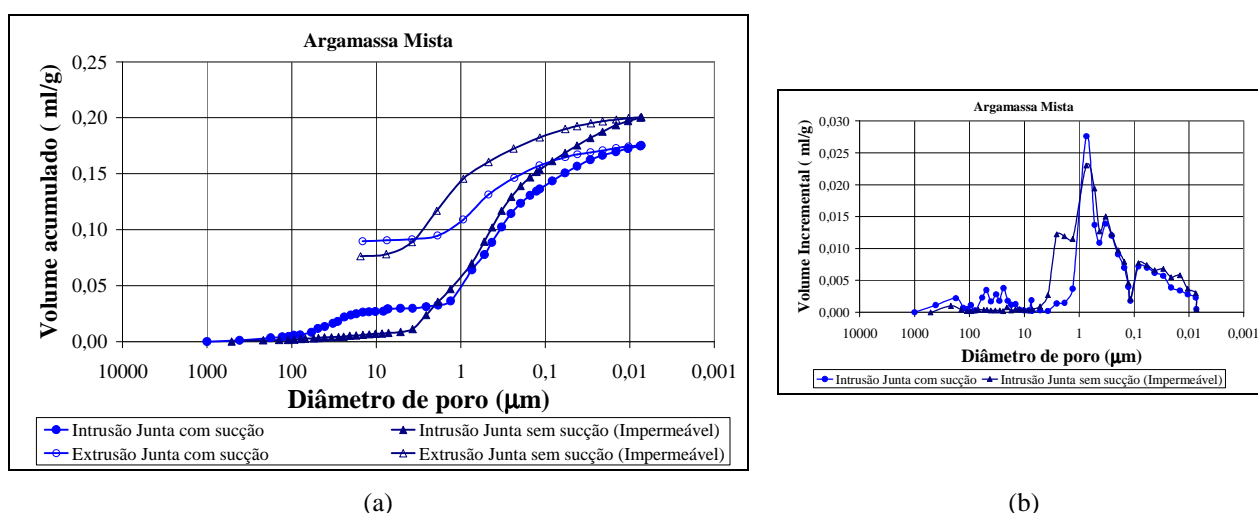


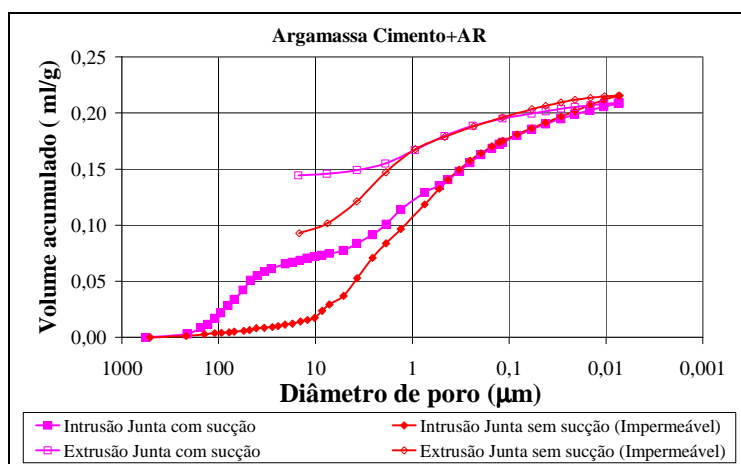
Figura 140. Distribuição do tamanho dos poros das argamassas obtidos com o uso da porosimetria por intrusão de mercúrio para argamassa mista: (a) volume incremental *versus* diâmetro dos poros e (b) volume acumulado *versus* diâmetro dos poros.

Comparando as curvas obtidas para a argamassa mista das juntas com e sem sucção (impermeáveis), observa-se uma diferença nas curvas para os macro poros (diâmetro > 20 µm)

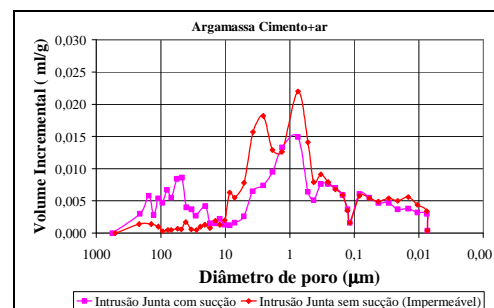
até os poros de diâmetro de 1,86  $\mu\text{m}$  (Figura 140a), também comprovado pela grande diferença diâmetro crítico (Tabela 57). Nesta classe de poros a junta com sucção apresentou uma quantidade de poros maior do que aquelas obtidas para a junta sem sucção, comprovado também na Figura 140b. A partir do diâmetro 1,86  $\mu\text{m}$ , as curvas são semelhantes somente sendo observado uma diferença após o diâmetro 0,25  $\mu\text{m}$ . Assim a junta com sucção apresentou menor quantidade de poros. Esses valores também foram confirmados pela menor área total dos poros e menor volume intrudido em relação a junta sem sucção (impermeável) (Tabela 57).

Tabela 57. Resultados de porosimetria por intrusão de mercúrio dos blocos de concreto analisados.

Característica	Argamassa			
	Argamassa Mista		Argamassa de cimento com incorporador de ar	
	Junta com sucção	Junta sem sucção	Junta com sucção	Junta sem sucção
Diâmetro crítico ( $\mu\text{m}$ )	94,36	3,73	153,32	8,56
Diâmetro característico ( $\mu\text{m}$ )	0,739	0,744	0,745	0,746
Área total de poros ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	6,52	8,24	6,28	7,70
Volume intrudido ( $\text{ml}/\text{g}$ )	0,175	0,201	0,209	0,216



(a)



(b)

Figura 141. Distribuição do tamanho dos poros das argamassas obtidos com o uso da porosimetria por intrusão de mercúrio para argamassa de cimento com incorporador de ar: (a) volume incremental *versus* diâmetro dos poros e (b) volume acumulado *versus* diâmetro dos poros.

A partir das curvas obtidas para a argamassa de cimento com incorporador de ar (Figura 141a), observa-se que a diferença entre a junta com sucção e sem sucção (impermeável) foi muito evidenciada, principalmente para macro poros e para os poros capilares até 0,52  $\mu\text{m}$ . Essa diferença nessa classe de poros é confirmada também pela Figura 141b, onde observa-se uma quantidade de poros maior para o mesmo diâmetro, e pela Tabela 57 cujo diâmetro crítico é

distinto. Além disso, a histerese das curvas obtidas de intrusão e extrusão também confirma essa classe de poros. Já para os micro poros não foram observadas diferenças significativas nas curvas, confirmadas também pelos valores próximos de área total dos poros e volume total intrudido (Tabela 57).

Diante dos resultados obtidos, percebe-se claramente que, tanto para a argamassa mista quanto para a argamassa de cimento com incorporador de ar, houve uma influência da transferência de água proveniente da argamassa para o bloco de concreto na microestrutura das juntas de assentamento. A maior diferença obtida foi nos macro poros, como já era esperado, pois no primeiro contato da argamassa com o bloco de concreto ocorre a transferência de água primeiramente nessa classe de poros. Com essa retirada de água, criou-se capilares de grande diâmetro. Já para os micro poros, para argamassa mista houve um refinamento maior dos poros nessa classe, obtendo menor quantidade de poros em relação a junta sem sucção. No entanto para a argamassa de cimento com incorporador de ar não houve diferença na quantidade de micro poros entre a junta com sucção e sem sucção.

Outro fator constatado nos resultados de porosimetria por intrusão de mercúrio foi a diferença entre as argamassas. A Figura 142 apresenta as curvas obtidas para as juntas sem sucção (impermeáveis) da argamassa mista e argamassa de cimento com incorporador de ar e a Figura 143 para as juntas com sucção.

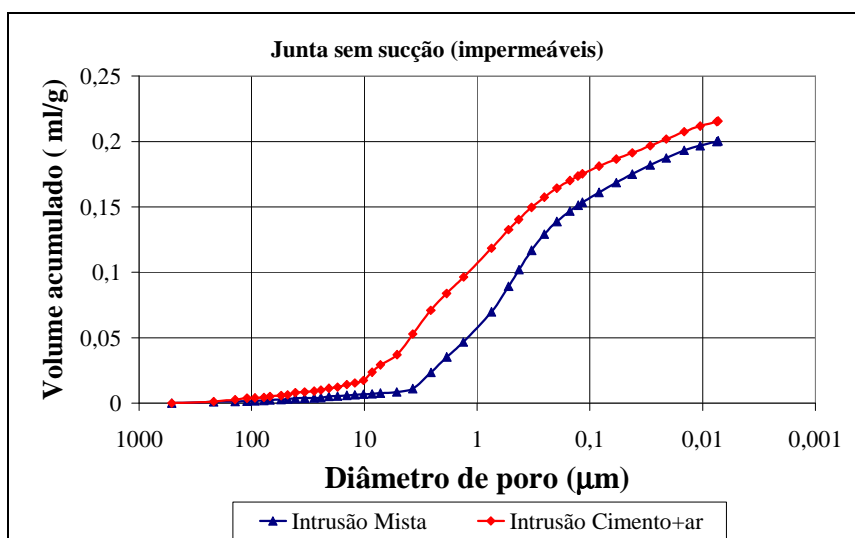


Figura 142. Curvas de volume incremental *versus* diâmetro dos poros obtidas com o uso da porosimetria por intrusão de mercúrio para a junta sem sucção (impermeável) da argamassa mista e da argamassa de cimento com incorporador de ar.



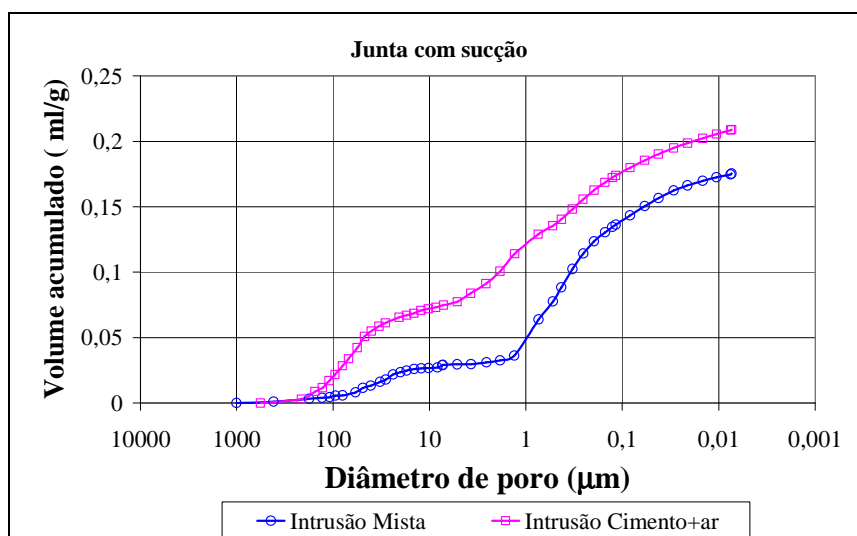


Figura 143. Curvas de volume incremental *versus* diâmetro dos poros obtidos com o uso da porosimetria por intrusão de mercúrio para a junta com sucção da argamassa mista e da argamassa de cimento com incorporador de ar.

A análise dos perfis obtidos na Figura 142 e na Figura 143 permite observar que existe uma diferença na distribuição do tamanho dos poros entre a argamassa mista e a argamassa de cimento com incorporador de ar. Para a argamassa de cimento com incorporador de ar, como já era esperado, apresentou uma quantidade de poros superior àquela obtida para a argamassa mista tanto para a junta sem sucção (impermeável) quanto para a junta com sucção. Essa diferença foi principalmente devido à composição distinta dessas argamassas, onde o uso de aditivos incorporadores de ar aumentou a porosidade das juntas. Esses resultados vêm confirmar os valores obtidos de resistência das argamassas, pois a argamassa mista (menor porosidade) apresentou as maiores resistências.

Outro fator importante a ser ressaltado é que, como já esperado, as porosidades obtidas para as juntas de assentamento foram superiores àqueles apresentadas pelos blocos de concreto. Esse resultado foi confirmado principalmente pelo maior volume de mercúrio intrudido nas juntas de assentamento (valor máximo de 0,216 ml/g) (Tabela 57) em relação ao obtido para os blocos de concreto (0,07ml/g) (Tabela 51).

Além dos resultados obtidos de porosidade, também foram determinadas a resistência à compressão, resistência à tração na flexão e o módulo de elasticidade. Os ensaios foram realizados tanto nas juntas de assentamento quanto em corpos-de-prova (2,5x 1,0x 17) cm

sem sucção moldados em formas metálicas. A Tabela 58 apresenta os resultados obtidos para as argamassas estudadas.

Tabela 58. Propriedades no estado endurecido das argamassas e das juntas de assentamento estudadas.

Propriedade	Valores médios (MPa) (Coeficiente de variação - %)					
	Resistência à compressão		Resistência à tração na flexão		Módulo de elasticidade	
Dimensão do CP (cm)	(2,5x 1,0x 8,5)		(2,5x 1,0x 17,0)		(2,5x 1,0x 17,0)	
Argamassa	Normal	Junta	Normal	Junta	Normal	Junta
Mista	7,77 (7,6)	7,12 (8,1)	2,35 (8,6)	1,89 (6,4)	9743,8 (9,2)	10183,9 (0,1)
Mista + incorporador de ar	6,09 (16,2)	3,28 (34,0)	2,07 (5,7)	1,11 (1,2)	6741,8 (1,12)	7896,0 (5,2)
Cimento + incorporador de ar	4,82 (6,21)	6,14 (16,0)	1,07 (22,4)	1,74 (22,4)	4561,0 (6,6)	11967 (34,9)
Cimento + incorporador de ar + retentor de água	3,23 (10,8)	3,44 (38,9)	0,54 (5,9)	0,51 (1,5)	3327,0 (14,3)	6114,7 (5,8)

Pode-se observar, na Tabela 58, que a resistência obtida nas juntas de assentamento foi diferente daquelas obtidas para corpos-de-prova moldados em formas metálicas (normal) para as argamassas analisadas. Os valores de resistência à compressão e à tração na flexão para a argamassa mista e a argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água foram semelhantes para os corpos-de-prova (normal) e a junta de assentamento. Já para a argamassa mista com incorporador de ar, os valores obtidos da junta foram inferiores aos obtidos em corpos-de-prova (normal). E, apenas para a argamassa de cimento com incorporador de ar, os valores de resistência da junta foram superiores aos obtidos para os corpos-de-prova (normal). A Figura 144 exemplifica melhor os resultados obtidos.

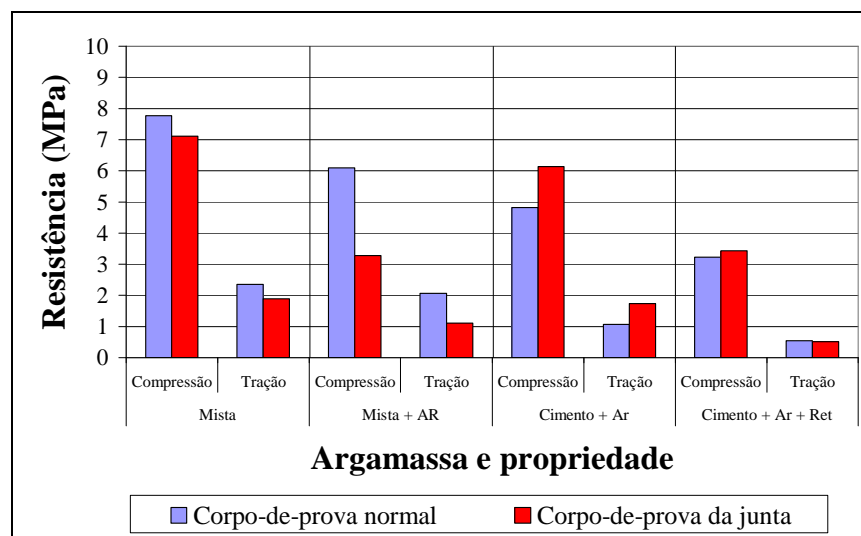


Figura 144. Resistência à compressão e à tração na flexão para as argamassas estudadas obtidas de corpos-de-prova moldados em formas metálicas e corpos-de-prova retirados da junta de assentamento.

Os valores obtidos para a argamassa mista foram diferentes dos encontrados por Casali (2003), que obteve que a resistência à compressão de corpos-de-prova moldados em moldes metálicos subestimam os valores obtidos da junta de assentamento para argamassa mista. Esse comportamento foi observado para a argamassa de cimento com incorporador de ar (Figura 144). Possivelmente, para esta argamassa, a transferência de água da argamassa para o bloco de concreto beneficiou a resistência à compressão e à tração de flexão (aumentando os valores). Cabe ressaltar que esta argamassa apresentou a menor retenção de água em relação às argamassas analisadas. Já para a argamassa mista com incorporador de ar a transferência de água para o bloco de concreto diminuiu os valores de resistência.

Outro fator importante a ser comentado é que os valores obtidos por Casali (2003) foram analisados por penetração de pino na junta de assentamento, assim não ocorrendo nenhuma perturbação na junta após o assentamento. Já o método utilizado, por ter ocorrido fissuração no corpo-de-prova em função do seu processo de preparação.

Com relação ao módulo de elasticidade das argamassas, observou-se que, para os corpos-de-prova moldados em moldes metálicos, o módulo de elasticidade foi proporcional à resistência à compressão. Entretanto, para os corpos-de-prova retirados da junta de assentamento, o módulo de elasticidade não foi proporcional à resistência à compressão, sendo em todos os casos superiores aos obtidos nos corpos-de-prova metálicos. Isso quer dizer que a junta de assentamento era menos deformável que os corpos-de-prova moldados em moldes metálicos.

A partir dos resultados obtidos de caracterização das juntas de assentamento, observou-se novamente um comportamento diferenciado das argamassas e verificou-se uma influência da transferência de água da argamassa para o bloco de concreto. Para uma argamassa, argamassa de cimento com incorporador de ar, a retirada de água da argamassa pelo bloco de concreto aumentou os valores de resistência. Já para duas argamassas (argamassa mista e argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água), não houve influência da perda de água da argamassa para o bloco de concreto. E para a argamassa mista com incorporador de ar a transferência de água da argamassa para o bloco de concreto diminuiu as propriedades mecânicas das juntas de assentamento.

#### 4.4 ESTUDO DA TRANSFERÊNCIA DE ÁGUA DA ARGAMASSA PARA O BLOCO DE CONCRETO

Os resultados do estudo da transferência de água da argamassa para o bloco de concreto serão apresentados em dois grandes tópicos: (i) perda de água da argamassa para o bloco de concreto em função do teor de umidade da argamassa com o tempo; e (ii) absorção de água proveniente da argamassa pelo bloco de concreto em função da absorção de água por área com o tempo. Foram apresentados os valores médios para cada argamassa e em seguida uma comparação entre as quatro argamassas estudadas. Primeiramente serão abordados os resultados obtidos com as amostras de Florianópolis e em seguida com as amostras de Blumenau.

##### 4.4.1 Perda de água da argamassa para o bloco de concreto

A perda de água da argamassa para o bloco de concreto com o tempo é apresentada nas curvas teor de umidade *versus* tempo. Cabe ressaltar que a perda de umidade da argamassa ocorre devido à evaporação de água ou a evaporação de água juntamente com a sucção do bloco de concreto. A Figura 145 apresenta os resultados médios obtidos para a argamassa mista com o bloco de concreto de Florianópolis para as três classes distintas (absorção baixa, absorção média e absorção alta<sup>42</sup>). Além disso, a Figura também apresenta a curva com os valores obtidos da determinação do teor de umidade da argamassa com amostras impermeáveis (amostras envolvidas com filme de PVC transparente).

---

<sup>42</sup> As classes de absorção de água (baixo, médio e alto) da amostra de bloco de concreto foram pré-selecionadas no item 3.2.2.3 onde se obteve os níveis de absorção por meio do ensaio de absorção de água por capilaridade de água aos 60 minutos.

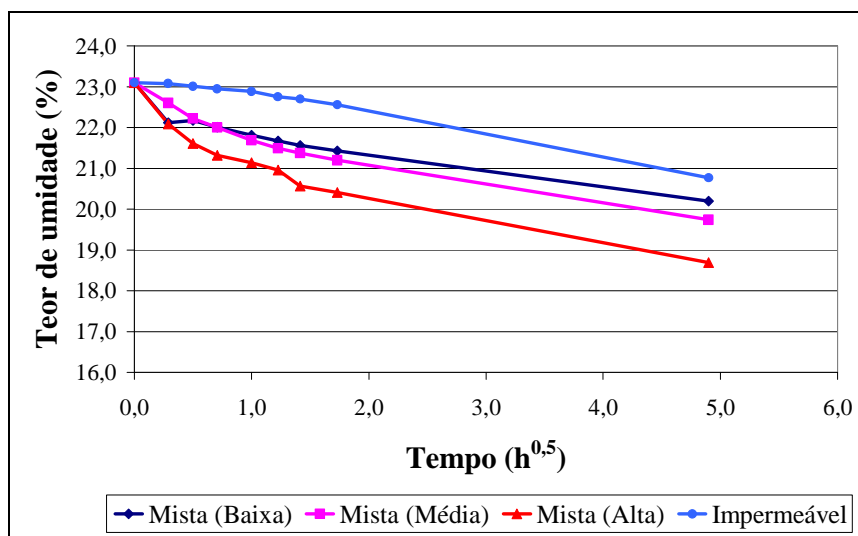


Figura 145. Teor de umidade *versus* tempo para a argamassa mista com as três classes de bloco de concreto de Florianópolis e com amostras impermeáveis.

Observando-se o comportamento das curvas de teor de umidade com o tempo, vê-se, que houve uma influência da absorção de água do bloco de concreto no teor de umidade obtido da argamassa (Figura 145). A menor umidade encontrada foi para a amostra de bloco de concreto que apresentava a maior absorção de água por capilaridade aos 60 minutos (absorção alta). Já para as amostras com absorções média e baixa o comportamento foi semelhante nas primeiras horas e depois as amostras com absorções mais baixas apresentaram maior teor de umidade (menor perda de água da argamassa). Como já era esperado, o teor de umidade mais alto encontrado foi para a argamassa em contato com amostras impermeáveis, pois justamente essa argamassa não perde água pela sucção das amostras de bloco de concreto. Neste caso, a perda de umidade ocorreu apenas com evaporação de água para o ambiente.

Para a argamassa mista com incorporador de ar e argamassa de cimento com incorporador de ar, o perfil das curvas teor de umidade *versus* tempo foi semelhante ao obtido para a argamassa mista. A Figura 146 e a Figura 147 apresentam as curvas teor de umidade *versus* tempo para a argamassa mista com incorporador de ar (Mista+ar) e para a argamassa de cimento com incorporador de ar (Cimento+ar) para todas as amostras analisadas.

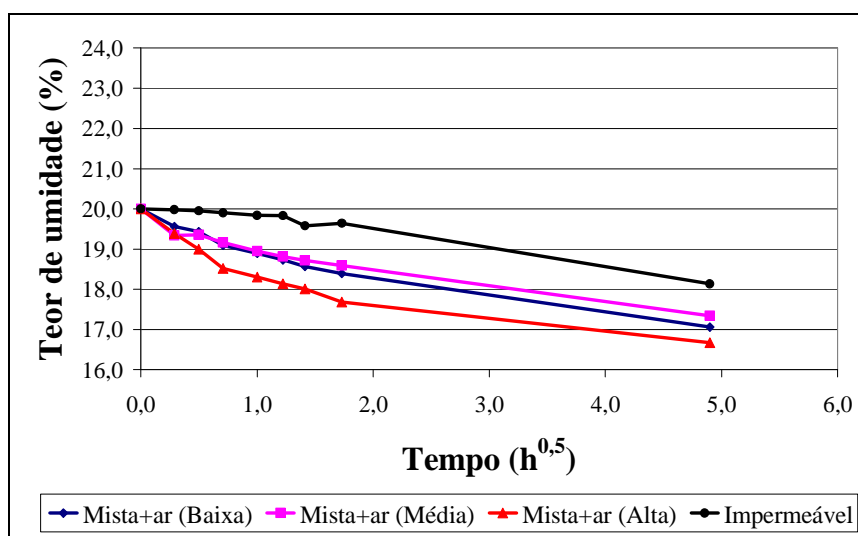


Figura 146. Teor de umidade *versus* tempo para a argamassa mista com incorporador de ar com as três classes de bloco de concreto de Florianópolis e com amostras impermeáveis.

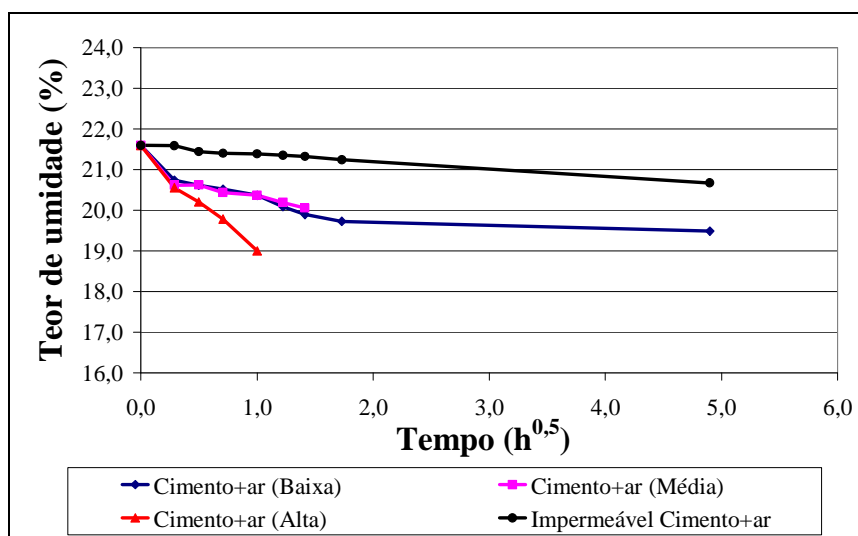


Figura 147. Teor de umidade *versus* tempo para a argamassa de cimento com incorporador de ar com as três classes de bloco de concreto de Florianópolis e com amostras impermeáveis.

Conforme pode ser observado na Figura 145, Figura 146 e Figura 147, as argamassas apresentam teores de umidade iniciais distintos. Isso não foi em função das relações água/cimento diferentes e sim da diferença no traço utilizado para a obtenção de argamassas com trabalhabilidade adequada. Assim, os teores de umidade das argamassas mista com incorporador de ar e de cimento com incorporador de ar (que continham maior quantidade de agregado miúdo em relação ao cimento e em relação à argamassa mista) apresentaram valores iniciais inferiores em relação ao obtido para a argamassa mista. Já a argamassa de cimento com incorporador de ar

e retentor de água possuía teor de umidade inicial semelhante ao obtidos pela argamassa mista, cujo traço era o mais próximo obtido dessa argamassa (Figura 148).

Cabe ressaltar que na Figura 147 as curvas para a absorção média e alta não foi possível obter todos os dados da curva, pois nos quatro corpos-de-prova utilizados ocorreu uma perda da argamassa e após esse tempo os valores eram então descartados. O mesmo ocorreu para a argamassa com incorporador de ar e retentor de água para as amostras com absorção baixa e alta (Figura 148).

As curvas teor de umidade *versus* tempo obtidas para a argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água são apresentadas na Figura 148.

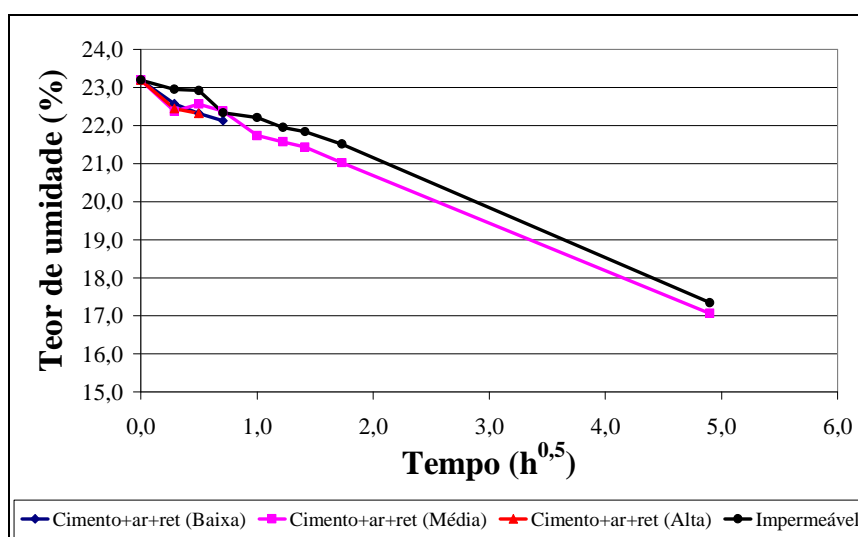


Figura 148. Teor de umidade *versus* tempo para a argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água com as três classes de bloco de concreto de Florianópolis e com amostras impermeáveis.

A partir das curvas obtidas das argamassas de cimento com incorporador de ar e retentor de água, observa-se que o perfil das curvas foi diferenciado das demais argamassas, isto é, o teor de umidade não foi influenciado pela a absorção da amostra de bloco de concreto. Essa influência não foi verificada, pois os valores obtidos para as três classes apresentaram valores próximos entre si. Além disso, também não foi obtida uma diferença significativa entre o teor de umidade da argamassa com amostras impermeáveis e as demais amostras de bloco de concreto.

Com o intuito de analisar o comportamento das argamassas entre si, primeiramente foi necessário considerar que as argamassas, no instante inicial, estavam completamente saturadas (100% de umidade). Desse modo, foi obtida a porcentagem de umidade correspondente em cada tempo para todas as argamassas. A Figura 149 apresenta os valores

obtidos para as amostras impermeáveis, amostras de bloco de concreto com absorções baixa, média e alta para todas as argamassas estudadas.

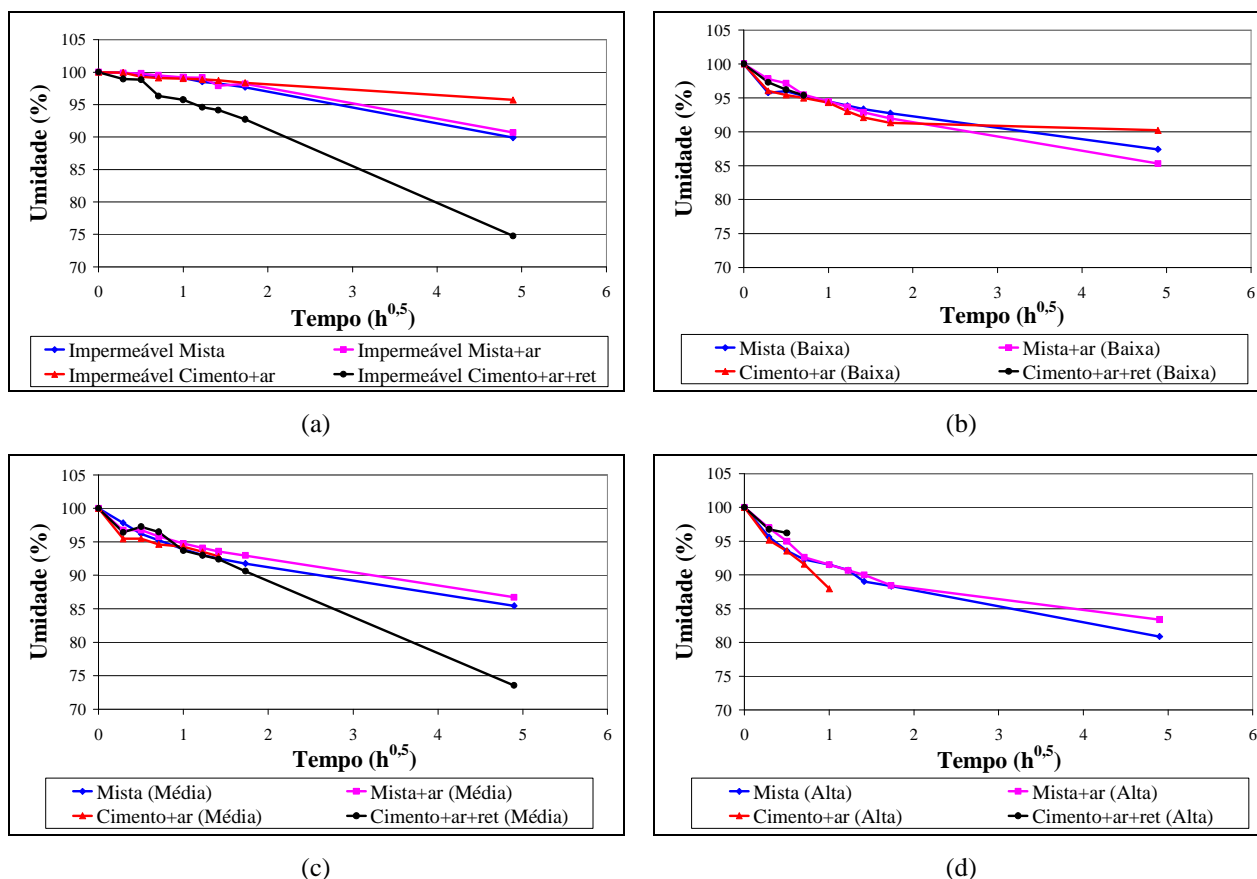


Figura 149. Umidade *versus* tempo para a argamassa mista, argamassa mista com incorporador de ar, argamassa de cimento com incorporador de ar e argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água: (a) amostras impermeáveis; (b) amostras de bloco de concreto com absorção baixa; (c) amostras de bloco de concreto com absorção média e (d) amostras de bloco de concreto com absorção alta provenientes de Florianópolis.

O comportamento observado das argamassas com as amostras impermeáveis (Figura 149a) e com as amostras de bloco de concreto de absorção média (Figura 149c) foi semelhante. Os menores valores de umidade foram obtidos para a argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água. Esse comportamento foi mais nítido para as amostras impermeáveis, onde o comportamento da argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água foi diferenciado das demais já nos tempos iniciais. Para as amostras de bloco de concreto com absorções baixa e alta, o perfil das curvas para todas as argamassas foi semelhante, diferenciando apenas com o tempo de 24 horas (4,9 horas<sup>0,5</sup>).

Já as curvas obtidas de teor de umidade *versus* tempo para a argamassa mista e argamassa de cimento com incorporador de ar avaliadas para os blocos de Blumenau podem ser



observadas na Figura 150 e na Figura 151. Cabe ressaltar que para as amostras dos blocos de concreto de Blumenau foram avaliadas apenas amostras com absorção média em função dos resultados obtidos no item 3.2.2. Para estas amostras de absorção média, também foi avaliado o comportamento da perda de água da argamassa com diferentes condições ambientais, aplicando-se um tratamento: amostras com temperatura inicial de 30°C e com as superfícies levemente umedecidas por meio de um rolo de pintura úmido.

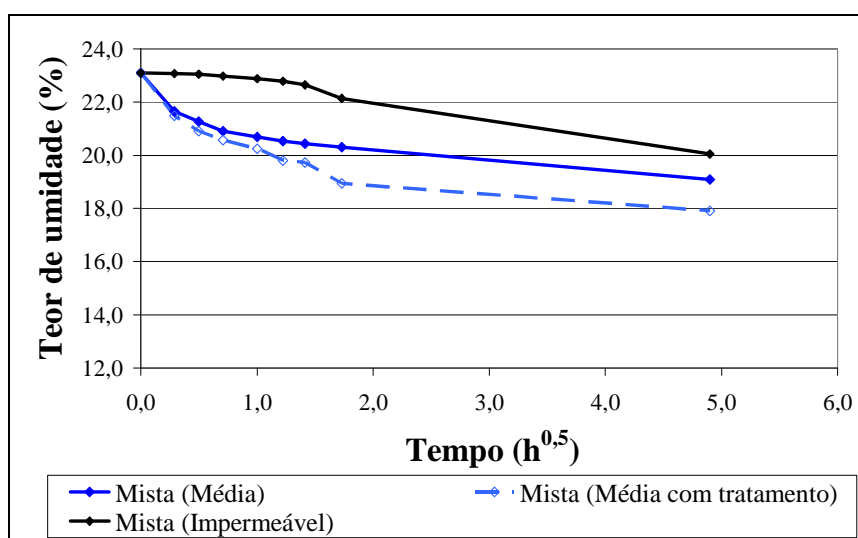


Figura 150. Teor de umidade *versus* tempo para a argamassa mista para as amostras do bloco de concreto de Blumenau: amostras impermeáveis, amostras com absorção média sem e com tratamento.

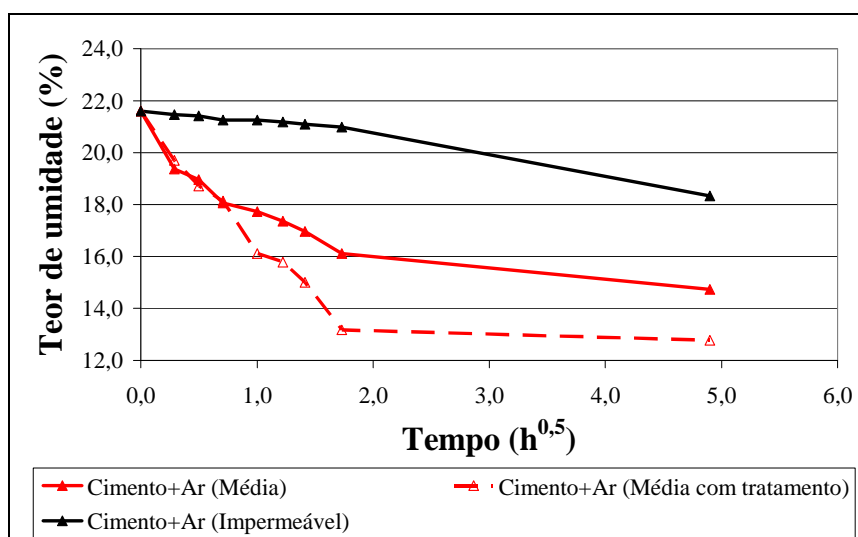


Figura 151. Teor de umidade *versus* tempo para a argamassa de cimento com incorporador de ar para as amostras do bloco de concreto de Blumenau: amostras impermeáveis, amostras com absorção média sem e com tratamento.

Como pode-se visualizar na Figura 150 e na Figura 151, o comportamento das curvas foi influenciado pelo tratamento realizado na amostra (molhagem da superfície da qual seria colocado em contato com a argamassa). Os maiores teores de umidade foram apresentados para as amostras impermeáveis (somente água por evaporação) e os menores de teores de umidade foram obtidos para as amostras com tratamento. Esse comportamento já era esperado, pois as amostras com tratamento estavam com temperatura inicial superior ( $30^{\circ}\text{C}$ ) em relação as outras amostras (temperatura de  $23^{\circ}\text{C}$ ) e assim pode ter ocorrido uma evaporação da água, mesmo com a superfície sendo umedecida, desse modo a argamassa apresentou menor teor de umidade.

A Figura 152 mostra a comparação entre as argamassas (argamassa mista e argamassa de cimento com incorporador de ar) analisadas para os blocos de concreto de Blumenau considerando a umidade da argamassa inicial de 100%.

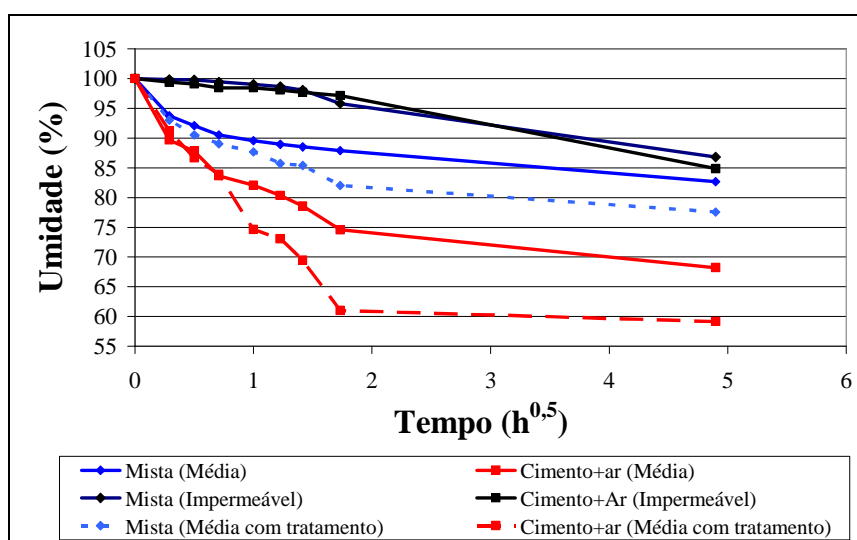


Figura 152. Umidade *versus* tempo para a argamassa mista e a argamassa de cimento com incorporador de ar para as amostras impermeáveis e do bloco de concreto de Blumenau.

Observa-se, na Figura 152, que as curvas umidade *versus* tempo para as amostras impermeáveis (água evaporável) foram semelhantes para as duas argamassas. No entanto para as amostras com absorção média e com tratamento verificou-se que a argamassa de cimento com incorporador apresentou as menores umidades em função do tempo. Cabe salientar que esta argamassa também apresentou os menores valores de retenção de água o que justificaria os resultados obtidos. Porém, para as amostras dos blocos de concreto de Florianópolis esse comportamento não foi evidenciado como demonstrado para as amostras de bloco de concreto de Blumenau.

Uma comparação entre as amostras obtidas de Florianópolis e Blumenau para a argamassa mista pode ser observada na Figura 153 e para a argamassa de cimento com incorporador de ar na Figura 154.

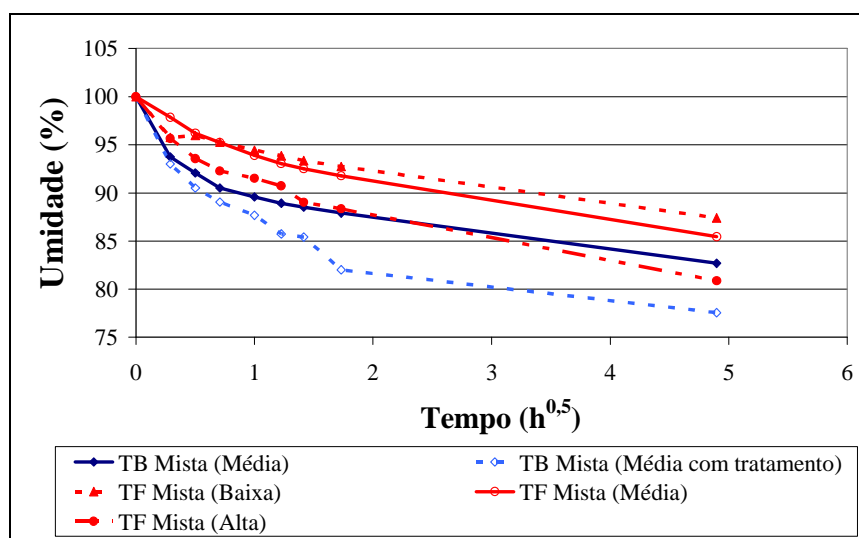


Figura 153. Umidade *versus* tempo para a argamassa mista para as amostras do bloco de concreto de Blumenau (TB) e de Florianópolis (TF).

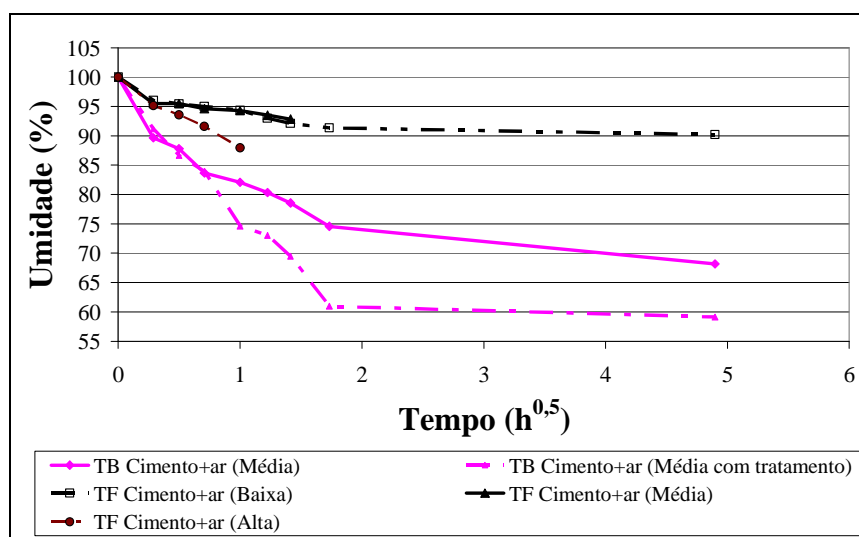


Figura 154. Umidade *versus* tempo para a argamassa de cimento com incorporador de ar para as amostras do bloco de concreto de Blumenau (TB) e de Florianópolis (TF).

Para a argamassa mista observa-se que os valores de umidade das argamassas com as amostras de Blumenau com absorção média foram semelhantes para as amostras com absorção alta de Florianópolis (Figura 153) a partir de 120 minutos (1,41 horas<sup>0,5</sup>). Os menores valores de

umidade foram obtidos para a amostra com absorção média de Blumenau com tratamento (temperatura inicial de 30°C e molhagem da superfície).

Já para a argamassa de cimento com incorporador de ar, as amostras de Blumenau apresentaram valores de umidade da argamassa com o tempo muito inferiores aos das amostras de Florianópolis para todas as absorções (Figura 154).

De maneira geral, para amostras com mesma absorção de água (média), os valores de umidade da argamassa com as amostras de Blumenau foram inferiores aqueles obtidos para as amostras de Florianópolis (Figura 153 e Figura 154). Isso quer dizer que a argamassa perdeu maior quantidade de água com as amostras de bloco de concreto de Blumenau em relação às amostras de Florianópolis. Cabe salientar que foram comparadas amostras com a mesma absorção (média), isto é, amostras que aos 60 minutos apresentaram valores médios de absorção de água por capilaridade semelhantes.

#### 4.4.2 Absorção de água proveniente da argamassa pelo bloco de concreto

A absorção de água proveniente da argamassa pelo bloco de concreto foi avaliada levando em consideração a área de cada amostra e a face analisada. Primeiramente serão abordados os resultados obtidos com as amostras de Florianópolis e em seguida com as amostras de Blumenau.

A Figura 155 apresenta a absorção de água em função do tempo de contato da argamassa mista com as amostras de bloco de concreto de Florianópolis: absorção baixa, absorção média e absorção alta. Além disso, nesta Figura, apresenta-se a absorção de água pela amostra da posição “1” (face superior) e da posição “2” (face inferior).

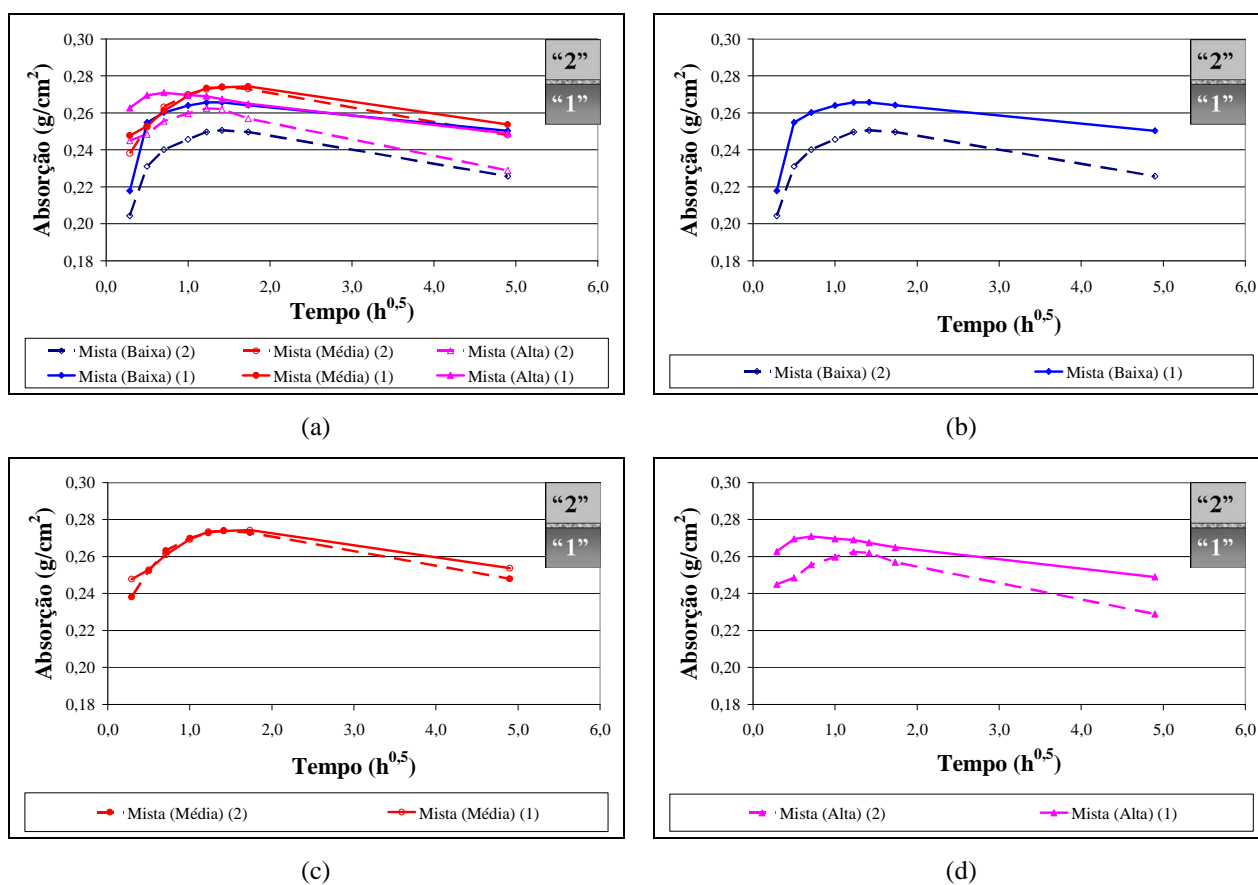


Figura 155. Absorção de água *versus* tempo para a argamassa mista com amostras de bloco de concreto de Florianópolis: (a) amostras com diversas absorções; (b) amostras com absorção baixa; (c) amostras com absorção média e (d) amostras com absorção alta.

Pode-se observar, na Figura 155a, que a maior absorção de água foi obtida pela amostra de absorção alta para a posição “1” até 60 minutos ( $1 \text{ hora}^{0,5}$ ). Após esse tempo, as maiores absorções foram obtidas para as amostras de absorção média, tanto para a posição “1” quanto para a posição “2”. A menor absorção de água observada foi para a amostra de absorção baixa da posição “2”, como já era esperado.

Outro fator notado foi que, para a argamassa mista, as amostras da posição “1” (face superior, assentamento) apresentaram valores superiores ou semelhantes as amostras da posição “2” (face inferior, fundo). Isso ressalta o comportamento mencionado por Gallegos (1995), que as amostra da posição “1” por receberem primeiro a argamassa, absorvem maior quantidade de água da argamassa.

Também foi observado que a absorção de água atinge um valor máximo, depois estabiliza e diminui com o tempo. Esse comportamento já era esperado, pois possivelmente o

valor máximo seja o ponto do qual a argamassa e bloco de concreto se estabilizam, isto é, cessa a transferência de água.

A Figura 156 mostra os valores obtidos para a argamassa mista com incorporador de ar para as amostras com absorções distintas obtidas dos blocos de concreto de Florianópolis.

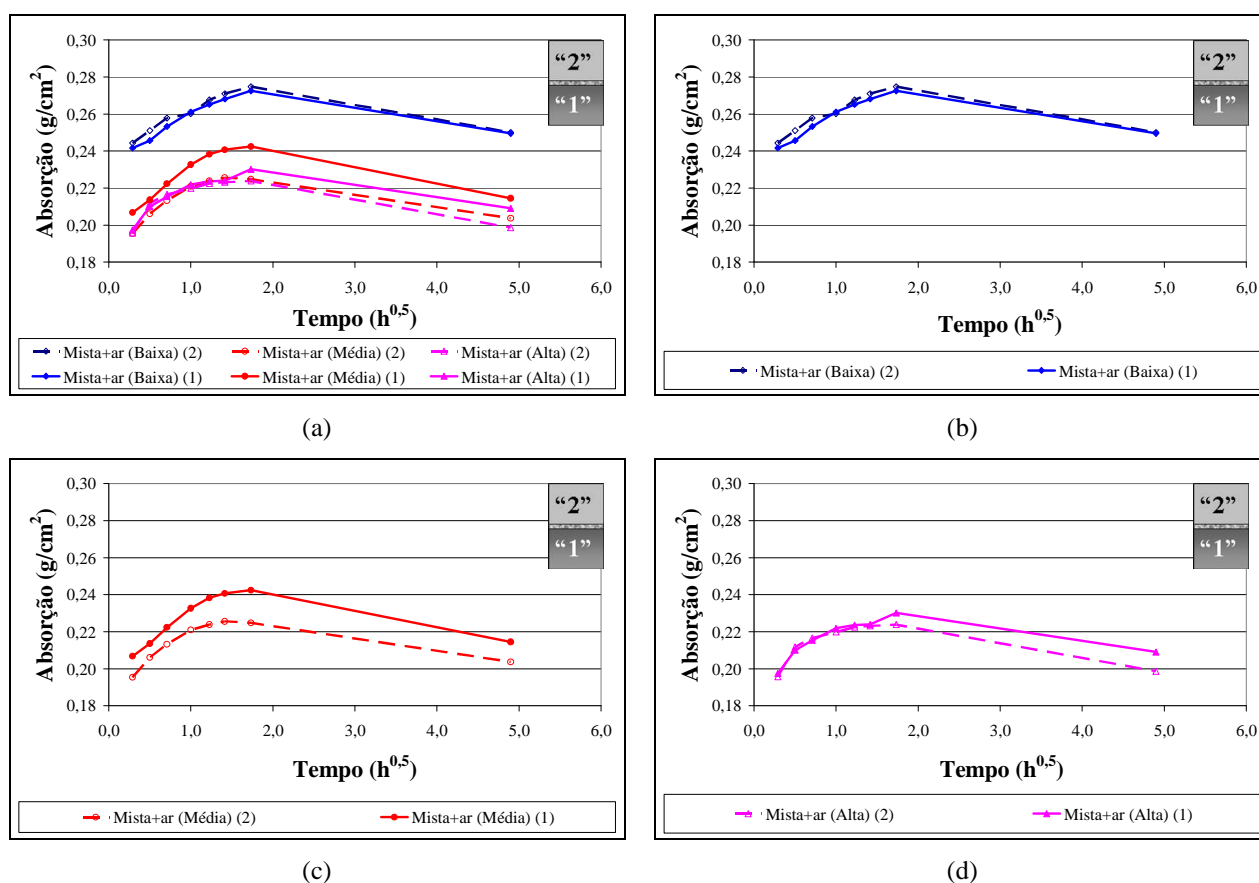


Figura 156. Absorção de água *versus* tempo para a argamassa mista com incorporação de ar com amostras de bloco de concreto de Florianópolis: (a) amostras com diversas absorções; (b) amostras com absorção baixa; (c) amostras com absorção média e (d) amostras com absorção alta.

Nota-se claramente na Figura 156a que, o comportamento das curvas obtidas para a argamassa mista com incorporador de ar foi inverso daquele obtido para a argamassa mista. No caso da argamassa mista com incorporador de ar a maior absorção encontrada foi para as amostras com absorção baixa e a menor absorção foi obtida para as amostras com absorção alta (Figura 156a).

Com relação à posição das amostras, verificou-se para as amostras com absorção baixa e alta que a absorção de água foi semelhante da posição "1" e "2" (Figura 156b e Figura 156d). No entanto, para as amostras com absorção média a posição "1" obteve as maiores

absorções em relação a posição “2” (Figura 156c). Esse comportamento da amostra foi o mesmo obtido para a argamassa mista.

A Figura 157 apresenta os valores obtidos para a argamassa de cimento com incorporador de ar para as amostras com absorções distintas obtidas com blocos de concreto de Florianópolis.

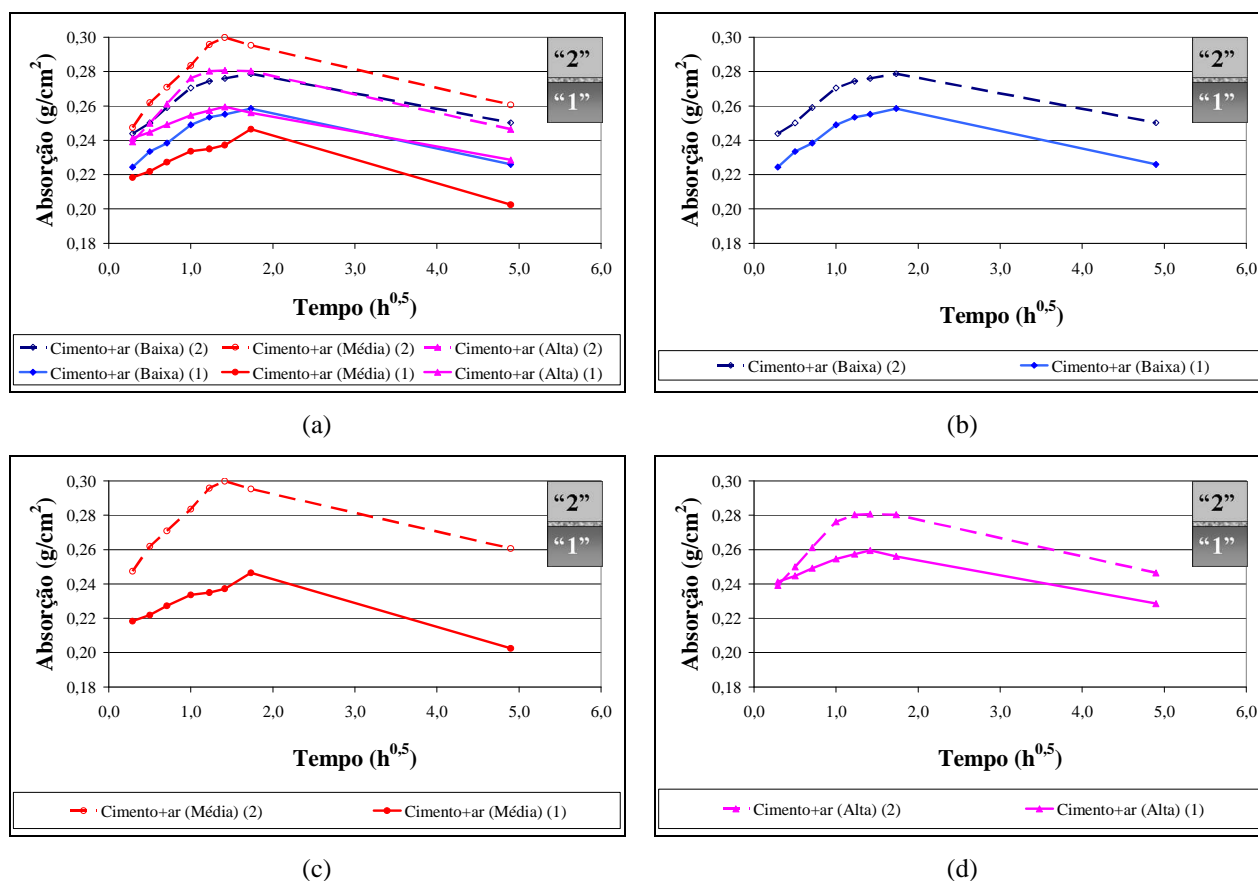


Figura 157. Absorção de água *versus* tempo para a argamassa de cimento com incorporação de ar com amostras de bloco de concreto de Florianópolis: (a) amostras com diversas absorções; (b) amostras com absorção baixa; (c) amostras com absorção média e (d) amostras com absorção alta.

A análise das curvas obtidas na Figura 157a permite observar que, para a argamassa de cimento com incorporador de ar, o comportamento foi distinto daquele obtido anteriormente tanto para a argamassa mista quanto para a argamassa mista com incorporador de ar. Para esta argamassa a maior absorção de água observada foi para a amostra com absorção média da posição “2”. A amostra com a mesma absorção (média) da posição “1” apresentou o menor valor de absorção de água.

Outro fato importante observado foi que, para este tipo de argamassa, a posição “2” apresentou os maiores valores de absorção em relação à posição “1” da amostra. Esse comportamento foi diferenciado das demais argamassas apresentadas anteriormente.

A Figura 158 apresenta os valores obtidos para a argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água para as amostras com absorções distintas obtidas dos blocos de concreto de Florianópolis.

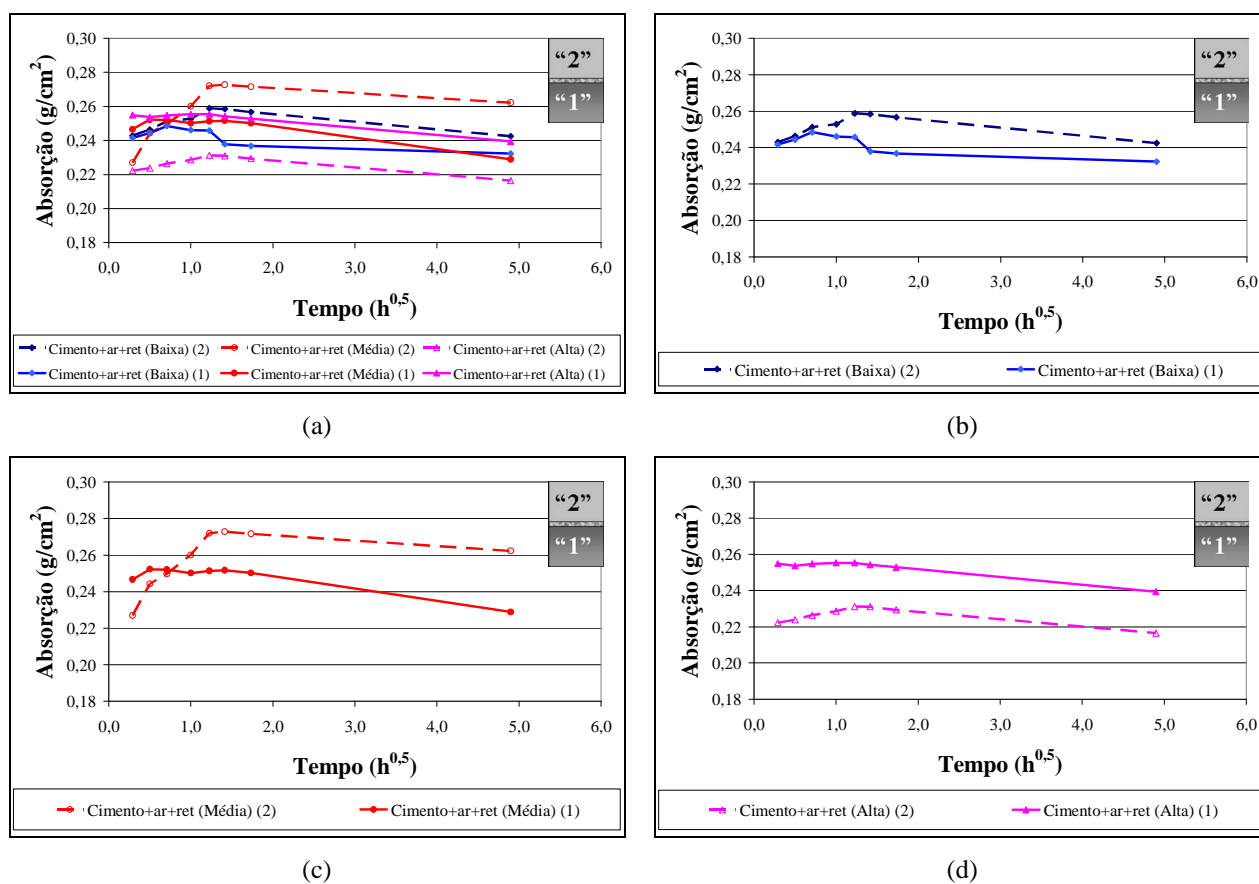


Figura 158. Absorção de água *versus* tempo para a argamassa de cimento com incorporação de ar e retentor de água com amostras de bloco de concreto de Florianópolis: (a) amostras com diversas absorções; (b) amostras com absorção baixa; (c) amostras com absorção média e (d) amostras com absorção alta.

O comportamento das curvas obtidas para a argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água foi distinto ao longo do tempo (Figura 158a). Isso quer dizer que a velocidade de absorção de água proveniente da argamassa pelas amostras de bloco de concreto foi em função da classe da amostra (absorção baixa, média e alta). Primeiramente as amostras com absorção alta da posição “1” obtiveram as maiores absorções de água, porém esses valores se mantiveram praticamente constante durante toda a realização do ensaio. Distintamente, as amostras com absorção média da posição “2” aumentaram constantemente e apresentaram, após



30 minutos ( $0,71 \text{ horas}^{0,5}$ ), os maiores valores de absorção de água. Já as amostras com absorção alta da posição “2” apresentaram os menores valores de absorção de água ao longo de todo o ensaio.

Também se observa que a posição da amostra influenciou diferentemente a absorção de água em função da absorção da amostra de bloco de concreto. Para as amostras com absorção baixa, os valores de absorção de água se mantiveram próximos para as posições, porém após 30 minutos ( $0,71 \text{ horas}^{0,5}$ ) a amostra da posição “2” absorveu maior quantidade de água. Comportamento semelhante ocorreu com as amostras de absorção média onde a posição “1” primeiramente absorveu maior quantidade de água e depois a posição “2” passou a absorver mais (essa mudança de comportamento também ocorreu aos 30 minutos). Já as amostras com absorção alta, a posição “1” absorveu maior quantidade de água do que da posição “2” para todos os tempos analisados. Esse comportamento já havia sido observado para outras argamassas (argamassa mista e argamassa de cimento com incorporador de ar). Também se verificou para a absorção alta, que os valores de absorção de água se mantiveram praticamente constantes durante todo o ensaio, principalmente as amostras da posição “1”.

Uma comparação entre as argamassas foi realizada para cada classe de absorção das amostras por meio dos gráficos que são apresentados na Figura 159 (amostras com absorção baixa), na Figura 160 (amostras com absorção média) e na Figura 161 (amostras com absorção alta).

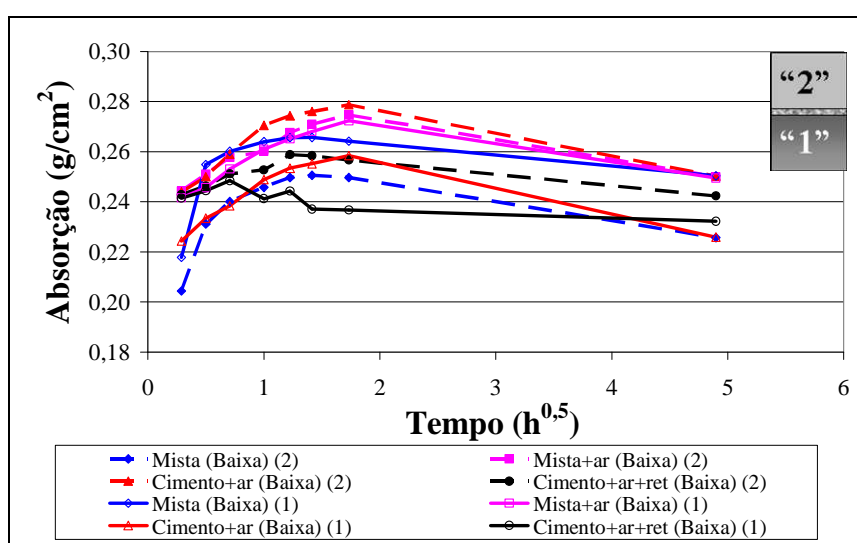


Figura 159. Absorção de água *versus* tempo para amostras com absorção baixa dos blocos de concreto de Florianópolis.

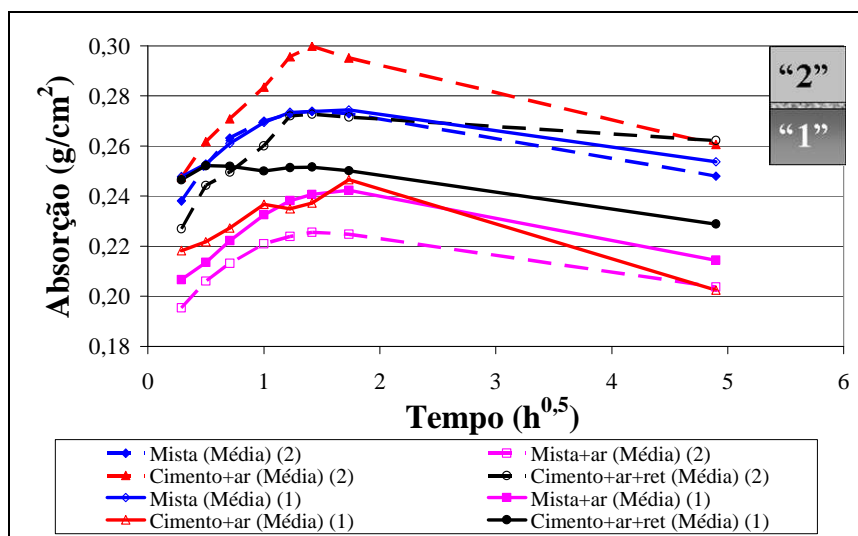


Figura 160. Absorção de água *versus* tempo para amostras com absorção média de blocos de concreto de Florianópolis.

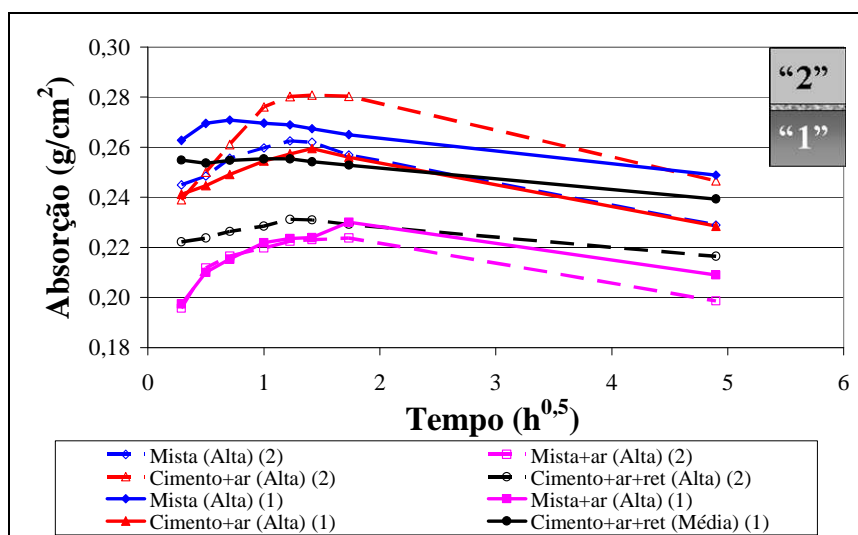


Figura 161. Absorção de água *versus* tempo para amostras com absorção alta de blocos de concreto de Florianópolis.

A análise das curvas obtidas na Figura 159, na Figura 160 e na Figura 161, permite observar que a absorção de água proveniente da argamassa pela amostra de bloco de concreto foi influenciada pelo tipo de argamassa. De maneira geral os maiores valores de absorção de água foram obtidos para a argamassa de cimento com incorporador de ar (Cimento+ar) para a posição “2”. Os menores valores de absorção de água foram distintos para cada absorção das amostras de bloco de concreto. Para as amostras com absorção baixa, os menores valores foram obtidos para a argamassa mista da posição “2” nos primeiros tempos, depois foi obtido para a argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água na posição “1”. Já para as amostras de

absorção média e alta, os menores valores de absorção de água foram verificados para a argamassa mista com incorporador de ar para a posição “2”.

Os resultados apresentados para as amostras obtidas do bloco de concreto de Blumenau podem ser observados na Figura 162 e na Figura 163. Cabe ressaltar que para esta fábrica foram observadas apenas amostras com absorções médias e amostras sem e com tratamento (amostras com temperatura inicial de 30°C e com o umedecimento da face antes da colocação com a argamassa).

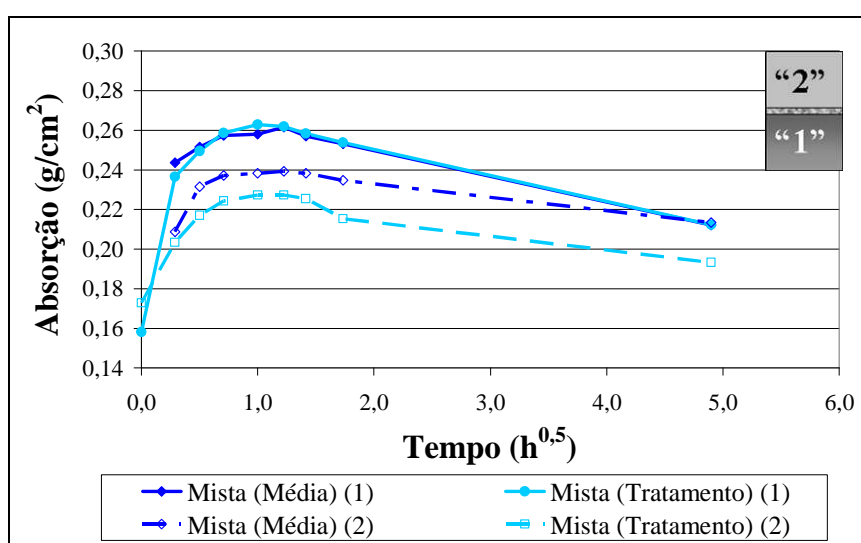


Figura 162. Absorção de água *versus* tempo para amostras com absorção média de blocos de concreto de Blumenau com argamassa mista.

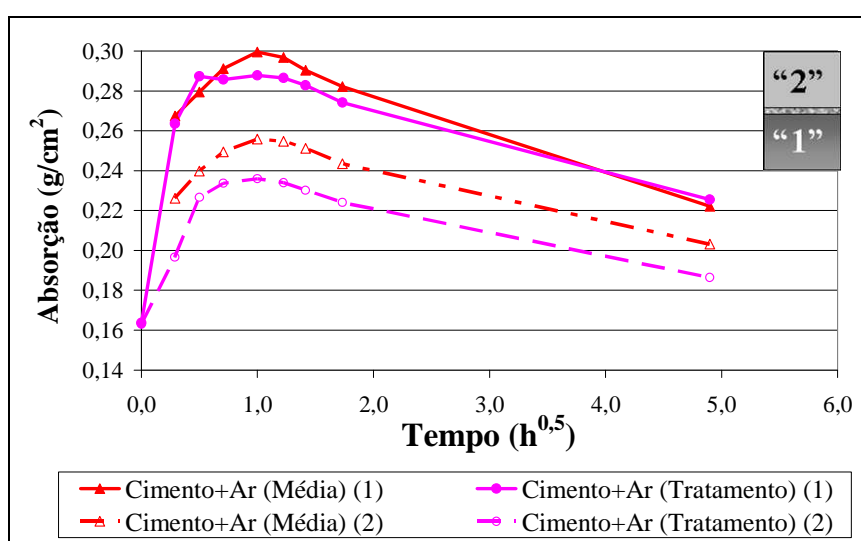


Figura 163. Absorção de água *versus* tempo para amostras com absorção média de blocos de concreto de Blumenau com argamassa de cimento com incorporador de ar.

Observa-se, na Figura 162 e na Figura 163, que tanto para a argamassa mista quanto para a argamassa de cimento com incorporador de ar, as maiores absorções de água foram para as amostras com absorção média sem tratamento, considerando a mesma posição. Com relação à posição da amostra, percebe-se claramente que a absorção de água da amostra da posição “1” é superior a absorção de água da amostra da posição “2”.

Outro fato importante notado foi a maior absorção de água observada para a argamassa de cimento com incorporador de ar. Cabe lembrar, novamente, que esta argamassa apresentou a menor retenção de água e, além disso, pela medida da perda de água da argamassa, essa argamassa apresentou as maiores perdas de água (disponibilizando assim maior quantidade de água).

Também foi possível realizar uma comparação entre as amostras obtidas de Florianópolis e de Blumenau para a mesma argamassa e com amostras com absorção média. A Figura 164 apresenta as curvas absorção *versus* tempo para a argamassa mista.

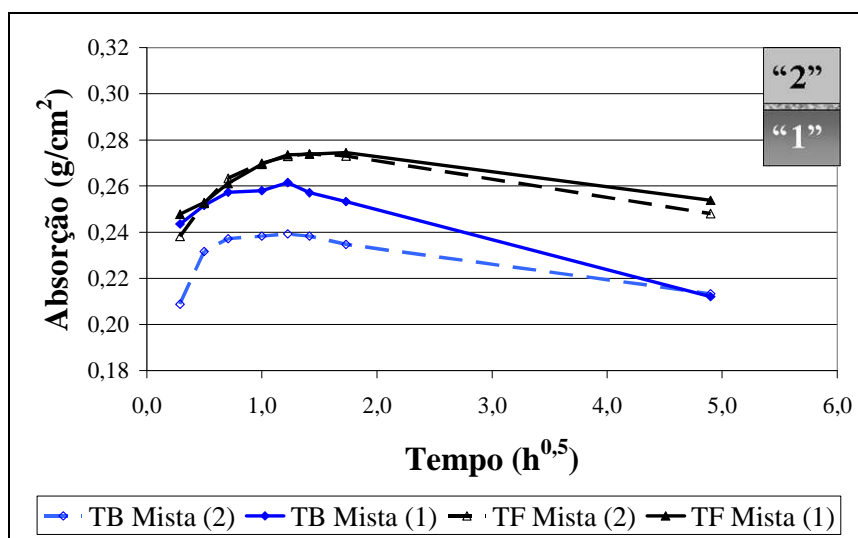


Figura 164. Absorção de água *versus* tempo para amostras com absorção média de blocos de concreto de Blumenau (TB) e de Florianópolis (TF) com argamassa mista.

Pode-se verificar na Figura 164 a diferença dos valores de absorção de água em relação à amostra obtida de Blumenau e de Florianópolis. As amostras obtidas dos blocos de concreto de Florianópolis absorveram maior quantidade de água do que as amostras de Blumenau. Cabe novamente ressaltar que as amostras de bloco de concreto apresentaram absorções de água semelhantes quando caracterizadas com água aos 60 minutos.

A Figura 165 apresenta as curvas absorção *versus* tempo para a argamassa de cimento com incorporador de ar com as amostras de bloco de concreto de Florianópolis e de Blumenau.

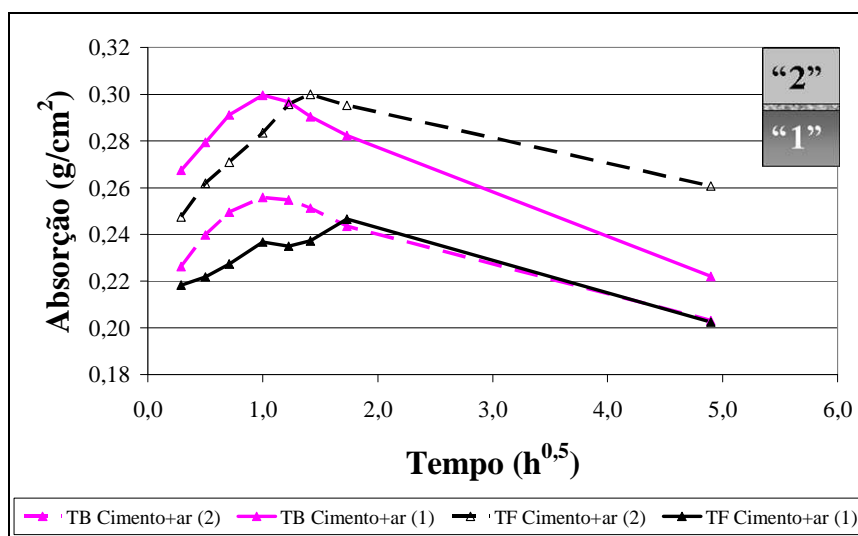


Figura 165. Absorção de água *versus* tempo para amostras com absorção média de blocos de concreto de Blumenau (TB) e de Florianópolis (TF) com argamassa de cimento com incorporador de ar.

Para a argamassa de cimento com incorporador de ar o comportamento foi distinto ao observado para a argamassa mista. Nota-se, na Figura 165, que os valores de absorção de água foram influenciados pela origem da amostra e pela posição da amostra. Os maiores valores de absorção de água foram obtidos para a amostra da posição "2" de Blumenau e também para a amostra de posição "1" de Florianópolis.

A partir dos resultados obtidos percebe-se que a absorção de água proveniente da argamassa, pelo bloco de concreto, é função do tipo de argamassa, da absorção de água da amostra, da posição da amostra no mini-prisma e da origem da amostra. Além disso, foi evidenciado que existem velocidades de absorção de água diferentes para cada amostra e argamassa.

#### 4.4.3 Comentários gerais sobre o estudo de transferência de água da argamassa para o bloco de concreto

Após a obtenção de todos os dados do estudo de transferência de água da argamassa para o bloco de concreto foi verificado um comportamento distinto em relação à perda de água da argamassa e a absorção de água proveniente da argamassa pelo bloco de concreto não sendo possível correlacionar esses dois fatores.

Esse comportamento distinto entre os dois parâmetros avaliados se deve possivelmente a imprecisões na obtenção da perda de água da argamassa sendo esta mais suscetível a erros durante a realização do ensaio em relação à absorção de água proveniente da argamassa pelo bloco de concreto (medidas de massa ao longo do tempo). Primeiramente durante o ensaio uma pequena perda de argamassa inviabiliza a obtenção da diferença de massa da mesma não sendo possível distinguir a perda por evaporação ou por massa de argamassa (problemas ocorridos principalmente para as argamassas aditivadas). Segundo, a quantidade de água obtida apenas por evaporação nas amostras impermeáveis não pode ser considerada igual à quantidade de água por evaporação obtidas em corpos-de-prova com a sucção do bloco de concreto: (i) a área exposta para perda de água das juntas de assentamento são muito distintas dos dois ensaios (para os corpos-de-prova impermeável a área é aproximadamente de  $25 \text{ cm}^2$  - área lateral - enquanto para os corpos-de-prova com os blocos de concreto essa área é de aproximadamente de  $80 \text{ cm}^2$  - área lateral mais área em contato com o bloco), (ii) a quantidade de água disponível na argamassa durante a realização do ensaio é diferente e assim consequentemente a quantidade de água evaporável será distinta e (iii) para os corpos-de-prova com a sucção do bloco de concreto, a quantidade de água evaporável primeiramente ocorrerá pela junta de argamassa e ao longo do ensaio também poderá ocorrer uma pequena parcela de evaporação da água absorvida pelo bloco de concreto. Terceiro, o efeito da evaporação de água nos corpos-de-prova com amostras impermeáveis é ligeiramente constante ao longo do ensaio, enquanto nos corpos-de-prova com amostras de bloco de concreto o comportamento é distinto: nos primeiro minutos a porcentagem de perda de água para o bloco de concreto é muito superior (98 %) em relação à perda por evaporação (2%) e com o tempo a porcentagem de perda por evaporação aumenta passando para 36% aos 180 minutos (valores obtidos para a argamassa mista).

Cabe salientar que o ensaio de perda de água da argamassa pela absorção do bloco de concreto permitiu avaliar o comportamento das argamassas tanto nos corpos-de-prova impermeáveis quanto nos corpos-de-prova com amostras de bloco de concreto, indicando tendências distintas em função de cada tipo de argamassa

Diante do exposto, observou-se que os valores obtidos na absorção de água pelo bloco de concreto foram menos suscetíveis a imprecisões, principalmente por desconsiderar a quantidade de argamassa aderida no bloco de concreto. Desse modo será realizada uma correlação entre a absorção de água pelo bloco de concreto proveniente da argamassa e a resistência de aderência em mini-prisma que será abordada no item 4.6. É importante ressaltar que a literatura menciona essa correlação e, além disso, é uma das hipóteses dessa tese.

#### **4.5 ESTUDO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA**

Como mencionado no Programa Experimental (item 3.3.6), a resistência de aderência na flexão foi avaliada tanto em mini-prismas quanto em prismas. Assim, primeiramente serão abordados os resultados obtidos em mini-prismas, em seguida os resultados obtidos pelos prismas e depois apresenta-se uma correlação entre os valores obtidos em mini-prismas e em prismas.

##### **4.5.1 Mini-prismas**

Primeiramente serão apresentados os valores de resistência de aderência na flexão para as amostras de bloco de concreto de Florianópolis para as quatro argamassas estudadas.

A Figura 166 apresenta os valores de resistência de aderência na flexão em função da classe de absorção de água das amostras de bloco de concreto (absorção baixa, média e alta), para a argamassa mista, obtidos na primeira e segunda ruptura.

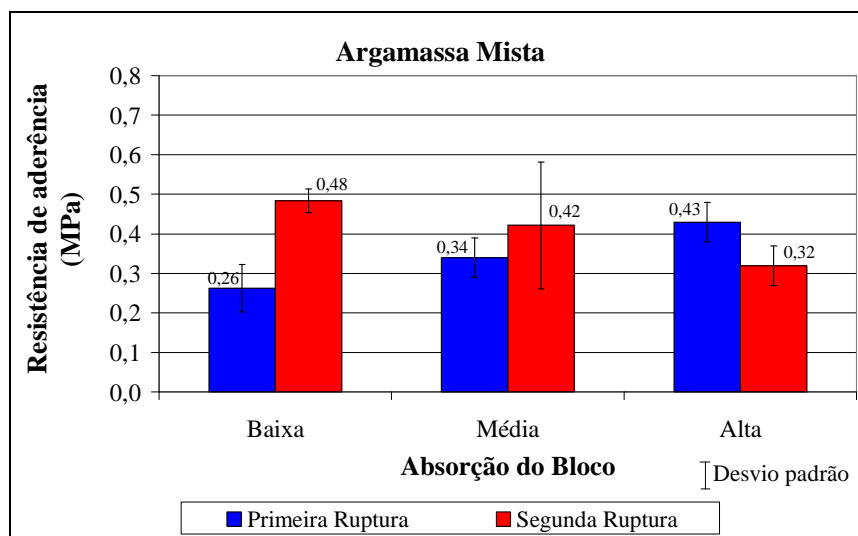


Figura 166. Resistência de aderência na flexão para amostras de blocos de concreto de Florianópolis (TF) com argamassa mista para a primeira e segunda ruptura (os valores indicados são os valores médios das amostras).

Observa-se, na Figura 166, que a resistência de aderência na flexão foi influenciada pela absorção de água dos blocos de concreto (baixa, média e alta). Para a primeira ruptura, quanto menor a absorção de água do bloco de concreto, menor a resistência de aderência, sendo observado um comportamento inverso para a segunda ruptura. Uma das causas possíveis é que microfissuras podem ter sido ocasionadas na junta de assentamento na primeira ruptura. Desse modo, quanto maior a tensão aplicada na primeira ruptura maior à possibilidade de se obter microfissuras no mini-prisma. Em todos os casos a primeira ruptura ocorreu na face inferior, ou seja, na amostra da posição “2”.

Outro fator importante a ser ressaltado é que, para esta argamassa, o maior coeficiente de variação obtido foi para as amostras com absorção baixa (25%), valor superior ao obtido no estudo piloto para a mesma argamassa.

Esses resultados apresentados foram submetidos à análise de comparação múltipla de médias, empregando-se, para tanto, o programa computacional SAEG (Sistema para análise estatística) versão 8.1, desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa, para comparação das resistências de aderência médias obtidas para a absorção baixa, média e alta. Cabe ressaltar que antes da comparação foram realizados os testes de normalidade e homogeneidade de variâncias. Os resultados obtidos demonstraram que, com 95% de confiabilidade, existe diferença significativa entre a resistência de aderência de absorção baixa e alta, tanto para a primeira ruptura quanto para a segunda ruptura. Porém não foi possível obter diferença significativa entre



a resistência de aderência da absorção média com as resistências obtidas para a absorção baixa e alta tanto para a primeira ruptura quanto para a segunda ruptura.

Os valores de resistência de aderência na flexão para a argamassa mista com incorporador de ar são apresentados na Figura 167, tanto para a primeira quanto para a segunda ruptura.

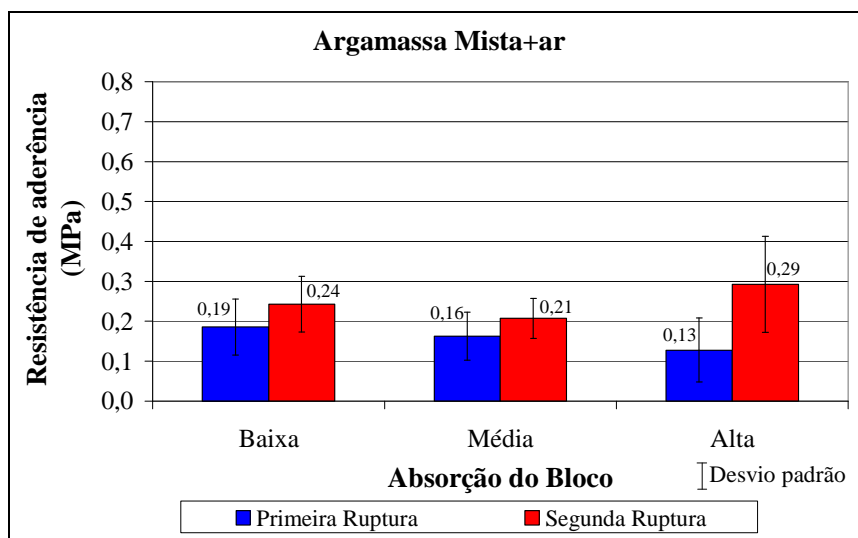


Figura 167. Resistência de aderência na flexão para amostras de blocos de concreto de Florianópolis (TF) com argamassa mista com incorporador de ar para a primeira e segunda ruptura (os valores indicados são os valores médios das amostras).

Para a argamassa mista com incorporador de ar, a resistência de aderência também foi influenciada pela absorção dos blocos de concreto, porém, diferentemente do observado para argamassa mista na primeira ruptura, quanto maior a absorção de água do bloco de concreto menor a resistência de aderência. Já para a segunda ruptura, os maiores valores de resistência de aderência foram obtidos para as amostras com absorção alta. Além disso, todos os valores obtidos para a segunda ruptura foram superiores aos apresentados na primeira ruptura.

Também se verificou a diminuição da resistência de aderência na flexão em relação à argamassa mista, sendo duas vezes menor considerando as amostras com absorção média. Isso possivelmente pode ter sido causado pelo maior teor de ar incorporado nesta argamassa em relação à argamassa mista. Assim, com a maior incorporação de ar, maior quantidade de bolhas de ar possivelmente se formaram na interface bloco-argamassa e, por este motivo, foi reduzida, consideravelmente, a extensão de aderência da argamassa com a amostra de bloco de concreto. Além disso, foi observado um alto coeficiente de variação dos valores de resistência de aderência

principalmente para as amostras com absorção alta (63%) (menores valores de resistência de aderência). Isso também pode ter sido ocasionado por diferenças nas áreas de contato formadas entre a argamassa e o bloco de concreto, aumentando a variação.

Cabe ressaltar também que, devido ao teor de ar incorporador mais elevado e uma maior quantidade de agregado no traço relação à argamassa mista, a argamassa mista com incorporador de ar apresentou resistência menor, tanto à compressão quanto à tração (resultados apresentados no item 4.2).

Ainda, para a argamassa mista com incorporador de ar, a primeira ruptura ocorreu predominantemente na face inferior (posição “2”) no mini-prisma, como também já havia sido observado para a argamassa mista.

Com os resultados obtidos, realizou-se uma comparação múltipla de média, utilizando o programa computacional mencionado anteriormente. Com 95% de confiabilidade não foi observada diferença significativa entre as resistências de aderência com as absorções de amostras distintas obtidas para a primeira ruptura. Também, para a segunda ruptura, não foi observada diferença significativa entre as resistências de aderência obtidas com as absorções de amostras (baixa, média e alta).

Para a argamassa de cimento com incorporador de ar, os resultados de resistência de aderência na flexão para a primeira e segunda ruptura podem ser observados na Figura 168.

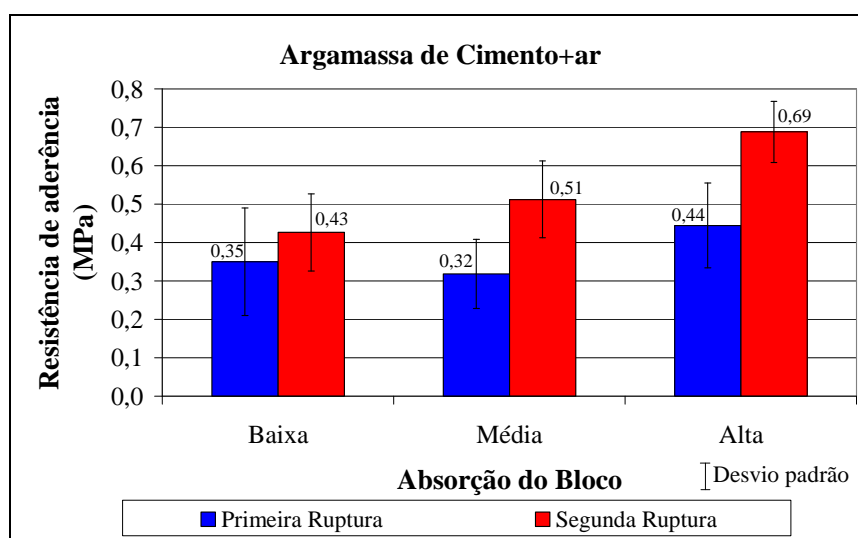


Figura 168. Resistência de aderência na flexão para amostras de blocos de concreto de Florianópolis (TF) com argamassa de cimento com incorporador de ar para a primeira e segunda ruptura (os valores indicados são os valores médios das amostras).

Nota-se, na Figura 168, que a argamassa de cimento com incorporador de ar obteve o mesmo comportamento de resistência de aderência verificado para a argamassa mista, quanto maior a absorção do bloco de concreto, maior a resistência de aderência na flexão. Esse comportamento foi observado tanto para a primeira quanto para a segunda ruptura.

Os valores obtidos para a primeira ruptura da argamassa de cimento com incorporador de ar foram semelhantes aos obtidos para a argamassa mista para a absorção média e alta. Para a absorção baixa, os valores obtidos para a argamassa de cimento com incorporador de ar foram superiores em relação à mesma absorção da amostra para argamassa mista. Outro fator importante a se ressaltar foi que, apesar desta argamassa apresentar valores de resistência à compressão inferiores aos obtidos para a argamassa mista, esse fator não influenciou na resistência de aderência na flexão, pois para essa argamassa os valores foram semelhantes.

Para a argamassa de cimento com incorporador de ar, em todos os casos a primeira ruptura ocorreu na face inferior (posição “2”) e os coeficientes de variação foram superiores aos obtidos para a argamassa mista (maior coeficiente de variação para as amostras com baixa absorção, menores resistências obtidas, foi de 40%). Novamente o alto coeficiente de variação pode ter sido ocasionado por diferenças de extensão de aderência devido à incorporação de ar apresentado no estado fresco por esta argamassa, comportamento mencionado anteriormente para a argamassa mista com incorporador de ar.

Com a comparação múltipla de médias, realizada utilizando o programa computacional mencionado anteriormente, obteve-se uma diferença significativa entre as resistências de aderência com as amostras de absorção baixa e alta com 95% de confiabilidade. Porém não foi verificada diferença entre a resistência de aderência apresentada com a amostra de absorção média em relação às amostras com absorção baixa e alta. Os resultados foram verificados tanto para a primeira quanto a segunda ruptura.

Os valores de resistência de aderência na flexão para as três absorções de água para a argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água para a primeira e segunda ruptura são apresentados na Figura 169.

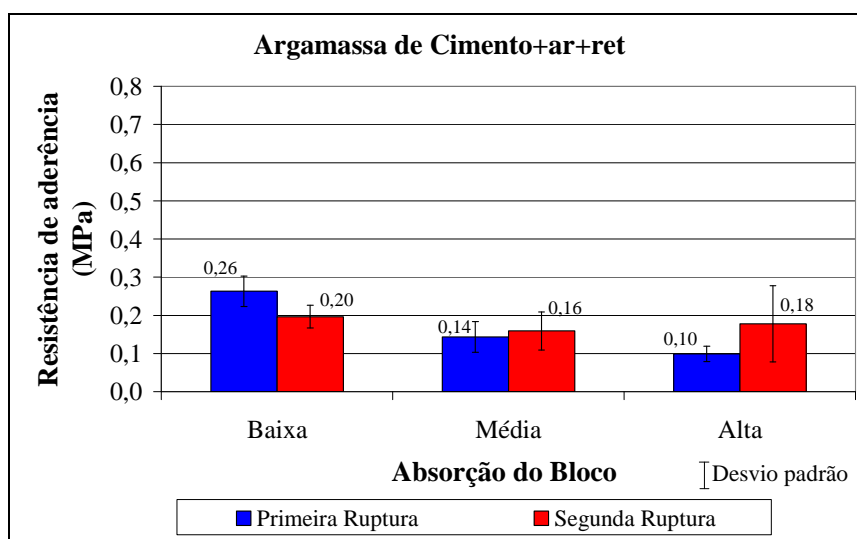


Figura 169. Resistência de aderência na flexão para amostras de blocos de concreto de Florianópolis (TF) com argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água para a primeira e segunda ruptura (os valores indicados são os valores médios das amostras).

Pode-se observar, na Figura 169, que o comportamento da resistência de aderência na flexão para a argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água foi semelhante ao obtido para a argamassa mista com incorporador de ar, isto é, quanto maior a absorção do bloco de concreto, menor a resistência de aderência na flexão obtida para a primeira ruptura. Para a segunda ruptura, os valores mantiveram-se praticamente constantes não sendo influenciados pela absorção do bloco de concreto.

Novamente, como para a argamassa mista e argamassa de cimento com incorporador de ar, em todos os casos a primeira ruptura ocorreu na face inferior (posição “2”). Já o coeficiente de variação dos valores de resistência de aderência foi da mesma ordem de grandeza dos obtidos para a argamassa mista (para amostra com absorção média de 28%).

Os menores valores de resistência de aderência também podem ter sido provocados pela diferença de traço e pelo teor de ar incorporado da argamassa em relação à argamassa mista. Além disso, já havia sido observada uma diminuição da resistência à compressão e da resistência à tração tanto das argamassas quanto das juntas de assentamento em relação à argamassa mista.

A partir dos resultados obtidos foi realizada uma comparação múltipla de médias (utilizando o programa computacional mencionado anteriormente) e verificou-se para a primeira ruptura uma diferença significativa entre as resistências de aderência obtidas para as amostras com absorção baixa em relação às amostras com absorção média e alta. E entre as resistências de

aderência com absorções média e alta, não foi possível verificar uma diferença significativa com 95% de confiabilidade. Já para a segunda ruptura, não foi possível verificar uma diferença significativa entre as resistências de aderência com as absorções baixa, média e alta, com 95% de confiabilidade.

Para exemplificar o comportamento diferenciado de cada argamassa frente as diferentes absorções das amostras de bloco de concreto, a Figura 170 apresenta os valores médios da primeira ruptura em relação à absorção dos blocos de concreto.

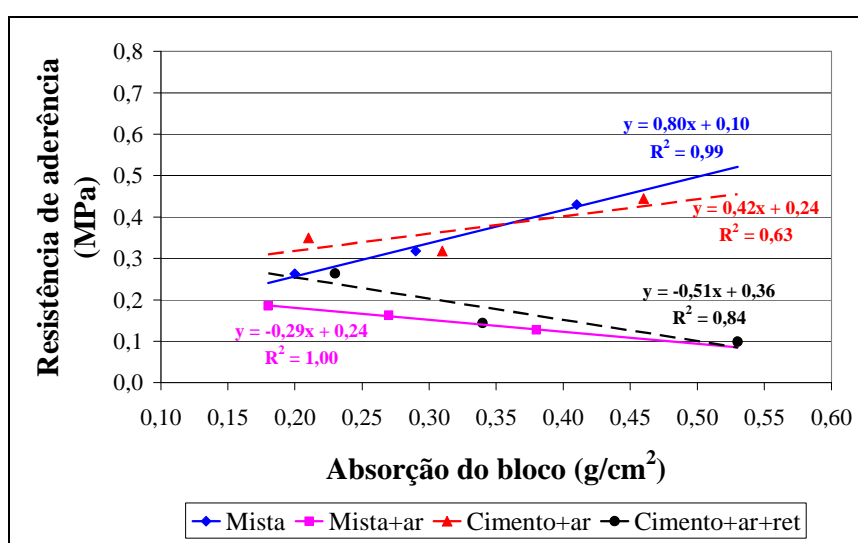


Figura 170. Resistência de aderência na flexão para amostras de blocos de concreto de Florianópolis (TF) para a argamassa mista, argamassa mista com incorporador de ar, argamassa de cimento com incorporador de ar e argamassa de cimento com incorporador de ar para a primeira ruptura.

Pode-se avaliar, na Figura 170, que a resistência de aderência em relação à absorção da amostra de bloco de concreto para primeira ruptura foi semelhante para a argamassa mista e argamassa de cimento com incorporador de ar (quanto menor a absorção do bloco de concreto, menor a resistência de aderência na flexão). Já para a argamassa mista com incorporador de ar e argamassa de cimento com incorporador de ar o comportamento observado foi inverso.

Além disso, os maiores valores de resistência de aderência foram obtidos para as argamassas de cimento com incorporador de ar e para a argamassa mista. Já o menor valor obtido de resistência de aderência foi para a argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água.

Nota-se também, na Figura 170, que foi encontrada boa correlação linear para a argamassa mista, a argamassa mista com incorporador de ar e a argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água. Já para a argamassa de cimento com incorporador de ar não foi verificada uma correlação linear entre a resistência de aderência e a absorção de água da amostra de bloco de concreto.

Os resultados obtidos de resistência de aderência para as amostras do bloco de concreto de Florianópolis foram submetidos a análise de variância (ANOVA), empregando-se o programa computacional mencionado anteriormente, para determinação da dependência dos fatores associados a esta propriedade de acordo com as variações do estudo (tipo de absorção de água da amostra, tipo de argamassa e a interação entre absorção de água e argamassa).

Os fatores que são estatisticamente significativos a um nível de confiança de 95% foram o tipo de argamassa (altamente significativo) e a interação entre a absorção de água da amostra e o tipo de argamassa (significativo). Já o tipo de absorção de água da amostra não foi significativo com 95% de confiabilidade.

Os valores de resistência de aderência para as amostras de blocos de concreto de Blumenau com argamassa mista podem ser observados na Figura 171. Cabe ressaltar que, para esses blocos de concreto, utilizou-se amostras com absorção média, com duas temperaturas (temperatura de 23°C e de 30°C), e para as amostras com temperatura de 30°C dois tratamentos: com cura e com cura e molhagem da superfície no momento do assentamento.

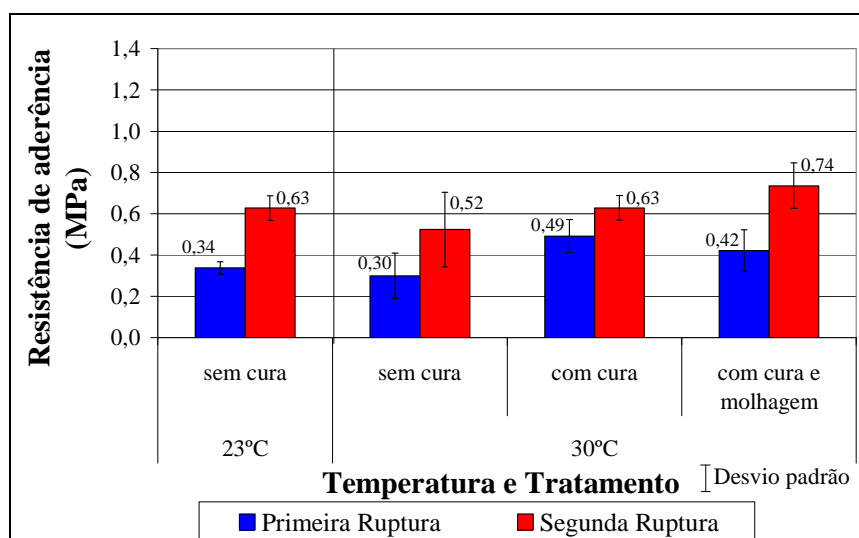


Figura 171. Resistência de aderência na flexão para amostras de blocos de concreto de Blumenau para a argamassa mista para a primeira ruptura e a segunda ruptura (os valores indicados são os valores médios das amostras).

Verificou-se que a temperatura e o tratamento influenciaram na resistência de aderência (Figura 171). Para as amostras sem cura houve uma leve diminuição da resistência de aderência com o aumento da temperatura. No entanto, para as amostras em que foram realizados os tratamentos, a resistência de aderência foi superior à obtida para a amostra de referência (temperatura de 30°C e sem cura) e inclusive com a amostra de temperatura de controle (23°C). O maior ganho de resistência foi obtido para as amostras que receberam apenas o tratamento de cura (aumento de 144% em relação às amostras com temperatura de 23°C e de 163% em relação às amostras com temperatura de 30°C). Cabe lembrar que todos os tratamentos utilizados aumentaram a resistência de aderência.

Como já havia sido observado para as amostras de Florianópolis, os valores de resistência de aderência para a segunda ruptura foram superiores os obtidos para a primeira ruptura. Em todos os casos, a segunda ruptura ocorria na face superior (posição “1”), enquanto que a primeira ruptura ocorria na face inferior (posição “2”). Na segunda ruptura, os tratamentos também beneficiaram a resistência de aderência, porém, neste caso o tratamento com cura e molhagem apresentou as maiores resistências de aderência em relação às demais amostras.

Vale ressaltar que o maior coeficiente de variação foi obtido para a temperatura de 30°C sem cura (37%). Esse valor foi superior ao observado para a argamassa mista com as amostras de Florianópolis.

A Figura 172 mostra os valores de resistência de aderência para a argamassa de cimento com incorporador de ar para as duas temperaturas avaliadas e diferentes tratamentos das amostras obtidas do bloco de concreto de Blumenau.

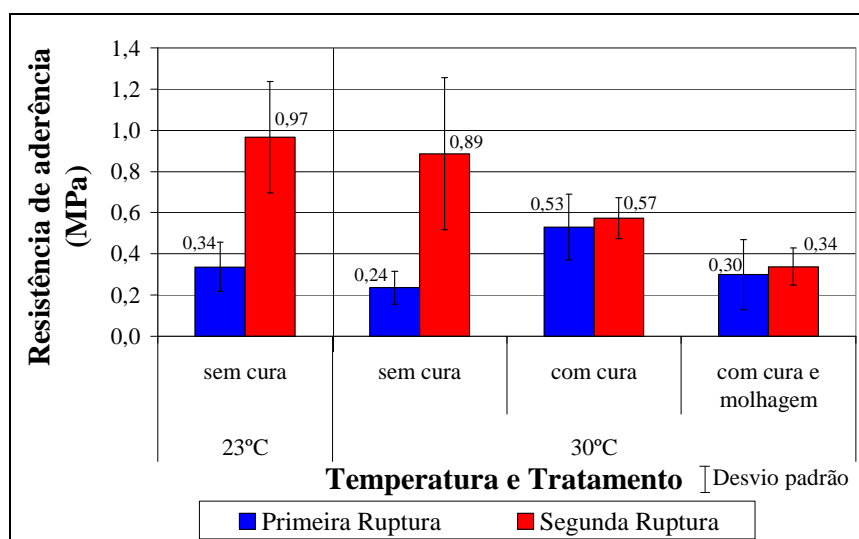


Figura 172. Resistência de aderência na flexão para amostras de blocos de concreto de Blumenau para a argamassa de cimento com incorporador de ar para a primeira ruptura e a segunda ruptura (os valores indicados são os valores médios das amostras).

Para a argamassa de cimento com incorporador de ar, a influência da temperatura na resistência de aderência foi muito mais significativa em relação à argamassa mista (diminuição de 31% considerando a temperatura de 30°C sem cura em relação à temperatura de 23°C sem cura) (Figura 172).

Percebe-se, também, que os dois tratamentos utilizados aumentaram a resistência de aderência na primeira ruptura, principalmente para as amostras em que se aplicou apenas a cura (aumento de 221% em relação a amostras de 30°C sem cura e aumento de 156% em relação às amostras com temperatura de 23°C sem cura).

Para os valores de resistência de aderência obtidos para a segunda ruptura, observou-se uma resistência elevada para as amostras com temperatura de 23°C e 30°C sem cura. Esses valores de resistência de aderência foram os maiores obtidos neste estudo. Nota-se uma grande interação entre esta argamassa e a amostra da posição “1” (face superior).

Outro fato a ser notado é que, novamente, a primeira ruptura predominantemente ocorria na face inferior (posição “2”). Observou-se também um coeficiente de variação alto principalmente para as amostras com temperatura de 30°C com cura e molhagem que foi de 57%. Esse coeficiente de variação alto pode ser explicado pelo uso do incorporador de ar, como comentado anteriormente (com a diminuição da extensão de aderência e conseqüente diminuição da resistência de aderência). Esse coeficiente de variação alto também foi observado para essa



mesma argamassa com as amostras de bloco de concreto de Florianópolis. Assim, para argamassas de cimento com incorporador de ar é necessário um número maior de corpos-de-prova para garantir um menor coeficiente de variação.

Com os resultados obtidos para a amostra de Blumenau foram realizados dois testes estatístico de análise de variância (ANOVA), empregando-se, para tanto, o programa computacional SAEG versão 8.1. No primeiro teste foi analisada a dependência da resistência de aderência tanto na primeira ruptura quanto na segunda ruptura dos seguintes fatores: temperatura e tipo de argamassa. O único fator significativo foi observado na segunda ruptura que foi o tipo de argamassa com 95% de confiabilidade. No segundo teste foi observada a dependência da resistência de aderência tanto na primeira ruptura quanto na segunda ruptura para os seguintes fatores: tipo de tratamento, tipo de argamassa e a interação entre tratamento e argamassa. Para a primeira ruptura só foi observada a influência significativa para o tipo de tratamento com 95% de confiabilidade. Já para a segunda ruptura, a resistência de aderência foi influenciada tanto pelo tipo de tratamento quanto pela interação entre tipo de tratamento e argamassa com 95% de confiabilidade.

Uma comparação dos resultados obtidos de resistência de aderência para a mesma argamassa, mesma absorção de água do bloco de concreto e a mesma temperatura (23°C) para as amostras retiradas dos blocos de concreto de Florianópolis e Blumenau pode ser verificada na Figura 173.

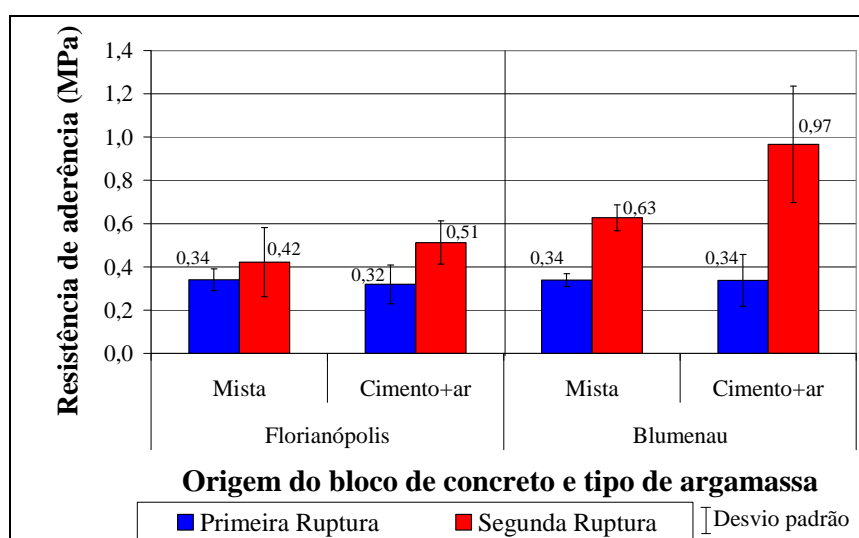


Figura 173. Resistência de aderência na flexão para amostras de blocos de concreto de Blumenau (TB) e de Florianópolis (TF) para a argamassa mista e argamassa de cimento com incorporador de ar para a primeira ruptura e a segunda ruptura (os valores indicados são os valores médios das amostras).

Verifica-se que os valores de resistência de aderência para a mesma argamassa são próximos para a primeira ruptura e para os dois blocos de concreto (Figura 173). No entanto, para a segunda ruptura (ocorrida normalmente na posição “1”) as amostras obtidas dos blocos de concreto de Blumenau apresentaram valores superiores de resistência de aderência, principalmente para a argamassa de cimento com incorporador de ar (maior valor de resistência de aderência obtido nesta tese).

A partir da análise dos dados no programa computacional SAEG versão 8.1, determinou-se os fatores influentes para a resistência de aderência: tipo de bloco, tipo de argamassa e a interação entre bloco e argamassa. Na análise estatística com 95% de confiabilidade, não foi verificada influência significativa do tipo de bloco, do tipo de argamassa e nem da interação entre bloco e argamassa para a primeira ruptura. No entanto para a segunda ruptura, o tipo de bloco foi o único fator que influenciou significativamente na resistência de aderência.

Assim, com os resultados obtidos para as amostras de Florianópolis e de Blumenau, pode-se observar que a resistência de aderência para a primeira ruptura não foi influenciada pelo tipo de argamassa e nem pelo tipo de bloco, pois foram encontrados valores semelhantes dos resultados (Figura 173).

De maneira geral, após a obtenção de todos os resultados, observou-se uma influência na resistência de aderência do tipo de argamassa, da absorção de água da amostra de bloco de concreto e do tipo de tratamento utilizado. Além disso, verificou-se que existe uma combinação entre a argamassa e a absorção de água do bloco de concreto que resulta em uma maior resistência de aderência na flexão, ou seja, uma maior interação entre a argamassa de assentamento e o bloco de concreto.

Para a argamassa mista e a argamassa de cimento com incorporador de ar, as melhores combinações foram obtidas com as amostras de absorção alta para a primeira ruptura. Já para a argamassa mista com incorporador de ar e argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água, a melhor combinação obtida foi com as amostras de absorção baixa, também para a primeira ruptura.

Com relação ao tratamento de cura, observou-se seu benefício para a resistência de aderência para as amostras submetidas à temperatura de 30°C, com as maiores resistência de aderência para a primeira ruptura.

Para a argamassa mista e argamassa de cimento com incorporador de ar não foi verificada a influência da origem da amostra (de Florianópolis e de Blumenau), onde foi observada uma resistência de aderência de aproximadamente 0,34 MPa para a primeira ruptura.

Outro fator importante a ser lembrado foi a face da qual predominantemente ocorreu a primeira ruptura (face inferior – posição “2”) e conseqüentemente a segunda ruptura ocorria na face superior (posição “1”). Esse comportamento pode ter ocorrido por três motivos. Primeiramente, ocasionada pelo próprio processo de assentamento, onde a argamassa é colocada primeiro na posição “1” e em seguida a argamassa é pressionada contra a sua face com o peso da amostra da posição “2” juntamente com o “sobrepeso”, além da aplicação dos golpes de martelo. Assim a área de contato da argamassa com a face superior (posição “1”) é maximizada, diminuindo a quantidade de defeitos entre a argamassa e o bloco de concreto. Segundo: a diferença na superfície das faces, onde a face superior (posição “1”) tem uma superfície mais plana e mais regular do que a observada para a face inferior (posição “2”) (superfície irregular com rebarbas e partículas soltas), assim podendo haver influência da superfície. Terceiro: segundo Gallegos (1995), essa ruptura ocorre na face inferior (posição “2”), pois a argamassa é colocada primeiro na face superior (posição “1”) e essa absorve maior quantidade de água da argamassa aumentando, assim, a resistência de aderência com essa face pelo maior travamento mecânico. Por este motivo e também por ser uma das hipóteses apresentadas nesta tese, foi verificada uma correlação entre a absorção de água da argamassa pela amostra do bloco de concreto (item 4.4) e a resistência de aderência em mini-prisma que será apresentado no item 4.6.

#### 4.5.2 Prismas

Os valores obtidos de resistência de aderência em prismas foram verificados para os blocos de concreto de Florianópolis com argamassa mista, argamassa mista com incorporador de ar, argamassa de cimento com incorporador de ar e argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água. Além disso, para a argamassa mista avaliou-se a influência da temperatura (23°C e 30°C) e do processo de cura (com cura e com cura e molhagem).

Os valores individuais e médios de resistência de aderência para a argamassa mista com temperatura de 23°C para as duas repetições realizadas são apresentados na Figura 174.

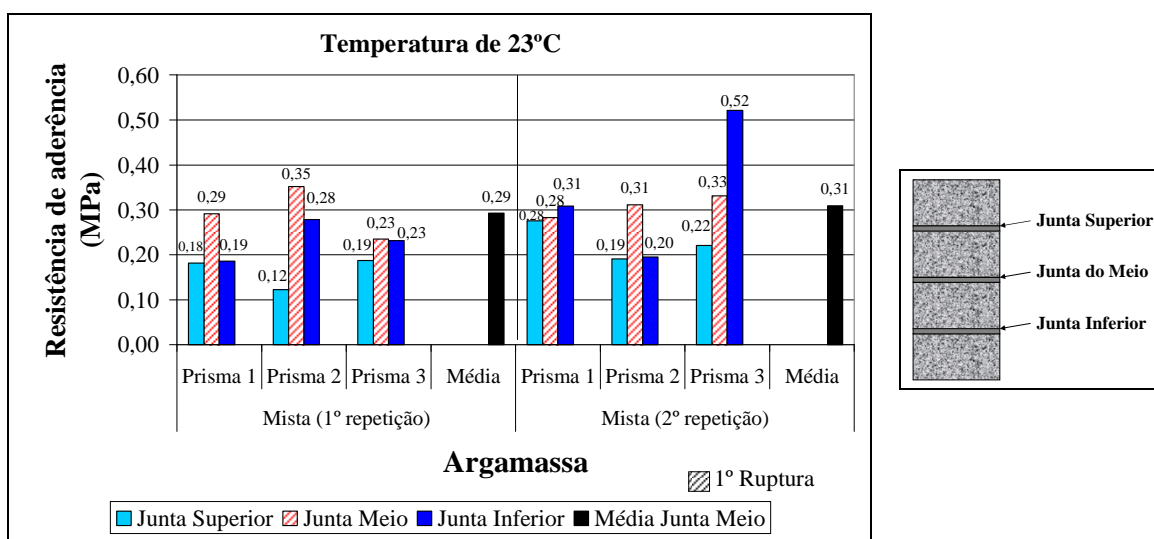


Figura 174. Resistência de aderência nos prismas para argamassa mista para as duas repetições realizadas para a temperatura de 23°C.

Observa-se, na Figura 174, que todos os prismas romperam primeiramente na junta do meio como era esperado. Além disso, houve uma boa reprodutibilidade dos resultados obtidos, comparando os valores obtidos para as duas repetições realizadas. Cabe ressaltar que as repetições foram feitas em épocas distintas com materiais, cimento e cal, diferentes. O resultado médio de resistência de aderência na flexão foi de 0,30 MPa com um coeficiente de variação de 14 % (inferior ao obtido para o estudo piloto para esta argamassa).

Também, foi observado um valor médio de resistência de aderência na flexão na junta inferior próximo ao obtido para a junta do meio (0,29 MPa), porém o coeficiente de variação obtido foi muito superior (42 %). Já para a junta superior, o valor médio obtido foi de 0,20 MPa (coeficiente de variação de 27 %). Esse comportamento já havia sido observado nos resultados obtidos no estudo-piloto (item 3.2.6.3). Possivelmente a junta inferior e do meio sofreram maior compactação do que a junta superior, pois esta, no momento do assentamento, é submetida a um menor peso dos blocos de concreto (maiores detalhes item 3.2.6.3).

Os valores obtidos de resistência de aderência na flexão para a argamassa mista com temperatura de 30°C podem ser observados na Figura 175.

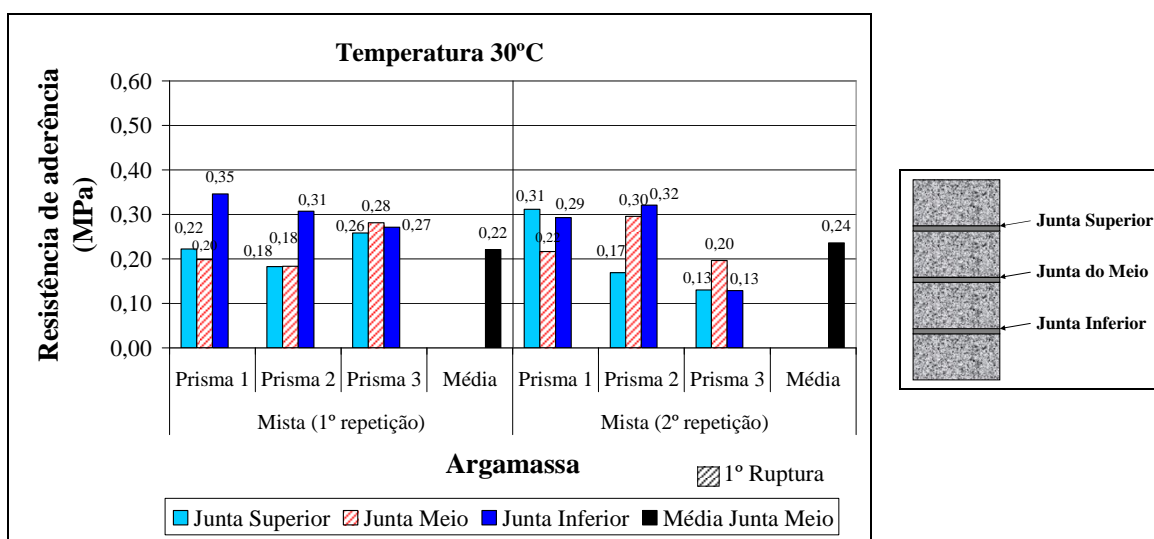


Figura 175. Resistência de aderência nos prismas para argamassa mista para as duas repetições realizadas para a temperatura de 30°C.

Pode-se observar, na Figura 175, que, novamente, os valores encontrados para as duas repetições foram semelhantes, mostrando mais uma vez a reprodutibilidade no ensaio. Também foi observado, novamente, que a primeira ruptura ocorreu na junta do meio. O valor médio de resistência de aderência obtido foi de 0,23 MPa (coeficiente de variação de 21 %), verificando-se assim uma influência da temperatura na resistência de aderência na flexão para prismas confeccionados com argamassas mistas. Com o aumento de temperatura, houve uma redução de 23 % da resistência de aderência na flexão em relação ao valor obtido para a temperatura de 23°C.

Para a temperatura de 30°C foi verificado um valor médio de resistência da junta inferior superior ao obtido para a junta do meio (0,28 MPa e coeficiente de variação de 28 %). E para a junta superior o valor médio de resistência de aderência na flexão foi de 0,21 MPa (31 % de coeficiente de variação), inferior ao obtido para a junta do meio. Este comportamento também foi verificado para a temperatura de 23° e no estudo piloto.

Com os dados obtidos de resistência de aderência na flexão para as temperaturas de 23°C e 30°C foi realizada uma análise de variância (ANOVA) utilizando o programa computacional SAEG versão 8.1, para as duas temperaturas, com as resistências obtidas para a junta superior, junta do meio e a junta inferior. Com 95% de confiabilidade, houve uma influência significativa para a resistência de aderência obtida na junta do meio. Para as demais juntas de assentamento não foi verificado uma influência significativa da temperatura.

A influência do processo de cura na resistência de aderência na flexão para a temperatura de 30°C pode ser observada na Figura 176.

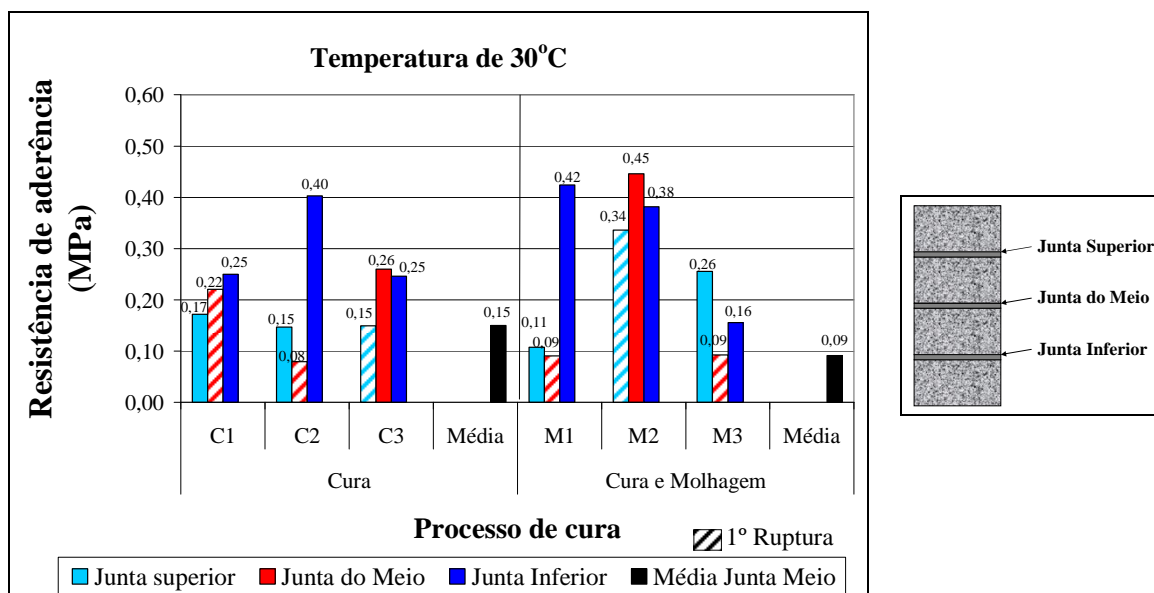


Figura 176. Resistência de aderência nos prismas para argamassa mista para o processo de cura realizado para a temperatura de 30°C.

Os valores médios obtidos de resistência de aderência na flexão da junta do meio foram de 0,15 MPa com cura e 0,09 MPa com cura e molhagem (considerando apenas a resistência de aderência que ocorrem na primeira ruptura na junta do meio) (Figura 176). Os valores obtidos foram inferiores aos verificados para a mesma temperatura sem o processo de cura (valor médio de 0,23 MPa). Além disso, a primeira ruptura ocorreu na junta superior para um prisma de cada processo de cura, comportamento diferenciado do obtido para a temperatura de 23°C e de 30°C sem cura (primeira ruptura ocorrendo na junta do meio).

O comportamento obtido nos prismas com os processos de cura não foi o mesmo verificado para os mini-prisma em que foram realizados os mesmos tratamentos. Para os mini-prisma houve um aumento da resistência de aderência em função da realização dos processos de cura. Mesmo considerando todos os valores obtidos (da primeira e da segunda ruptura), os valores de resistência de aderência na flexão são inferiores ou iguais os valores obtidos para o prisma de temperatura de 30°C sem cura. Com exceção dos valores obtidos para a junta superior do prisma com cura (0,30MPa). Possivelmente a cura realizada nos mini-prismas foi mais efetiva e uniforme, sendo a cura realizada pelos dois lados do mini-prisma. No caso dos prismas a cura

só foi efetivamente realizada na parte externa da junta. O processo de cura é benéfico, porém deve-se analisar novas maneiras de realizar esse tratamento.

Já os valores obtidos de coeficiente de variação foram muito grandes (valor máximo obtido de 97% para a junta do meio do prisma com cura e molhagem), observando, mais uma vez, que o processo de cura pode não ter sido homogêneo para todas as juntas ou até na mesma junta. Possivelmente, o ideal fosse que se conseguisse uniformizar a quantidade de água fornecida para a junta de assentamento durante o processo de cura, por exemplo, utilizando borrifadores que mantivessem constante a quantidade de água que fosse aspergida e, inclusive, fosse realizada a molhagem nos furos dos blocos de concreto.

A Figura 177 apresenta os valores obtidos para a argamassa mista com incorporador de ar com temperatura de 23°C.

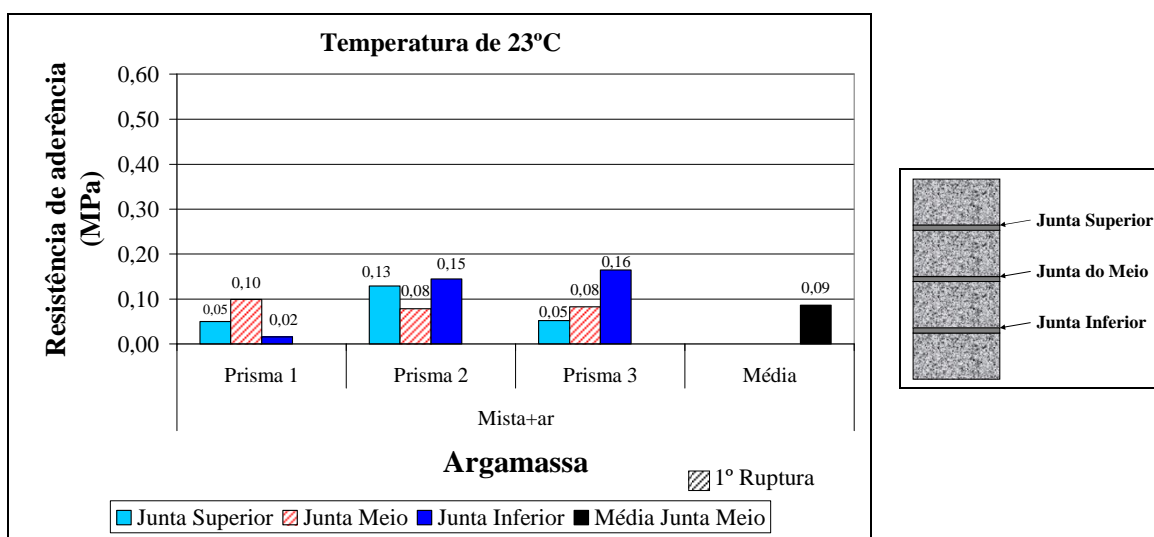


Figura 177. Resistência de aderência nos prismas para argamassa mista com incorporador de ar para a temperatura de 23°C.

Conforme verificado na Figura 177, para a argamassa mista com incorporador de ar a primeira ruptura em todos os casos ocorreu na junta do meio. O valor médio de resistência de aderência para a junta do meio foi de 0,09 MPa (coeficiente de variação de 13%). Esse valor é 30% do valor obtido para a argamassa mista para a mesma temperatura (0,30 MPa).

Para a junta superior, os valores de resistência de aderência na flexão foram inferiores aos obtidos para a junta do meio e para a junta inferior. No caso das juntas inferiores e superiores, foi observado um coeficiente de variação alto (máximo de 74% para a junta inferior).

Esse comportamento também foi observado para a resistência de aderência na flexão obtido para os mini-prismas e será abordado a seguir para a argamassa de cimento com incorporador de ar.

Os valores de resistência de aderência para a argamassa de cimento com incorporador de ar para a temperatura de 23°C são apresentados na Figura 178.

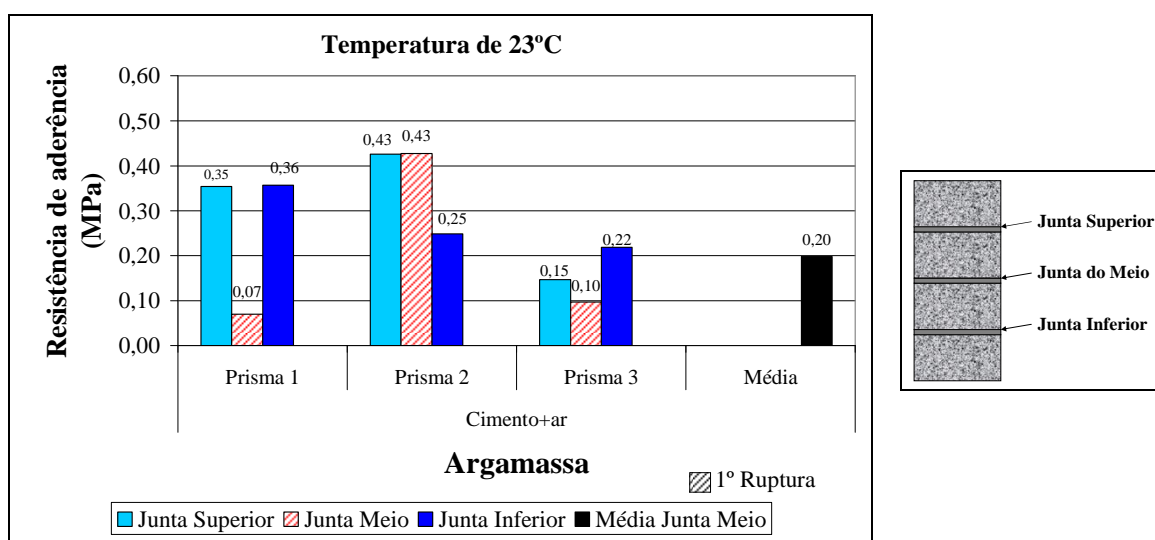


Figura 178. Resistência de aderência nos prismas para argamassa de cimento com incorporador de ar para a temperatura de 23°C.

Observa-se, na Figura 178, que, novamente, a primeira ruptura ocorreu para a junta do meio como era esperado, sendo o valor de resistência média da junta do meio de 0,20 MPa, porém o coeficiente de variação foi de 100,1%. Esse alto coeficiente de variação já havia sido observado para os mini-prismas confeccionados com a mesma argamassa. Possivelmente este comportamento ocorre pela a formação de bolhas de ar na interface argamassa e bloco de concreto reduzindo assim a extensão de aderência, o que diminui a resistência de aderência na flexão. O efeito da formação de bolhas de ar na interface ocorre pelo uso de aditivos incorporadores de ar e é evidenciado nas propriedades do estado fresco onde o teor de ar incorporado dessa argamassa é superior ao obtido para a argamassa mista. Além disso, o efeito de incorporação de ar diminuiu a resistência à compressão dessa argamassa e da junta de assentamento em relação à argamassa mista que apresentava a mesma relação água/cimento (1,52).

O valor de resistência de aderência da junta do meio foi de 67% em relação à argamassa mista. No entanto a resistência de aderência variou entre 0,07 MPa e 0,43 MPa (observado pelo alto coeficiente de variação).



Para a argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água os valores de resistência de aderência na flexão são apresentados na Figura 179. Cabe salientar que os valores foram obtidos para a temperatura de 23°C.

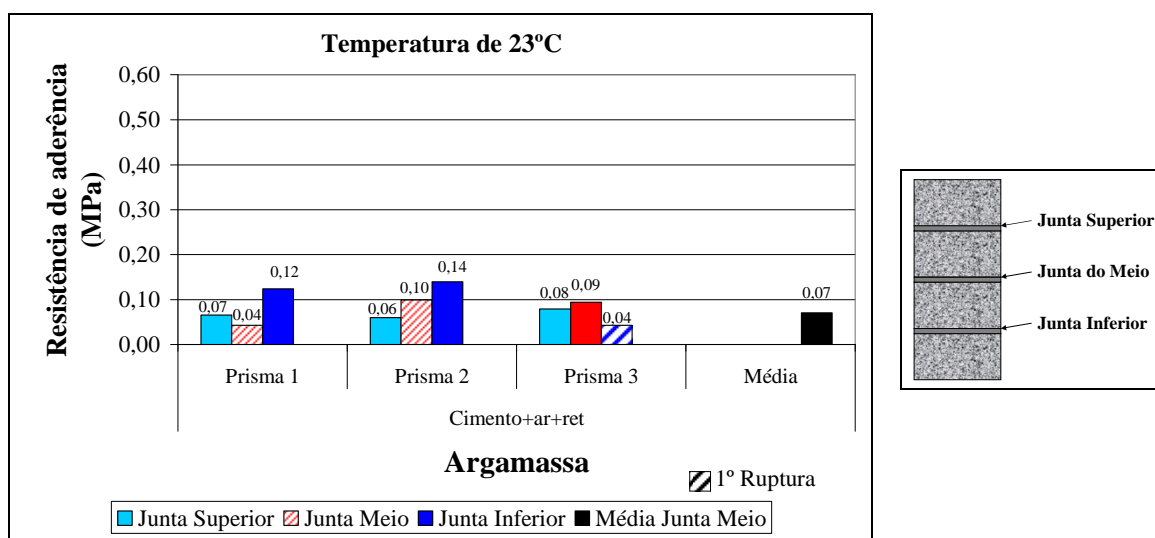


Figura 179. Resistência de aderência nos prismas para argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água para a temperatura de 23°C.

Nota-se, na Figura 179, que a primeira ruptura ocorreu para apenas um prisma na junta inferior (Prisma 3). Esse comportamento foi atípico do observado para os demais prismas onde ocorria sempre a primeira ruptura na junta do meio (o ideal para o ensaio) ou na junta superior. O valor de resistência de aderência médio observado para a junta do meio, apenas considerando os valores obtidos na primeira ruptura, foi de apenas 23% da resistência de aderência obtida para a argamassa mista, sendo o menor valor obtido para as argamassas estudadas. Além disso, novamente o coeficiente de variação obtido foi alto (56%). Possivelmente esse comportamento foi observado pela incorporação de ar verificada no estado fresco e também a baixa resistência de aderência à compressão da argamassa e da junta de assentamento. Cabe salientar que os menores valores de resistência de aderência em mini-prismas também foram observados para esta argamassa.

A correlação realizada entre os valores obtidos de resistência de aderência na flexão dos prismas e dos mini-prisma será abordada a seguir.

#### 4.5.3 Correlação entre os valores obtidos de resistência de aderência de mini-prismas e prismas

Após a obtenção dos valores de resistência de aderência na flexão nos mini-prismas e nos prismas foi realizada uma correlação entre esses resultados para as quatro argamassas estudadas para a mesma temperatura.

A Figura 180 apresenta a correlação entre a resistência de aderência na flexão média obtida nos prismas para a junta do meio e a resistência de aderência média obtida para as amostras com absorção média nos mini-prismas.

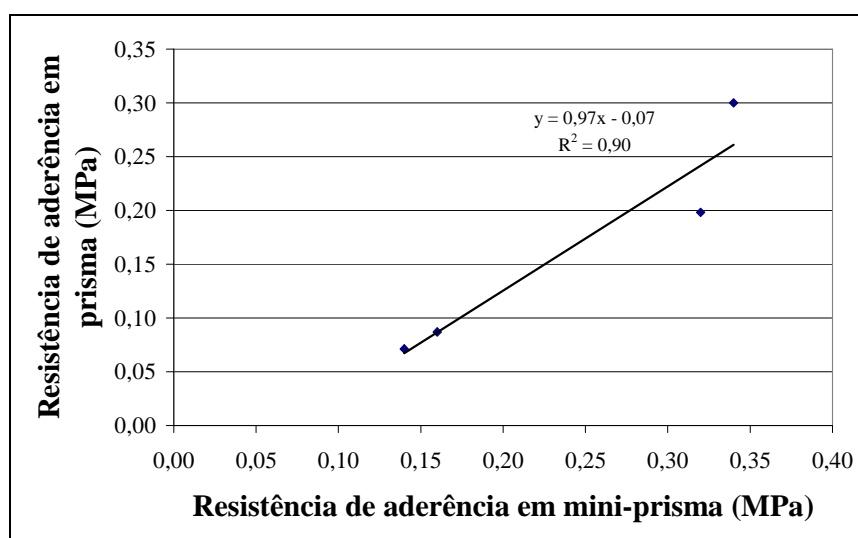


Figura 180. Resistência de aderência na flexão dos prismas versus resistência de aderência para amostras com absorção média em mini-prismas.

Nota-se, na Figura 180, que houve uma boa correlação entre as resistências de aderência média obtidas para os prismas e os mini-prismas. Cabe ressaltar que foi escolhida uma correlação linear para apresentação dos dados, pois a quantidade de dados era reduzida, além de ter sido a função que apresentou o menor coeficiente de correlação.

Outro fator importante a ser ressaltado é que a resistência de aderência na flexão dos mini-prismas foi sempre superior àquela observada para os prismas. Na realidade a resistência de aderência na flexão obtida em mini-prismas é uma “resistência potencial” de aderência, isto é, a resistência máxima que pode ser obtida pelo material. Isso porque alguns procedimentos são realizados: (i) a amostra utilizada de bloco de concreto é homogênea (mesmas absorções); (ii) o assentamento da amostra da posição “2” é feito de forma constante, isto é, a amostra somente pressiona a argamassa sem que ocorra uma rotação na amostra, ou seja, um descolamento de

apenas um dos lados da junta de assentamento (esse procedimento pode ocorrer nos prismas no momento do alinhamento e nivelamento do bloco de concreto); e (iii) após o assentamento da junta no mini-prismas, esta não sofre mais nenhuma perturbação, já no caso dos prismas após o assentamento da junta inferior (primeira junta), ocorre o assentamento das próximas juntas superiores que podem movimentar o bloco que já estava devidamente ajustado e assentado.

Também cabe salientar que, apesar de ter sido obtida uma boa correlação linear entre a resistência de aderência média obtida para os prismas e para os mini-prismas, observou-se uma proporção entre a resistência de aderência do prisma e do mini-prisma distinta para cada argamassa. A Tabela 59 apresenta os valores médios obtidos de resistência de aderência nos mini-prismas e nos prismas, além disso, é apresentado relação em função de cada argamassa.

Tabela 59. Resistência de aderência na flexão em mini-prisma e prisma com a relação para as argamassas estudadas.

Argamassa	Resistência de aderência na flexão para amostra com absorção média em mini-prismas (MPa)	Resistência de aderência na flexão em prismas (MPa)	Relação (resistência no prisma/resistência obtida em mini-prisma)
Mista	0,34	0,30	0,88
Mista com incorporador de ar	0,16	0,09	0,54
Cimento com incorporador de ar	0,32	0,20	0,62
Cimento com incorporador de ar e retentor de água	0,14	0,07	0,51

Observa-se, na Tabela 59, que para cada argamassa existe uma relação distinta entre a resistência de aderência na flexão em prisma e em mini-prisma. A maior relação obtida foi para a argamassa mista, sendo, assim, a resistência do prisma mais próxima da obtida em mini-prisma. Para as demais argamassas as relações foram menores. Isso quer dizer que a resistência obtida nos prismas tem a tendência de ser mais afetada por outros fatores que não observados no mini-prisma. Possivelmente dois fatores podem ter influenciado mais: primeiro, o mais provável, maior sensibilidade no prisma aos efeitos do assentamento (como o ajuste e nivelamento dos blocos de concreto) e segundo todas as argamassas continham em sua composição aditivos incorporadores de ar e isso pode ter causado menor extensão de aderência, o que foi maximizado numa maior área (maior quantidade de defeitos), reduzindo, assim a resistência de aderência no prisma. Além disso, para a argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água, que apresentou a menor relação entre o prisma e o mini-prisma. Esse comportamento pode ter sido influenciado pelo retardo do início do tempo de pega da argamassa, isto é, após no momento do assentamento da segunda junta do prisma, a primeira junta ainda estava “fresca”, não adquirindo

resistência suficiente para resistir às pequenas deformações e, assim, quebrando o elo entre a argamassa e o bloco de concreto.

Dessa maneira para analisar a resistência de aderência na flexão em mini-prisma deve ser levado em conta também o tipo de argamassa utilizado.

Outro fator importante a ser mencionado é que a resistência de aderência também foi influenciada indiretamente pela resistência à compressão da argamassa e da junta de assentamento, isto é, as maiores resistências à compressão foram obtidas para a argamassa mista que obteve as maiores resistências de aderência na flexão em prisma. Da mesma forma a argamassa que apresentou a menor resistência à compressão também apresentou as menores resistências de aderência na flexão em prisma.

#### **4.6 CORRELAÇÃO ENTRE A ABSORÇÃO DE ÁGUA PROVENIENTE DA ARGAMASSA PELO BLOCO DE CONCRETO E A RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA EM MINI-PRISMA**

A correlação entre a absorção de água proveniente da argamassa pelo bloco de concreto e a resistência de aderência na flexão em mini-prisma foi dividida primeiramente por tipo de argamassa e tipo de bloco de concreto. Além disso, foi avaliada a correlação entre a primeira ruptura que ocorria preferencialmente na face inferior (posição “2”) e da segunda ruptura que ocorria na face superior (posição “1”). Desse modo, os valores obtidos da primeira ruptura foram correlacionados com os valores de absorção de água obtidos na face inferior (posição “2”) e da mesma maneira da segunda ruptura foram correlacionados com os valores de absorção de água da face superior (posição “1”).

Também, foram verificadas todas as correlações obtidas para cada tempo após o contato da argamassa com o bloco de concreto, no entanto aqui serão apresentadas apenas as correlações lineares que obtiveram o maior valor do coeficiente de “ $r^2$ ”. Cabe ressaltar também que a função linear foi escolhida por ser a mais rigorosa, isso é, que seria obtido os menores coeficientes de correlação.

A Figura 181 apresenta as correlações obtidas do valor médio de resistência de aderência *versus* o valor médio da absorção de água proveniente da argamassa pelo bloco de concreto para a argamassa mista com os blocos de concreto de Florianópolis. Foram avaliados

todos os tempos para cada argamassa, pois a velocidade de absorção de água proveniente da argamassa pelo bloco de concreto seria também diferente e assim a correlação entre os valores poderia ser maior para tempos distintos. A maior correlação obtida para a primeira ruptura foi com os valores de absorção de água pelo bloco de concreto após 5 minutos de contato com a argamassa. Já a melhor correlação para a segunda ruptura foi obtida no tempo de 30 minutos.

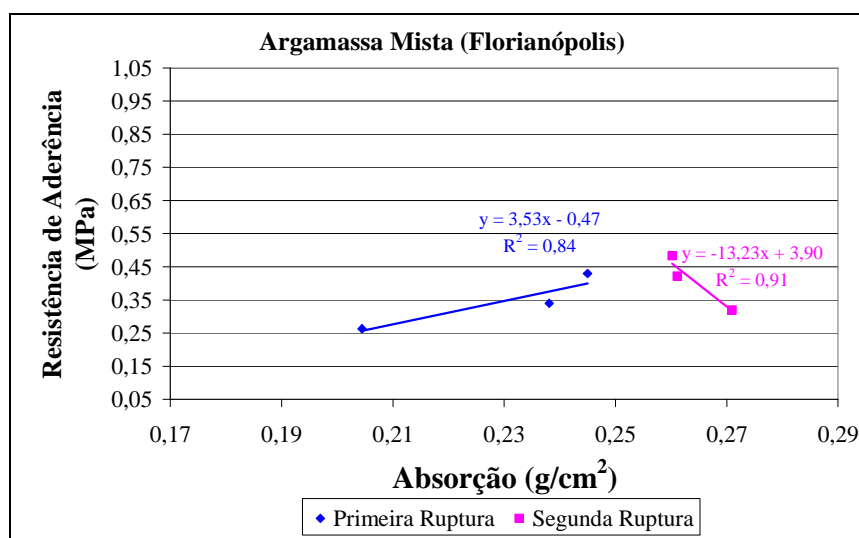


Figura 181. Resistência de aderência na flexão *versus* absorção de água proveniente da argamassa pelo bloco de concreto de Florianópolis (TF) para a argamassa mista para a primeira ruptura e a segunda ruptura.

A partir das correlações lineares apresentadas na Figura 181, percebe-se que existe uma relação entre a resistência de aderência na flexão e a absorção de água proveniente da argamassa pelo bloco de concreto. No entanto, as correlações e o comportamento são diferentes para a primeira e a segunda ruptura. Na primeira ruptura conforme aumentou a absorção de água, a resistência também aumentou. Já para a segunda ruptura esse comportamento foi inverso. Esses comportamentos distintos já haviam sido observados quando foi realizada uma comparação entre a resistência de aderência com a absorção de água da amostra de bloco de concreto (absorção baixa, média e alta). Neste caso, para a primeira ruptura, os valores de resistência de aderência apresentam uma boa correlação com a absorção de água da amostra de bloco de concreto (absorção baixa, média e alta) (Figura 170).

Para argamassa mista com incorporador de ar (Mista+ar), as correlações obtidas do valor médio de resistência de aderência *versus* o valor médio da absorção de água proveniente da argamassa pelo bloco de concreto de Florianópolis são apresentadas na Figura 182. A maior

correlação obtida para a primeira ruptura e para a segunda ruptura foi com os valores de absorção de água pelo bloco de concreto após 120 minutos de contato com a argamassa.

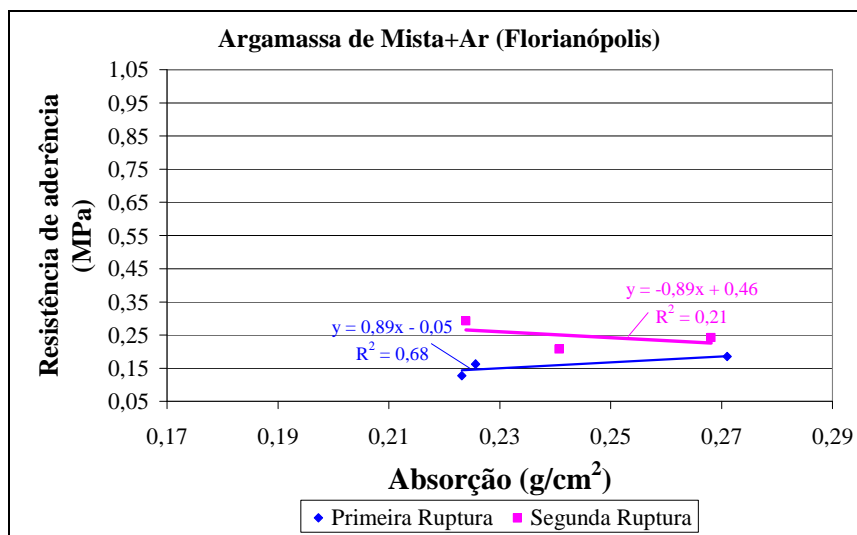


Figura 182. Resistência de aderência na flexão *versus* absorção de água proveniente da argamassa pelo bloco de concreto de Florianópolis (TF) para a argamassa mista com incorporador de ar para a primeira ruptura e a segunda ruptura.

Pode-se observar, na Figura 182, que as correlações obtidas apresentaram coeficientes bem inferior ao obtido para a argamassa mista, principalmente para a segunda ruptura. Cabe ressaltar que existe uma tendência, no entanto a correlação obtida não é muito boa. Para esta argamassa, a maior correlação obtida foi entre a resistência de aderência e a absorção de água do bloco de concreto (absorção baixa, média e alta) (Figura 170).

A Figura 183 apresenta as correlações obtidas do valor médio de resistência de aderência *versus* o valor médio da absorção de água proveniente da argamassa pelo bloco de concreto para a argamassa de cimento com incorporador de ar com os blocos de concreto de Florianópolis. A melhor correlação obtida para a primeira e a segunda ruptura foi com os valores de absorção de água pelo bloco de concreto após 5 minutos de contato com a argamassa.

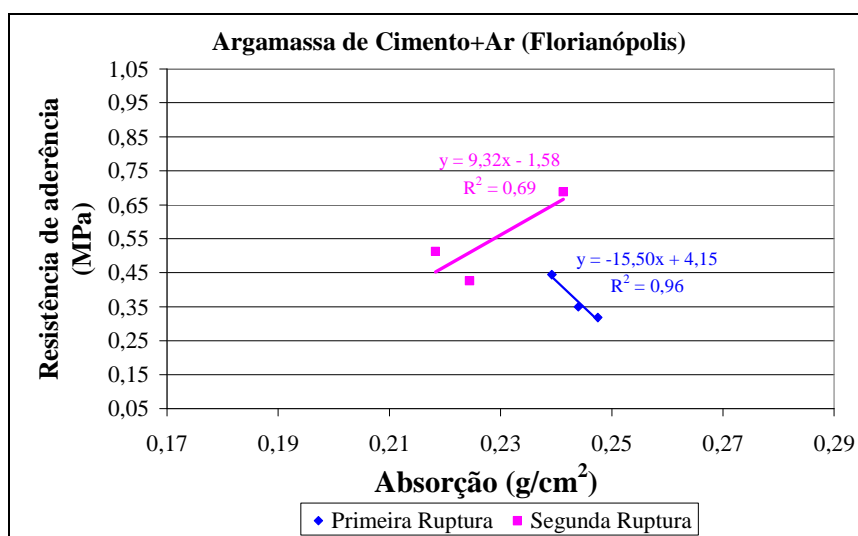


Figura 183. Resistência de aderência na flexão *versus* absorção de água proveniente da argamassa pelo bloco de concreto de Florianópolis (TF) para a argamassa de cimento com incorporador de ar para a primeira ruptura e a segunda ruptura.

Nota-se, na Figura 183, que a maior correlação obtida foi entre a resistência de aderência na flexão e a absorção de água proveniente da argamassa pelo bloco de concreto para a primeira ruptura. Cabe ressaltar que a correlação entre a resistência de aderência e a absorção de água pelo bloco de concreto (absorção baixa, média e alta) foi muito inferior ( $r^2=0,52$ ) à obtida para a absorção de água proveniente da argamassa (Figura 170).

Já para a argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água (Cimento+ar+ret), obteve-se a maior correlação para a primeira ruptura entre a resistência de aderência e absorção de água proveniente da argamassa pelo bloco de concreto de Florianópolis (Figura 184). No entanto, para a segunda ruptura a correlação foi muito baixa. A maior correlação obtida para a primeira ruptura e para a segunda ruptura foi com os valores de absorção de água pelo bloco de concreto após 5 minutos de contato com a argamassa.

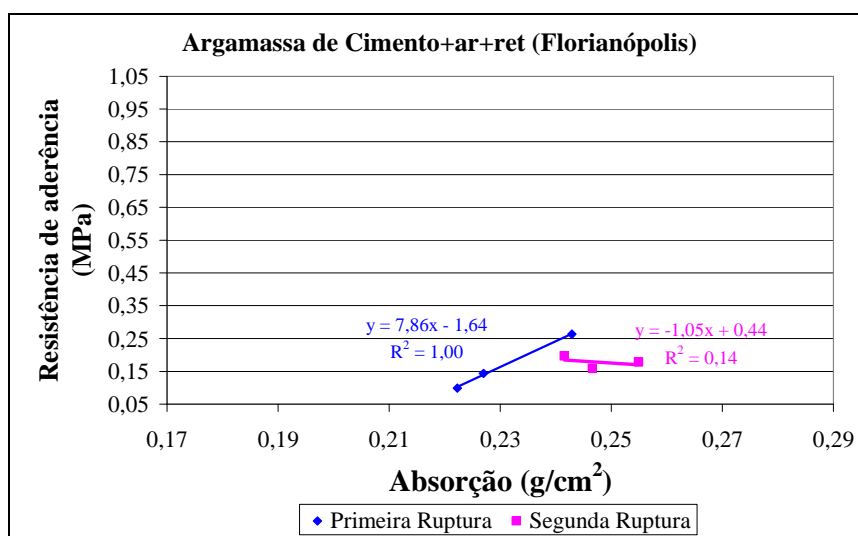


Figura 184. Resistência de aderência na flexão *versus* absorção de água proveniente da argamassa pelo bloco de concreto de Florianópolis (TF) para a argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água para a primeira ruptura e a segunda ruptura.

A argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água apresentou uma boa correlação entre a resistência de aderência tanto com a absorção de água proveniente da argamassa pelo bloco de concreto (Figura 184) quanto pela absorção de água do bloco de concreto (Figura 170).

Já para os blocos de concreto de Blumenau, obteve-se uma correlação com os resultados obtidos de resistência de aderência tanto para a argamassa mista quanto para a argamassa de cimento com incorporador de ar incluindo a primeira e segunda ruptura (Figura 185).



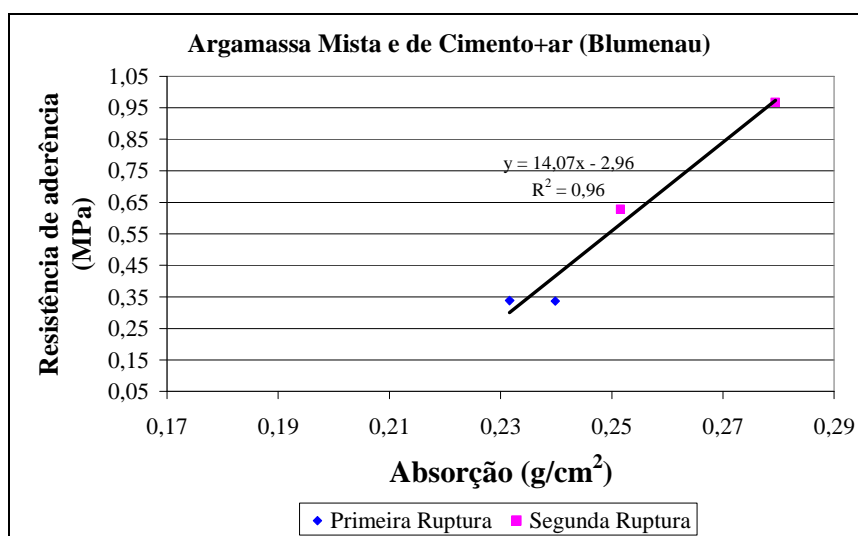


Figura 185. Resistência de aderência na flexão *versus* absorção de água proveniente da argamassa pelo bloco de concreto de Blumenau (TB) para a argamassa mista e a argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água para a primeira ruptura e a segunda ruptura.

Verifica-se, na Figura 185, que existe uma boa correlação entre a resistência de aderência e a absorção de água proveniente da argamassa pelo bloco de concreto para os resultados obtidos com as amostras de blocos de concreto de Blumenau. Neste caso foi possível correlacionar os valores obtidos tanto da primeira quanto da segunda ruptura.

Para os valores obtidos para as amostras com temperatura inicial de 30°C e molhando a superfície não foi possível obter uma correlação. Esse fato se deve, possivelmente, à aplicação de um tratamento com água na superfície antes do contato desta com a argamassa. Desse modo, a quantidade de água absorvida pelo bloco de concreto era proveniente tanto da molhagem quanto da argamassa. Esse processo pode ter influenciado nos resultados e assim, não foi possível uma correlação entre a resistência de aderência e a absorção de água proveniente da molhagem e da argamassa pelo bloco de concreto.

Também foi realizada a correlação entre a resistência de aderência e a absorção de água proveniente da argamassa pelo bloco de concreto considerando apenas a argamassa com os dois tipos de bloco de concreto (Florianópolis e Blumenau) (Figura 186).

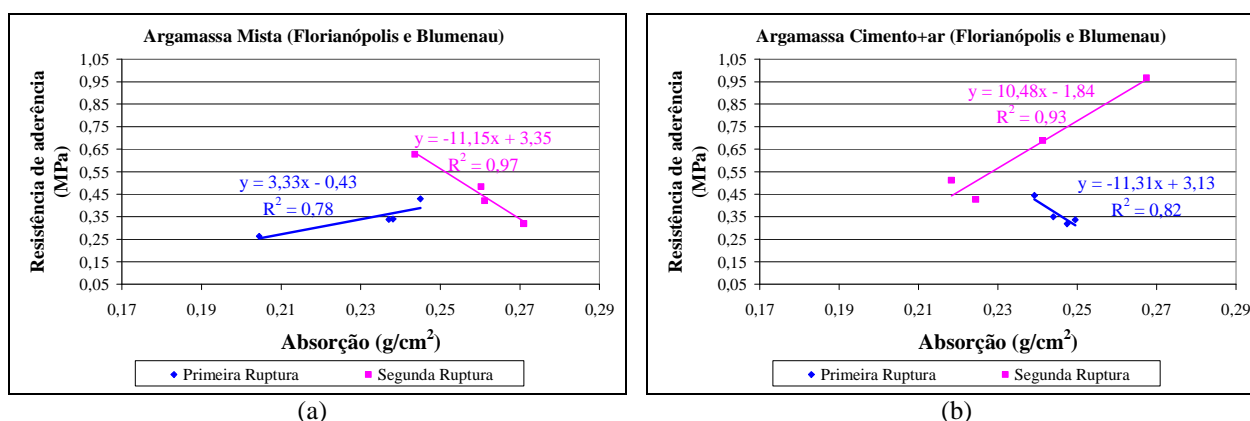


Figura 186. Resistência de aderência na flexão *versus* absorção de água proveniente da argamassa pelo bloco de concreto de Blumenau e de Florianópolis para a primeira ruptura e a segunda ruptura: (a) argamassa mista e (b) argamassa de cimento com incorporador de ar.

Conforme observado na Figura 186, as maiores correlações foram obtidas para a segunda ruptura tanto para a argamassa mista quanto para a argamassa de cimento com incorporador de ar. Além disso, percebe-se claramente o comportamento diferenciado da resistência de aderência em relação à absorção de água proveniente da argamassa para duas argamassas como já havia sido demonstrado anteriormente.

Com os resultados obtidos observa-se que existem correlações entre a resistência de aderência e a absorção de água proveniente da argamassa pelo bloco de concreto, principalmente para a argamassa mista, argamassa de cimento com incorporador de ar e argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água. No entanto, existem comportamentos distintos para cada argamassa estudada. Também foi verificada a correlação entre a resistência de aderência e a absorção de água proveniente da argamassa pelo bloco de concreto de Florianópolis e de Blumenau para a argamassa mista e argamassa cimento com incorporador de ar.

De maneira geral, o tempo onde foram obtidas as maiores correlações foi com 5 minutos de absorção de água pelo bloco de concreto, com exceção da argamassa mista com incorporador de ar onde o tempo foi de 120 minutos. Desse modo, como recomendação geral, a realização do ensaio poderia ser no máximo de 120 minutos.

Assim, demonstrou-se que existe uma combinação ideal entre cada tipo de argamassa e o bloco de concreto que corresponde, no estado endurecido, à maior resistência de aderência na flexão.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1 CONCLUSÕES

Com base nos resultados do programa experimental apresentado nesta tese é possível tecer algumas conclusões sobre a interação entre a argamassa e o bloco de concreto.

Na caracterização dos blocos de concreto observaram-se diferenças significativas entre as faces superior e inferior dos mesmos. Essas diferenças nas faces dos blocos de concreto são provenientes do processo de fabricação: faces com áreas distintas, textura superficial diferenciada (superfície em contato com a argamassa), propriedades mecânicas do concreto constituintes distintas para cada posição no bloco e microestruturas diferentes (porosimetria por intrusão de mercúrio). Assim, demonstrou-se a importância de avaliar as duas faces (superior e inferior) distintamente no estudo de interação entre a argamassa de assentamento e o bloco de concreto.

A caracterização das argamassas de assentamento no estado fresco por meio do GTec Teste foi adequada para dosar argamassas com boa trabalhabilidade para o assentamento de blocos de concreto. Além disso, foi possível obter uma “faixa” de perfil reológico para argamassa de assentamento com trabalhabilidade adequada empregando-se os valores obtidos do *Squeeze Flow* com geometria retangular, sem restrição e com apoio. Também foi observado comportamento distinto para as argamassas com relação ao tempo de início de pega, principalmente para as argamassas à base de cimento e aditivos, onde observou-se retardo no início do tempo de pega.

Nas propriedades do estado endurecido das argamassas de assentamento observaram-se resistências distintas em função do tipo de argamassa utilizada. Os maiores

valores de resistência foram obtidos para a argamassa mista e os menores valores obtidos para a argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água.

Para as juntas de assentamento, as características no estado fresco e endurecido foram influenciadas pelo tipo de argamassa empregada e pela transferência de água da argamassa com o bloco de concreto. No estado fresco foi observada a influência da transferência de água da argamassa com o bloco de concreto nos primeiros minutos de contato entre a argamassa e o bloco de concreto no ensaio do início do tempo de pega, onde se observou diferentes temperaturas e tempos distintos para cada tipo de argamassa e cada junta analisada (com blocos normais e impermeáveis). No estado endurecido foi obtido diferenças nas juntas em relação à microestrutura, onde para as amostras retiradas das juntas de assentamento apresentaram maior porosidade do que as obtidas para as juntas com blocos impermeáveis e a argamassa de cimento com incorporador de ar apresentou as maiores porosidades em relação a argamassa mista (porosimetria por intrusão de mercúrio). Além disso, para a argamassa mista e a argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água, as propriedades das juntas de assentamento foram semelhantes aos dos corpos-de-prova obtidos em formas metálicas (sem sucção do bloco de concreto). Já para a argamassa mista com incorporador de ar, a sucção do bloco de concreto teve uma influência negativa (redução das resistências). Para a argamassa de cimento com incorporador de ar, a transferência de água beneficiou as resistências uma vez que a junta de assentamento obteve valores superiores de resistência em relação aos obtidos para os corpos-de-prova de argamassa. Cabe ressaltar que, em todos os casos, os módulos de elasticidade obtido nas juntas de assentamento foram superiores aqueles obtidos em corpos-de-prova de argamassa, isto é, a junta de assentamento deforma menos do que a argamassa no corpo-de-prova com forma estanque.

No estudo de transferência de água da argamassa para o bloco de concreto (a perda de água da argamassa e a absorção de água proveniente da argamassa pelo bloco de concreto) observou-se a influência do tipo de argamassa, da posição no mini-prisma (diferenças nas faces dos blocos de concreto), da absorção de água da amostra do bloco de concreto e da origem da amostra (Florianópolis ou Blumenau).

O método reduzido proposto para avaliar a resistência de aderência em mini-prisma mostrou-se adequado, possibilitando a determinação da primeira e da segunda ruptura, verificando assim diferenças de resistência de aderência entre as faces do bloco de concreto (superior e inferior). A resistência de aderência nos mini-prismas foi influenciada pelo tipo de

argamassa, pela absorção de água da amostra do bloco de concreto, pela temperatura e pelo tipo de cura realizada (beneficiaram a resistência de aderência). Além disso, os resultados demonstraram claramente a diferença de aderência entre as faces dos blocos de concreto: a primeira ruptura ocorria preferencialmente na face inferior do bloco de concreto com a segunda ruptura ocorrendo, conseqüentemente, na face superior. Na grande maioria dos casos, a tensão obtida na segunda ruptura foi superior àquela verificada para a primeira ruptura.

Cabe ressaltar também que foi possível correlacionar a resistência de aderência com a classe de absorção do bloco de concreto (absorção baixa, média e alta), com exceção da argamassa de cimento com incorporador de ar. No entanto, verificaram-se tendências distintas para cada argamassa: argamassa mista e argamassa de cimento com incorporador de ar, quanto maior a absorção de água do bloco de concreto maior a resistência de aderência na flexão; e argamassa mista com incorporador de ar e argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água o comportamento foi inverso (quanto maior a absorção de água do bloco de concreto, menor a resistência de aderência).

A resistência de aderência na flexão em prismas foi influenciada, primeiramente, pelo tipo de argamassa utilizada, pela temperatura e pelo processo de cura. A maior resistência média de aderência na flexão (0,30 MPa) foi obtida para a argamassa mista com temperatura de 23°C. No caso da temperatura, para a argamassa mista, com o aumento da temperatura houve uma redução na resistência de aderência. Já para a cura úmida não foi possível identificar o mesmo comportamento. Outro fator importante a ser mencionado é que, para as argamassas aditivadas, a resistência de aderência foi inferior à obtida para a argamassa mista e o coeficiente de variação também foi elevado, demonstrando os mesmos comportamentos obtidos em mini-prisma.

Com os valores obtidos de resistência de aderência na flexão foi possível correlacionar os valores obtidos de resistência no prisma (ASTM E 518-80) com aquelas obtidas no mini-prisma (modelo reduzido proposto). No entanto observou-se que relação entre a resistência do prisma e do mini-prisma para cada argamassa é diferente. A maior relação foi verificada para a argamassa mista de 0,88 (resistência do prisma/ resistência do mini-prisma), já para outras argamassas em torno de 0,55. Cabe ressaltar que a resistência de aderência no mini-prismas é uma resistência “potencial” de aderência (maior homogeneidade e sem perturbações após o assentamento), onde se obteve resistência de aderência superior à obtida em prisma.

Uma das hipóteses desta tese era que a resistência de aderência na flexão estaria diretamente associada à transferência de água proveniente da argamassa para o bloco de concreto. Assim, foi verificada a correlação entre a absorção de água proveniente da argamassa para o bloco de concreto considerando separadamente cada face (primeira e segunda ruptura) para cada argamassa e a resistência de aderência na flexão em mini-prisma. Observou-se que existe uma correlação entre esses parâmetros, porém o comportamento é diferenciado para cada argamassa e para cada ruptura. Cabe ressaltar que as melhores correlações foram obtidas para um tempo específico de absorção de água proveniente da argamassa pelo bloco de concreto. Esse tempo foi diferente para cada argamassa, demonstrando, assim, que também existe uma velocidade distinta para que cada argamassa apresente a melhor correlação com a resistência de aderência.

Assim, a hipótese desta tese foi confirmada principalmente para a argamassa mista, argamassa de cimento com incorporador de ar e argamassa de cimento com incorporador e retentor de água, quando analisadas separadamente.

Diante dos resultados obtidos pode-se concluir que existe uma interação otimizada entre a argamassa de assentamento e o bloco de concreto que proporciona a maximização da resistência de aderência, sendo esta interação distinta para cada tipo de argamassa. Como, na realidade, o maior interesse é na primeira ruptura, para a argamassa mista, argamassa mista com incorporador de ar e argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água, quanto maior a absorção de água proveniente da argamassa pelo o bloco de concreto, maior a resistência de aderência. O comportamento foi inverso para a argamassa de cimento com incorporador de ar, quanto maior a absorção de água proveniente da argamassa pelo bloco de concreto, menor a sua resistência de aderência (cabe salientar que esta argamassa apresentou a menor retenção de água entre as argamassas estudadas).

## **5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Para trabalhos futuros, sugere-se que sejam utilizadas as metodologias de ensaio empregadas nesta tese nos estudos entre a interação de argamassa de assentamento e substrato. Vale ressaltar as metodologias desenvolvidas para a transferência de água da argamassa para o bloco de concreto e para a resistência de aderência em mini-prisma e em prismas. Com base no

estudo desenvolvido propõe-se a continuação desta pesquisa por meio dos tópicos listados a seguir.

- Estudo da influência de novas condições ambientais com diferentes temperaturas e umidades relativas na resistência de aderência em mini-prismas, assim como novos procedimentos de cura da junta de assentamento.
- Avaliação da resistência de aderência em prisma levando em consideração o tempo após a execução das juntas de assentamento, isto é, realizar o assentamento da primeira junta de assentamento e após um tempo pré-estabelecido (por exemplo, uma hora) realizar o assentamento da junta superior. Esse procedimento pode reduzir os problemas de perturbação das juntas já confeccionadas no momento do assentamento.
- Determinação da resistência de aderência em prisma ou em mini-prisma em função da execução das juntas em diferentes tempos após a mistura da argamassa, isto é, produzir uma quantidade grande de argamassa e verificar a influência do tempo que foi assentado o bloco de concreto após o processo de mistura.
- Ainda, em prisma, determinar a influência do sobrepeso utilizado sobre as juntas de assentamento, isto é, a quantidade de blocos que deve ser colocado para sobre o prisma após o assentamento.
- Otimizar a faixa de caracterização reológica das argamassas de assentamento com trabalhabilidade adequada utilizando novos materiais e com a avaliação de outros assentadores.
- Avaliar a influência do uso de blocos de concreto impermeáveis (baixa absorção de água por capilaridade) na resistência de aderência na flexão.
- Avaliar a influência de diferentes composições granulométricas das argamassas de assentamento e suas correlações com a transferência de água proveniente da argamassa para o bloco de concreto e a resistência de aderência na flexão;
- Verificar a influência dos aditivos em argamassas com diferentes traços e relações água/cimento distintas para minimizar a diferença as propriedades no estado endurecido das argamassas e correlacionar com a resistência de aderência na flexão.

- Comparar os modelos físicos existentes e propor um modelo para prever o comportamento da interação entre argamassa e o bloco de concreto após a obtenção dados experimentais.



## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDOU, L.; SAADA, R. A.; MEFTAH, F.; MEBARKI, A. Experimental investigations of the joint-mortar behaviour. *Mechanics Research Communications*, 33, 2006, p. 370 - 384.

ADMSON, A. W.; GAST, A. P. *Physical chemistry of surfaces*. A Wiley-Interscience Publication, 6<sup>a</sup> edição, USA, 1997, 784p.

ALVES, N. J. D. *Avaliação dos aditivos incorporadores de ar em argamassas de revestimento*. Brasília, 2002. Dissertação de mestrado apresentada a Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília. 175p.

ALVES, N. J. D.; SOUSA, J. G. G.; BAUER, E.; SALES, M. J. A. Proposta de procedimento para avaliação da condição de aplicação das argamassas de revestimento. *Anais do V Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*. São Paulo, 2003. p. 654 - 672.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 530-02/C-31: Specification for masonry structures. Detroit. 2002.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *ASTM C 67*: Standard test methods of sampling and testing bricks and structural clay tile. Philadelphia, 1991.

----- . *ASTM C 90*: Standard specification for hollow load-bearing concrete masonry units. Philadelphia, 1991.

----- . *ASTM C 91*: Specification for masonry cement. Philadelphia: ACI, 1916.

----- . *ASTM C 144*: Specification for aggregate for masonry mortar. Philadelphia, 1987.

----- . *ASTM C 270*: Mortar for unit masonry. Philadelphia, 1987.

----- . *ASTM C 780*: Standard test methods for preconstruction and construction evaluation of mortar for plain and reinforced unit masonry. Philadelphia, 1996.

----- . *ASTM C 952*: Test of bond strength of mortar to masonry units. Philadelphia, 1976.

----- . *ASTM C 1072*: Standard method for measurement of masonry flexural bond strength. Philadelphia, 1986.

----- . *ASTM E 518-80*: Test method for flexural bond strength of masonry. Philadelphia, 2003.

----- . *ASTM E 104-85*: Standard practice for maintaining constant relative humidity by means of aqueous solutions. Philadelphia, 1996.

ANTUNES, R. P. N. *Influência da reologia e da energia de impacto na resistência de aderência de revestimento de argamassas*. São Paulo, 2005. Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 162p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 1228*: Cálculo de alvenaria estrutural de bloco de concreto. Rio de Janeiro, 1989.

----- . *NBR 6136*: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos. Rio de Janeiro, 2006.

----- . *NBR 7215*: Determinação da resistência à compressão – cimento Portland. Rio de Janeiro, 1996.

----- . *NBR 7217*: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.

----- . *NBR 7219*: Agregados – Determinação do material pulverulento. Rio de Janeiro, 1987.

----- . *NBR 7251*: Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.

----- . *NBR 8215*: Prismas de blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural – preparo e ensaio à compressão – método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.

----- . *NBR 8522*: Concreto: determinação do módulo de deformação estática e diagrama tensão x deformação – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1994.

----- . *NBR 8798*: Execução e controle de obras em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Rio de Janeiro, 1985.

----- . *NBR 9287*: Argamassa de assentamento para alvenaria de blocos de concreto – determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 1986.

----- . *NBR 9776*: Agregados – Determinação da massa específica de agregado miúdos por meio do frasco de Chapmann Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 9779*: Argamassas e concretos endurecidos – determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 1995.

------. *NBR 10837*: Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Rio de Janeiro, 1989.

------. *NBR 12118*: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2006.

------. *NBR 13276*: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.

------. *NBR 13277*: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005.

------. *NBR 13278*: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

------. *NBR 13279*: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

------. *NBR 13280*: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.

------. *NBR 15258*: Argamassa para revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência potencial de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2005.

------. *NBR 15259*: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.

ARAÚJO, F. E. *Técnicas construtivas de edifícios residenciais em alvenaria estrutural não armada de blocos vazados de concreto*. Florianópolis, 2001. Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

BANFILL, P. F. G. The rheology of fresh mortar – a review. *Anais do VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*. Florianópolis, 2005. p. 73 - 82.

BARBOSA, C. S.; HANAI, J. B.; BARBO, R. R. C. Influência do processo de cura nas propriedades mecânicas da argamassa de assentamento para alvenaria estrutural. *Anais do VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*. Florianópolis, 2005. p. 443 - 447.

BARROS, M. M. B.; SABBATINI, F. H. Avaliação das características de alvenaria assentadas com argamassas industrializadas. *Anais do I Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*. Goiânia, 1995. p. 143 - 152.

BASTOS, P. K. X. *Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas de argamassas mistas de revestimento*. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.

BASTOS, P. K. X. Módulo de deformação de argamassas – conceito e métodos de determinação. *Anais do V Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*. São Paulo, 2003. p. 27 - 40.

BASTOS, P. K. X.; PASCINI, C. A.; CARVALHO, C. H. Método de ensaio para determinação do tempo de pega de argamassas de revestimento. *Anais do V Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*. São Paulo, 2003. p. 41 - 46.

BAUER, L. A. F. *Materiais de construção civil*. Rio de Janeiro, LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1994. Volume 2, 951p.

BAUER, E.; SOUSA, J. G. G.; GUIMARÃES, E. A.; SILVA, F. G. S. Study of the laboratory Vane test on mortars. *Building and Environment*, 42. 2007. p. 86 - 92.

BEALL, C. *Masonry design and detailing for architects, engineers, and builders*. New York, McGraw – Hill Book Company, 1987.

----- . *La trabajabilidad del mortero*. The Magazine Masonry Construction, Illinois, October, 1989.

BENINGFIELD, N. Air entrainment of mortar. In: *8<sup>th</sup> IBMAC (International Brick and Block Masonry Conference*, v. 1, Dublin, 1988.

BETIOLI, A. *Influência dos polímeros MHEC e EVA na hidratação e comportamento reológico de pastas de cimento Portland*. Florianópolis, 2007. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. 188p.

BRADY, J.; HUMISTON, G. E.; SANTOS, C. M. P.; FARIA, R. B. *Química Geral*. v. 1 e 2. 2<sup>o</sup> ed. Rio de Janeiro. LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., 1986.

BRITISH STANDARD INSTITUTION. Sands for mortar for plain and reinforced brickwork, blockwork, blockwalling and masonry: *BS 1200*. London, 1976.

----- . Methods of testing – mortars, screeds and plasters: *BS 4551*. London, 1980.

----- . Structural use of unreinforced masonry: *BS 5628: Part 1*. London, 1992.

----- . Specification for precast concrete masonry units: *BS 6073*. London, 1981.

BROCKEN, H. J. P.; ADAN, O. C. G.; PEL, L. Moisture transport properties of mortar and mortar joint: a NMR study. *Heron*, vol. 42, n<sup>o</sup> 1, 1997, p. 55 - 69.

BROCKEN, H. J. P.; SPIEKMAN, M. E.; PEL, L.; KOPINGA, K.; LARBI, J. A. Water extraction out of mortar during brick laying: a NMR study. *Materials and Structures*, vol. 31, January-February, 1998, p. 49 - 57.

BROCKEN, H. J. P.; PERS, N. M.; LARBI, J. A. Composition of lime-cement and air-entrained cement mortar as a function of distance to the brick-mortar interface: consequences for masonry. *Materials and Structures*, vol. 33, December, 2000, p. 643 - 646.

CALÇADA, L. M. L. *Avaliação do comportamento de prismas grauteados e não grauteados de blocos de concreto*. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

CARASEK, H. *Estudo experimental em alvenaria estrutural: resistência à compressão e resistência de aderência*. 1990. Dissertação (Mestrado) CPGEC – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 102p.

CARASEK, H. *Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substratos porosos – avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação*. 1996. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIAS, G. C. (Ed.) *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências e Engenharia de Materiais*. Ipsi Gráfica e Editora, São Paulo, 2007. Cap. 26. p. 863 - 904.

CARDOSO, F. A.; PILEGGI, R. G.; JOHN, V. M. Caracterização reológica de argamassas através do método de *Squeeze-flow*. *Anais do VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*. Florianópolis, 2005. p. 121 - 143.

CARDOSO, F. A.; CAMPORA, F. C.; PILEGGI, R. G.; JOHN, V. M. Caracterização reológica de argamassas do mercado por *Squeeze-flow*. *Anais do VII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*. Recife, 2007.

CASALI, J. M.; OLIVEIRA, A. L.; SANTOS, S.; CALÇADA, L. M. L.; PRUDÊNCIO JR, L. R. Avaliação da influência do processo de mistura na resistência à compressão de argamassas para assentamento de alvenaria estrutural. *Anais do IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*. Brasília, 2001. p. 435 - 443.

CASALI, J., M.; CALÇADA, L. M. L.; PRUDÊNCIO JR, L. R. Metodologia alternativa para a avaliação da trabalhabilidade de argamassas de assentamento para a alvenaria estrutural de blocos de concreto em obra e laboratório. *Anais do VII International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries*. Belo Horizonte, 2002. p. 51 - 58.

CASALI, J. *Estudo comparativo de tipos de argamassa de assentamento para alvenaria estrutural de blocos de concreto*. Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003. 184 p.

CASALI, J. M.; WEIDMANN, D. F.; PRUDÊNCIO JR, L. R. Determinação da resistência da argamassa na junta de alvenaria estrutural por meio do ensaio de penetração de pino. *Anais do VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*. Florianópolis, 2005. p. 423 - 432.

CASALI, J. M.; PRUDÊNCIO JR, L. R. New test method for the evaluation of the workability of concrete block masonry bedding mortars. *Proceedings of 14<sup>th</sup> International Brick and Block Masonry Conference*, Sidney, 2008.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CARASEK, H. *Argamassa de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio*. Boletim 68 Instituto de Pesquisa Tecnológicas. São Paulo, 1995.

DAFICO, A. A.; FERRO, K. M. S.; CAVALCANTE, M. C. O. Análise de desempenho de aditivos impermeabilizantes para argamassas. In: *Anais I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável e X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*. 2004.

DÉTRICHÉ, C. H.; GALLIAS, J. L.; GRANDET, J.; MASO, J. C. Mouvements d'eau, hydratation et comportement mécanique des mortiers d'enduit. *Matériaux et Constructions*, 1984, vol. 17, n. 100, p. 297 - 302.

DÉTRICHÉ, C. H.; GRANDET, J. Influence de la succion des supports poreux sur la prise et la résistance au cisaillement des mortiers moulés à leur contact. *Matériaux et Constructions*, 1981, vol. 14, n. 80, p. 91 - 102.

DÉTRICHÉ, C. H.; MASO, J. C. Differential hydration in rendering mortar. *Cement and Concrete Research*, 1986, vol. 16, p. 429 - 439.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. *Testing mortars containing mineral binders – Freshly mixed mortars containing aggregates of dense structure (heavy aggregates): determination of consistence, bulk density and air content: DIN 18555: part 2*. Berlin, 1982.

DIAMOND, S.; LEEMAN, M. E. Pore size distributions in hardened cement paste by sem image analysis. In *Proceeding of Materials Research Society Symposium*. Vol 370. 1995. p. 217 - 226.

DIAMOND, S. Aspects of concrete porosity revisited. *Cement and Concrete Research*. 1999, vol. 29. p. 1181 - 1188.

DRYSDALE, R. G.; HAMID, A. A.; BAKER, L. R. *Masonry Structural Behavior and Design*. New Jersey, Prentice-Hall, 1993.

DUPIN, I.; DÉTRICHÉ, C. H.; MASO, J.C. Accrochage direct d'un enduit sur un isolant par une liaison de type mécanique dans le cadre d'un procédé d'isolation par l'extérieur. *Matériaux et Constructions*, 1988, vol. 21, p. 370 - 378.

FORTH, J. P.; BROOKS, J.J. e TAPSIR, S. H. The effect of unit water absorption on long-term movements of masonry. *Cement and Concrete Composites*, vol. 20, 2000, p. 273 - 280.

FRASSON JR., A.. *Metodologia de dosagem e processo produtivo de blocos de concreto para alvenaria estrutural*. Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2000

GALLEGOS, H. *Adhesión entre el mortero y las unidades de albañilería*. Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 1º, Goiânia, UFG/ANTAC, 1995, p. 117 - 133.

GALLEGOS, H. *Albañilería Estructural*. Pontificia Universidade Católica do Peru. Lima, 1989.

GAVA, G. P. *Análise teórica-experimental do comportamento à flexão de vigas de concreto reforçado com fibras de aço*. Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006. 277 p.

GONÇALVES, S. R. C. *Variabilidade e fatores de dispersão da resistência de aderência nos revestimentos em argamassa – estudo de caso*. Brasília, 2004. Dissertação de mestrado apresentada a Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília. 148p.

GROOT, C.J.W.P. *Effects of water on mortar - brick bond*. Technische University Delft, 1993. 184p.

GROOT, C.J.W.P. Effects of water on mortar-brick bond. *Heron*, vol. 40, nº 1, 1995, p. 57 - 70.

GROOT, C.; LARBI, J. The influence of water flow (reversal) on bond strength development in young masonry. *Heron*, vol. 44, nº 2, 1999, p. 63 - 78.

GRUPO DE TECNOLOGIA EM MATERIAIS E COMPONENTES A BASE DE CIMENTO PORTLAND. *Desenvolvimento de sistema alternativo de construção em alvenaria estrutural para habitação de interesse social*. Florianópolis, GTEC/FAPESC/02, 2005.

GUMMERSON, R. J.; HALL, C; HOFF, W.D. Water movement in porous building materials – II: hydraulic suction and sorptivity of bricks and other masonry material. *Building and Environment*, vol. 15, 1980, p. 101 - 108.

HALL, C. Water movement in porous building materials – I. Unsaturated flow theory and its applications. *Building and Environment*, vol. 12, 1977, p. 117 - 125.

HOPPE FILHO, J.; CARDOSO, F. A.; CINCOTTO, M. A.; PILEGGI, R. G. Técnicas de caracterização reológica de argamassas. *Revista de Ciência e Tecnologia de Materiais de Construção Civil – e-mat*. Vol. 3, n. 2, Novembro, 2006. p. 103 - 120.

HU, C.; LARRARD, F. Rheological testing and modeling of fresh high performance concrete. *Materials and Structures*, v. 28, 1995. p. 1 - 7.

JENNINGS, V. A.; WERNER, A. M.; PARK, C.; LANGE, D. A. Water transport phenomena between brick and mortar. *The Masonry Society Journal*, 2000, vol. 18, nº 2, p. 61 - 74.

JUKES, P.; RIDDINGTON, J. R. A review of masonry tensile bond strength test methods. *Masonry International*, 1998, vol. 12, n° 2, p. 51 - 57.

KASTEN, D. e EDEN, W. The influence of the compressive strength of the mortar on the compressive strength of masonry. *Proceedings of 10<sup>th</sup> International Brick and Block Masonry Conference*, Calgary, Canada, 1994, p. 1407 - 1411.

KJAER, E. The influence of suction from masonry units upon the strength of the hardened masonry mortar. *Proceedings of 9<sup>th</sup> International Brick and Block Masonry Conference*, Berlin, 1991, p. 1356 - 1363.

LANGE, D. A.; DeFORD, H. D.; AHMED, A. Microstructure and mechanisms of bond in masonry. *Proceedings of Seventh North American Masonry Conference*, South Bend, Indiana, USA, 1996, p. 167 - 173.

LAWRENCE, S. J. e CAO, H. T. Microstructure of the interface between brick and mortar. *Proceedings of 8<sup>th</sup> International Brick and Block Masonry Conference*, Dublin, London, 1988, p. 194 - 204.

LAWRENCE, S. J. e PAGE, A. W. Bond studies in masonry. *Proceedings of 10<sup>th</sup> International Brick and Block Masonry Conference*, Calgary, Canada, 1994, p. 909 - 917.

MATSOUKAS, A.; MITSOULIS, E. Geometry effects in squeeze flow of Bingham plastics. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*. 109. 2003. p. 231 - 240.

MEDEIROS, J. S. *Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto*. 1993. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

MEDEIROS, J. S.; SABBATINI, F. H. Aderência bloco/argamassa: determinação da resistência à flexão de prismas. *Proceedings of 5<sup>th</sup> International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries*, Florianópolis, 1994, p. 270 - 277.

MEETEN, G. H. Yield stress of structured fluids measured by squeeze flow. *Rheol Acta*, 39, 2000. p. 399 - 408.

MEETEN, G. H. Squeeze flow of soft solids between rough surfaces. *Rheol Acta*, 43, 2004. p. 6 - 16.

MEROUANI, L. *Phénomènes de sorption et transfert d'humidité dans des matériaux du bâtiment: étude expérimentale comparative d'un mortier de ciment et d'un enduit de façade*. Tese (doutorado). Institut National Polytechnique de Grenoble. Grenoble, 1987, 180p.

METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. *Concreto: estrutura, propriedade e materiais*. São Paulo. Pini, 1994, 573p.



MIN, B. H.; ERWIN, L.; JENNINGS, H. M. Rheological behavior of fresh cement paste as measured by squeeze flow. *Journal of Materials Science*, v. 29, 1994. p 1374 - 1381.

NIQUES, G.; CARVALHO, J. M.; GLEIZE, P. J. P.; ROMAN, H. R. Avaliação da influência de argamassa de assentamento com fibras na resistência à compressão da alvenaria com bloco cerâmico estrutural. *Anais do V Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*, São Paulo, 2003, p. 437 - 447.

OHAMA, Y. Polymer-modified mortars and concretes. In: RAMACHANDRAN, V. S. (Ed.). *Concrete Admixtures Handbook*. New Jersey: Noyes Publications, 1984, Cap. 7, p. 337 - 429.

OLIVEIRA, A. L. *Contribuição para a dosagem e produção de peças de concreto para pavimentação*. Tese de doutorado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2004. 271 p.

OLIVEIRA, I. R. ; STUDART, A. R. ; PILEGGI, R. G. ; PANDOLFELLI, V. C. *Dispersão e Empacotamento de Partículas – principio e aplicação em processamento cerâmico*. São Paulo: Fazendo Arte, 2000. 224p.

PAES, I. L.; BAUER, E.; CARASEK, H. Revestimento em argamassa: influencia do substrato no transporte e fixação de água, nos momentos iniciais pós-aplicados. *Anais do V Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*, São Paulo, 2003, p. 533 - 544.

PAES, I. N. L. *Avaliação do transporte de água em revestimentos de argamassa nos momentos iniciais pós-aplicação*. Brasília, 2004. Tese de doutorado apresentada a Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília. 242p.

PANARESE, W. C, KOSMATKA, S. H., RANDALL, F. A. *Concrete Masonry Handbook for architects, Engineers, Builders*. Portland Cement Association, 5ª ed. Estados Unidos da América, 1991. 219p.

PESSAN, L., A.; MANRICH S. *Reologia: conceitos básicos*. Gráfica da UFSCar . São Paulo. 1987. 161p.

PÓVOAS, Y. V. Avaliação da formação de “Película” na argamassa colante e sua influência na adesão. Tese de doutorado apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005. 159 p.

PRUDÊNCIO JR, L. R.; OLIVEIRA, A. L., BEDIN, C.A. *Alvenaria estrutural de blocos de concreto*. Florianópolis, 2002. Editora Gráfica Palloti. 208 p.

RAGO, F.; JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A. C.; PASSOS GUIMARÃES, J. E. Desempenho de argamassas de revestimento mistas e aditivadas – metodologia de avaliação. *Proceedings of 5<sup>th</sup> International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries*, Florianópolis, 1994, p. 71 - 83.

RABOCKAI, T. *Físico-química de superfícies*. Instituto de Química da Universidade de São Paulo, 1979, 128p.

RAMACHANDRAN, V. S. *Concrete Admixtures Handbook*. New Jersey: Noyes Publications, 1984.

RÉUNION INTERNATIONALE DES LABORATORIES D'ESSAIS DE MATÉRIAUX ET DE CONSTRUCTION – RILEM Recommendations. *Testing methods of mortars and renderings*: MR 1-21. Paris, France. RILEM, 1982.

RIXON, R.; MAILVAGANAM, N. *Chemical admixtures for concrete*, 3<sup>th</sup> Ed. E & FN Spon, Londres, 1999.

ROBERT, J. J. *et al. Concrete masonry designer's handbook*. A Viewpoint Publication, 1983.

SABBATINI, F. H. *O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílico-cálcario*. 1984. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

------. *Argamassa de assentamento para paredes de alvenaria resistente*. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1986.

------. *Alvenaria estrutural: materiais, execução da estrutura e controle tecnológico*. Brasília, Caixa Econômica Federal, 2002. Disponível em: <[http://downloads.caixa.gov.br/arquivos/inovacoestecnologicas/manualvest/alvenaria\\_estrutural.pdf](http://downloads.caixa.gov.br/arquivos/inovacoestecnologicas/manualvest/alvenaria_estrutural.pdf)>. Acesso em: 18 outubro 2002.

SARANGAPANI, G.; REDDY, B. V. V.; GROOT, C. J. P. Water loss from fresh mortars and bond strength development in low strength masonry. *Masonry International*, vol. 15, n° 2, 2002, p. 42 - 47.

SAVI, T.; VALDUGA, L.; VOLPATO, V. Estudo de aderência de argamassa de assentamento. *Anais do XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído*. Florianópolis, 2006. p. 3099 - 3107.

SCARTEZINI, L. M.; CARASEK, H. Avaliação da perda de água da argamassa fresca para o substrato por sucção capilar. *Anais do V Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*, São Paulo, 2003, p. 233 - 246.

SCHUBERT, P. The influence of mortar on the strength of masonry. *Proceedings of 8<sup>th</sup> International Brick and Block Masonry Conference*, Dublin, 1988, p. 162 - 174.

SCHUBERT, P. Tensile and flexural strength of masonry – influences, test methods, test results. *Proceedings of 10<sup>th</sup> International Brick and Block Masonry Conference*, Calgary, Canada, 1994, p. 895 - 907.

SCHUBERT, P e HOFFMANN, G. Compressive strength of mortar in masonry significance, influences, test methods, requirements. *Proceedings of 10<sup>th</sup> International Brick and Block Masonry Conference*, Calgary, Canada, 1994, p. 1335 - 1344.

SEARS, F.; ZEMANSKY, M. W. *Física: mecânica - hidrodinâmica*. Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro, 1978. v. 1, 207p.

SILVA, D.A. *Efeito dos polímeros HEC e EVA na microestrutura das pastas de cimento Portland*. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia Materiais da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2001. 246 p.

SMYRNAIOS, D. N.; TSAMOPOULOS, J. A. Squeeze flow of Bingham plastics. *Journal of non-Newtonian Fluid Mechanics*, v. 100, 2001, p. 165 - 189.

SOLÓRZANO, M. G. P. *Características e desempenho de juntas de argamassa na alvenaria estrutural de blocos de concreto*. Dissertação apresentada a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1994. 203 p.

SUGO, H. O.; PAGE, A.W.; LAWRENCE, S.J. Improving the bond strength of mortars overdosed with air entraining agents. *Proceedings of 8<sup>th</sup> North American Masonry Conference*, Austin, Texas, USA, 1999.

TAHA, M. M. R.; EL-DIEB, A. S. e SHRIVE, N. G. Sorptivity: a reliable measurement for surface absorption of masonry brick unit. *Materials and Structures*. vol. 34, August-September 2001. p. 438 - 445.

TALY, N. *Design of reinforced masonry structures*. McGraw – Hill Companies, New York, 2001.

TAYLOR, H. F. *Cement Chemistry*, Academic Press, London, 1990. 475p.

TOTOEV, Y.Z.; JAMES, M. A. Development of the water absorption from fresh mortar test. *Proceedings of 13<sup>th</sup> International Brick and Block Masonry Conference*, Amsterdam, 2004, p. 1 - 10.

WEIDMANN, D. F.; CASALI, J. M.; PRUDÊNCIO JR., L. R. Avaliação do desempenho de aditivos hidrofugantes e impermeabilizantes empregados em blocos de concreto para alvenaria estrutural. *Anais do XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*. Florianópolis, 2006. p. 4359 - 4368.

WERNER, A. M.; LANGE, D. A. Capillary tension, moisture retentivity and masonry bond. *Proceedings of Ninth North American Masonry Conference*, Clemson, South Carolina, USA, 2003, p. 609 - 620.

YOSHIDA, A. T., BARROS, M. M. S. B. Caracterização de argamassas no estado fresco: peculiaridades na análise de argamassas industrializadas. *Anais do I Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*. Goiânia, 1995. p. 53 - 62.

## ANEXOS

### ANEXO 1 – Caracterização dos agregados utilizados na confecção dos blocos de concreto

Tabela 60. Características dos agregados utilizados para a confecção dos blocos de concreto de Florianópolis.

Material	Pedrisco	Areia média	Areia fina
Abertura da malha (mm)	% retida acumulada	% retida acumulada	% retida acumulada
12,5	0,0	0,0	0,0
9,5	0,2	0,0	0,0
6,3	37,7	0,0	0,0
4,8	81,7	0,4	0,0
2,4	99,2	9,1	0,0
1,2	99,6	43,3	0,3
0,6	99,7	68,9	2,2
0,3	99,7	82,2	8,2
0,15	99,8	94,9	76,9
Fundo	100,0	100,0	100,0
Módulo de finura	5,8	2,99	0,88
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,63	2,62	2,64
Material pulverulento (%)	0,5	2,3	2,9

Tabela 61. Características dos agregados utilizados para a confecção dos blocos de concreto de Blumenau

Material	Pedrisco	Pó de pedra	Areia média	Areia fina
Abertura da malha (mm)	% retida acumulada	% retida acumulada	% retida acumulada	% retida acumulada
12,5	0,0	0,0	0,0	0,0
9,5	0,0	0,0	0,0	0,0
6,3	0,0	0,0	0,0	0,0
4,8	21,2	1,2	0,0	0,0
2,4	97,1	27,1	2,0	0,2
1,2	99,6	56,4	24,0	2,3
0,6	99,9	71,3	50,2	18,1
0,3	99,9	81,6	69,4	46,0
0,15	100,0	90,8	89,3	78,4
Fundo	100,0	100,0	100,0	100,0
Módulo de finura	5,18	3,28	2,35	1,45
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,76	2,86	2,62	2,63
Material pulverulento (%)	2,3	15,1	3,2	4,9

## ANEXO 2 – Determinação da área bruta e líquida dos blocos de concreto por meio do levantamento fotográfico

Para a determinação das áreas bruta e líquida dos blocos de concreto, primeiramente é realizado um levantamento fotográfico, utilizando uma máquina fotográfica com resolução de 5 Megapixel, um tripé de 1,20 m, uma chapa branca e um escalímetro (Figura 187).

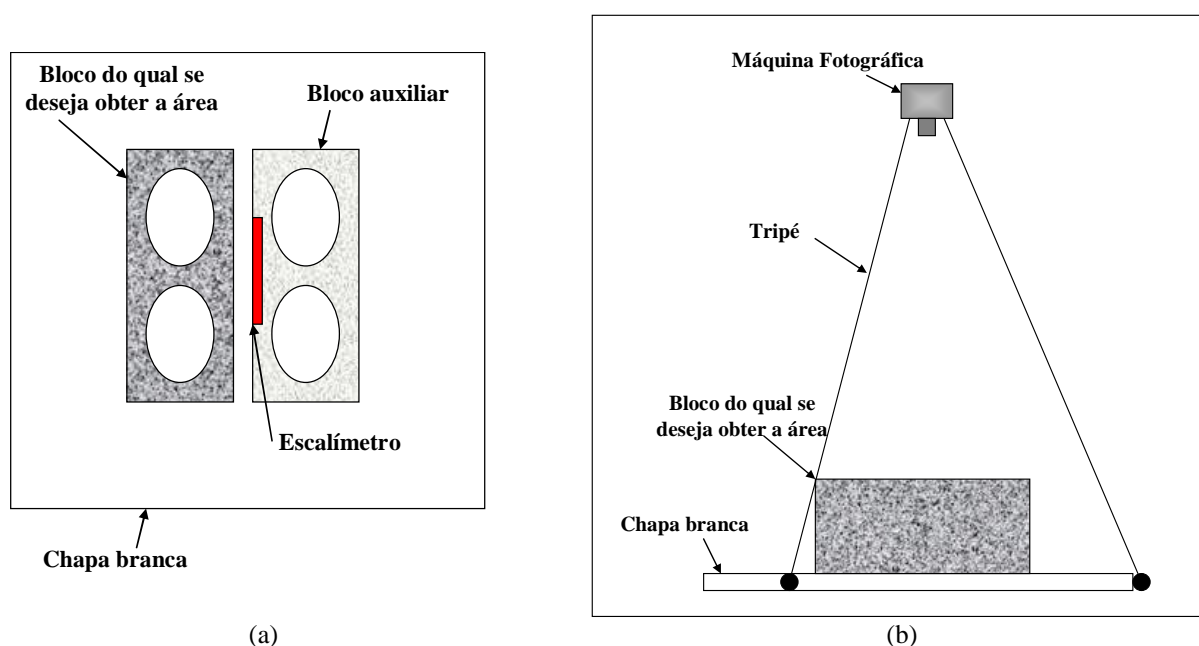


Figura 187. Esquema com a montagem dos equipamentos para a obtenção do levantamento fotográfico: (a) vista superior do posicionamento dos blocos e (b) vista lateral.

Após o levantamento fotográfico, foi utilizado um *software* computacional apropriado onde era possível desenhar a face analisada e também colocar o desenho em escala (uso do escalímetro). Cabe ressaltar alguns cuidados que foram tomados para não ocorrer distorções: (i) a foto deve ser inserida no software com as mesmas dimensões que foi gerada e (ii) o escalímetro deve estar no mesmo plano da face analisada.

O próprio software determinava a área tanto bruta quanto líquida da face analisada.

**ANEXO 3 – Caracterização dos materiais utilizados na caracterização das argamassas de assentamento no estado fresco**

Tabela 62. Características do cimento CP II-F 32.

Análise física		Análise química		Análise mecânica	
Ensaio	Teor (%)	Ensaio	Teor (%)	Idade (dias)	Resistência (MPa)
Peneira # 0,075mm	2,90	Perda ao fogo	5,17	1	17,5
Peneira # 0,045mm	14,40	CaO livre	1,08	3	28,6
Água da pasta de consistência normal	25,9	Resíduo insolúvel	1,13	7	35,2
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	3,08	SiO <sub>2</sub>	18,90	28	42,8
Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )	1,17	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,09		
Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	3320	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,59		
Início de pega (min)	155	CaO	60,30		
Fim de pega (min)	195	MgO	4,61		
		SO <sub>3</sub>	3,20		

Tabela 63. Características da cal hidratada CH III.

Componente	Teor (%)
CaO	37,87
MgO	25,49
Perda ao fogo (incluindo H <sub>2</sub> O e CO <sub>2</sub> )	26,55
Resíduo insolúvel	8,97
Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )	0,66
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,42

Tabela 64. Características dos agregados miúdos.

Material	Areia média	Areia fina	80% Areia média e 20% de areia fina
Abertura da malha (mm)	% retida acumulada	% retida acumulada	% retida acumulada
6,3	0,0	0,0	0,0
4,8	0,1	0,0	0,1
2,4	1,1	0,0	0,8
1,2	9,9	0,1	7,9
0,6	38,9	0,9	31,3
0,3	68,6	4,9	55,8
0,15	91,1	75,0	87,9
Fundo	100,0	100,0	100
Módulo de finura	2,10	0,81	1,84
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,58	2,64	-
Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )	1,36	1,45	-

**ANEXO 4 – Caracterização dos materiais utilizados na caracterização das argamassas de assentamento no estado endurecido**

Tabela 65. Características do cimento CP II-F 32.

Análise física		Análise química		Análise mecânica	
Ensaio	Teor (%)	Ensaio	Teor (%)	Idade (dias)	Resistência (MPa)
Peneira # 0,075mm	2,80	Perda ao fogo	4,68	1	17,6
Peneira # 0,045mm	14,70	CaO livre	1,32	3	27,8
Água da pasta de consistência normal	25,4	Resíduo insolúvel	1,06	7	34,3
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	3,08	SiO <sub>2</sub>	18,90	28	43,2
Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )	1,20	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,35		
Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	3380	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,58		
Início de pega (min)	155	CaO	60,05		
Fim de pega (min)	195	MgO	4,83		
		SO <sub>3</sub>	3,11		

Tabela 66. Características da cal hidratada CH III.

Componente	Teor (%)
CaO	38,20
MgO	24,20
Perda ao fogo (incluindo H <sub>2</sub> O e CO <sub>2</sub> )	25,45
Resíduo insolúvel	7,80
Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )	0,63
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,42

Tabela 67. Características dos agregados miúdos.

Material	Areia média	Areia fina	80% Areia média e 20% de areia fina
Abertura da malha (mm)	% retida acumulada	% retida acumulada	% retida acumulada
6,3	0	0	0
4,8	0	0	0
2,4	2	5	0
1,2	13	30	0
0,6	32	54	22
0,3	70	82	53
0,15	93	96	84
Fundo	100	100	100
Módulo de finura	2,09	2,67	1,59
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,58	2,64	2,82
Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )	1,39	1,45	-



**ANEXO 5 – Caracterização dos materiais utilizados na dosagem das argamassas de assentamento**

Tabela 68. Características do cimento CP II-F 32.

Análise física		Análise química		Análise mecânica	
Ensaio	Teor (%)	Ensaio	Teor (%)	Idade (dias)	Resistência (MPa)
Peneira # 0,075mm	2,90	Perda ao fogo	5,17	1	17,5
Peneira # 0,045mm	14,40	CaO livre	1,08	3	28,6
Água da pasta de consistência normal	25,9	Resíduo insolúvel	1,13	7	35,2
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	3,08	SiO <sub>2</sub>	18,90	28	42,8
Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )	1,17	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,09		
Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	3320	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,59		
Início de pega (min)	155	CaO	60,30		
Fim de pega (min)	195	MgO	4,61		
		SO <sub>3</sub>	3,20		

Tabela 69. Características da cal hidratada CH III.

Componente	Teor (%)
CaO	37,87
MgO	25,49
Perda ao fogo (incluindo H <sub>2</sub> O e CO <sub>2</sub> )	26,55
Resíduo insolúvel	8,97
Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )	0,66
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,42

Tabela 70. Características dos agregados miúdos.

Material	Areia média	Areia fina	80% Areia média e 20% de areia fina	Areia média nova
Abertura da malha (mm)	% retida acumulada	% retida acumulada	% retida acumulada	% retida acumulada
6,3	0,0	0,0	0,0	0,0
4,8	0,1	0,0	0,1	0,0
2,4	1,1	0,0	0,8	0,3
1,2	9,9	0,1	7,9	6,1
0,6	38,9	0,9	31,3	24,4
0,3	68,6	4,9	55,8	60,3
0,15	91,1	75,0	87,9	89,2
Fundo	100,0	100,0	100,0	100,0
Módulo de finura	2,10	0,81	1,84	1,80
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,58	2,64	-	2,60
Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )	1,36	1,45	-	1,18

**ANEXO 6 – Resultados individuais do transporte de água das argamassas frescas para o bloco de concreto**

Tabela 71. Absorção de água para todas as classes do bloco de concreto de Florianópolis (TF) para argamassa mista.

Classe do Bloco	Posição mini-prisma	Amostra	Absorção de água (g/cm <sup>2</sup> )								
			Tempo (min)								
			0	5	15	30	60	90	120	180	1440
Baixa	"2"	1	0,22	-	0,26	0,26	0,27	0,27	0,28	0,28	0,25
		2	0,21	-	0,24	0,25	0,26	0,27	0,27	0,27	0,24
		3	0,17	0,20	0,21	0,22	0,23	0,23	0,23	0,23	0,21
		4	0,17	0,20	0,21	0,22	0,23	0,23	0,23	0,23	0,21
		Média	0,19	0,20	0,23	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,23
		Desvio-Padrão	0,02	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
		CV(%)	11,48	0,00	7,99	7,23	7,26	8,02	8,48	8,93	7,92
	"1"	1	0,22	-	0,26	0,26	0,27	0,27	0,27	0,27	0,25
		2	0,23	-	0,27	0,28	0,28	0,28	0,29	0,28	0,27
		3	0,17	0,20	0,21	0,22	0,23	0,23	0,23	0,23	0,21
		4	0,18	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23
		Média	0,20	0,22	0,25	0,26	0,26	0,27	0,27	0,26	0,25
		Desvio-Padrão	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
		CV(%)	12,18	6,16	5,91	5,72	5,74	6,07	6,58	6,80	7,94

Classe do Bloco	Posição mini-prisma	Amostra	Absorção de água (g/cm <sup>2</sup> )								
			Tempo (min)								
			0	5	15	30	60	90	120	180	1440
Média	"2"	1	0,21	-	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23
		2	0,22	-	0,27	0,29	0,30	0,30	0,30	0,30	0,26
		3	0,24	0,26	0,27	0,28	0,29	0,29	0,30	0,30	0,27
		4	0,19	0,22	0,23	0,25	0,25	0,26	0,26	0,26	0,23
		Média	0,22	0,24	0,25	0,26	0,27	0,27	0,27	0,27	0,25
		Desvio-Padrão	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
		CV(%)	7,58	7,54	7,33	7,73	8,41	8,34	8,60	8,84	7,83
	"1"	1	0,22	-	0,27	0,28	0,29	0,29	0,30	0,30	0,28
		2	0,16	-	0,21	0,22	0,23	0,24	0,23	0,23	0,21
		3	0,24	0,26	0,28	0,29	0,30	0,31	0,31	0,31	0,29
		4	0,19	0,23	0,24	0,24	0,25	0,25	0,25	0,26	0,24
		Média	0,20	0,25	0,25	0,26	0,27	0,27	0,27	0,27	0,25
		Desvio-Padrão	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
		CV(%)	13,43	6,42	11,05	10,70	10,89	10,89	11,17	11,85	12,26

Classe do Bloco	Posição mini-prisma	Amostra	Absorção de água (g/cm <sup>2</sup> )								
			Tempo (min)								
			0	5	15	30	60	90	120	180	1440
Alta	"2"	1	0,18	-	0,23	0,24	0,25	0,26	0,26	0,25	0,21
		2	0,20	-	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,23
		3	0,18	0,22	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,21
		4	0,24	0,27	0,29	0,29	0,30	0,30	0,30	0,30	0,27
		Média	0,20	0,24	0,25	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,23
		Desvio-Padrão	0,03	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03
		CV(%)	12,77	0,00	9,76	8,97	8,54	8,71	8,59	9,28	11,48
	"1"	1	0,22	-	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,27
		2	0,18	-	0,26	0,27	0,26	0,25	0,25	0,25	0,23
		3	0,15	0,21	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,23	0,21
		4	0,21	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,25
		Média	0,19	0,26	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,25
		Desvio-Padrão	0,03	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
		CV(%)	14,66	0,00	4,22	4,48	6,20	6,14	6,19	5,81	5,81

Tabela 72. Absorção de água para todas as classes do bloco de concreto de Florianópolis (TF) para argamassa mista com incorporador de ar.

Classe do Bloco	Posição mini-prisma	Amostra	Absorção de água (g/cm <sup>2</sup> )								
			Tempo (min)								
			0	5	15	30	60	90	120	180	1440
Baixa	"2"	1	0,21		0,25	0,26	0,26	0,27	0,27	0,28	0,24
		2	0,22		0,24	0,25	0,24	0,26	0,26	0,26	0,25
		3	0,22	0,24	0,25	0,26	0,26	0,27	0,27	0,28	0,25
		4	0,23	0,25	0,26	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28	0,26
		Média	0,22	0,24	0,25	0,26	0,26	0,27	0,27	0,27	0,25
		Desvio-Padrão	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
		CV(%)	2,22	2,10	2,33	2,33	4,69	3,02	2,50	2,30	2,89
	"1"	1	0,20	-	0,24	0,25	0,25	0,26	0,26	0,26	0,24
		2	0,22	-	0,25	0,26	0,28	0,28	0,28	0,29	0,26
		3	0,20	0,24	0,24	0,25	0,26	0,26	0,27	0,27	0,25
		4	0,16	0,19	0,20	0,20	0,22	0,22	0,22	0,22	0,20
		Média	0,19	0,24	0,25	0,25	0,26	0,27	0,27	0,27	0,25
		Desvio-Padrão	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
		CV(%)	11,68	0,00	1,72	3,34	3,96	3,69	3,89	3,92	3,79
Média	"2"	1	0,18	-	0,21	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,21
		2	0,18	-	0,21	0,22	0,23	0,23	0,24	0,23	0,21
		3	0,17	0,20	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22	0,22	0,20
		4	0,17	0,19	0,20	0,20	0,21	0,21	0,21	0,21	0,20
		Média	0,18	0,20	0,21	0,21	0,22	0,22	0,23	0,22	0,20
		Desvio-Padrão	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
		CV(%)	1,39	2,53	3,10	3,07	3,62	3,77	3,63	3,94	2,21
	"1"	1	0,17	-	0,22	0,23	0,24	0,25	0,25	0,25	0,22
		2	0,18	-	0,22	0,22	0,24	0,24	0,25	0,25	0,22
		3	0,18	0,23	0,23	0,23	0,24	0,25	0,25	0,25	0,22
		4	0,14	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,22	0,22	0,19
		Média	0,17	0,21	0,21	0,22	0,23	0,24	0,24	0,24	0,21
		Desvio-Padrão	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
		CV(%)	9,82	11,73	6,92	5,82	5,09	4,77	4,67	5,07	7,04
Alta	"2"	1	0,22	-	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24
		2	0,19	-	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,21
		3	0,15	0,18	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22	0,22	0,18
		4	0,19	0,21	0,23	0,23	-	0,23	0,23	-	-
		Média	0,19	0,20	0,21	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,20
		Desvio-Padrão	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01
		CV(%)	12,48	7,15	2,88	1,18	2,19	2,77	2,07	1,96	6,95
	"1"	1	0,15	-	0,21	0,22	0,23	0,24	0,24	0,24	0,21
		2	0,16	-	0,23	0,24	0,25	0,26	0,26	0,26	0,22
		3	0,16	0,20	0,21	0,22	-	0,22	0,22	0,22	0,20
		4	0,16	0,19	0,20	0,21	0,21	0,22	0,21	-	-
		Média	0,16	0,20	0,21	0,22	0,22	0,22	0,22	0,23	0,21
		Desvio-Padrão	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
		CV(%)	2,53	3,81	2,60	1,97	4,45	4,71	5,24	5,20	1,95

Tabela 73. Absorção de água para todas as classes do bloco de concreto de Florianópolis (TF) para argamassa de cimento com incorporador de ar.

Classe do Bloco	Posição mini-prisma	Amostra	Absorção de água (g/cm <sup>2</sup> )								
			Tempo (min)								
			0	5	15	30	60	90	120	180	1440
Baixa	"2"	1	0,15	-	0,22	0,24	0,24	0,23	0,23	0,23	0,18
		2	0,21	-	0,25	0,26	0,27	0,27	0,27	0,26	0,23
		3	0,26	0,28	0,30	0,31	0,33	0,34	0,35	0,36	0,34
		4	0,21	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,29	0,27
		Média	0,21	0,24	0,25	0,26	0,27	0,27	0,28	0,28	0,25
		Desvio-Padrão	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02
		CV(%)	17,71	0,00	1,18	0,22	0,40	1,79	3,28	5,13	6,35
	"1"	1	0,18	-	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24	0,24	0,22
		2	0,18	-	0,23	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,21
		3	0,17	0,23	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,26	0,24
		4	0,16	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,26	0,27	0,23
		Média	0,17	0,22	0,23	0,24	0,25	0,25	0,26	0,26	0,23
		Desvio-Padrão	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
		CV(%)	3,61	2,16	1,02	0,76	2,54	2,21	2,49	3,70	5,18
Média	"2"	1	0,25	-	0,28	0,28	0,29	0,30	0,30	0,31	0,28
		2	0,21	-	0,25	0,26	0,27	0,27	0,28	0,28	0,25
		3	0,19	0,22	0,23	0,24	0,24	0,22	0,25	0,25	0,22
		4	0,21	0,25	0,26	0,27	0,29	0,32	0,32	0,29	0,24
		Média	0,21	0,25	0,26	0,27	0,28	0,30	0,30	0,30	0,26
		Desvio-Padrão	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02
		CV(%)	9,68	0,00	4,60	4,16	4,19	6,19	5,82	3,65	6,35
	"1"	1	0,23	-	0,28	0,29	0,30	0,30	0,31	0,32	0,33
		2	0,15	-	0,21	0,22	0,23	0,23	0,24	0,24	0,21
		3	0,14	0,21	0,21	0,21	0,22	0,22	0,23	0,23	0,18
		4	0,17	0,23	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,27	0,21
		Média	0,18	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,24	0,25	0,20
		Desvio-Padrão	0,04	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
		CV(%)	22,80	5,15	5,43	6,67	6,12	3,83	3,96	7,87	7,08
Alta	"2"	1	0,17		0,22	0,23	0,25	0,26	0,25	0,25	0,21
		2	0,20		0,25	0,26	0,28	0,27	0,27	0,27	0,23
		3	0,20	0,24	0,25	0,26	0,28	0,29	0,29	0,29	0,26
		4	0,27	0,30	0,32	0,29	0,31	0,32	0,32	0,32	0,27
		Média	0,21	0,24	0,25	0,26	0,28	0,28	0,28	0,28	0,25
		Desvio-Padrão	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
		CV(%)	16,36	0,00	0,43	0,92	0,24	2,51	3,94	5,04	4,96
	"1"	1	0,16		0,24	0,25	0,26	0,26	0,25	0,25	0,22
		2	0,17		0,22	0,23	0,24	0,24	0,24	0,23	0,21
		3	0,18	0,24	0,25	0,25	0,26	0,26	0,27	0,27	0,23
		4	0,20	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,23
		Média	0,18	0,24	0,24	0,25	0,25	0,26	0,26	0,26	0,23
		Desvio-Padrão	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
		CV(%)	8,61	1,68	1,77	0,55	0,88	1,52	3,57	2,78	3,61

Tabela 74. Absorção de água para todas as classes do bloco de concreto de Florianópolis (TF) para argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água.

Classe do Bloco	Posição mini-prisma	Amostra	Absorção de água (g/cm <sup>2</sup> )								
			Tempo (min)								
			0	5	15	30	60	90	120	180	1440
Baixa	"2"	1	0,24	-	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
		2	0,21	-	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23
		3	0,29	0,32	0,33	0,33	0,33	0,34	0,33	0,33	0,33
		4	0,22	0,24	0,25	0,25	0,26	0,26	0,26	0,26	0,24
		Média	0,24	0,24	0,25	0,25	0,25	0,26	0,26	0,26	0,24
		Desvio-Padrão	0,03	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
		CV(%)	12,91	0,00	4,27	2,64	3,47	0,00	0,00	0,00	0,00
	"1"	1	0,17	-	0,24	0,26	-	-	-	-	-
		2	0,21	-	0,25	0,25	0,25	0,25	0,23	0,23	0,23
		3	0,19	0,24	0,24	0,25	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23
		4	0,19	0,23	0,23	0,24	0,25	0,24	0,24	0,24	0,22
		Média	0,18	0,24	0,24	0,25	0,25	0,25	0,24	0,24	0,23
		Desvio-Padrão	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		CV(%)	5,58	0,00	1,71	2,97	1,33	1,46	1,40	1,21	1,03
Média	"2"	1	0,20	-	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,22
		2	0,21	-	0,24	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,23
		3	0,17	0,19	0,20	0,20	0,21	0,21	0,21	0,21	0,20
		4	0,24	0,26	0,26	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,26
		Média	0,21	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,27	0,27	0,26
		Desvio-Padrão	0,03	0,04	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
		CV(%)	13,29	15,55	5,22	5,17	5,02	0,00	0,00	0,00	0,00
	"1"	1	0,22	-	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,25
		2	0,19	-	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,22
		3	0,18	0,23	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
		4	0,16	0,25	0,25	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,22
		Média	0,19	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,23
		Desvio-Padrão	0,02	0,00	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01
		CV(%)	12,38	0,00	4,25	5,39	6,08	5,85	6,10	5,63	5,31
Alta	"2"	1	0,19	-	0,21	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,21
		2	0,18	-	0,20	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,20
		3	0,20	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,21
		4	0,21	0,23	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,22
		Média	0,19	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,22
		Desvio-Padrão	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
		CV(%)	5,32	1,61	1,88	2,82	3,55	3,87	3,59	3,24	2,52
	"1"	1	0,16	-	0,21	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,18
		2	0,17	-	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,19
		3	0,20	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24
		4	0,20	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,24
		Média	0,18	0,25	0,25	0,25	0,26	0,26	0,25	0,25	0,24
		Desvio-Padrão	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
		CV(%)	11,40	1,88	3,41	2,82	2,30	2,30	2,47	2,85	1,71

Tabela 75. Absorção de água para a classe do bloco de concreto de Blumenau (TB) com e sem tratamento para argamassa mista.

Classe do Bloco	Posição mini-prisma	Amostra	Absorção de água (g/cm <sup>2</sup> )										
			Tempo (min)										
			0	5	15	30	60	90	120	180	1440		
Média	"2"	1	0,19		0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,23
		2	0,18		0,24	0,25	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,22
		3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		4	0,17	0,21	0,22	0,23	0,23	0,24	0,23	0,23	0,23	0,23	0,21
		Média	0,18	0,21	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,22
		Desvio-Padrão	0,01	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
		CV(%)	4,48	0,00	8,09	7,31	6,93	6,26	6,08	6,22	4,77		
	"1"	1	0,13		0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,20
		2	0,17		0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,25	0,23
		3	0,16	0,25	0,27	0,27	0,28	0,28	0,27	0,27	0,27	0,31	
		4	0,15	0,23	0,25	0,25	0,25	0,27	0,26	0,25	0,22		
		Média	0,15	0,24	0,25	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,25	0,24	
		Desvio-Padrão	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	
		CV(%)	8,23	4,25	4,14	4,36	5,23	5,32	5,05	4,86	18,49		
Média Tratamento	"2"	1	0,15		0,22	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,21	0,19	
		2	0,13		0,21	0,21	0,22	0,21	0,21	0,20	0,17		
		3	0,16	0,20	0,22	0,23	0,23	0,24	0,23	0,23	0,22		
		4	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Média	0,15	0,20	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,22	0,19		
		Desvio-Padrão	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02		
		CV(%)	6,82	0,00	2,89	3,30	3,83	4,53	4,73	5,19	10,05		
	"1"	1	0,13		0,26	0,27	0,27	0,27	0,26	0,26	0,22		
		2	0,13		0,24	0,26	0,26	0,26	0,26	0,25	0,20		
		3	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		4	0,14	0,24	0,25	0,26	0,26	0,26	0,26	0,25	0,22		
		Média	0,13	0,24	0,25	0,26	0,26	0,26	0,26	0,25	0,21		
		Desvio-Padrão	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01		
		CV(%)	5,72	0,00	3,04	1,80	2,29	2,13	1,31	2,64	3,21		

Tabela 76. Absorção de água a classe do bloco de concreto de Blumenau (TB) com e sem tratamento para argamassa de cimento com incorporador de ar.

Classe do Bloco	Posição mini-prisma	Amostra	Absorção de água (g/cm <sup>2</sup> )									
			Tempo (min)									
			0	5	15	30	60	90	120	180	1440	
Média	"2"	1	0,18	-	0,26	0,26	0,27	0,27	0,27	0,27	0,26	0,23
		2	0,14	-	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,22	0,18	
		3	0,15	0,22	0,23	0,24	0,25	0,25	0,24	0,23	0,19	
		4	0,18	0,24	0,25	0,26	0,27	0,27	0,27	0,26	0,21	
		Média	0,16	0,23	0,24	0,25	0,26	0,25	0,25	0,24	0,20	
		Desvio-Padrão	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	
		CV(%)	10,77	3,97	5,30	4,99	5,92	6,40	6,84	7,40	8,63	
	"1"	1	0,15	-	0,28	0,30	0,31	0,31	0,30	0,29	0,22	
		2	0,15	-	0,29	0,31	0,31	0,31	0,30	0,29	0,24	
		3	0,15	0,28	0,28	0,29	0,30	0,29	0,28	0,27	0,22	
		4	0,12	0,25	0,26	0,27	0,28	0,28	0,27	0,27	0,21	
		Média	0,14	0,27	0,28	0,29	0,30	0,30	0,29	0,28	0,22	
		Desvio-Padrão	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
		CV(%)	7,87	5,55	3,75	4,34	4,20	4,33	4,13	4,28	4,12	
Média Tratamento	"2"	1	0,18	-	0,26	0,25	-	-	-	-	-	
		2	0,14	-	0,21	0,22	-	-	-	-	-	
		3	0,15	0,19	0,22	0,24	0,24	0,23	0,23	0,22	0,19	
		4	0,14	0,20	0,21	0,23	0,24	0,24	0,23	0,23	0,19	
		Média	0,15	0,20	0,23	0,24	0,24	0,23	0,23	0,22	0,19	
		Desvio-Padrão	0,02	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
		CV(%)	11,16	1,30	9,11	5,63	0,23	0,45	0,32	0,82	0,29	
	"1"	1	0,15	-	0,30	0,31	-	-	-	-	-	
		2	0,12	-	0,31	0,28	-	-	-	-	-	
		3	0,16	0,28	0,30	0,30	0,29	0,29	0,29	0,28	0,24	
		4	0,14	0,25	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28	0,27	0,21	
		Média	0,14	0,26	0,29	0,29	0,29	0,29	0,28	0,27	0,23	
		Desvio-Padrão	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
		CV(%)	10,94	5,26	5,13	3,94	2,15	2,60	2,44	2,78	5,51	

**ANEXO 7 – Resultados individuais da perda de água das argamassas frescas para o bloco de concreto**

Tabela 77. Teor de umidade da argamassa mista para todas as classes do bloco de concreto de Florianópolis (TF) e a amostra impermeável.

Classe do Bloco	Tipo	Amostra	Teor de umidade (%)								
			Tempo (min)								
			0	5	15	30	60	90	120	180	1440
Baixa	Normal	1	23,10	-	22,25	22,06	-	-	-	-	-
		2	23,10	-	22,50	22,33	22,19	22,06	21,85	21,72	20,52
		3	23,10	22,04	21,88	21,78	21,56	21,47	21,39	21,26	20,00
		4	23,10	22,19	22,05	21,85	21,70	21,51	21,46	21,29	20,04
		Média	23,10	22,12	22,17	22,00	21,82	21,68	21,57	21,42	20,19
		Desvio-Padrão	-	0,07	0,23	0,22	0,27	0,27	0,21	0,21	0,24
		CV(%)	-	0,33	1,04	0,98	1,24	1,24	0,95	0,99	1,17
	Impermeável	1	23,10	23,07	23,03	22,99	22,91	22,84	22,78	22,64	20,78
		2	23,10	23,08	23,01	22,97	22,90	22,84	22,79	22,68	21,11
		Média	23,10	23,08	23,02	22,98	22,91	22,84	22,78	22,66	20,95
		Desvio-Padrão	-	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02	0,17
		CV(%)	-	0,01	0,04	0,02	0,02	0,01	0,02	0,09	0,79

Classe do Bloco	Tipo	Amostra	Teor de umidade (%)								
			Tempo (min)								
			0	5	15	30	60	90	120	180	1440
Média	Normal	1	23,10	-	21,99	21,79	21,65	21,54	21,40	21,16	20,06
		2	23,10	-	22,09	21,75	21,14	20,71	20,57	20,44	17,99
		3	23,10	22,70	22,52	22,36	22,14	22,02	21,93	21,81	20,68
		4	23,10	22,50	22,29	22,09	21,83	21,69	21,58	21,38	20,22
		Média	23,10	22,60	22,22	22,00	21,69	21,49	21,37	21,20	19,74
		Desvio-Padrão	-	0,10	0,20	0,25	0,37	0,48	0,50	0,50	1,03
		CV(%)	-	0,46	0,92	1,12	1,69	2,24	2,34	2,35	5,23
	Impermeável	1	23,10	23,09	23,06	22,92	22,86	22,78	22,73	22,58	20,75
		2	23,10	23,08	22,84	22,77	22,67	22,59	22,53	22,40	20,49
		Média	23,10	23,09	22,95	22,85	22,77	22,68	22,63	22,49	20,62
		Desvio-Padrão	-	0,00	0,11	0,07	0,10	0,09	0,10	0,09	0,13
		CV(%)	-	0,01	0,46	0,32	0,43	0,42	0,45	0,40	0,63

Classe do Bloco	Tipo	Amostra	Teor de umidade (%)								
			Tempo (min)								
			0	5	15	30	60	90	120	180	1440
Alta	Normal	1	23,10	-	22,18	21,73	21,49	21,36	21,22	21,09	19,88
		2	23,10	-	20,94	20,51	20,52	20,19	18,91	18,79	15,72
		3	23,10	22,02	21,73	21,53	21,23	21,09	21,04	20,89	19,60
		4	23,10	22,16	21,58	21,49	21,31	21,18	21,10	20,86	19,53
		Média	23,10	22,09	21,61	21,31	21,14	20,95	20,57	20,41	18,68
		Desvio-Padrão	-	0,07	0,44	0,47	0,37	0,45	0,96	0,94	1,72
		CV(%)	-	0,33	2,05	2,22	1,74	2,15	4,67	4,59	9,18
	Impermeável	1	23,10	23,07	23,05	23,02	22,94	20,30	19,84	19,66	18,19
		2	23,10	23,07	23,07	23,00	23,01	22,73	22,66	22,51	20,70
		Média	23,10	23,07	23,06	23,01	22,98	21,51	21,25	21,08	19,44
		Desvio-Padrão	-	0,00	0,01	0,01	0,03	1,22	1,41	1,43	1,26
		CV(%)	-	0,01	0,03	0,03	0,14	5,65	6,62	6,76	6,46

Tabela 78. Teor de umidade da argamassa mista com incorporador de ar para todas as classes do bloco de concreto de Florianópolis (TF) e a amostra impermeável.

Classe do Bloco	Tipo	Amostra	Teor de umidade (%)								
			Tempo (min)								
			0	5	15	30	60	90	120	180	1440
Baixa	Normal	1	20,00	-	19,33	19,00	18,81	18,64	18,51	18,27	11,63
		2	20,00	-	19,52	18,95	18,71	18,56	18,42	18,28	16,63
		3	20,00	19,56	19,45	19,33	19,16	18,99	18,77	18,62	17,49
		4	20,00	19,55	19,12	19,07	-	-	-	-	-
		Média	20,00	19,56	19,43	19,09	18,89	18,73	18,57	18,39	17,06
		Desvio-Padrão	-	0,01	0,08	0,17	0,19	0,19	0,15	0,17	0,43
		CV(%)	-	0,03	0,40	0,88	1,02	1,00	0,80	0,90	2,52
	Impermeável	1	20,00	19,97	19,95	19,90	19,85	19,78	19,72	19,66	18,03
		2	20,00	19,99	19,97	19,93	19,88	19,82	18,88	19,71	18,16
		Média	20,00	19,98	19,96	19,92	19,86	19,80	19,30	19,68	18,09
		Desvio-Padrão	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,42	0,02	0,06
		CV(%)	-	0,05	0,05	0,07	0,07	0,10	2,18	0,13	0,36

Classe do Bloco	Tipo	Amostra	Teor de umidade (%)								
			Tempo (min)								
			0	5	15	30	60	90	120	180	1440
Média	Normal	1	20,00		19,34	19,07	18,80	18,67	18,54	18,42	17,33
		2	20,00		19,44	19,28	19,07	18,94	18,84	18,69	17,17
		3	20,00	19,34	19,29	19,14	18,97	18,84	18,76	18,66	17,52
		4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Média	20,00	19,34	19,35	19,16	18,95	18,81	18,71	18,59	17,34
		Desvio-Padrão		0,00	0,06	0,09	0,11	0,11	0,13	0,12	0,14
		CV(%)		0,00	0,32	0,46	0,59	0,59	0,68	0,64	0,83
	Impermeável	1	20,00	19,95	19,92	19,89	19,83	19,77	19,72	19,64	18,13
		2	20,00	19,98	19,96	19,81	19,73	19,67	19,63	19,48	17,95
		Média	20,00	19,97	19,94	19,85	19,78	19,72	19,67	19,56	18,04
		Desvio-Padrão		0,01	0,02	0,04	0,05	0,05	0,05	0,08	0,09
		CV(%)		0,07	0,08	0,21	0,25	0,24	0,24	0,41	0,51

Classe do Bloco	Tipo	Amostra	Teor de umidade (%)								
			Tempo (min)								
			0	5	15	30	60	90	120	180	1440
Alta	Normal	1	20,00	-	19,14	18,94	18,75	18,60	18,51	18,40	17,37
		2	20,00	-	19,02	18,53	17,86	17,64	17,52	17,00	15,93
		3	20,00	19,33	18,96	17,97	-	17,83	17,77	17,66	16,73
		4	20,00	19,44	18,85	18,65	-	18,46	18,22	-	-
		Média	20,00	19,38	18,99	18,52	18,30	18,13	18,00	17,68	16,68
		Desvio-Padrão	-	0,06	0,10	0,35	0,45	0,41	0,38	0,57	0,59
		CV(%)	-	0,30	0,54	1,92	2,44	2,23	2,13	3,23	3,54
	Impermeável	1	20,00	19,99	19,97	19,93	19,88	19,84	19,80	19,74	18,41
		2	20,00	19,98	19,96	19,95	19,86	20,14	19,73	19,64	18,12
		Média	20,00	19,98	19,96	19,94	19,87	19,99	19,77	19,69	18,26
		Desvio-Padrão	-	0,00	0,00	0,01	0,01	0,15	0,03	0,05	0,14
		CV(%)	-	0,01	0,01	0,05	0,07	0,76	0,17	0,25	0,79



Tabela 79. Teor de umidade da argamassa de cimento com incorporador de ar para todas as classes do bloco de concreto de Florianópolis (TF) e a amostra impermeável.

Classe do Bloco	Tipo	Amostra	Teor de umidade (%)								
			Tempo (min)								
			0	5	15	30	60	90	120	180	1440
Baixa	Normal	1	21,60	-	20,53	-	-	-	-	-	-
		2	21,60	-	20,63	20,43	-	-	-	-	-
		3	21,60	20,85	20,68	20,60	20,48	20,24	20,05	19,88	19,60
		4	21,60	20,64	20,49	20,39	20,26	19,94	19,73	19,58	19,37
		Média	21,60	20,74	20,62	20,52	20,37	20,09	19,89	19,73	19,48
		Desvio-Padrão	-	0,11	0,06	0,09	0,11	0,15	0,16	0,15	0,11
		CV(%)	-	0,51	0,30	0,42	0,56	0,76	0,79	0,76	0,57
	Impermeável	1	21,60	21,59	21,01	21,00	20,98	20,96	20,94	20,90	20,08
		2	21,60	21,56	-	-	-	-	-	-	-
		Média	21,60	21,58	21,01	21,00	20,98	20,96	20,94	20,90	20,08
		Desvio-Padrão	-	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		CV(%)	-	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Classe do Bloco	Tipo	Amostra	Teor de umidade (%)								
			Tempo (min)								
			0	5	15	30	60	90	120	180	1440
Média	Normal	1	21,60	-	20,89	20,71	20,51	20,35	20,20	-	-
		2	21,60	-	20,66	20,48	20,22	20,04	19,91	-	-
		3	21,60	-	-	-	-	-	-	-	-
		4	21,60	20,62	20,32	20,11	18,57	-	-	-	-
		Média	21,60	20,62	20,62	20,44	20,37	20,20	20,06	-	-
		Desvio-Padrão	-	0,16	0,23	0,25	0,15	0,15	0,14	-	-
		CV(%)	-	0,77	1,13	1,21	0,72	0,76	0,72	-	-
	Impermeável	1	21,60	21,60	21,59	21,58	21,53	21,49	21,46	21,38	21,30
		2	21,60	21,60	21,57	21,57	21,54	21,51	21,49	21,41	20,27
		Média	21,60	21,60	21,58	21,57	21,54	21,50	21,47	21,39	20,78
		Desvio-Padrão	-	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,52
		CV(%)	-	0,01	0,06	0,04	0,03	0,04	0,07	0,07	2,48

Classe do Bloco	Tipo	Amostra	Teor de umidade (%)								
			Tempo (min)								
			0	5	15	30	60	90	120	180	1440
Alta	Normal	1	21,60	-	20,31	19,79	-	-	-	-	-
		2	21,60	-	20,51	20,24	-	-	-	-	-
		3	21,60	20,48	19,67	19,32	19,00	-	-	-	-
		4	21,60	20,63	20,34	-	-	-	-	-	-
		Média	21,60	20,55	20,21	19,79	19,00	-	-	-	-
		Desvio-Padrão	-	0,07	0,32	0,38	0,00	-	-	-	-
		CV(%)	-	0,36	1,59	1,90	0,00	-	-	-	-
	Impermeável	1	21,60	21,59	21,58	21,54	21,49	21,45	21,41	21,29	21,05
		2	21,60	21,59	21,49	21,33	-	-	-	-	-
		Média	21,60	21,59	21,53	21,44	21,49	21,45	21,41	21,29	21,05
		Desvio-Padrão	-	0,00	0,04	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		CV(%)	-	0,00	0,20	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 80. Teor de umidade da argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água para todas as classes do bloco de concreto de Florianópolis (TF) e a amostra impermeável.

Classe do Bloco	Tipo	Amostra	Teor de umidade (%)								
			Tempo (min)								
			0	5	15	30	60	90	120	180	1440
Baixa	Normal	1	23,20	-	22,09	21,79	-	-	-	-	-
		2	23,20	-	22,61	22,46	-	-	-	-	-
		3	23,20	22,54	22,27	-	-	-	-	-	-
		4	23,20	22,60	-	-	-	-	-	-	-
		Média	23,20	22,57	22,32	22,13	-	-	-	-	-
		Desvio-Padrão	-	0,03	0,21	0,34	-	-	-	-	-
		CV(%)	-	0,13	0,96	1,53	-	-	-	-	-
	Impermeável	1	23,20	-	-	-	-	-	-	-	-
		2	23,20	23,19	23,18	23,12	23,04	22,98	22,83	22,73	20,61
		Média	23,20	23,19	23,18	23,12	23,04	22,98	22,83	22,73	20,61
		Desvio-Padrão	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		CV(%)	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Classe do Bloco	Tipo	Amostra	Teor de umidade (%)								
			Tempo (min)								
			0	5	15	30	60	90	120	180	1440
Média	Normal	1	23,20	-	22,66	-	-	-	-	-	-
		2	23,20	-	22,68	22,56	-	-	-	-	-
		3	23,20	22,51	22,36	22,21	21,74	21,58	21,44	21,02	17,06
		4	23,20	22,23	22,13	21,97	-	-	-	-	-
		Média	23,20	22,37	22,57	22,39	21,74	21,58	21,44	21,02	17,06
		Desvio-Padrão	-	0,14	0,14	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		CV(%)	-	0,62	0,64	0,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Impermeável	1	23,20	22,18	22,15	19,59	19,52	19,46	19,40	19,31	17,99
		2	23,20	23,05	23,08	22,91	22,68	22,55	22,43	-	-
		Média	23,20	22,61	22,61	21,25	21,10	21,00	20,92	19,31	17,99
		Desvio-Padrão	-	0,44	0,46	1,66	1,58	1,54	1,52	0,00	0,00
		CV(%)	-	1,93	2,06	7,82	7,50	7,34	7,25	0,00	0,00

Classe do Bloco	Tipo	Amostra	Teor de umidade (%)								
			Tempo (min)								
			0	5	15	30	60	90	120	180	1440
Alta	Normal	1	23,20	-	22,42	-	-	-	-	-	-
		2	23,20	-	22,23	-	-	-	-	-	-
		3	23,20	-	-	-	-	-	-	-	-
		4	23,20	22,45	-	-	-	-	-	-	-
		Média	23,20	22,45	22,32	-	-	-	-	-	-
		Desvio-Padrão	-	0,00	0,10	-	-	-	-	-	-
		CV(%)	-	0,00	0,43	-	-	-	-	-	-
	Impermeável	1	23,20	23,16	23,08	22,98	22,82	22,81	22,69	22,50	13,44
		2	23,20	23,18	23,14	23,10	23,00	-	-	-	-
		Média	23,20	23,17	23,11	23,04	22,91	22,81	22,69	22,50	13,44
		Desvio-Padrão	-	0,01	0,03	0,06	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00
		CV(%)	-	0,05	0,13	0,24	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 81. Teor de umidade da argamassa mista para a classe do bloco de concreto de Blumenau (TB) com e sem tratamento e a amostra impermeável.

Classe do Bloco	Tipo	Amostra	Teor de umidade (%)								
			Tempo (min)								
			0	5	15	30	60	90	120	180	1440
Média	Normal	1	23,10	-	21,26	20,65	20,47	20,35	20,29	20,16	19,23
		2	23,10	-	21,24	20,87	20,62	20,45	20,35	20,24	19,30
		3	23,10	21,29	20,86	20,61	20,39	20,26	20,16	20,00	18,09
		4	23,10	22,01	21,70	21,50	21,29	21,10	20,99	20,82	19,78
		Média	23,10	21,65	21,27	20,91	20,69	20,54	20,45	20,31	19,10
		Desvio-Padrão	-	0,36	0,30	0,35	0,36	0,33	0,32	0,31	0,62
		CV(%)	-	1,66	1,40	1,69	1,72	1,60	1,56	1,53	3,24
	Tratamento	1	23,10	-	21,02	20,69	20,40	19,14	19,11	16,44	15,42
		2	23,10	-	20,95	20,57	20,29	20,09	20,01	19,88	18,89
		3	23,10	21,90	21,25	20,90	20,50	20,31	20,24	20,02	19,02
		4	23,10	21,08	20,42	20,13	19,82	19,67	19,56	19,44	18,32
		Média	23,10	21,49	20,91	20,57	20,25	19,80	19,73	18,94	17,91
		Desvio-Padrão	-	0,41	0,30	0,28	0,26	0,44	0,43	1,46	1,46
		CV(%)	-	1,90	1,46	1,38	1,28	2,24	2,20	7,72	8,16
	Impermeável	1	23,10	23,08	23,05	23,00	22,93	22,85	22,69	21,84	19,91
		2	23,10	23,07	23,05	22,95	22,84	22,73	22,62	22,44	20,20
		Média	23,10	23,08	23,05	22,98	22,88	22,79	22,66	22,14	20,05
		Desvio-Padrão	-	0,01	0,00	0,02	0,05	0,06	0,03	0,30	0,14
		CV(%)	-	0,03	0,00	0,11	0,20	0,26	0,14	1,37	0,71

Tabela 82. Teor de umidade da argamassa de cimento com incorporador de ar para a classe do bloco de concreto de Blumenau (TB) com e sem tratamento e a amostra impermeável.

Classe do Bloco	Tipo	Amostra	Teor de umidade (%)								
			Tempo (min)								
			0	5	15	30	60	90	120	180	1440
Média	Normal	1	21,60	-	18,90	16,85	16,52	16,35	15,35	14,00	-
		2	21,60	-	18,79	17,99	17,67	17,49	17,44	17,32	14,82
		3	21,60	19,21	19,08	18,72	18,32	-	-	-	-
		4	21,60	19,52	19,09	18,71	18,38	18,22	18,13	17,02	14,64
		Média	21,60	19,37	18,96	18,07	17,72	17,35	16,97	16,11	14,73
		Desvio-Padrão	-	0,15	0,13	0,77	0,75	0,77	1,18	1,50	0,09
		CV(%)	-	0,79	0,68	4,24	4,21	4,42	6,95	9,31	0,60
	Tratamento	1	21,60	-	19,04	-	-	-	-	-	-
		2	21,60	-	18,63	-	-	-	-	-	-
		3	21,60	19,63	17,92	17,31	13,69	13,56	12,96	12,88	12,49
		4	21,60	19,75	19,28	18,94	18,55	18,00	17,05	13,46	13,04
		Média	21,60	19,69	18,72	18,13	16,12	15,78	15,00	13,17	12,77
		Desvio-Padrão	-	0,06	0,52	0,82	2,43	2,22	2,04	0,29	0,28
		CV(%)	-	0,30	2,76	4,50	15,06	14,06	13,62	2,22	2,16
	Impermeável	1	21,60	21,57	21,51	21,01	21,34	21,26	21,17	21,06	18,23
		2	21,60	21,37	21,31	21,26	21,18	21,10	21,03	20,91	18,44
		Média	21,60	21,47	21,41	21,13	21,26	21,18	21,10	20,99	18,33
		Desvio-Padrão	-	0,10	0,10	0,13	0,08	0,08	0,07	0,07	0,11
		CV(%)	-	0,46	0,47	0,61	0,38	0,36	0,32	0,36	0,58

## ANEXO 8 – Resultados individuais da resistência de aderência em mini-prisma

Tabela 83. Resistência de aderência em mini-prisma para todas as classes do bloco de concreto de Florianópolis (TF) para a argamassa mista.

Classe do Bloco	Ruptura	Amostra	Resistência de Aderência			
			Carga (N)	Altura (cm)	Base (cm)	Tensão (MPa)
Baixa	Primeira	1	58,95	27,84	98,43	0,12
		2	79,67	32,45	98,38	0,12
		3	85,59	26,88	97,76	0,18
		4	50,74	26,95	98,02	-
		5	114,92	27,76	99,55	0,22
		6	130,62	26,42	97,49	0,29
		Média	86,75	28,05	98,27	0,19
		Desvio-Padrão	31,11	2,22	0,72	0,07
		CV(%)	35,86	7,92	0,73	39,87
	Segunda	1	101,59	34,29	100,24	-
		2	73,95	22,53	97,53	0,22
		3	175,46	31,95	98,95	0,26
		4	97,11	33,13	100,93	0,13
		5	216,63	32,56	99,19	0,31
		6	207,07	33,03	98,82	0,29
		Média	145,30	31,25	99,28	0,24
		Desvio-Padrão	61,87	4,34	1,19	0,07
		CV(%)	42,58	13,89	1,20	28,77

Classe do Bloco	Ruptura	Amostra	Resistência de Aderência			
			Carga (N)	Altura (cm)	Base (cm)	Tensão (MPa)
Média	Primeira	1	60,09	26,35	99,65	0,13
		2	93,74	27,04	100,17	0,19
		3	49,41	31,14	98,07	0,08
		4	60,96	33,86	99,46	-
		5	127,37	30,22	96,15	0,22
		6	99,91	27,07	104,47	0,20
		Média	81,91	29,28	99,66	0,16
		Desvio-Padrão	30,01	2,96	2,77	0,06
		CV(%)	36,63	10,11	2,78	35,30
	Segunda	1	96,63	32,64	99,17	0,14
		2	174,20	33,87	101,17	0,23
		3	27,34	24,14	94,82	-
		4	108,90	24,00	99,21	0,29
		5	85,65	26,13	95,66	0,20
		6	133,17	32,16	101,39	0,19
		Média	104,32	28,82	98,57	0,21
		Desvio-Padrão	49,13	4,55	2,76	0,05
		CV(%)	47,10	15,80	2,80	26,24

Classe do Bloco	Ruptura	Amostra	Resistência de Aderência			
			Carga (N)	Altura (cm)	Base (cm)	Tensão (MPa)
Alta	Primeira	1	31,07	25,06	97,29	0,08
		2	47,34	33,87	105,70	0,06
		3	81,41	22,11	99,50	0,25
		4	23,07	24,25	100,70	-
		5	72,57	25,63	99,01	0,17
		6	36,27	25,60	97,83	0,08
		Média	48,62	26,09	100,00	0,13
		Desvio-Padrão	23,51	4,03	3,04	0,08
		CV(%)	48,35	15,46	3,04	63,23
	Segunda	1	373,89	33,25	102,11	0,50
		2	89,29	27,24	98,98	-
		3	112,24	30,23	96,77	0,19
		4	142,20	27,28	102,64	0,28
		5	205,35	34,39	103,70	0,25
		6	121,23	27,47	99,15	0,24
		Média	174,03	29,98	100,55	0,29
		Desvio-Padrão	105,57	3,20	2,66	0,12
		CV(%)	60,66	10,68	2,65	40,68

Tabela 84. Resistência de aderência em mini-prisma para todas as classes do bloco de concreto de Florianópolis (TF) para a argamassa mista com incorporador de ar.

Classe do Bloco	Ruptura	Amostra	Resistência de Aderência			
			Carga (N)	Altura (mm)	Base (mm)	Tensão (MPa)
Baixa	Primeira	1	58,95	27,84	98,43	0,12
		2	79,67	32,45	98,38	0,12
		3	85,59	26,88	97,76	0,18
		4	50,74	26,95	98,02	-
		5	114,92	27,76	99,55	0,22
		6	130,62	26,42	97,49	0,29
		Média	86,75	28,05	98,27	0,19
		Desvio-Padrão	31,11	2,22	0,72	0,07
		CV(%)	35,86	7,92	0,73	39,87
	Segunda	1	101,59	34,29	100,24	-
		2	73,95	22,53	97,53	0,22
		3	175,46	31,95	98,95	0,26
		4	97,11	33,13	100,93	0,13
		5	216,63	32,56	99,19	0,31
		6	207,07	33,03	98,82	0,29
		Média	145,30	31,25	99,28	0,24
		Desvio-Padrão	61,87	4,34	1,19	0,07
		CV(%)	42,58	13,89	1,20	28,77
Média	Primeira	1	60,09	26,35	99,65	0,13
		2	93,74	27,04	100,17	0,19
		3	49,41	31,14	98,07	0,08
		4	60,96	33,86	99,46	-
		5	127,37	30,22	96,15	0,22
		6	99,91	27,07	104,47	0,20
		Média	81,91	29,28	99,66	0,16
		Desvio-Padrão	30,01	2,96	2,77	0,06
		CV(%)	36,63	10,11	2,78	35,30
	Segunda	1	96,63	32,64	99,17	0,14
		2	174,20	33,87	101,17	0,23
		3	27,34	24,14	94,82	-
		4	108,90	24,00	99,21	0,29
		5	85,65	26,13	95,66	0,20
		6	133,17	32,16	101,39	0,19
		Média	104,32	28,82	98,57	0,21
		Desvio-Padrão	49,13	4,55	2,76	0,05
		CV(%)	47,10	15,80	2,80	26,24
Alta	Primeira	1	31,07	25,06	97,29	0,08
		2	47,34	33,87	105,70	0,06
		3	81,41	22,11	99,50	0,25
		4	23,07	24,25	100,70	-
		5	72,57	25,63	99,01	0,17
		6	36,27	25,60	97,83	0,08
		Média	48,62	26,09	100,00	0,13
		Desvio-Padrão	23,51	4,03	3,04	0,08
		CV(%)	48,35	15,46	3,04	63,23
	Segunda	1	373,89	33,25	102,11	0,50
		2	89,29	27,24	98,98	-
		3	112,24	30,23	96,77	0,19
		4	142,20	27,28	102,64	0,28
		5	205,35	34,39	103,70	0,25
		6	121,23	27,47	99,15	0,24
		Média	174,03	29,98	100,55	0,29
		Desvio-Padrão	105,57	3,20	2,66	0,12
		CV(%)	60,66	10,68	2,65	40,68

Tabela 85. Resistência de aderência em mini-prisma para todas as classes do bloco de concreto de Florianópolis (TF) para a argamassa de cimento com incorporador de ar.

Classe do Bloco	Ruptura	Amostra	Resistência de Aderência			
			Carga (N)	Altura (mm)	Base (mm)	Tensão (MPa)
Baixa	Primeira	1	128,06	26,94	101,03	0,26
		2	179,16	27,96	97,60	0,35
		3	67,61	27,94	99,01	-
		4	259,52	26,05	98,38	0,58
		5	124,15	28,08	100,21	0,24
		6	165,11	27,88	101,01	0,32
		Média	153,94	27,47	99,54	0,35
		Desvio-Padrão	64,68	0,81	1,43	0,14
		CV(%)	42,02	2,96	1,44	39,52
	Segunda	1	303,22	33,11	99,35	0,42
		2	443,16	33,04	102,25	0,60
		3	269,23	32,55	101,92	0,37
		4	145,68	31,83	99,78	-
		5	202,44	27,56	97,50	0,41
		6	224,75	31,78	99,70	0,33
		Média	264,75	31,64	100,08	0,43
		Desvio-Padrão	102,95	2,08	1,76	0,10
		CV(%)	38,89	6,57	1,76	23,48

Classe do Bloco	Ruptura	Amostra	Resistência de Aderência			
			Carga (N)	Altura (mm)	Base (mm)	Tensão (MPa)
Média	Primeira	1	127,04	26,41	98,54	0,28
		2	168,84	24,83	98,32	0,42
		3	189,89	26,61	97,25	0,41
		4	66,44	21,22	98,24	0,23
		5	20,06	27,64	101,19	-
		6	121,56	26,87	98,54	0,26
		Média	115,64	25,59	98,68	0,32
		Desvio-Padrão	63,35	2,33	1,32	0,09
		CV(%)	54,78	9,12	1,34	28,63
	Segunda	1	305,98	32,87	98,00	0,43
		2	403,73	32,79	100,80	0,56
		3	397,68	33,91	93,82	0,55
		4	329,08	28,38	98,23	0,62
		5	164,30	25,37	97,59	0,39
		6	193,14	28,59	97,59	-
		Média	298,99	30,32	97,67	0,51
		Desvio-Padrão	101,01	3,37	2,24	0,10
		CV(%)	33,78	11,11	2,29	18,74

Classe do Bloco	Ruptura	Amostra	Resistência de Aderência			
			Carga (N)	Altura (mm)	Base (mm)	Tensão (MPa)
Alta	Primeira	1	178,11	26,74	98,35	0,38
		2	178,56	26,74	101,95	0,37
		3	123,31	26,71	98,14	-
		4	238,62	26,21	99,72	0,52
		5	212,87	23,27	98,42	0,60
		6	160,69	26,32	98,64	0,35
		Média	182,03	26,00	99,20	0,44
		Desvio-Padrão	40,21	1,35	1,46	0,11
		CV(%)	22,09	5,21	1,47	24,78
	Segunda	1	387,45	30,79	99,54	0,62
		2	554,60	34,21	98,93	0,72
		3	225,32	29,46	97,54	-
		4	534,76	32,82	97,63	0,76
		5	539,43	33,80	94,73	0,75
		6	440,18	33,20	100,67	0,60
		Média	446,96	32,38	98,17	0,69
		Desvio-Padrão	126,93	1,86	2,06	0,08
		CV(%)	28,40	5,75	2,10	11,24

Tabela 86. Resistência de aderência em mini-prisma para todas as classes do bloco de concreto de Florianópolis (TF) para a argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água.

Classe do Bloco	Ruptura	Amostra	Resistência de Aderência			
			Carga (N)	Altura (mm)	Base (mm)	Tensão (MPa)
Baixa	Primeira	1	49,59	22,26	98,57	-
		2	99,31	23,46	97,54	0,28
		3	107,16	26,78	100,29	0,22
		4	130,05	27,56	98,75	0,26
		5	78,71	22,60	98,28	0,24
		6	125,05	24,55	97,04	0,32
		Média	98,31	24,53	98,41	0,26
		Desvio-Padrão	30,20	2,20	1,13	0,04
		CV(%)	30,72	8,98	1,14	14,55
	Segunda	1	82,44	31,19	100,90	-
		2	146,59	33,61	99,73	0,20
		3	149,41	32,28	97,44	0,22
		4	135,37	34,78	98,89	0,17
		5	163,04	33,05	97,17	0,23
		6	121,02	33,05	98,74	0,17
		Média	132,98	32,99	98,81	0,20
		Desvio-Padrão	28,50	1,21	1,40	0,03
		CV(%)	21,43	3,68	1,42	14,48

Classe do Bloco	Ruptura	Amostra	Resistência de Aderência			
			Carga (N)	Altura (mm)	Base (mm)	Tensão (MPa)
Média	Primeira	1	81,65	26,00	99,57	0,18
		2	39,94	26,76	98,69	-
		3	52,18	24,56	97,86	0,13
		4	42,17	26,15	99,90	0,09
		5	76,66	24,52	102,03	0,19
		6	54,89	25,94	98,55	0,12
		Média	57,92	25,65	99,43	0,14
		Desvio-Padrão	17,48	0,91	1,47	0,04
		CV(%)	30,18	3,56	1,48	28,05
	Segunda	1	154,32	32,86	100,00	0,21
		2	102,29	27,19	99,26	0,21
		3	83,07	32,48	97,90	0,12
		4	108,78	32,75	100,55	0,15
		5	71,49	32,33	101,06	0,10
		6	52,24	28,44	96,56	-
		Média	95,37	31,01	99,22	0,16
		Desvio-Padrão	35,45	2,51	1,71	0,05
		CV(%)	37,18	8,10	1,72	31,99

Classe do Bloco	Ruptura	Amostra	Resistência de Aderência			
			Carga (N)	Altura (mm)	Base (mm)	Tensão (MPa)
Alta	Primeira	1	37,92	22,89	100,87	0,11
		2	52,99	25,68	96,10	0,13
		3	46,95	26,44	100,07	0,10
		4	19,31	26,38	96,51	-
		5	43,76	26,02	97,96	0,10
		6	24,21	24,34	98,13	0,06
		Média	37,52	25,29	98,27	0,10
		Desvio-Padrão	13,24	1,41	1,90	0,02
		CV(%)	35,28	5,56	1,93	23,19
	Segunda	1	46,56	30,43	100,22	-
		2	41,56	28,22	100,29	0,08
		3	166,98	27,16	100,35	0,34
		4	114,47	31,02	97,32	0,18
		5	104,48	28,97	99,42	0,19
		6	50,65	27,42	98,66	0,10
		Média	87,45	28,87	99,37	0,18
		Desvio-Padrão	49,95	1,58	1,20	0,10
		CV(%)	57,12	5,48	1,21	57,25

Tabela 87. Resistência de aderência em mini-prisma para a classe do bloco de concreto de Blumenau (TB) para a argamassa mista.

Classe do Bloco	Ruptura	Amostra	Resistência de Aderência				
			Carga (N)	Altura (mm)	Base (mm)	Tensão (MPa)	
Média 23°C sem cura	Primeira	1	142,74	24,73	98,93	0,35	
		2	170,13	25,42	100,23	-	
		3	123,37	25,25	100,07	0,29	
		4	168,81	26,43	98,28	0,37	
		5	145,05	25,47	98,66	0,34	
		6	127,10	28,81	98,98	-	
		Média	146,20	26,02	99,19	0,34	
	Segunda	1	364,57	29,02	99,36	0,65	
		2	397,86	31,98	102,33	0,57	
		3	309,62	27,97	101,87	0,58	
		4	394,64	28,86	98,67	0,72	
		5	381,80	30,57	100,61	0,63	
		6	116,76	25,11	98,89	-	
		Média	327,54	28,92	100,29	0,63	
Média 30°C com cura	Primeira	1	251,07	25,43	101,51	0,57	
		2	168,54	26,25	102,00	0,36	
		3	208,93	24,37	98,91	0,53	
		4	139,43	25,50	97,29	-	
		5	194,53	24,27	100,12	0,49	
		6	223,76	25,23	105,05	0,50	
		Média	197,71	25,17	100,81	0,49	
	Segunda	1	447,19	30,36	102,04	0,71	
		2	415,66	30,96	101,09	0,64	
		3	333,93	27,92	97,95	0,66	
		4	280,22	27,60	94,03	0,59	
		5	377,13	31,61	103,64	0,55	
		6	319,92	31,21	95,91	-	
		Média	362,34	29,94	99,11	0,63	
Média 30°C sem cura	Primeira	1	125,41	23,73	99,87	0,33	
		2	147,61	24,04	98,57	0,39	
		3	78,80	25,66	101,64	0,18	
		4	71,79	25,68	101,07	-	
		5	-	-	-	-	
		6	-	-	-	-	
		Média	105,90	24,78	100,28	0,30	
	Segunda	1	429,38	28,01	100,52	0,82	
		2	295,07	31,03	99,87	0,46	
		3	292,75	30,51	100,40	0,47	
		4	163,79	28,39	96,39	-	
		5	185,02	29,67	99,67	0,32	
		6	288,09	27,42	103,79	0,55	
		Média	275,68	29,17	100,10	0,52	
Média 30°C com cura e molhagem	Primeira	1	237,20	24,57	100,43	0,59	
		2	136,78	25,12	100,85	0,32	
		3	48,36	25,60	100,01	-	
		4	188,69	25,56	98,65	0,44	
		5	184,42	26,18	99,02	0,41	
		6	149,74	25,21	99,04	0,36	
		Média	157,53	25,37	99,67	0,42	
	Segunda	1	419,16	31,60	106,17	0,59	
		2	300,07	32,50	101,12	-	
		3	346,77	27,45	99,32	0,70	
		4	477,54	29,10	98,76	0,86	
		5	471,28	29,25	97,23	0,85	
		6	387,64	30,51	91,42	0,68	
		Média	400,41	30,07	99,00	0,74	
Média 30°C com cura e molhagem	Primeira	1	238,16	25,44	101,40	0,54	
		2	158,38	29,22	97,57	0,29	
		3	195,13	24,74	99,45	0,48	
		4	225,14	23,61	98,12	0,62	
		5	311,61	25,50	99,90	0,72	
		6	129,74	26,12	100,14	-	
		Média	209,69	25,77	99,43	0,53	
	Segunda	1	387,25	31,93	98,73	0,58	
		2	188,18	24,95	98,67	0,46	
		3	381,38	29,70	96,37	0,67	
		4	231,07	28,89	98,25	-	
		5	421,05	31,01	98,25	0,67	
		6	226,95	26,57	98,46	0,49	
		Média	305,98	28,84	98,12	0,57	
Média 23°C sem cura	Primeira	1	86,34	24,97	101,24	0,21	
		2	183,91	25,07	100,16	0,44	
		3	34,59	24,28	101,07	-	
		4	-	-	-	-	
		5	184,84	25,31	99,84	0,43	
		6	117,80	25,88	98,12	0,27	
		Média	121,50	25,10	100,08	0,34	
	Segunda	1	354,41	27,89	99,21	0,69	
		2	441,35	31,69	101,00	-	
		3	465,87	28,42	101,23	0,85	
		4	708,73	27,72	98,02	1,41	
		5	596,64	30,48	103,21	0,93	
		6	479,88	27,82	98,36	0,95	
		Média	507,81	29,00	100,17	0,97	
Média 30°C com cura	Primeira	1	53,20	2,30	1,25	34,98	
		Desvio-Padrão	64,63	0,58	1,25	0,12	
		CV(%)	53,20	2,30	1,25	34,98	
		Segunda	1	391,97	30,62	98,84	0,63
			2	566,28	27,10	100,17	1,15
			3	244,24	30,51	99,81	-
			4	650,35	27,72	98,02	1,30
	5		481,05	28,26	95,38	0,95	
	6		171,43	25,59	98,41	0,40	
	Média		417,55	28,30	98,44	0,89	
	Média 30°C com cura e molhagem	Primeira	1	52,33	25,34	101,41	0,12
			2	64,54	25,65	98,85	0,15
			3	203,01	24,82	100,68	0,49
			4	260,66	29,47	99,42	0,45
5			37,80	25,38	99,68	-	
6			119,23	25,28	99,97	0,28	
Média			122,93	25,99	100,00	0,30	
Segunda		1	143,31	28,27	101,97	-	
		2	161,08	29,59	99,50	0,28	
		3	334,50	31,85	101,27	0,49	
		4	161,38	26,47	99,04	0,35	
		5	165,23	28,39	99,98	0,31	
		6	182,10	32,20	99,37	0,27	
		Média	191,27	29,46	100,19	0,34	
Média 30°C com cura e molhagem	Primeira	1	62,63	1,74	3,75	0,06	
		Desvio-Padrão	62,63	1,74	3,75	0,06	
		CV(%)	17,28	5,82	3,79	10,25	
		Segunda	1	17,46	6,11	4,88	15,55
			2	17,46	6,11	4,88	15,55
			3	17,46	6,11	4,88	15,55
			4	17,46	6,11	4,88	15,55
	5		17,46	6,11	4,88	15,55	
	6		17,46	6,11	4,88	15,55	
	Média		17,46	6,11	4,88	15,55	
	Média 30°C com cura e molhagem	Primeira	1	52,33	25,34	101,41	0,12
			2	64,54	25,65	98,85	0,15
			3	203,01	24,82	100,68	0,49
			4	260,66	29,47	99,42	0,45
5			37,80	25,38	99,68	-	
6			119,23	25,28	99,97	0,28	
Média			122,93	25,99	100,00	0,30	
Segunda		1	143,31	28,27	101,97	-	
		2	161,08	29,59	99,50	0,28	
		3	334,50	31,85	101,27	0,49	
		4	161,38	26,47	99,04	0,35	
		5	165,23	28,39	99,98	0,31	
		6	182,10	32,20	99,37	0,27	
		Média	191,27	29,46	100,19	0,34	
Média 30°C com cura e molhagem	Primeira	1	71,25	2,22	1,17	0,09	
		Desvio-Padrão	71,25	2,22	1,17	0,09	
		CV(%)	37,25	7,55	1,17	26,78	
		Segunda	1	71,25	7,55	1,17	26,78
			2	71,25	7,55	1,17	26,78
			3	71,25	7,55	1,17	26,78
			4	71,25	7,55	1,17	26,78
	5		71,25	7,55	1,17	26,78	
	6		71,25	7,55	1,17	26,78	
	Média		71,25	7,55	1,17	26,78	

Tabela 88. Resistência de aderência em mini-prisma para a classe do bloco de concreto de Blumenau (TB) para a argamassa de cimento com incorporador de ar.

Classe do Bloco	Ruptura	Amostra	Resistência de Aderência				
			Carga (N)	Altura (mm)	Base (mm)	Tensão (MPa)	
Média 23°C sem cura	Primeira	1	86,34	24,97	101,24	0,21	
		2	183,91	25,07	100,16	0,44	
		3	34,59	24,28	101,07	-	
		4	-	-	-	-	
		5	184,84	25,31	99,84	0,43	
		6	117,80	25,88	98,12	0,27	
		Média	121,50	25,10	100,08	0,34	
	Segunda	1	354,41	27,89	99,21	0,69	
		2	441,35	31,69	101,00	-	
		3	465,87	28,42	101,23	0,85	
		4	708,73	27,72	98,02	1,41	
		5	596,64	30,48	103,21	0,93	
		6	479,88	27,82	98,36	0,95	
		Média	507,81	29,00	100,17	0,97	
Média 30°C com cura	Primeira	1	53,20	2,30	1,25	34,98	
		Desvio-Padrão	64,63	0,58	1,25	0,12	
		CV(%)	53,20	2,30	1,25	34,98	
		Segunda	1	391,97	30,62	98,84	0,63
			2	566,28	27,10	100,17	1,15
			3	244,24	30,51	99,81	-
			4	650,35	27,72	98,02	1,30
	5		481,05	28,26	95,38	0,95	
	6		171,43	25,59	98,41	0,40	
	Média		417,55	28,30	98,44	0,89	
	Média 30°C com cura e molhagem	Primeira	1	52,33	25,34	101,41	0,12
			2	64,54	25,65	98,85	0,15
			3	203,01	24,82	100,68	0,49
			4	260,66	29,47	99,42	0,45
5			37,80	25,38	99,68	-	
6			119,23	25,28	99,97	0,28	
Média			122,93	25,99	100,00	0,30	
Segunda		1	143,31	28,27	101,97	-	
		2	161,08	29,59	99,50	0,28	
		3	334,50	31,85	101,27	0,49	
		4	161,38	26,47	99,04	0,35	
		5	165,23	28,39	99,98	0,31	
		6	182,10	32,20	99,37	0,27	
		Média	191,27	29,46	100,19	0,34	
Média 30°C com cura e molhagem	Primeira	1	71,25	2,22	1,17	0,09	
		Desvio-Padrão	71,25	2,22	1,17	0,09	
		CV(%)	37,25	7,55	1,17	26,78	
		Segunda	1	71,25	7,55	1,17	26,78
			2	71,25	7,55	1,17	26,78
			3	71,25	7,55	1,17	26,78
			4	71,25	7,55	1,17	26,78
	5		71,25	7,55	1,17	26,78	
	6		71,25	7,55	1,17	26,78	
	Média		71,25	7,55	1,17	26,78	