

**ESTIMATIVA DO COMPORTAMENTO DE PAREDES NO ENSAIO  
DE PENETRAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA ATRAVÉS DAS  
PROPRIEDADES DE TRANSFERÊNCIA DE UMIDADE DOS  
MATERIAIS CONSTITUINTES**

**NIUBIS LUPERÓN MUSTELIER**

**NOVEMBRO DE 2008**

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

**ESTIMATIVA DO COMPORTAMENTO DE PAREDES NO ENSAIO  
DE PENETRAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA ATRAVÉS DAS  
PROPRIEDADES DE TRANSFERÊNCIA DE UMIDADE DOS  
MATERIAIS CONSTITUINTES**

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

**NIUBIS LUPERON MUSTELIER**

**FLORIANÓPOLIS, NOVEMBRO DE 2008.**

*ESTIMATIVA DO COMPORTAMENTO DE PAREDES NO ENSAIO DE PENETRAÇÃO DE  
ÁGUA DE CHUVA ATRAVÉS DAS PROPRIEDADES DE TRANSFERENCIA DE UMIDADE  
DOS MATERIAIS CONSTITUINTES*

**NIUBIS LUPERON MUSTELIER**

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.

---

Prof. Dr. GLICÉRIO TRICHÊS – Coordenador da PPGEC

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. JANAÍDE CAVALCANTE ROCHA (UFSC) - Orientadora

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Prof Vasco Freitas**  
**(Examinador externo – FEUP)**  
**Universidade do Porto**

---

**Prof. Dr. Elton Bauer**  
**(Examinador externo –UNB)**

---

**Prof. Dr. Cláudio Kazmierczak**  
**(Examinador externo UNISINOS)**

---

**Prof. Dr. Luiz Roberto Prudêncio Júnior**  
**(ECV/UFSC)**

---

**Prof. Dr. Fernando Barth (ARQ/UFSC)**

---

**Prof. Dr. Ivo José Padaratz – (ECV/UFSC)**

*Ao meu filho Paulo Enrique,  
Aos meus pais, que nostalgia;  
ao Frank e a  
DIOS y a MI VIRGEM DE LA CARIDAD, por la fuerza nos momentos difíciles*

## **AGRADECIMENTOS**

À Professora Janaíde por seu investimento e orientação durante estes seis anos dentro do mundo da pesquisa, agradeço ter colocado ao Jaime para trabalhar comigo.

Ao professor Malik pela indispensável ajuda na montagem do aparato experimental e pelas orientações no caminho da pesquisa científica.

Em especial ao Jaime por ter sido meu braço direito, meu amigo, por ter feito rir em momentos difíceis ao longo do desenvolvimento da pesquisa. Qualquer palavra que deixe escrita não dá nem dá a dimensão de quanto tenho e terei que agradecer em este mundo todo seu empenho: foi um anjo que colocaram em meu caminho, que Deus o abençoe e acompanhe em todo caminho a recorrer na sua vida, obrigado mesmo de coração, sem você não teria conseguido.

Ao Cristina, Carol, Gilmene e Zaira por seu tempo em me escutar em momentos de muita dor e sofrimento que eu me encontrava muito sozinha. Muito obrigada.

Ao Nico, muito obrigada por sua alegria, preocupação, dedicação, pelo seu empenho.

Ao funcionário Roque pelo carinho de pai e a força quando já quase nem força tinha.

Ao Luis e Renato pelo auxílio no desenvolvimento deste trabalho

Ao Prof Glicério pela ajuda na fase final do trabalho e ter se interessado pelo andamento da minha pesquisa.

Aos colegas do Grupo Valores: Cecília, Leonardo, Marcelo, Fernando, João Paulo, Jefferson pela convivência.

Ao CNPq e FINEP pelo apoio financeiro.

Ào Brasil pelas pessoas maravilhosas que em todo este tempo me tenderam a mão neste seis anos de trabalho: Patrícia, Giovana, Yogy, Alisson, Jenner, Ana, Avancini, Jujuba, Nadi, Deborah, Ana Ligia, Marinea, Prof Humberto, todos que contribuíram de alguma forma para a realização da presente pesquisa, desculpa aos que não nomeei, mas são muitos e mesmo assim estou muito agradecida.

Ao diretor do colégio do Paulo Enrique, ao casal Luisa e Luis (professores da Faculdade de Física pela carona diária depois de chegar morta da Universidade e ir pegar ao Paulo), às professoras pelo carinho com que cuidaram do meu campeão Paulo.

Aos meus amigos cubanos Amarílis, Alejandro, Lucia, Chino, Yanetsi, Yaleidys, Felix; aos colombianos: Leslie e Jose Luis, Liliana e, Yetsi e Cindy, aos nicaraguenses; Rody e Herminda pelos momentos bons e de felicidade.

À Karina pela ajuda no momento crucial da minha vida

# SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA E JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>15</b>
<b>1.2 ABORDAGEM GERAL DO PROBLEMA .....</b>	<b>19</b>
<b>1.2.1 SÉRIE HISTÓRICA DE DIFERENTES MODELOS TEÓRICOS DE TRANSFERÊNCIA DE UMIDADE .....</b>	<b>20</b>
<b>1.3 APRESENTAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DAS CINZAS .....</b>	<b>22</b>
<b>1.3.1 CINZAS DE CARVÃO MINERAL .....</b>	<b>22</b>
<b>1.4 CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA –TÉCNICA .....</b>	<b>25</b>
<b>1.5 OBJETIVO DA TESE .....</b>	<b>26</b>
<b>1.5.1 Objetivo Geral .....</b>	<b>26</b>
<b>1.5.2 Objetivos específicos .....</b>	<b>27</b>
<b>1.6 HIPÓTESES DE TRABALHO .....</b>	<b>27</b>
<b>1.7 ESTRUTURA DA TESE.....</b>	<b>28</b>
<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 PENETRAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA NAS EDIFICAÇÕES .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1.1 FORÇAS QUE PRODUZEM A PENETRAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA. ....</b>	<b>16</b>
<b>2.2 ENSAIO DE AVALIAÇÃO DA PENETRAÇÃO DE ÁGUA EM PAREDES DE ALVENARIA. ....</b>	<b>18</b>
<b>2.2.1 HISTÓRICO DO ENSAIO .....</b>	<b>18</b>
<b>2.3 FATORES QUE AFETAM A PENETRAÇÃO DE ÁGUA EM PAREDES DE ALVENARIA: CORRELAÇÃO E INFLUÊNCIA.....</b>	<b>21</b>
<b>2.3.1 PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DAS ARGAMASSAS .....</b>	<b>24</b>
<b>2.3.2 PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DA INTERFACE.....</b>	<b>29</b>
<b>2.3.3 PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS E FÍSICAS DA UNIDADE DE ALVENARIA.....</b>	<b>33</b>
<b>2.3.4 OUTRAS PROPRIEDADES DA ALVENARIA. ....</b>	<b>35</b>
<b>2.4 MECANISMOS DE SORÇÃO DE UMIDADE.....</b>	<b>41</b>
<b>2.4.1 MECANISMOS DE FIXAÇÃO DE UMIDADE EM MEIOS POROSOS. ....</b>	<b>41</b>
<b>2.4.2 MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE UMIDADE EM MEIOS POROSOS.....</b>	<b>46</b>
<b>METODOLOGIA E PROGRAMA EXPERIMENTAL.....</b>	<b>54</b>
<b>3.1 ROTEIRO METODOLÓGICO .....</b>	<b>55</b>
<b>3.2 DESCRIÇÃO DO PROGRAMA EXPERIMENTAL.....</b>	<b>58</b>
<b>3.2.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS EMPREGADOS .....</b>	<b>58</b>
<b>3.2.2 PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS .....</b>	<b>68</b>
<b>3.2.3 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS .....</b>	<b>70</b>
<b>3.2.4 CARACTERIZAÇÃO DO SUBSTRATO.....</b>	<b>71</b>
<b>3.2.5 ENSAIOS DE AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE REVESTIMENTO .....</b>	<b>74</b>
<b>3.2.6 ENSAIO DE PENETRAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA .....</b>	<b>86</b>
<b>APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS .....</b>	<b>96</b>
<b>4.1 RESULTADOS OBTIDOS DOS SUBSTRATOS .....</b>	<b>96</b>

4.1.1	<b>PROPRIEDADES DE CARACTERIZAÇÃO DOS SUBSTRATOS .....</b>	<b>96</b>
4.1.2	<b>PROPRIEDADES FÍSICAS DOS SUBSTRATOS .....</b>	<b>97</b>
4.1.3	<b>PROPRIEDADES HIGROTÉRMICAS DOS SUBSTRATOS .....</b>	<b>100</b>
<b>4.2</b>	<b><i>RESULTADOS OBTIDOS DAS ARGAMASSAS .....</i></b>	<b>118</b>
4.2.1	<b>PROPRIEDADES DE CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO E ENDURECIDO .....</b>	<b>118</b>
4.2.2	<b>PROPRIEDADES FÍSICAS DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO .....</b>	<b>119</b>
4.2.3	<b>PROPRIEDADES HIGROTÉRMICAS DAS ARGAMASSAS .....</b>	<b>120</b>
<b>4.3</b>	<b><i>RESULTADOS OBTIDOS DAS PAREDES .....</i></b>	<b>142</b>
4.3.1	<b>Resultados obtidos do ensaio de estanqueidade .....</b>	<b>142</b>
4.3.2	<b>Resultados obtidos das imagens infravermelho .....</b>	<b>193</b>
4.3.3	<b>Resultados obtidos da resistência de aderência à tração .....</b>	<b>219</b>
4.3.4	<b>Resultados obtidos do Grau de hidratação das argamassas constituintes das paredes .....</b>	<b>221</b>
<b>CAPÍTULO 5 .....</b>		<b>227</b>
<b><i>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</i></b>		<b>227</b>
5.1	<b>DISCUSSÕES GERAIS .....</b>	<b>227</b>
5.2	<b>DISCUSSÕES ESTATÍSTICAS .....</b>	<b>251</b>
<b>CAPÍTULO 6 .....</b>		<b>256</b>
<b><i>CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS .....</i></b>		<b>256</b>
<b><u>6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</u></b>		<b>256</b>
<b><u>6.2 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS .....</u></b>		<b>259</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>		<b>260</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>255</b>
<b>Blocos .....</b>		<b>255</b>
<b>ANEXO A: DADOS DA ORGANIZAÇÃO DOS BLOCOS EM GRUPOS E SUBGRUPOS .....</b>		<b>256</b>
<b>ANEXO B: DADOS DO ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE DOS BLOCOS E A SORPTIVIDADE – Painéis de Caracterização .....</b>		<b>257</b>
<b>ANEXO C: DADOS DO ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE DOS BLOCOS E A SORPTIVIDADE – Paredes Estanqueidade .....</b>		<b>261</b>
<b>ANEXO D: MAPEAMENTO DOS BLOCOS EM CADA PAREDE .....</b>		<b>277</b>
<b>ANEXO E: DADOS DOS ENSAIOS DE MASSA ESPECÍFICA E POROSIDADE ABERTA .....</b>		<b>279</b>
<b>ANEXO F: DADOS DO ENSAIO DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA .....</b>		<b>281</b>
<b>Argamassas .....</b>		<b>282</b>
<b>ANEXO G: DADOS DOS ENSAIOS DE MASSA ESPECÍFICA E POROSIDADE ABERTA .....</b>		<b>282</b>
<b>ANEXO H: DADOS ÂNGULO DE MOLHAMENTO APARENTE .....</b>		<b>286</b>
<b>ANEXO I: DADOS DO ENSAIO DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA .....</b>		<b>292</b>

**Paredes**

<b>ANEXO J: DADOS DOS SENSORES DE UMIDADE E TEMPERATURA.....</b>	<b>296</b>
<b>ANEXO K: DADOS DO TEOR DE UMIDADE DAS AMOSTRAS EXTRAÍDAS DAS PAREDES DEPOIS DE 7 HORAS DE ENSAIO DE ESTANQUEIDADE.....</b>	<b>298</b>
<b>ANEXO L: DADOS INDIVIDUAIS DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO APLICADAS SOBRE SUBSTRATOS.....</b>	<b>304</b>
<b>ANEXO M - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS RESULTADOS.....</b>	<b>306</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.1: TRANSFERÊNCIA DE UMIDADE EM UMA PAREDE POROSA.....</b>	<b>16</b>
<b>FIGURA 1.2: OS TRÊS REGIMES DE FIXAÇÃO DA UMIDADE.....</b>	<b>17</b>
<b>FIGURA 1.3: MOLHAGEM, SECAGEM E ARMAZENAGEM DE UMIDADE DENTRO DE UMA EDIFICAÇÃO. ....</b>	<b>18</b>
<b>(FONTE: STRAUBE, 2002).....</b>	<b>18</b>
<b>FIGURA 1.4: MICROGRAFIA DAS CENOSFERAS QUE INDICAM O INTERIOR POROSO/ .....</b>	<b>23</b>
<b>FIGURA 1.5: MICROGRAFIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DE GRÃOS DE CINZA PESADA.....</b>	<b>24</b>
<b>FIGURA 2.1: FORÇAS QUE PRODUZEM A PENETRAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA (GARDEN, 1963). ....</b>	<b>16</b>
<b>FIGURA 2.2: RELAÇÃO DA PENETRAÇÃO DE ÁGUA COM O CONTEÚDO DE AR DE ARGAMASSAS DE CIMENTO DE ALVENARIA. (DUBOVOY E RIBAR (1990)) .....</b>	<b>26</b>
<b>FIGURA 2.3: PENETRAÇÃO DE ÁGUA EM ALVENARIA/ ENSAIOS REPRODUZIDOS UTA. ....</b>	<b>28</b>
<b>FIGURA 2.4: PENETRAÇÃO DE ÁGUA EM ALVENARIA EM ARGILA COM VARIAÇÃO NA CAL.....</b>	<b>29</b>
<b>FIGURA 2.5: INFLUÊNCIA DA ABSORÇÃO DE TIJOLOS NA RESISTÊNCIA À ADERÊNCIA E À PERMEABILIDADE. MELANDER E GHOSH (1992) .....</b>	<b>31</b>
<b>FIGURA 2.6: INFLUÊNCIA DO <i>FLOW</i> DA ARGAMASSA NA RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DE UMIDADE E RESISTÊNCIA À ADERÊNCIA. MELANDER E GHOSH (1992) .....</b>	<b>32</b>
<b>FIGURA 2.7: INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DAS JUNTAS NA ARGAMASSA.....</b>	<b>35</b>
<b>FIGURA 2.8: INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DAS JUNTAS NA ARGAMASSA.....</b>	<b>36</b>
<b>FIGURA 2.9: INFLUÊNCIA DO TIPO DE UNIDADE (REVESTIDA FACE DE ENSAIO). ....</b>	<b>37</b>
<b>FIGURA 2.10: INFLUÊNCIA DA SUPERFÍCIE FINAL – PENETRAÇÃO DE ÁGUA.....</b>	<b>38</b>
<b>FIGURA 2.11: INFLUÊNCIA DA SUPERFÍCIE FINAL – UMIDADE.....</b>	<b>38</b>
<b>FIGURA 2.12 :OS DOIS MODOS DE CONDENSAÇÃO DA ÁGUA NO SEIO POROSO (FERNANDES, 1990) .....</b>	<b>42</b>
<b>FIGURA 2.13: REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UM FLUIDO MOLHANTE EM UM CILINDRO DE PEQUENO DIÂMETRO (MENDES,1997). ....</b>	<b>43</b>
<b>FIGURA 2.14: VARIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DE UM MATERIAL POROSO EM FUNÇÃO DA UMIDADE RELATIVA DO AMBIENTE (FREITAS, 1992). ....</b>	<b>44</b>
<b>FIGURA 2.15: CURVA DE SUCÇÃO CAPILAR .....</b>	<b>46</b>
<b>FIGURA 2.16: CURVA TÍPICA DA PERMEABILIDADE DE VAPOR DE ÁGUA COMO UMA FUNÇÃO EXPONENCIAL DA UMIDADE RELATIVA .....</b>	<b>48</b>
<b>FIGURA 2.17: TRANSPORTE DE UMIDADE COMBINADO EM UM MATERIAL POROSO COMO SÉRIES DE TRANSPORTE DE VAPOR DE ÁGUA E ÁGUA LÍQUIDA.....</b>	<b>52</b>
<b>FIGURA 2.18: DIFUSIVIDADE DE UMIDADE TOTAL COMO UMA FUNÇÃO DO CONTEÚDO DE UMIDADE.....</b>	<b>52</b>
<b>FIGURA 2.19: DIFUSIVIDADE DE UMIDADE COMO UMA FUNÇÃO DO CONTEÚDO DE UMIDADE PARA VAPOR DE ÁGUA (<math>\Lambda_{V1}</math>) E ÁGUA LÍQUIDA (<math>\Lambda_{M1}</math>). ....</b>	<b>53</b>
<b>FIGURA 3.1: FLUXOGRAMA GERAL DO ROTEIRO METODOLÓGICO .....</b>	<b>57</b>
<b>FIGURA 3.2: DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA AREIA.....</b>	<b>61</b>
<b>FIGURA 3.3: DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA CINZA PESADA. ....</b>	<b>62</b>
<b>FIGURA 3.4: ESPECTRO POR ENERGIA DISPERSIVA DA CINZA PESADA.....</b>	<b>63</b>
<b>FIGURA 3.5: DIFRATOGRAMAS DA CINZA PESADA DE CARVÃO MINERAL (SANTOS 2006). ....</b>	<b>64</b>
<b>FIGURA 3.6: INFRAVERMELHO DO INCORPORADOR DE AR (FONTE: SANTOS, 2006) .....</b>	<b>65</b>
<b>FIGURA 3.7: ESQUEMA GERAL DE EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS.....</b>	<b>72</b>
<b>FIGURA 3.8: ESQUEMA GERAL DE EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS.....</b>	<b>75</b>
<b>FIGURA 3.9: ESQUEMA DE ENSAIO DE POROSIDADE ABERTA POR SATURAÇÃO A VÁCUO.....</b>	<b>77</b>
<b>FIGURA 3.10: APARATO EXPERIMENTAL PARA A DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA.....</b>	<b>83</b>

<b>FIGURA 3.11: EXEMPLO DE DADOS BRUTOS OBTIDOS DA AQUISIÇÃO PARA UMA AMOSTRA DE ARGAMASSA</b>	<b>84</b>
<b>FIGURA 3.12: EXEMPLO DE DADOS BRUTOS OBTIDOS DA AQUISIÇÃO PARA UMA AMOSTRA DE BLOCO</b>	<b>84</b>
<b>FIGURA 3.13: EXEMPLO TÍPICO DA OBTENÇÃO DO COEFICIENTE A PARA DETERMINAÇÃO DA CONDUZIVIDADE TÉRMICA (BLOCO)</b>	<b>85</b>
<b>FIGURA 3.14: MAPEAMENTO DA EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DE ARGAMASSAS E BLOCOS DAS PAREDES</b>	<b>89</b>
<b>FIGURA 3.15: PROTÓTIPOS DAS PAREDES PARA ENSAIO DE ESTANQUEIDADE</b>	<b>91</b>
<b>FIGURA 3.16: ESQUEMA GERAL DAS PAREDES E MAPEAMENTO DOS BLOCOS</b>	<b>92</b>
<b>FIGURA 3.17: TIPOS DE RUPTURA NO ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DE REVESTIMENTO</b>	<b>94</b>
<b>FIGURA 4.1: MASSA ESPECÍFICA PARA CADA GRUPO DE BLOCOS</b>	<b>98</b>
<b>FIGURA 4.2: POROSIDADE ABERTA PARA CADA GRUPOS DE BLOCOS</b>	<b>99</b>
<b>FIGURA 4.3: RELAÇÃO DA TAXA INICIAL DE ABSORÇÃO COM A POROSIDADE DOS BLOCOS</b>	<b>99</b>
<b>FIGURA 4.4: TAXA INICIAL DE ABSORÇÃO PARA CADA GRUPOS DAS SERIE DE BLOCOS DE CONCRETO</b>	<b>101</b>
<b>FIGURA 4.5: TAXA INICIAL DE ABSORÇÃO PARA CADA GRUPOS DAS SERIE DAS AMOSTRAS EXTRAÍDAS</b>	<b>101</b>
<b>FIGURA 4.6: RELAÇÃO ENTRE O PESO DOS BLOCOS VERSUS A TAXA INICIAL DE ABSORÇÃO (IRA)_SERIE D<sub>1</sub></b>	<b>102</b>
<b>FIGURA 4.7: RELAÇÃO ENTRE O PESO DOS BLOCOS VERSUS A TAXA INICIAL DE ABSORÇÃO (IRA)_SERIE D<sub>2</sub></b>	<b>103</b>
<b>FIGURA 4.8: CURVAS TÍPICA DE SORPTIVIDADE DO GRUPO III_ SÉRIE D1 (N=18 BLOCOS)</b>	<b>104</b>
<b>FIGURA 4.9: CURVAS TÍPICA DE SORPTIVIDADE DO GRUPO IV_ SERIE D2 (N=18 BLOCOS)</b>	<b>104</b>
<b>FIGURA 4.10: COMPARAÇÃO DE VALORES DE SORPTIVIDADE DOS BLOCOS</b>	<b>105</b>
<b>FIGURA 4.11: CURVAS MÉDIA DE ABSORÇÃO DE ÁGUA EM FUNÇÃO DA RAIZ DO TEMPO PARA BLOCOS DO SUBGRUPO XII_ D<sub>1</sub></b>	<b>107</b>
<b>FIGURA 4.12: CURVAS MÉDIA DE ABSORÇÃO DE ÁGUA EM FUNÇÃO DA RAIZ DO TEMPO PARA BLOCOS DO SUBGRUPO III_ D<sub>1</sub></b>	<b>107</b>
<b>FIGURA 4.13: CURVAS MÉDIA DE ABSORÇÃO DE ÁGUA EM FUNÇÃO DA RAIZ DO TEMPO PARA BLOCOS DO SUBGRUPO IV_ D<sub>2</sub></b>	<b>108</b>
<b>FIGURA 4.14: BLOCOS_ I_ D1: ESTOQUE DE LÍQUIDO INFILTRADO EM FUNÇÃO DA RAIZ DO TEMPO</b>	<b>109</b>
<b>FIGURA 4.15: BLOCOS_ II_ D1: ESTOQUE DE LÍQUIDO INFILTRADO EM FUNÇÃO DA RAIZ DO TEMPO</b>	<b>109</b>
<b>FIGURA 4.16: BLOCOS_ III_ D1: ESTOQUE DE LÍQUIDO INFILTRADO EM FUNÇÃO DA RAIZ DO TEMPO</b>	<b>110</b>
<b>FIGURA 4.17: BLOCOS_ I_ D2: ESTOQUE DE LÍQUIDO INFILTRADO EM FUNÇÃO DA RAIZ DO TEMPO</b>	<b>110</b>
<b>FIGURA 4.18: BLOCOS_ II_ D2: ESTOQUE DE LÍQUIDO INFILTRADO EM FUNÇÃO DA RAIZ DO TEMPO</b>	<b>111</b>
<b>FIGURA 4.19: BLOCOS_ III_ D2: ESTOQUE DE LÍQUIDO INFILTRADO EM FUNÇÃO DA RAIZ DO TEMPO</b>	<b>111</b>
<b>FIGURA 4.20: AJUSTE DOS DADOS EXPERIMENTAIS DOS BLOCOS AO MODELO GAB E BET</b>	<b>114</b>
<b>FIGURA 4.21: CURVAS DO AJUSTE ATRAVÉS DO MODELO GAB DAS DIFERENTES GRUPOS DAS SERIES DOS BLOCOS</b>	<b>115</b>
<b>FIGURA 4.22: SUPERFÍCIE ESPECÍFICA DOS BLOCOS POR GRUPOS DE CARACTERIZAÇÃO</b>	<b>116</b>
<b>FIGURA 4.23: CONDUZIVIDADE TÉRMICA DAS ARGAMASSAS EM FUNÇÃO DO CONTEÚDO DE UMIDADE MÁSSICO</b>	<b>117</b>
<b>FIGURA 4.24: MASSA ESPECÍFICA APARENTE DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO</b>	<b>119</b>
<b>FIGURA 4.25: POROSIDADE ABERTA DAS ARGAMASSAS</b>	<b>120</b>
<b>FIGURA 4.26: GERAL: VOLUME DE ÁGUA ABSORVIDO POR CAPILARIDADE EM FUNÇÃO DO TEMPO</b>	<b>121</b>
<b>FIGURA 4.27: VOLUME DE ÁGUA ABSORVIDA NOS TEMPOS DE 3, 5, E 7 HORAS</b>	<b>122</b>
<b>FIGURA 4.28: GERAL: VOLUME DE LÍQUIDO ABSORVIDO POR ÁREA DA SEÇÃO TRANSVERSAL EM FUNÇÃO DA RAIZ DO TEMPO</b>	<b>122</b>

<b>FIGURA 4.29: ABSORÇÃO TOTAL DE ÁGUA (7 HORAS) OBTIDA ATRAVÉS DE LEITURA NO TUBO E MEDIDA DE MASSA, RESPECTIVAMENTE.....</b>	<b>124</b>
<b>FIGURA 4.30: VARIAÇÃO DO VOLUME TOTAL DE ÁGUA ABSORVIDA EM FUNÇÃO DO TEOR DE CINZA PESADA .....</b>	<b>125</b>
<b>FIGURA 4.31: VOLUME DE LÍQUIDO ABSORVIDO POR ÁREA DA SEÇÃO TRANSVERSAL EM FUNÇÃO DA RAIZ DO TEMPO – DETERMINAÇÃO DA SORPTIVIDADE .....</b>	<b>126</b>
<b>FIGURA 4.32: VARIAÇÃO DO COEFICIENTE DE SORPTIVIDADE EM FUNÇÃO DO TEOR DE CINZA PESADA.....</b>	<b>127</b>
<b>FIGURA 4.33: ARGAMASSA 0% CZP_D1: ESTOQUE DE LÍQUIDO INFILTRADO EM FUNÇÃO DA RAIZ DO TEMPO .....</b>	<b>128</b>
<b>FIGURA 4.34: ARGAMASSA 50% CZP_D1: ESTOQUE DE LÍQUIDO INFILTRADO EM FUNÇÃO DA RAIZ DO TEMPO .....</b>	<b>129</b>
<b>FIGURA 4.35: ARGAMASSA 100% CZP_D1: ESTOQUE DE LÍQUIDO INFILTRADO EM FUNÇÃO DA RAIZ DO TEMPO .....</b>	<b>129</b>
<b>FIGURA 4.36: ARGAMASSA 0% CZP+IA_D1: ESTOQUE DE LÍQUIDO INFILTRADO EM FUNÇÃO DA RAIZ DO TEMPO .....</b>	<b>130</b>
<b>FIGURA 4.37: ARGAMASSA 50% CZP+IA_D1: ESTOQUE DE LÍQUIDO INFILTRADO EM FUNÇÃO DA RAIZ DO TEMPO .....</b>	<b>130</b>
<b>FIGURA 4.38: ARGAMASSA 100% CZP+IA_D1: ESTOQUE DE LÍQUIDO INFILTRADO EM FUNÇÃO DA RAIZ DO TEMPO .....</b>	<b>131</b>
<b>FIGURA 4.39: ARGAMASSA 0% CZP_D2: ESTOQUE DE LÍQUIDO INFILTRADO EM FUNÇÃO DA RAIZ DO TEMPO .....</b>	<b>131</b>
<b>FIGURA 4.40: ARGAMASSA 50% CZP_D2: ESTOQUE DE LÍQUIDO INFILTRADO EM FUNÇÃO DA RAIZ DO TEMPO .....</b>	<b>132</b>
<b>FIGURA 4.41: ARGAMASSA 100% CZP_D2: ESTOQUE DE LÍQUIDO INFILTRADO EM FUNÇÃO DA RAIZ DO TEMPO .....</b>	<b>132</b>
<b>FIGURA 4.42: ARGAMASSA 0% CZP+IA_D2: ESTOQUE DE LÍQUIDO INFILTRADO EM FUNÇÃO DA RAIZ DO TEMPO .....</b>	<b>133</b>
<b>FIGURA 4.43: ARGAMASSA 50% CZP+IA_D2: ESTOQUE DE LÍQUIDO INFILTRADO EM FUNÇÃO DA RAIZ DO TEMPO .....</b>	<b>133</b>
<b>FIGURA 4.44: ARGAMASSA 100% CZP+IA_D2: ESTOQUE DE LÍQUIDO INFILTRADO EM FUNÇÃO DA RAIZ DO TEMPO .....</b>	<b>134</b>
<b>FIGURA 4.45: ÂNGULO DE MOLHAMENTO APARENTE EM FUNÇÃO DO SUBSTRATO E DO TEOR DE CZP.....</b>	<b>135</b>
<b>FIGURA 4.46: COMPARAÇÃO ENTRE OS PONTOS EXPERIMENTAIS DE ABSORÇÃO E O AJUSTE DOS DADOS EXPERIMENTAIS DAS ARGAMASSAS AO MODELO GAB E BET .....</b>	<b>137</b>
<b>FIGURA 4.47: CURVAS DO AJUSTE ATRAVÉS DO MODELO GAB DAS DIFERENTES ARGAMASSAS DAS SERIES DOS BLOCOS .....</b>	<b>138</b>
<b>FIGURA 4.48: SUPERFÍCIE ESPECÍFICA DAS ARGAMASSAS EM FUNÇÃO DO TEOR DE CZP.....</b>	<b>140</b>
<b>FIGURA 4.49: CONDUTIVIDADE TÉRMICA DAS ARGAMSSAS_D1 EM FUNÇÃO DO CONTEÚDO DE UMIDADE MÁSSICO. ....</b>	<b>141</b>
<b>FIGURA 4.50: CONDUTIVIDADE TÉRMICA DAS ARGAMASSAS_D2 EM FUNÇÃO DO CONTEÚDO DE UMIDADE MÁSSICO. ....</b>	<b>141</b>
<b>FIGURA 4.51: EVOLUÇÃO DA MANCHA AO LONGO DO TEMPO DAS PAREDES COM 0% CZP – 0% CZP + IA. ...</b>	<b>170</b>
<b>FIGURA 4.52: EVOLUÇÃO DA MANCHA AO LONGO DO TEMPO DAS PAREDES COM 50% CZP – 50% CZP + IA. ....</b>	<b>170</b>
<b>FIGURA 4.53: EVOLUÇÃO DA MANCHA AO LONGO DO TEMPO DAS PAREDES COM 100% CZP – 100% CZP + IA. ....</b>	<b>171</b>
<b>FIGURA 4.54: PERCENTUAL DA MANCHA EM FUNÇÃO DA RAIZ DO TEMPO PARA AS DIFERENTES ARGAMASSAS DOS DOIS SUBSTRATOS.....</b>	<b>171</b>
<b>FIGURA 4.55: VARIAÇÃO DO COEFICIENTE ANGULAR DA RETA QUE RELACIONA A PERCENTAGEM DE MANCHA EM FUNÇÃO DA RAIZ DO TEMPO PARA CADA TEOR DE CZP. ....</b>	<b>172</b>
<b>FIGURA 4.56: EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA AO LONGO DO TEMPO DA PAREDE 1 - 0% CZP_D1.....</b>	<b>173</b>
<b>FIGURA 4.57: EVOLUÇÃO DA UMIDADE AO LONGO DO TEMPO DA PAREDE 1 - 0% CZP_D1 .....</b>	<b>173</b>

<b>FIGURA 4.58: EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA AO LONGO DO TEMPO DA PAREDE 3 - 0% CZP+IA_D1.....</b>	<b>174</b>
<b>FIGURA 4.59: EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA AO LONGO DO TEMPO DA PAREDE 3 - 0% CZP + IA_D1.....</b>	<b>174</b>
<b>FIGURA 4.60: EVOLUÇÃO DA MANCHA AO LONGO DO TEMPO DAS PAREDES COM 100% CZP – 100% CZP + IA. .....</b>	<b>175</b>
<b>FIGURA 4.61: EVOLUÇÃO DA MANCHA AO LONGO DO TEMPO DAS PAREDES COM 100% CZP – 100% CZP + IA. .....</b>	<b>175</b>
<b>FIGURA 4.63: PERCENTAGEM DE UMIDADE DOS PONTOS EXTRAÍDOS DAS ARGAMASSAS E DOS BLOCOS NA FASE OPOSTA DAS PAREDES FABRICADAS COM A ARGAMASSA 0% CZP_D1-D2.....</b>	<b>184</b>
<b>FIGURA 4.64: PERCENTAGEM DE UMIDADE DOS PONTOS EXTRAÍDOS DAS ARGAMASSAS E DOS BLOCOS NA FASE OPOSTA DAS PAREDE FABRICADAS COM A ARGAMASSA 0%+IA CZP_D1-D2.....</b>	<b>185</b>
<b>FIGURA 4.65: PERCENTAGEM DE UMIDADE DOS PONTOS EXTRAÍDOS DAS ARGAMASSAS E DOS BLOCOS NA FASE OPOSTA DAS PAREDE FABRICADAS COM A ARGAMASSA 50% CZP_D1-D2.....</b>	<b>186</b>
<b>FIGURA 4.66: PERCENTAGEM DE UMIDADE DOS PONTOS EXTRAÍDOS DAS ARGAMASSAS E DOS BLOCOS NA FASE OPOSTA DAS PAREDE FABRICADAS COM A ARGAMASSA 50%+IA CZP_D1-D2.....</b>	<b>187</b>
<b>FIGURA 4.67: PERCENTAGEM DE UMIDADE DOS PONTOS EXTRAÍDOS DAS ARGAMASSAS E DOS BLOCOS NA FASE OPOSTA DAS PAREDE FABRICADAS COM A ARGAMASSA 100% CZP_D1-D2.....</b>	<b>188</b>
<b>FIGURA 4.68: PERCENTAGEM DE UMIDADE DOS PONTOS EXTRAÍDOS DAS ARGAMASSAS E DOS BLOCOS NA FASE OPOSTA DAS PAREDE FABRICADAS COM A ARGAMASSA 100%+IA CZP_D1-D2.....</b>	<b>189</b>
<b>FIGURA 4.69: CONTEUDO DE UMIDADE DAS PAREDES FABRICADAS COM O SUBSTRATO D1 NO FINAL DO ENSAIO.....</b>	<b>190</b>
<b>FIGURA 4.70: CONTEUDO DE UMIDADE DAS PAREDES FABRICADAS COM O SUBSTRATO D2 NO FINAL DO ENSAIO.....</b>	<b>191</b>
<b>FIGURA 4.71: TEOR DE UMIDADE NAS PAREDES NAS ARGAMASSAS E NOS BLOCOS EM FUNÇÃO DO TEOR DE CZP_SEM IA.....</b>	<b>192</b>
<b>FIGURA 4.72: TEOR DE UMIDADE NAS PAREDES NAS ARGAMASSAS E NOS BLOCOS EM FUNÇÃO DO TEOR DE CZP_COM IA.....</b>	<b>192</b>
<b>FIGURA 4.73: PAREDE 1: IMAGENS INFRAVERMELHO, MAPEAMENTO DAS TEMPERATURAS E VARIAÇÃO DA TEMPERATURA.....</b>	<b>194</b>
<b>FIGURA 4.74: PAREDE 2: IMAGENS INFRAVERMELHO, MAPEAMENTO DAS TEMPERATURAS E VARIAÇÃO DA TEMPERATURA.....</b>	<b>195</b>
<b>FIGURA 4.75: PAREDE 3: IMAGENS INFRAVERMELHO, MAPEAMENTO DAS TEMPERATURAS E VARIAÇÃO DA TEMPERATURA.....</b>	<b>196</b>
<b>FIGURA 4.76: PAREDE 4: IMAGENS INFRAVERMELHO, MAPEAMENTO DAS TEMPERATURAS E VARIAÇÃO DA TEMPERATURA.....</b>	<b>197</b>
<b>FIGURA 4.77: PAREDE 5: IMAGENS INFRAVERMELHO, MAPEAMENTO DAS TEMPERATURAS E VARIAÇÃO DA TEMPERATURA.....</b>	<b>199</b>
<b>FIGURA 4.78: PAREDE 6: IMAGENS INFRAVERMELHO, MAPEAMENTO DAS TEMPERATURAS E VARIAÇÃO DA TEMPERATURA.....</b>	<b>199</b>
<b>FIGURA 4.79: PAREDE 7: IMAGENS INFRAVERMELHO, MAPEAMENTO DAS TEMPERATURAS E VARIAÇÃO DA TEMPERATURA.....</b>	<b>200</b>
<b>FIGURA 4.80: PAREDE 8: IMAGENS INFRAVERMELHO, MAPEAMENTO DAS TEMPERATURAS E VARIAÇÃO DA TEMPERATURA.....</b>	<b>201</b>
<b>FIGURA 4.81: PAREDE 9: IMAGENS INFRAVERMELHO, MAPEAMENTO DAS TEMPERATURAS E VARIAÇÃO DA TEMPERATURA.....</b>	<b>202</b>
<b>FIGURA 4.82: PAREDE 10: IMAGENS INFRAVERMELHO, MAPEAMENTO DAS TEMPERATURAS E VARIAÇÃO DA TEMPERATURA.....</b>	<b>203</b>
<b>FIGURA 4.83: PAREDE 11: IMAGENS INFRAVERMELHO, MAPEAMENTO DAS TEMPERATURAS E VARIAÇÃO DA TEMPERATURA.....</b>	<b>204</b>
<b>FIGURA 4.84: PAREDE 12: IMAGENS INFRAVERMELHO, MAPEAMENTO DAS TEMPERATURAS E VARIAÇÃO DA TEMPERATURA.....</b>	<b>205</b>
<b>FIGURA 4.85: PAREDE 13: IMAGENS INFRAVERMELHO, MAPEAMENTO DAS TEMPERATURAS E VARIAÇÃO DA TEMPERATURA.....</b>	<b>206</b>

<b>FIGURA 4.86: PAREDE 14: IMAGENS INFRAVERMELHO, MAPEAMENTO DAS TEMPERATURAS E VARIAÇÃO DA TEMPERATURA.....</b>	<b>207</b>
<b>FIGURA 4.87: PAREDE 15: IMAGENS INFRAVERMELHO, MAPEAMENTO DAS TEMPERATURAS E VARIAÇÃO DA TEMPERATURA.....</b>	<b>208</b>
<b>FIGURA 4.88: PAREDE 16: IMAGENS INFRAVERMELHO, MAPEAMENTO DAS TEMPERATURAS E VARIAÇÃO DA TEMPERATURA.....</b>	<b>209</b>
<b>FIGURA 4.89: PAREDE 17: IMAGENS INFRAVERMELHO, MAPEAMENTO DAS TEMPERATURAS E VARIAÇÃO DA TEMPERATURA.....</b>	<b>210</b>
<b>FIGURA 4.90: PAREDE 18: IMAGENS INFRAVERMELHO, MAPEAMENTO DAS TEMPERATURAS E VARIAÇÃO DA TEMPERATURA.....</b>	<b>211</b>
<b>FIGURA 4.91: PAREDE 19: IMAGENS INFRAVERMELHO, MAPEAMENTO DAS TEMPERATURAS E VARIAÇÃO DA TEMPERATURA.....</b>	<b>212</b>
<b>FIGURA 4.92: PAREDE 20: IMAGENS INFRAVERMELHO, MAPEAMENTO DAS TEMPERATURAS E VARIAÇÃO DA TEMPERATURA.....</b>	<b>213</b>
<b>FIGURA 4.93: PAREDE 21: IMAGENS INFRAVERMELHO, MAPEAMENTO DAS TEMPERATURAS E VARIAÇÃO DA TEMPERATURA.....</b>	<b>214</b>
<b>FIGURA 4.94: PAREDE 22: IMAGENS INFRAVERMELHO, MAPEAMENTO DAS TEMPERATURAS E VARIAÇÃO DA TEMPERATURA.....</b>	<b>215</b>
<b>FIGURA 4.95: PAREDE 23: IMAGENS INFRAVERMELHO, MAPEAMENTO DAS TEMPERATURAS E VARIAÇÃO DA TEMPERATURA.....</b>	<b>216</b>
<b>FIGURA 4.96: PAREDE 24: IMAGENS INFRAVERMELHO, MAPEAMENTO DAS TEMPERATURAS E VARIAÇÃO DA TEMPERATURA.....</b>	<b>217</b>
<b>FIGURA 4.97: RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DAS PAREDES AVALIADAS NA ESTANQUEIDADE.....</b>	<b>220</b>
<b>FIGURA 4.98: ANÁLISE TÉRMICA DIFERENCIAL DAS ARGAMASSAS COLOCADAS NO SUBSTRATO D1 .....</b>	<b>221</b>
<b>FIGURA 4.99: ANÁLISE TÉRMICA DIFERENCIAL DAS ARGAMASSAS COLOCADAS NO SUBSTRATO D2 .....</b>	<b>222</b>
<b>FIGURA 4.100: PERDA DE MASSA AO FOGO ARGAMASSAS_ SUBSTRATO D1 .....</b>	<b>224</b>
<b>FIGURA 4.101: PERDA DE MASSA AO FOGO ARGAMASSAS_ SUBSTRATO D2.....</b>	<b>224</b>
<b>FIGURA 4.102: PERDA DE MASSA AO FOGO EM FUNÇÃO DO TEOR DE CZP DAS ARGAMASSAS_ SUBSTRATO_D1 .....</b>	<b>225</b>
<b>FIGURA 4.103: PERDA DE MASSA AO FOGO EM FUNÇÃO DO TEOR DE CZP DAS ARGAMASSAS_ SUBSTRATO_D1. ....</b>	<b>226</b>

## LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1: RESUMO DAS ESPECIFICAÇÕES DE TRAÇOS DE ARGAMASSAS UTILIZADOS NA ALVENARIA. ....	22
TABELA 2.2: RESUMO DAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS UTILIZADAS NA ALVENARIA.....	22
TABELA 2.3: INFLUÊNCIA DO <i>FLOW</i> , CONTEÚDO DO AR E PENETRAÇÃO DE ÁGUA.....	28
TABELA 3.1: CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DO CIMENTO PORTLAND CP II-F-32 - LOTE 05/2005. ....	58
TABELA 3.2: LAUDO TÉCNICO DA CAL CH-III, MARCA GULIN, LOTE 05/2005.....	59
TABELA 3.3: CARACTERIZAÇÃO DA CAL .....	59
TABELA 3.4: ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA AREIA.....	60
TABELA 3.5: ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA CINZA PESADA .....	61
TABELA 3.6: CARACTERÍSTICAS DA CINZA PESADA.....	62
TABELA 3.7: COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA CINZA PESADA .....	63
TABELA 3.8: COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS AGREGADOS UTILIZADOS NA PRODUÇÃO DOS BLOCOS	67
TABELA 3.9: CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DO CIMENTO PORTLAND CPV ARI-RS.....	67
TABELA 3.10: TRAÇO DAS ARGAMASSAS EM MASSA E EM VOLUME.....	69
TABELA 3.11: RELAÇÃO DOS MATERIAIS EM MASSA E EM VOLUME. ....	69
TABELA 3.13: RESUMO DA COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS PARA ENSAIO DE ESTANQUEIDADE. ....	90
TABELA 4.1: RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS .....	96
TABELA 4.2: PROPRIEDADES FÍSICAS DOS BLOCOS. ....	98
TABELA 4.3: VALORES MÉDIOS DA TAXA INICIAL DE ABSORÇÃO (IRA) DOS BLOCOS DE CONCRETO. ....	100
TABELA 4.4: VALORES MÉDIOS DA TAXA INICIAL DE ABSORÇÃO (IRA) DAS AMOSTRAS EXTRAÍDAS DE BLOCOS DE CONCRETO. ....	100
TABELA 4.5: VALORES MÉDIOS DA TAXA INICIAL DE ABSORÇÃO (IRA). ....	102
TABELA 4.7: VALORES MÉDIOS DA SORPTIVIDADE (S) PARA CADA GRUPO DE CADA SÉRIE DOS BLOCOS DE CONCRETO. ....	105
TABELA 4.8: VALORES MÉDIOS DA SORPTIVIDADE (S) PARA CADA GRUPO DE CADA SÉRIE DAS AMOSTRAS EXTRAÍDAS.....	105
TABELA 4.9: ESTOQUES DE LÍQUIDO INFILTRADO E ÂNGULO DE MOLHAMENTO APARENTE .....	112
TABELA 4.10: CONTEÚDO DE UMIDADE MÁSSICO EM FUNÇÃO DA UMIDADE RELATIVA DOS BLOCOS.....	113
TABELA 4.11: COEFICIENTES, PARÂMETROS E SUPERFÍCIE ESPECÍFICA DETERMINADOS ATRAVÉS DO MODELO GAB .....	115
TABELA 4.12: DADOS DA RETA QUE RELACIONA A CONDUTIVIDADE TÉRMICA COM O CONTEÚDO DE UMIDADE .....	117
TABELA 4.13: PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO E ENDURECIDO .....	118
TABELA 4.14: PROPRIEDADES FÍSICAS DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO .....	119
TABELA 4.15: OCORRÊNCIA DO FENÔMENO DE EVAPORAÇÃO DE ÁGUA NO ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE .....	123
TABELA 4.16: COEFICIENTE DE SORPTIVIDADE (S) DAS ARGAMASSAS .....	127
TABELA 4.17: ESTOQUES DE LÍQUIDO INFILTRADO E ÂNGULO DE MOLHAMENTO APARENTE .....	134
TABELA 4.18: CONTEÚDO DE UMIDADE MÁSSICO EM FUNÇÃO DA UMIDADE RELATIVA DAS ARGAMASSAS REVESTIDAS NO SUBSTRATO D1.....	135
TABELA 4.19: CONTEÚDO DE UMIDADE MÁSSICO EM FUNÇÃO DA UMIDADE RELATIVA DAS ARGAMASSAS REVESTIDAS NO SUBSTRATO D2.....	136
TABELA 4.20: RAIOS CRÍTICOS EM FUNÇÃO DA UMIDADE RELATIVA (T=50°C).....	138

<b>TABELA 4.21: COEFICIENTES, PARÂMETROS E SUPERFÍCIE ESPECÍFICA DETERMINADOS ATRAVÉS DO MODELO GAB .....</b>	<b>139</b>
<b>TABELA 4.22: DADOS DA RETA QUE RELACIONA A CONDUTIVIDADE TÉRMICA COM O CONTEÚDO DE UMIDADE .....</b>	<b>142</b>
<b>TABELA 4.23: DADOS DA RETA QUE RELACIONA A PERCENTAGEM DA MANCHA DE UMIDADE COM A RAIZ DO TEMPO .....</b>	<b>172</b>
<b>TABELA 4.24: PERCENTUAL DE MANCHAS DE UMIDADE NA FACE NÃO REVESTIDA APÓS 7 HORAS DE ENSAIO .....</b>	<b>179</b>
<b>TABELA 4.25: CONTEUDO DE UMIDADE DAS PAREDES NO FINAL DO ENSAIO. ....</b>	<b>190</b>
<b>TABELA 4.26: RESULTADOS MÉDIOS DA VARIAÇÃO DE TEMPERATURA OBTIDOS PELA IMAGEM POR INFRAVERMELHO .....</b>	<b>219</b>
<b>TABELA 4.27: RESULTADOS MÉDIOS DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DAS ARGAMASSAS APLICADAS SOBRE BLOCOS DE CONCRETO, AOS 9 MESES DE IDADE. ....</b>	<b>220</b>
<b>TABELA 4.28: PERDA DE MASSA AO FOGO TOTAL .....</b>	<b>223</b>

**LISTA DE FOTOS**

FOTO 3.1 - PROCESSO FABRICAÇÃO DOS BLOCOS DE CONCRETOS PRODUZIDOS NA TONIOLO.....	66
FOTO 3.2 - ESQUEMA UTILIZADO PARA A REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE IRA E ABSORÇÃO DE ÁGUA AO LONGO DO TEMPO.....	72
FOTO 3.3 - ESQUEMA GERAL DE PROCESSO DE REALIZAÇÃO DOS PAINÉIS PARA EXTRAÇÃO AMOSTRA.....	75
FOTO 3.4 - APARATO EXPERIMENTAL DO ENSAIO DE ADSORÇÃO .....	79
FOTO 3.5 - APARATO EXPERIMENTAL DO ENSAIO DE CAPILARIDADE.....	80
FOTO 3.6 - PROCEDIMENTO UTILIZADO PARA UMEDECER AS AMOSTRAS PARA A CALIBRAÇÃO DA Sonda.....	82
FOTO 3.7 - Sonda UTILIZADA PARA A DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA.....	83
FOTO 3.8 - PROCESSO DE REALIZAÇÃO DE ENSAIO DE ESTANQUEIDADE .....	88
FOTO 3.9 - MONITORAMENTO DE HR E TEMPERATURA NO INTERIOR ATRAVÉS DE HOBOS .....	89
FOTO 3.10 - PROCESSO DE FABRICAÇÃO E ARMAZENAMENTO DAS PAREDES .....	92
FOTO 4.25 – MANCHA DE UMIDADE NO FINAL DO ENSAIO DE CADA PAREDE AVALIADA DO SUBSTRATO D1 .....	177
FOTO 4.26 – MANCHA DE UMIDADE NO FINAL DO ENSAIO DE CADA PAREDE AVALIADA DO SUBSTRATO D2 .....	178

**LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS E ABREVIATURAS**

<b>0%CZP</b>	<b>Argamassa com 0% de cinza pesada em substituição a areia</b>
<b>0%CZP+IA</b>	<b>Argamassa com 0% de cinza pesada em substituição a areia e com aditivo incorporador de ar</b>
<b>100%CZP</b>	<b>Argamassa com 100% de cinza pesada em substituição a areia</b>
<b>100%CZP+IA</b>	<b>Argamassa com 100% de cinza pesada em substituição a areia e com aditivo incorporador de ar</b>
<b>50%CZP</b>	<b>Argamassa com 50% de cinza pesada em substituição a areia</b>
<b>50%CZP+IA</b>	<b>Argamassa com 50% de cinza pesada em substituição a areia e com aditivo incorporador de ar</b>
<b>a/c</b>	<b>relação a/c</b>
<b>ABNT</b>	<b>Associação Brasileira de Normas Técnicas</b>
<b>ASTM</b>	<b>American Society for Testing and Materials</b>
<b>BET</b>	<b>Modelo desenvolvido por Brunauer, Emmetr e Teller em 1938</b>
<b>CV</b>	<b>Coeficiente de variação</b>
<b>CZP</b>	<b>Cinza pesada</b>
<b>EDX</b>	<b>Espectometria de Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva</b>
<b>GAB</b>	<b>Modelo desenvolvido por Guggenheim, Anderson e De Boer</b>
<b>IA</b>	<b>Aditivo incorporador de ar</b>
<b>IRC</b>	<b>Institute for Research Construction</b>
<b>MEWS</b>	<b>Moisture Management for Exterior Walls</b>
<b>NBR</b>	<b>Norma Brasileira de Referência</b>
<b>NMR</b>	<b>Ressonância Nuclear Magnética</b>
<b>NRCC</b>	<b>National Research Council of Canada</b>
<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Coeficiente de correlação</b>
<b>RILEM</b>	<b>Réunion International des Laboratoires D'Essais et Matériaux</b>
<b>SC</b>	<b>Santa Catarina</b>
<b>UFSC</b>	<b>Universidade Federal de Santa Catarina</b>
<b>IRA</b>	<b>Taxa Inicial de Absorção</b>
<b>CH-I</b>	<b>Cal hidratada tipo I</b>
<b>CP II-F-32</b>	<b>Cimento Portland composto de clínquer + sulfato de cálcio e material carbonático</b>
<b>Ra</b>	<b>Retenção de água</b>
<b>D1</b>	<b>Serie de blocos mais densa</b>
<b>D2</b>	<b>Serie de blocos menos densa</b>

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\theta$	<b>Teor de umidade</b>
$\psi$	<b>Sucção Capilar</b>
$\delta_p$	<b>Permeabilidade de vapor de água (kg/s.m.Pa)</b>
$\delta_v$	<b>Permeabilidade de umidade em relação ao teor de vapor de água v (kg/m<sup>3</sup>).</b>
$\psi_0$	<b>Porosidade Aberta</b>
$\eta$	<b>Coefficiente de viscosidade dinâmica [N.s/m<sup>2</sup>]</b>
$\alpha_e$	<b>Ângulo de molhamento aparente,</b>
$\mu_e$	<b>Viscosidade dinâmica da água,</b>
$\mu_a$	<b>Viscosidade dinâmica do álcool,</b>
$\sigma_e$	<b>Tensão superficial água-ar,</b>
$\sigma_a$	<b>Tensão superficial álcool-ar,</b>
$\rho$	<b>Massa Específica</b>
$\rho_l$	<b>Densidade da água (kg/m<sup>3</sup>)</b>
$\square$	<b>Porosidade aberta do material</b>
$\sigma$	<b>Tensão superficial água-ar</b>
$\phi_l$ - $\phi_v$	<b>Potenciais correspondente ao líquido e vapor</b>
$\Lambda$	<b>Condutividade térmica aparente (W/m.K)</b>
$\rho_l \square$	<b>Massa específica da água (kg/m<sup>3</sup>)</b>
$\rho_s$	<b>Massa específica aparente do material seco</b>
<b>A</b>	<b>Área da seção transversal do corpo-de-prova</b>
<b>A'</b>	<b>Inclinação da reta que relaciona a temperatura com o logaritmo neperiano do tempo entre os instantes t<sub>1</sub> e t<sub>2</sub></b>
<b>A</b>	<b>Área do bloco em contato com a lâmina de água (cm<sup>2</sup>).</b>
<b>dh/ds</b>	<b>Gradiente de potencial hidráulico</b>
<b>D</b>	<b>Diâmetro do poro</b>
<b>D<sub>w</sub></b>	<b>Coefficiente de difusividade do vapor de água com relação ao conteúdo de umidade w (kg/m<sup>3</sup>) como massa por volume de material seco - (m<sup>2</sup>/s)</b>
<b>D<sub>u</sub></b>	<b>Coefficientes de difusividade do vapor de água com relação ao conteúdo de umidade u (kg/kg) como massa por massa de material seco - (m<sup>2</sup>/s)</b>
<b>h</b>	<b>Umidade relativa</b>
<b>H</b>	<b>Altura da mancha capilar</b>
<b>IRA</b>	<b>= Taxa inicial de absorção de água livre (g/194cm<sup>2</sup>/min);</b>
<b>i</b>	<b>= volume de água absorvida por unidade de área (mm<sup>3</sup>/mm<sup>2</sup>);</b>

<b>K</b>	<b>Condutividade hidráulica (kg/s.m.pa)</b>
<b>M</b>	<b>Massa Molecular [g/mol]</b>
<b>mu</b>	<b>Massa úmida (g);</b>
<b>ms</b>	<b>Massa seca (g);</b>
<b>msats</b>	<b>Massa da amostra saturada de água (kg)</b>
<b>ms</b>	<b>Massa da amostra seca (kg)</b>
<b>msat_imersa</b>	<b>Massa da amostra saturada de água imersa (kg).</b>
<b>m(t)</b>	<b>Massa do corpos-de-prova num determinado instante,</b>
<b>ms</b>	<b>Massa do corpos-de-prova seco em estufa,</b>
<b>p/pg</b>	<b>Pressão da água nos meniscos capilares</b>
<b>P</b>	<b>Pressão (N/m<sup>2</sup>)</b>
<b><math>P_c</math></b>	<b>Pressão Capilar</b>
<b><math>p_v</math></b>	<b>Pressão de vapor de água parcial (Pa).</b>
<b><math>P_{suc}</math></b>	<b>Pressão por sucção (Pa).</b>
<b><math>P_0</math></b>	<b>Pressão do vapor</b>
<b><math>P_1</math></b>	<b>Pressão do líquido</b>
<b>q</b>	<b>Densidade de fluxo ou o volume de água por unidade de área e de tempo - (m/s)</b>
<b><math>g_i</math></b>	<b>Fluxo de água (kg/s.m<sup>2</sup>),</b>
<b><math>g_v</math></b>	<b>Pressão de vapor de água parcial como potencial</b>
<b>R</b>	<b>Constante Universal dos gases perfeitos [J MOL<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>]</b>
<b>r</b>	<b>Raio do poro</b>
<b><math>r_1</math></b>	<b>Raios principal da Curvatura</b>
<b><math>r_2</math></b>	<b>Raios principal da Curvatura</b>
<b><math>r_c</math></b>	<b>Raio crítico (m)</b>
<b><math>R_m</math></b>	<b>Resistência elétrica por unidade de comprimento (<math>\Omega/m</math>)</b>
<b><math>R_x</math></b>	<b>Raios de curvatura principal</b>
<b>S</b>	<b>Coordenada em qualquer posição, x,y ou z</b>
<b>S</b>	<b>Coeficiente de absorção de água, “sortividade” (mm.min<sup>-1/2</sup>);</b>
<b>Sa</b>	<b>Inclinação da reta que relaciona a absorção de água infiltrada (St) com a raiz do tempo (álcool)</b>
<b>Se</b>	<b>Inclinação da reta que relaciona a absorção de água infiltrada (St) com a raiz do tempo (água)</b>
<b>Se</b>	<b>Superfície específica (m<sup>2</sup>/g)</b>
<b>S(t)</b>	<b>Estoque de líquido infiltrado</b>
<b>Sw</b>	<b>Grau de saturação</b>
<b>T</b>	<b>Temperatura</b>
<b>t</b>	<b>Tempo</b>

<b><math>T_s</math></b>	<b>Temperatura na sonda em função do tempo</b>
<b>V</b>	<b>Volume de água na amostra</b>
<b>V<sub>w</sub></b>	<b>Volume de água absorvido por capilaridade</b>
<b>W</b>	<b>Conteúdo de umidade mássico (%)</b>
<b>W<sub>m</sub></b>	<b>Conteúdo de umidade mássico correspondente a formação de uma camada molecular sobre a parede do poro (Kg/Kg)</b>
<b>W<sub>sat</sub></b>	<b>Conteúdo de umidade mássico na saturação</b>
<b>x</b>	<b>Profundidade de penetração da água no material</b>
<b>X</b>	<b>Volume do líquido absorvido por área da seção transversal do corpo-de-prova</b>
<b><math>X_1(t)</math></b>	<b>Posição da frente úmida por ascensão capilar</b>
<b><math>X_2(t)</math></b>	<b>Infiltração ou profundidade de penetração</b>
<b>Z</b>	<b>Energia potencial gravitacional</b>

## **RESUMO**

A análise dos fenômenos que intervêm na transferência de umidade no interior dos materiais de construção tem uma grande importância para a caracterização de seu comportamento no que se refere à estanqueidade de paredes à água de chuva.

O presente trabalho propôs-se apresentar a avaliação das propriedades físicas – higrotérmicas dos elementos constituintes de paredes (argamassa de revestimento, blocos) que influenciam no transporte de umidade que permitirá traduzir a interação da água - sólido para todo o domínio de atividade da água com o objetivo de introduzir novos parâmetros de caracterização que contribuam no entendimento sobre o desempenho à estanqueidade exigido para paredes das edificações, uma vez que o procedimento estabelecido na presente norma prevê uma identificação de parâmetros meramente qualitativos.

Neste estudo foi realizada uma primeira fase a caracterização das propriedades dos materiais constituintes como: a porosidade aberta, as isotermas de adsorção, o ângulo de molhamento, absorção capilar e condutividade térmica para seis tipos de argamassas com cinza pesada; a taxa inicial de absorção, a absorção de água livre ao longo do tempo analisando a sorptividade no caso de dois tipos de blocos de concreto com diferentes densidades e ensaios de capilaridade e uma segunda fase de avaliação do desempenho à estanqueidade utilizando sensores de umidade e temperatura (Hobbos) assim como técnica de obtenção de imagem através de termografia de infravermelho como na alvenaria para avaliar a cinética de evolução da umidade.

Como resultados foram obtidos o grau correlação dos parâmetros físicos e higrotérmicos das argamassas de revestimento e do bloco assim como a influencia da estrutura porosa dos materiais, a importância dos diversos fenômenos no processo de migração de água com o ensaio de penetração de água nas paredes, contribuindo para estimativa do comportamento das paredes a serem ensaiadas e à introdução de novos parâmetros quantitativos de avaliação no ensaio da estanqueidade.

**Palavras-chave:** estanqueidade, argamassa, cinza pesada, incorporador de ar, umidade, propriedades higro-físicas.

## **ABSTRACT**

The analysis of the phenomena that intervene in the transference of moisture in the interior of the building materials has a big importance for the characterization of his behavior in what refers to the water penetration of walls to the water of rain.

The present work proposed be presented the evaluation of the physical – hygrothermal property of the constituent elements of walls (mortar of coating, blocks) that influence in the transport of moisture that will permit to translate the interaction of the water - solid for all the domain of activity of the water with the objective of introduce new parameters of characterization that contribute in the understanding about the performance to the water penetration required for walls of building. The procedure established in the present norm predicted an identification of merely qualitative parameters.

In this study was carried out a first phase the characterization of the property of the constituent material as: to open porosity, the water vapor sorption isotherms, the apparent wetting angle, water absorption by capillarity and thermal conductivity for six kinds of mortars with bottom ashes and with air-entraining agent; the initial rate of absorption, the absorption of free water to the long one of the time analyzing to sorptividade in case of two concrete blocks kinds with density different and a second phase of evaluation of the performance to the water penetration utilizing sensors of moisture and temperature (Hobbos) as well as image obtaining technique through thermo graphic of infrared as in the masonry for evaluate to kinetic of evolution of the moisture.

As results were obtained the rank of correlation of the physical parameters and hygrothermal of the mortars of coating and of the block as well as it influences of the porous structure of the materials, the importance of the diverse phenomena in the water migration with the water penetration essay in the walls, contributing for estimate of the behavior of the walls it will be practiced and to the water penetration.

Keywords: water penetration, mortar, bottom ashes, air-entraining agent, moisture, physical – hygrothermal property.

---

# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUÇÃO**

### **1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA E JUSTIFICATIVA**

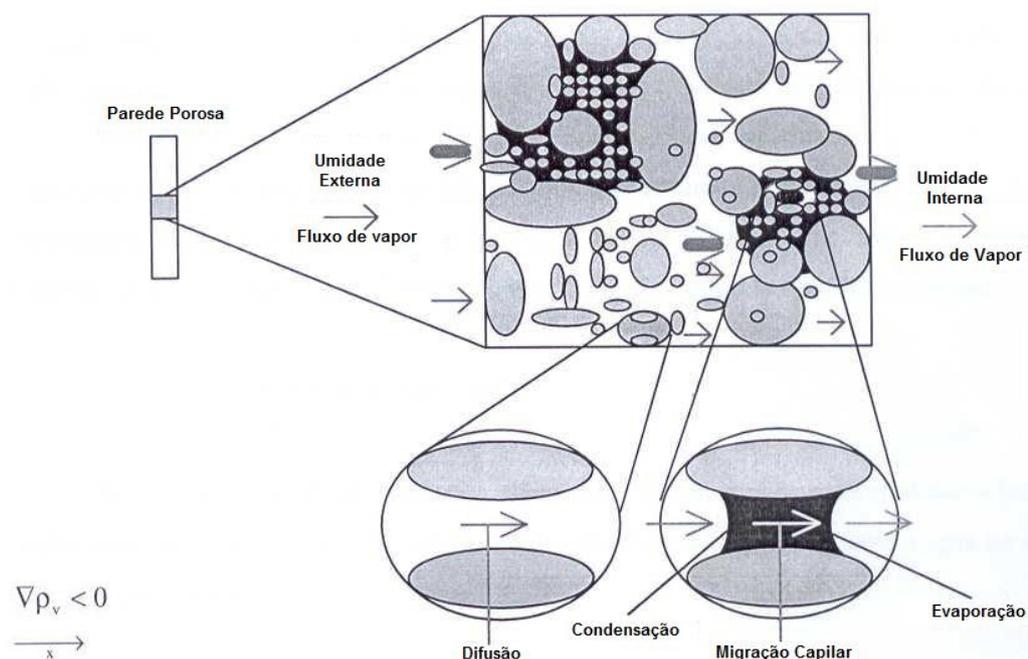
As paredes das edificações são constituídas por materiais com estrutura porosa que se encontram constantemente submetidos a diversos fenômenos físicos e/ou combinações deles:

- Infiltração de água da chuva incidente seguida de redistribuição e evaporação simultânea;
- Absorção capilar de água do solo em paredes e fundações;
- Condensação intersticial de água em paredes interiores;
- Adsorção e dessorção de umidade atmosférica segundo as condições higrotérmicas;
- Mudanças de fase da água no interior das paredes em função de variações de temperatura e de pressão de vapor provocam fenômenos de evaporação, difusão de vapor, condensação ou mesmo congelamento, que podem alterar a transmitância térmica da parede. (MEROUNI, 1987).

Esses fenômenos provocam a transferência e fixação de umidade (água líquida e vapor) através da sua estrutura. Conforme KILLIP e CHEETHAM (1984) *apud* SELVARAHAJ e JOHNSTON (1995), 50 % dos defeitos associados a uma construção são por causa da umidade e 54 % desses defeitos são causados pela transferência de água. Proprietários, construtores, arquitetos e pesquisadores têm investido, por muitos anos, consideráveis esforços em pesquisas de laboratório e estudos de campo para resolver o problema.

MENDES (1997) salienta que os fenômenos de fixação e transferência em meios porosos precisam de uma análise com abordagem microscópica, para melhor compreensão física, e, para conseguir compreender estes fenômenos, são feitas divisões dos processos.

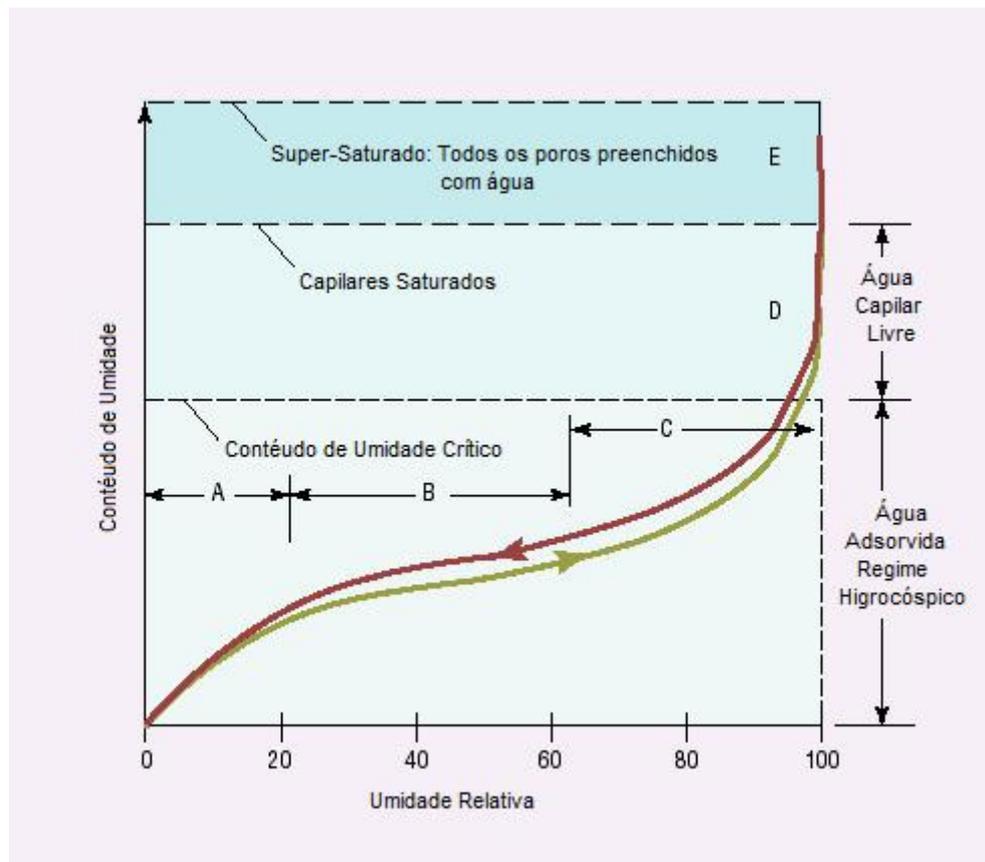
Na Figura 1.1, são apresentados os processos de fixação e transporte de umidade em uma estrutura porosa. Como apresentado na figura, existem poros preenchidos e outros não preenchidos com água, em função do conteúdo de umidade. Nos poros preenchidos, ocorre transferência de vapor por difusão, enquanto nos não preenchidos a transferência de líquido se dá por condensação, migração capilar e evaporação.



**Figura 1.1: Transferência de umidade em uma parede porosa. (MENDES, 1997)**

Do ponto de vista físico, podem-se prever três mecanismos de transferência de umidade: adsorção, condensação e capilaridade. Estes mecanismos permitem explicar, em muitos casos, a variação no teor de umidade dentro de materiais de construção porosos (RESENDE e

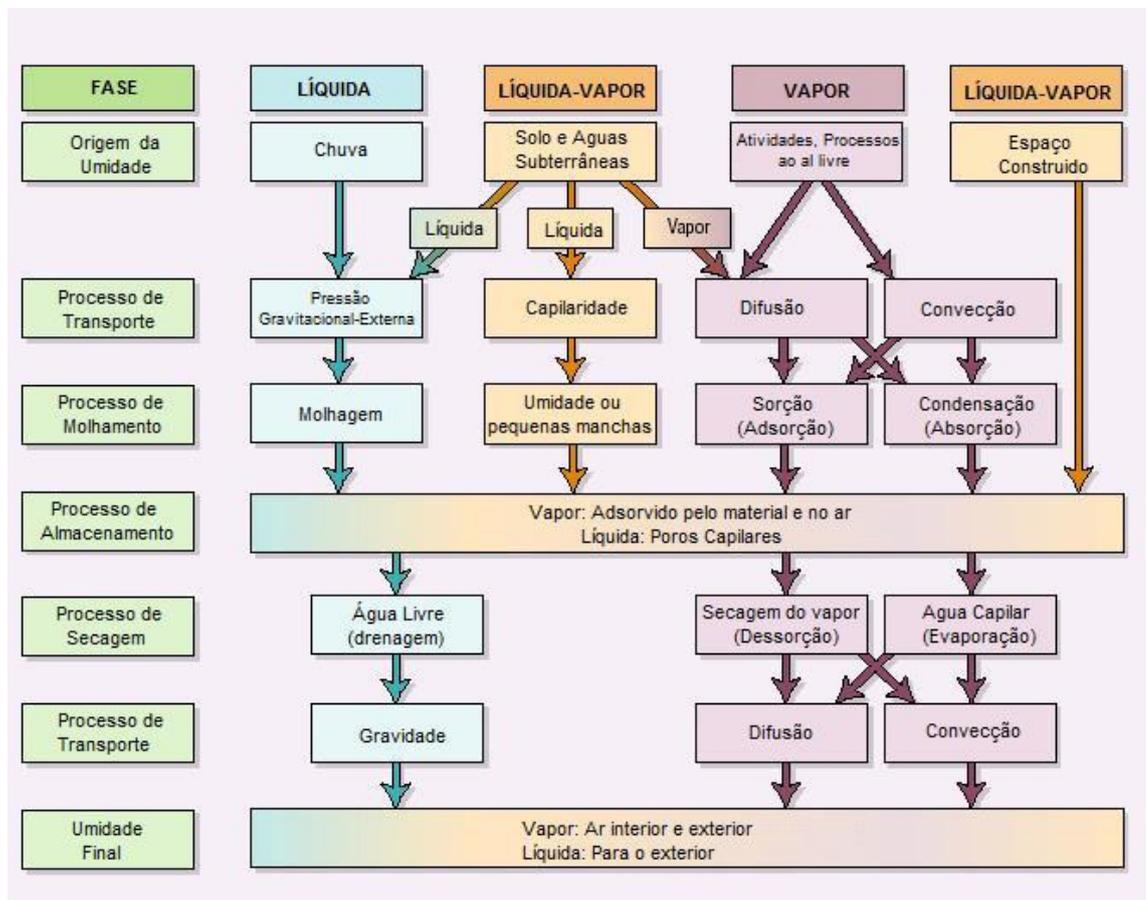
DEMARZO, 2000; FREITAS, 1996). STRAUBE (2002) comenta que os três regimes de migração de umidade são: a adsorção ou o regime higroscópico (regiões A-C), o regime capilar (D) e o regime supersaturado (E). Por meio destes, é possível verificar que o conteúdo de umidade varia primeiramente com a umidade relativa e não com a umidade absoluta. Estes regimes de fixação de umidade estão esquematizados na Figura 1.2.



**Figura 1.2: Os três regimes de fixação da umidade.**  
(Fonte: STRAUBE, 2002)

De acordo com CHEW (2001), durante a chuva torrencial, cinco forças principais influenciam na penetração de umidade: força capilar, força cinética, diferença de pressão, tensão superficial e gravidade. A força cinética e a tensão superficial dependem da aplicação de água, e as restantes das propriedades do material. Os mecanismos de transporte de umidade e processos de molhagem e secagem são muito complexos e, geralmente, na sua investigação, não são levados consideração todos ao mesmo tempo, ou de modo a simplificar as análises.

STRAUBE (2002) apresentou um esquema no qual são relacionados todos os mecanismos e fenômenos que envolvem as fases de molhagem e secagem numa edificação, para cada uma das três fases da água. Que de modo resumido, são mostrados na Figura 1.3.



**Figura 1.3: Molhagem, secagem e armazenagem de umidade dentro de uma edificação. (Fonte: STRAUBE, 2002)**

Entender as causas e mecanismos da penetração de água na alvenaria permite aos especialistas um melhor diagnóstico e a solução de problemas, antes que danos severos ocorressem, e, para uma melhor compreensão do fenômeno da umidade, é necessário que se tenha conhecimento da estrutura, assim como das propriedades dos elementos constituintes da edificação.

Neste contexto geral, a presente pesquisa visa caracterizar o comportamento dos fenômenos físicos e propriedades que intervêm na transferência de umidade dos materiais constituintes de protótipos confeccionados com cinza pesada, com o intuito de incorporar novos parâmetros na avaliação do desempenho à estanqueidade.

Para tanto, a pesquisa apresentada desenvolveu dois tipos de materiais: uma argamassa de revestimento, desenvolvida com cinza pesada, e a mesma composição usada com o uso de um aditivo incorporador de ar, aplicados em dois tipos de substratos.

Estabeleceu-se um material de referência constituído pela argamassa com uso de areia normal, e foram usadas substituições da areia pela cinza pesada como agregado nas argamassas. A cinza pesada em material à base de cimento Portland é um material pouco aplicado como agregado e estudado do ponto de vista dos fenômenos hídricos.

A presença do aditivo incorporador de ar junto com a cinza pesada teve por finalidade trazer uma característica para mudança na estrutura porosa da argamassa de revestimento. Os dois revestimentos diferem entre si em função da estrutura porosa final. Para o revestimento, foram adotados dois tipos de substratos formados por blocos de concreto confeccionados com vibroprensagem em tempos diferentes, assegurando uma série de maior densidade e outra série menos densa.

A abordagem metodológica adotada consistiu em submeter de modo sistemático os sistemas de revestimentos às mesmas caracterizações e ensaios e em conduzir uma análise comparativa dos resultados obtidos.

Procurou-se estabelecer a ligação entre as diversas observações e medições efetuadas:

- caracterização da estrutura porosa;
- condensação de umidade nas condições de equilíbrio;
- fenômeno de migração de água nas condições de molhagem;
- estanqueidade à água de chuva.

Para cada material, foi examinada a influência da sua estrutura porosa sobre o comportamento respectivo da presença de água e a importância relativa dos diversos fenômenos: adsorção e capilaridade, migração e fixação de água.

## **1.2 ABORDAGEM GERAL DO PROBLEMA**

As edificações são constituídas de materiais de construção que apresentam uma estrutura interna porosa, havendo, no seu interior, ar e água em suas diferentes fases. Desta forma, as paredes são submetidas a gradientes de temperatura e conteúdo de umidade. Nestes materiais ocorrem fenômenos de transferência de calor e de umidade que atuam simultaneamente e são interdependentes.

Os fenômenos de transferência e fixação de umidade são fortemente dependentes do complexo aspecto morfotopológico do espaço poroso. Os poros, espaços livres distribuídos no interior da estrutura sólida, caracterizam a permeabilidade do meio, permitindo o escoamento de fluidos (MENDES, 1997).

O estudo dos fenômenos e mecanismos da transferência de umidade no interior das paredes de uma edificação é relevante para a caracterização do desempenho relacionado com a durabilidade, a estanqueidade e o desempenho térmico. Três mecanismos fundamentais de migração de umidade, do ponto de vista físico, são considerados: adsorção, condensação e capilaridade, que não podem ser dissociados e se juntam à ação da gravidade e das pressões exteriores, o que torna complexo o estudo e a modelação do movimento da água como um todo no interior dos materiais de construção. É ainda mais complexo quando se avalia elementos de construção - caso das paredes que são constituídas de duas ou mais camadas, onde aparece o problema da interface, com suas diferentes configurações (FREITAS, 1992).

### **1.2.1 SÉRIE HISTÓRICA DE DIFERENTES MODELOS TEÓRICOS DE TRANSFERÊNCIA DE UMIDADE**

CHEN (2004) aponta que, afetado pela estrutura porosa, pelos gradientes de temperatura e umidade, bem como pelas características do meio ambiente, o transporte de umidade e calor em materiais de construção porosos é extremamente complexo. RICHARDS (1931) estabeleceu a equação do fluxo em materiais porosos não-saturados, baseando-se na lei de Darcy e no princípio do movimento contínuo.

PHILIP e DE VRIES (1957) desenvolveram um modelo de migração da umidade com perfis de temperatura não homogêneos, assumindo-se que o transporte de umidade era afetado pelo gradiente da temperatura. No processo de migração da umidade e do calor, os gradientes de temperatura, umidade e pressão, forças motrizes principais desta migração em meios porosos não saturados, atuam simultaneamente e são interdependentes (LUIKOV, 1975).

Devido à complicada estrutura dos materiais de construção porosos, encontrou-se dificuldade para avaliar os micro-fenômenos. Conseqüentemente, com o objetivo de descrever a continuidade da porosidade e dos outros parâmetros em meios porosos não-saturados, modelos foram desenvolvidos usando-se o método de volume elementar representativo (WHITAKER, 1977 e BEAR e BENSABAT, 1991).

Em virtude da evaporação da água, ocorrem mudanças de fase em materiais porosos não-saturados, que influenciam as propriedades de transporte. Estudos dos coeficientes de migração em relação à temperatura e ao volume do conteúdo de umidade foram desenvolvidos por SHAH (1984). Medidas de fluxo constante da difusividade da umidade em meios porosos não-saturados foram estudadas por RICHARDS (1994).

Em uma série de artigos, GUMMERSON *et al.* (1977) (1980), (1981), WILSON e HOFF (1994) analisaram o movimento da água em materiais de construção porosos não-saturados mediante a teoria de fluxo e verificaram comportamentos da absorção capilar da água para diferentes materiais de construção e estruturas. Diferentes mecanismos de transporte da umidade e alguns fenômenos interfaciais em materiais porosos foram investigados por FREITAS *et al.* (1996) usando a teoria de LUIKOV (1975) e PHILIP e DE VRIES (1957). *O comportamento de difusão dinâmico*, em elementos de alvenaria do edifício com três camadas, baseado em um modelo constante unidimensional, foi analisado por TAYLOR *et al.* (1996). Mais recentemente, parâmetros higrotérmicos das edificações foram estudados teórica e experimentalmente por WYRWAL (2002) e CHENA (2003). Todos estes trabalhos são um resumo das investigações precedentes, mas os coeficientes fenomenológicos da migração não foram ainda definidos devido à complexidade de processos da migração do calor e da umidade em materiais porosos.

O conhecimento dos mecanismos de transferência de umidade, como também do comportamento hídrico dos materiais que compõem as paredes, é importante para o estabelecimento de estratégias que atenuem os problemas de degradação destes materiais, além de melhorar as condições de conforto e higiene dos usuários da habitação.

Com o desenvolvimento de novos materiais alternativos e a valorização de resíduos como fonte secundárias de matérias-primas em aplicações voltadas para revestimentos externos, vê-se a importância em desenvolver estudos que avaliem o comportamento dos novos produtos, em relação à estanqueidade e aos fenômenos, e no entendimento dos mecanismos que influenciam na penetração de água.

Um dos desafios relacionados ao emprego das cinzas em materiais cimentícios está na avaliação de sua capacidade de retenção e de perda de água, que afetará os produtos com ela desenvolvidos. Segundo ROGBECK e KNUTZ (1996), o potencial de retenção de água pela absorção das cinzas ainda não foi determinado com precisão, e testes indicam que a cinza obtida da queima de carvão mineral tem uma capacidade relativamente grande de absorção de água, resultando num aumento da densidade com o tempo. A penetração de água no interior dos poros das partículas de cinzas provavelmente pode ter uma influência no comportamento hídrico dos materiais confeccionados com o aproveitamento deste subproduto.

## **1.3 APRESENTAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DAS CINZAS**

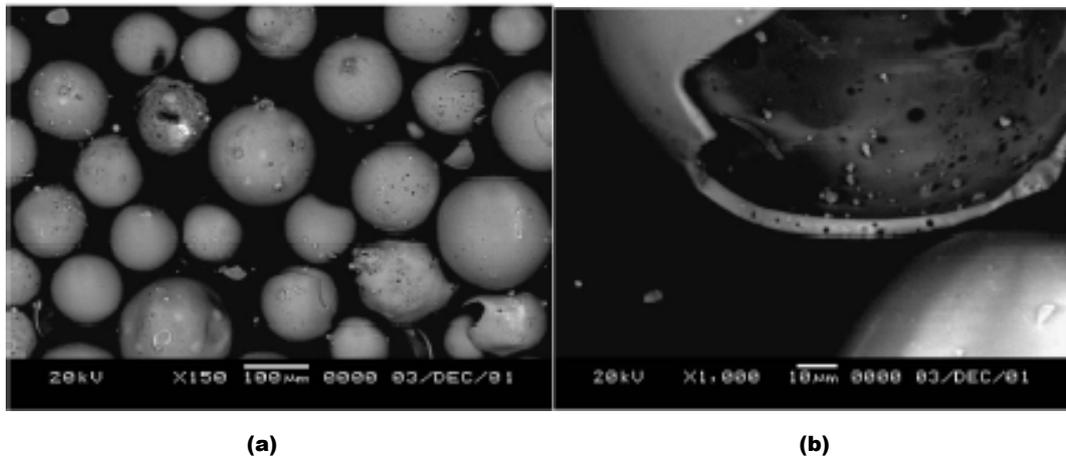
### **1.3.1 CINZAS DE CARVÃO MINERAL**

Nos últimos tempos, o aproveitamento de resíduos na indústria da construção civil tem adquirido uma grande importância. Estão sendo desenvolvidas pesquisas, na busca por novos materiais construtivos com resíduos incorporados, como, por exemplo: cinza de carvão mineral como alternativa para a redução do volume de extração de matérias-primas, conservação de matérias-primas não renováveis, redução de consumo de energia, redução das emissões de poluentes como CO<sub>2</sub>, melhoria da saúde e segurança da população (ENBRI, 1994).

As cinzas de carvão mineral são subprodutos originados da combustão de carvão mineral. Da queima do carvão, são gerados três principais resíduos, que são: cinza leve, cinza pesada e escória. Conforme ANDRADE (2004), vários autores mostraram os efeitos benéficos das cinzas encontradas nos seus estudos experimentais sobre a utilização deste resíduo de carvão mineral - cinza leve e pesada - em materiais cimentícios. Eles ressaltam que estes efeitos não se traduzem somente pelo benefício técnico-econômico, quando o resíduo é aplicado em argamassa ou concreto, mas também fazem uma menção ao fator positivo da diminuição dos impactos ambientais inerentes ao processo de geração e, conseqüentemente, à deposição final.

Segundo SILVA *et al.* (1997) *apud* POZZOBON (1999), 30% dos resíduos da combustão do carvão consumidos no mundo são aplicados em produtos de concreto e fabricação de cimento. Atualmente, devido à grande disponibilidade de cinza leve em todo o mundo, esta pozolana artificial é empregada em maior quantidade na fabricação de cimento Portland composto, como substituição parcial do clínquer, e na produção de concretos e argamassas, como substituição parcial do cimento (RANGANAT *et al.*, 1998).

Em pesquisa desenvolvida por BARBARE *et al.* (2003) tem-se que as cinzas leves obtidas de termelétricas são constituídas de microesferas ocas de silicato – alumínio. Os diâmetros destas micro-esferas variam de 10 a 300 µm, apresentando normalmente uma espessura de parede interna de 5-10% deste diâmetro. A Figura 1.4 mostra, na imagem obtida por microscopia eletrônica de varredura, o tamanho, natureza oca e sua textura porosa.



**Figura 1.4: Micrografia das cenosferas que indicam o interior poroso/superfícies exteriores. (b) Uma seção de paredes porosas e finas de uma cenosfera quebrada BARBARE *et al.* (2003)**

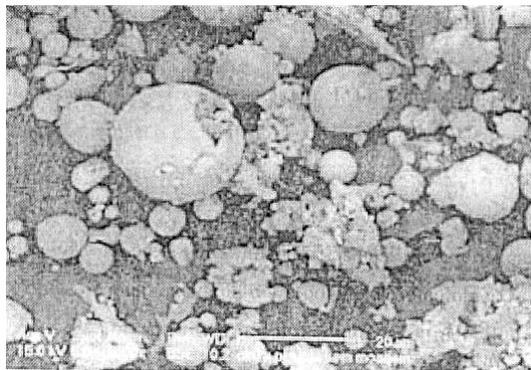
Estas cenosferas têm uma massa específica de 0,67 e uma densidade de  $375 \text{ kg/m}^3$ . Sua composição química é primeiramente sílica (65%) e alumina (30%), com algumas quantidades de óxido de Fe, CA, K e Ti. Como constituinte em materiais compostos, estas cenosferas têm enorme potencial para reduzir a densidade, melhorar a isolamento, melhorar a resistência de impacto e reduzir os efeitos por retração e empenamento (BERRY *et al.*, 1986; ROHATGI *et al.* 1995; WANDELL, 1996 *apud* BARBARE, 2003). A maior vantagem apresentada em comparação com outros compostos está em sua baixa densidade (BLANCO *et al.*, 2000; LILKOV *et al.*, 1999; KOLAY e SINGH, 2001 *apud* BARBARE, 2003).

Experiências são detalhadas por BARBARE *et al.* (2003) monitorando a absorção e perda da umidade nas cenosferas (composto presente na cinza) e areia, como também quando estas são incorporadas ao concreto. A absorção de umidade por cenosferas foi significativamente maior do que a areia, em função da natureza porosa das cenosferas. Em experiências durante a secagem, as cenosferas, assim como a areia, mostram um comportamento clássico: um período de secagem em regime constante que é seguido pelo período de queda linear. O tamanho de poros efetivo para a penetração da água no concreto normal é mais do que o concreto leve com cenosferas incorporadas, mas são ambos na ordem de 1 nm.

Estes valores indicam que os poros não estão conectados, levando a uma baixa permeabilidade. O concreto leve com cenosferas tem um índice de umidade mais elevado do que o concreto convencional. Entretanto, o concreto convencional seca mais rapidamente do que o concreto com cenosferas.

Já a cinza pesada é freqüentemente usada como um substituto de baixo custo em areias para produção de blocos de concreto, e, em muitos países, ela é usada como base em construção de estradas (CHERIAF, 1999).

A utilização da cinza pesada é determinada pelas suas características físicas, tais como: granulometria, efeito *filler*, pozolanicidade tardia e potencial de coloração. A forma grosseira e vítrea faz da cinza pesada um substituto ideal do agregado natural (CHERIAF, 1999) (Vide Figura 1.5).



**Figura 1.5: Micrografia eletrônica de varredura de grãos de cinza pesada.**  
**Fonte: CHERIAF *et al.* (1999)**

LENZI (2001) avaliou 15 argamassas mistas utilizando o traço 1: 2: 9 (em volume) para revestimento, em que variou o teor de substituição do cimento por cinza leve (20, 30, 40 e 50 % em volume) e o teor de substituição de areia por cinza pesada (0, 50 e 100 % em volume). A relação água/cimento foi fixada em função da consistência ( $255 \pm 10$  mm). A demanda de água aumentou com o aumento dos teores de cinza pesada, levando a uma massa específica reduzida (até 28 %) e ao aumento da exsudação e da absorção de água. Por outro lado, houve um aumento considerável na resistência à compressão a partir de 28 dias, juntamente com a identificação de atividade pozolânica entre a sílica amorfa da cinza e o hidróxido de cálcio da cal.

Pesquisas internacionais desenvolvidas por KULA *et al.* (2002), MALHOTRA *et al.* (2002), HANERARA *et al.* (2001), PANDEY e SHARMA (2000) apontam o emprego de cinzas em bases ou materiais cimentícios e as nacionais por SANTOS (2006), SILVEIRA *et al.* (2004) ANDRADE (2004), MARGON (2002), MUSTELIER (2002), KREUZ (2002), LENZI (2001), POZZOBON (1999) e PIAZZA e RUI (1999) propõem a utilização da cinza pesada em substituição da areia para a confecção de argamassa e de concreto. Tais pesquisas apresentam resultados satisfatórios relacionados às suas propriedades no estado fresco e endurecido, mas não em relação a seu desempenho à estanqueidade, comportamento hídrico e aos fatores que intervêm ou influenciam na penetração de água em paredes.

Os resultados exibidos demonstraram o potencial de uso das cinzas como matéria-prima na fabricação de materiais e elementos de concreto, tanto pelo desempenho mecânico dos elementos fabricados quanto pela disponibilidade das cinzas geradas no complexo de Jorge Lacerda localizado no município de Capivari de Baixo, Estado de Santa Catarina.

Atualmente, as normas estabelecidas para a análise do ensaio de estanqueidade são meramente qualitativas. Por isso, esta pesquisa propõe a avaliação dos fenômenos físicos, mecanismos e fatores que influenciam no processo de transferência de umidade em paredes com argamassas com cinzas de carvão mineral incorporadas na sua composição, com o objetivo de trazer novos parâmetros que permitam um estudo aprofundado sobre este requisito de avaliação de desempenho, assim como caracterizar novos materiais alternativos.

Dos fundamentos apresentados anteriormente, pode ser concluído que um completo conhecimento da penetração de água e dos processos associados com sua durabilidade não pode ser obtido caso o transporte da umidade não seja compreendido suficientemente. Este estudo tem por foco a análise do comportamento em relação a umidade e sua transferência no sistema substrato- argamassa de revestimento e nas interfaces do sistema.

#### **1.4 CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA –TÉCNICA**

Atualmente, o estudo da penetração de umidade no interior dos materiais e elementos de construção vem sendo considerado de grande importância para a caracterização do comportamento. A umidade constitui uma das causas primordiais de patologias nas fachadas dos edifícios; por isto, é de maior relevância o desenvolvimento de estudos que visem analisar os fatores qualitativos e quantitativos que influenciam no processo de penetração de umidade nas paredes dos edifícios.

Há uma carência de informações relacionadas que permitam fazer uma análise técnica para decidir pela utilização ou não de tal material alternativo no cumprimento de diversas atividades ou funções da edificação.

Sobre o assunto, JOHN (1996) explica que, muitas vezes, se tenta a adequação ao uso de um novo produto através de analogia com produto tradicional. Esta abordagem é inadequada porque as normas desenvolvidas para o controle de qualidade de um produto tradicional são elaboradas levando em conta os pontos fracos e fortes daquele produto específico, além de alguns requisitos de desempenho fundamentais. O desenvolvimento de um produto novo provavelmente apresentará problemas de outra ordem.

A realização de um programa de ensaios de avaliação de desempenho de paredes externas requer o conhecimento dos requisitos de desempenho que o revestimento deve apresentar, devido às funções da parede na edificação, tais como: segurança estrutural, segurança ao fogo, conforto térmico, conforto acústico, durabilidade e estanqueidade. Visto que o desempenho de parede de alvenaria em relação à estanqueidade não pode ser previsto por meios numéricos e analíticos, geralmente dois tipos de ensaios não destrutivos são utilizados para avaliar este desempenho: teste de laboratório e de campo.

O teste de laboratório é usado para a avaliação de protótipos, enquanto os testes de campo são essenciais para a avaliação do material durante o seu uso. Há uma grande variedade de testes que analisam sistemas de parede de alvenaria quanto à penetração de água (estanqueidade); estes diferem em termos de custo, facilidade de transferência de tecnologia e condições de exposição: tempo, pressão e vazão para a realização. Contudo, as normas estabelecidas para avaliar esta exigência são insuficientes, evidenciado nos parâmetros finais de avaliação, os quais são meramente qualitativos (MUSTELIER e ROCHA, 2003).

A contribuição deste trabalho está dada no estudo da interação da água com o sólido durante todo o processo de atividade físico, hídrico (domínio higroscópico e capilar) - térmico e mecânico, determinando características de seu comportamento para os elementos construtivos constituintes das paredes para assim obter informações complementares importantes que permitiriam introduzir novos critérios de avaliação na análise das paredes das edificações nos ensaios de estanqueidade.

## **1.5 OBJETIVO DA TESE**

### **1.5.1 Objetivo Geral**

Este trabalho tem o objetivo de estimar o comportamento de paredes submetidas ao ensaio de penetração de água de chuva através da avaliação das propriedades físicas e higrotérmicas dos elementos de construção constituintes do sistema de revestimento (argamassa mista sem e com cinza, sem e com aditivo, blocos de concreto e interface).

### 1.5.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Avaliar as propriedades físicas dos materiais que permitam caracterizar experimentalmente a estrutura porosa das argamassas e dos blocos na transferência de umidade;
- Avaliar as propriedades higrotérmicas dos elementos constituintes das paredes para:
  - ◆ Quantificação do fenômeno de sorção de vapor de água nos materiais mediante a determinação experimental das curvas de adsorção;
  - ◆ Determinação do coeficiente de sorptividade das argamassas ensaiadas em função do teor de cinza incorporada e após sua aplicação em diferentes substratos com diferentes porosidades;
  - ◆ Análise do grau de molhabilidade dos materiais através do ângulo de molhamento aparente;
  - ◆ Avaliação da influência da temperatura no processo de transferência de umidade nos dois tipos de blocos e nas argamassas;
- Analisar as propriedades químicas das argamassas que permitam caracterizar o grau de hidratação das argamassas e dos blocos na transferência de umidade;
- Estimativa de comportamento das paredes em relação ao ensaio de estanqueidade a partir da comparação dos resultados obtidos na caracterização das propriedades dos elementos construtivos com os resultados obtidos na avaliação do desempenho das paredes.

### 1.6 HIPÓTESES DE TRABALHO

- O emprego das cinzas pesadas em substituição de agregados naturais na argamassa influencia no comportamento hídrico das argamassas de revestimento afetando o processo de fixação e transferência de água e conseqüentemente o desempenho à estanqueidade.
- A compreensão da estrutura porosa das argamassas auxilia no entendimento do grau de hicroscopicidade assim como na cinética de adsorção.
- A variação das densidades de massa aparente dos blocos tem um papel relevante no que tange ao desempenho da alvenaria à penetração de água de chuva.

## **1.7 ESTRUTURA DA TESE**

A tese encontra-se estruturada em seis capítulos:

O Capítulo 1 compreende a introdução do trabalho de pesquisa, em que é apresentada uma visão geral do trabalho, a justificativa, objetivos, hipóteses da pesquisa e a estrutura da apresentação do estudo.

No Capítulo 2, apresenta-se uma revisão bibliográfica em relação às forças e mecanismos da transferência e fixação de umidade, os resultados obtidos nestas pesquisas em relação aos fenômenos e propriedades dos materiais que influenciam a penetração de água de chuva em paredes de alvenaria e as correlações obtidas.

O Capítulo 3 apresenta a metodologia experimental desenvolvida para a realização do trabalho, mostrando as características dos materiais empregados, o processo de confecção dos protótipos e a execução dos ensaios.

Nos Capítulos 4, 5, são apresentados e analisados os resultados da pesquisa experimental desenvolvida.

Nos Capítulos 6, 7, são levantadas as conclusões, bem como as recomendações para trabalhos futuros, e apresentadas as referências bibliográficas e citações utilizadas no desenvolvimento da pesquisa.

---

## **CAPÍTULO 2**

### **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **2.1 PENETRAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA NAS EDIFICAÇÕES**

KUMAR (2000) afirma que uma das principais preocupações com o desempenho de fachadas das edificações é sua suscetibilidade à penetração de água de chuva. Nas últimas três décadas, o foco principal tem estado direcionado em controlar as forças que causam a penetração de água pluvial. As forças motrizes responsáveis pela penetração de água pluvial foram identificadas no passado; estas incluem energia cinética, tensão de superfície, gravidade, ação capilar e diferença de pressão do ar através da parede (GARDEN, 1963).

Entre estas, gravidade, ação capilar e diferença de pressão do ar são comumente as forças motrizes mais significativas (MORRISON, 1998). A importância destas forças depende do tipo de aplicação na construção. No entanto, há uma geral convicção, entre investigadores, de que a diferença de pressão do ar é a força motriz principal que contribui para a penetração de água de chuva. A diferença de pressão do ar pelas paredes pode ser induzida por efeitos causados por sistemas mecânicos e vento. Até onde as magnitudes destas cargas afetam não está bem determinado devido ao fato de que pressões criadas por ventos fortes são muito mais altas que as desenvolvidas por efeito de sistema mecânico. Então, a diferença de pressão do ar causada por vento é a maior preocupação no que tange à penetração de água de chuva, bem como a resistência estrutural.

### 2.1.1 FORÇAS QUE PRODUZEM A PENETRAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA.

GARDEN (1963) comenta que a penetração de água de chuva em uma parede é o resultado de uma combinação de presença de água, aberturas para permitir a sua passagem e forças que direcionam ou empurram esta para o interior, podendo ser prevenida, eliminando-se qualquer uma destas três condições. Dependendo da sorptividade e capacidade de armazenamento de umidade da superfície do material e a intensidade da chuva, pode-se formar uma película significativa de água, que escorregará pela superfície da parede. Superfícies de baixa absorção e rápida capacidade de armazenamento de umidade serão cobertas com uma película de água, que aumentará em densidade e volume para os andares inferiores do edifício. O escoamento desta película é influenciado pela textura da superfície, gravidade e movimentos de ar ao longo da face da parede. Normalmente, o resultado final é uma migração lateral de água, com escoamento descendente concentrado nas irregularidades verticais da superfície da parede.

As aberturas que permitem a passagem de água são bastante numerosas na fachada dos edifícios. Apresentam-se em forma de poros, trincas, interfaces e juntas fracamente unidas entre elementos ou materiais de construção. Poros e trincas muito pequenos podem ser cobertos com revestimentos impermeáveis ou semi-impermeáveis ou tratados com combinações de impermeabilizantes de superfície, mas estes tratamentos são menos prováveis de serem efetivos para poros e trincas maiores.

Até mesmo quando a água está disponível e uma abertura existe, o vazamento não acontecerá, a menos que uma força ou combinação destas esteja disponível para mover a água pela abertura. As forças que contribuem para a penetração de água são: energia cinética da gota de chuva, sucção capilar, gravidade e diferença de pressão de ar, sendo apresentadas na Figura 2.1.

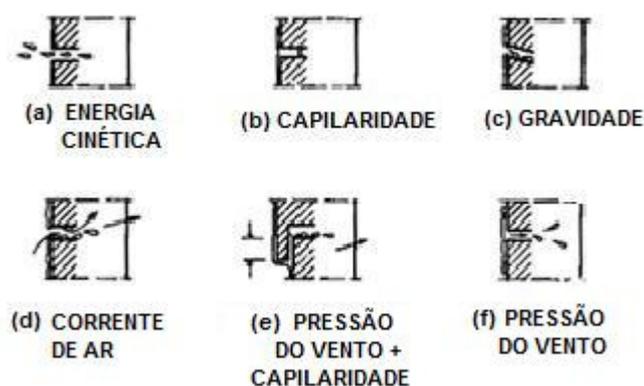


Figura 2.1: Forças que produzem a penetração de água de chuva (GARDEN, 1963).

Sob a influência do vento, gotas de chuva podem se aproximar da parede de um edifício com velocidade considerável que seu impulso ou energia cinética possa transportá-las através de grandes aberturas (Figura 2.1 a). Se uma abertura é pequena, as gotas de chuva serão destruídas sob o impacto, mas gotas pequenas continuarão entrando. Se, deste modo, não é atravessado o caminho, então, a água, só por este meio, não pode atravessar profundamente a parede. Assim, matajuntas, anteparos, bloqueadores ou labirintos podem ser usados nas juntas para controlar a penetração de água de chuva por energia cinética.

A sucção capilar atua somente para manter a água no espaço limitado pela superfície molhada. Quando um material se aproxima da saturação, a sucção capilar aproxima-se de zero, mas a água retida não terá tendência a espalhar-se, a menos que uma diferença de força externa seja introduzida (Figura 2.1 a) (GARDEN, 1963).

A gravidade ou uma diferença de pressão de ar pode permitir que uma certa quantidade de água escorregue através ou fora do material saturado em uma percentagem limitada pelo tamanho dos capilares. Capilares finos, com menos de 0,01 milímetros, por exemplo: tijolo de barro ou concreto, mantêm e seguram um volume pequeno de água com uma alta sucção que raramente contribui para a penetração de água de chuva. Um volume maior de água, não obstante, é garantido pela baixa sucção em capilares maiores, como, por exemplo, fissuras e interfaces não ligadas (GARDEN, 1963).

Capilares maiores são contribuintes importantes ao problema quando uma força adicional, até mesmo de baixa magnitude é somada. Se as fachadas exteriores e interiores de uma parede estiverem conectadas através de capilares, uma molhagem severa no acabamento interior pode acontecer por causa da capilaridade, mas somente depois, pela capacidade de retenção de umidade do material, será preenchida. A penetração parcial de água de uma parede por capilaridade é de difícil controle, mas a penetração completa pode ser controlada introduzindo uma descontinuidade ou abertura de ar no vaso capilar, na junta ou na parede (GARDEN, 1963). A ação da água por gravidade, na superfície da parede ou nos vasos capilares maiores, puxará esta através de qualquer passagem que conduza para baixo e para dentro (Figura 2.1 c). A água que escorre para o interior de fissuras ou juntas verticais pode ser também desviada para dentro de superfícies irregulares. A penetração de água de chuva como resultado da gravidade raramente acontece por aberturas intencionais. Este mecanismo geralmente é bem entendido e métodos de controle são desenvolvidos. Entretanto, as fissuras ou outras aberturas que se desenvolvem, depois de concluída a construção, permitem freqüentemente a entrada de água.

Um espaço de ar ou descontinuidade na junta ou uma parede imediatamente por detrás da face molhada prevenirá um fluxo adicional de água interno. A água que alcança este espaço se fixará à superfície e fluirá até a face exterior do espaço, de forma que pode ser conduzida para fora da parede através de beirais em locais satisfatórios (GARDEN, 1963).

Uma pequena pressão em uma parede é produzida pela pressão de vento na fachada de um edifício. Em um ponto onde uma alta incidência de ar interno acontece como resultado de uma abertura com apenas uma pequena pressão de ar, a água pode ser arrastada ao longo da abertura das paredes e causar a penetração de chuva (Figura 2.1 d). Uma velocidade relativamente baixa do fluxo de ar também pode levar pequenas gotas de água ou névoas para a parede e criar o mesmo problema. A água pode ser levada a uma considerável distância e causar um fluxo em uma parede quando uma diferença de pressão de ar é acrescentada à sucção capilar (Figura 2.1 e) (GARDEN, 1963).

Uma situação mais séria pode ocorrer quando, como resultado de grande quantidade de água na superfície, aberturas de 3/8 polegadas (76,2 mm) ou mais são atravessadas com água, que é rapidamente forçada na passagem por pequenas diferenças na pressão do ar (Figura 2.1 f).

## **2.2 ENSAIO DE AVALIAÇÃO DA PENETRAÇÃO DE ÁGUA EM PAREDES DE ALVENARIA.**

### **2.2.1 HISTÓRICO DOS ENSAIOS**

Segundo MELANDER e GHOSH (1992) desde o início da década de 30 têm sido usados muitos métodos de ensaio para medir a penetração de água em várias amostras de parede de alvenaria. Testes iniciais foram realizados usando uma câmara de ensaio na alvenaria ou simplesmente borrifando água em paredes. Nos anos 1930 e 1940, o *National Bureau of Standards (NBS)* desenvolveu numerosos testes para identificar os fatores que contribuem para a penetração de água na alvenaria. Foram publicados vários relatórios durante esse período. Depois de muitos anos de inatividade de pesquisa, desenvolveu-se um método em pequenos painéis para investigar a penetração de água. Pesquisas iniciais desenvolvidas pelo *Construction Technology Laboratories* foram patrocinadas pelo *Masonry Cement Research And Education Group, (Estados Unidos)*. Trabalhos mais recentes foram patrocinados pelo *Portland Cement Association (PCA – Estados Unidos)*.

O ensaio atual está em concordância com a *American Society for Testing and Materials (ASTM)* Designation **E 514**: *Standards test method for water penetration and leakage through masonry*, na qual a taxa de aplicação de água é de 138 L/m<sup>2</sup> de paredes por hora, e, simultaneamente com esta aplicação, uma pressão de ar de 500 Pa é borrifada dentro da câmara. O tempo de duração é de 4 horas, realizando-se leituras a cada 30 minutos. Este método de ensaio não inclui as limitações nas especificações. Por esta razão, critérios de aceitação e rejeição para os ensaios devem ser estabelecidos pelo pesquisador que o requeira. Devido a isto, existe muita variabilidade nos ensaios desenvolvidos em relação à pressão, vazão e tempo de exposição, sendo que cada pesquisador deve adequar este ensaio às condições climáticas de seu país e região.

Conforme MELANDER e GHOSH (1992), o primeiro relatório apresentado pela *National Bureau Standards* (FISHBURN *et al.*, 1938) avaliou resultados de ensaios realizados em 113 paredes construídas com cinco classificações de fabricação, três tipos de tijolos, seis tipos de azulejos de argila estrutural, dois tipos de unidades de concreto e seis argamassas diferentes.

FISHBURN *et al.* (1938) notaram que a condição de exposição era muito mais severa que a exposição natural típica. Infelizmente, em anos subseqüentes, a caracterização de resultados inerente ao sistema de avaliação conduziu a erros de aplicação e interpretação dos resultados obtidos usando o procedimento de teste da norma E 514 (ISBERNER, 1979).

Quatro anos depois, resultados de amplos estudos similares foram apresentados pela *National Bureau of Standards* (FISHBURN, 1942), usando o mesmo método geral de ensaio desenvolvido no estudo inicial em 1938. A qualidade na fabricação, tipo de unidade e tipos de argamassa foram parâmetros de investigação. Entre as conclusões básicas alcançadas nestes dois estudos, tem-se:

1. O processo de construção dos painéis afeta a qualidade da parede em resistir à penetração de água mais do que qualquer outro fator. Paredes com juntas de argamassas que são bem preenchidas geralmente apresentam melhor desempenho ante a infiltração do que aquelas que somente são parcialmente preenchidas;
2. A penetração de água é dependente da espessura e geometria da parede;
3. A penetração de água em paredes de tijolos construídas com unidades de alta capacidade de absorção pode ser reduzida usando argamassas com alta ou moderada retenção de água e molhando-se as unidades antes da aplicação do revestimento;
4. A penetração de água em paredes de tijolos é geralmente menor com unidades de alvenaria com baixa absorção.

Os testes em grandes painéis de paredes, como executados pela *National Bureau of Standards* foram efetivos no estabelecimento da importância da qualidade da mão-de-obra e da execução no desempenho de parede. O impacto crítico da qualidade da mão-de-obra e a dificuldade e impossibilidade de eliminar este fator como uma variável de ensaio para avaliar materiais em relação a seu desempenho conduziram ao desenvolvimento de um método de teste em painel pequeno (RITCHIE, 1961). Para normalizar a mistura das argamassas, fabricação de amostras e condições de cura, RITCHIE E DAVISON (1963) buscaram estabelecer um método para avaliar o efeito das propriedades dos materiais na penetração de água.

Este método foi utilizado na avaliação de mais de 1000 painéis. No estudo, pesquisou-se a resistência à aderência e penetração de água em alvenarias de tijolo. Embora o método em painel pequeno nunca tenha sido adotado como um método normalizado pela ASTM, foi útil na investigação dos efeitos das propriedades de materiais.

DUBOVOY e RIBAR (1990) avaliaram o desempenho à penetração de água de painéis em escala padrão e escala reduzida. Construíram painéis de parede de dimensões pequenas (0,81m de largura x 0,81m de altura) e tentaram correlacionar resultados destes com painéis de tamanho padrão da norma ASTM E514 (1.22 m de largura x 1.22 m de altura). As condições de exposição e os materiais foram mantidos constantes, mas os resultados dos dois métodos não tiveram correlação, devido à eliminação de alguns dos fatores relacionados à qualidade da mão-de-obra empregada durante a fabricação dos painéis pequenos.

De acordo com POLISENI (1986), numa revisão da série histórica, outros ensaios de avaliação da estanqueidade à água em paredes são realizados somente em laboratório, por meio da simulação de chuva e vento, incidindo sobre uma face de uma parede, com o intuito de avaliar o desempenho da parede à infiltração de água, durante um determinado tempo, sob condições específicas de vazão de água e pressão pneumática segundo cada método de ensaio.

A seguir são nomeados os métodos de ensaio mais difundidos e preconizados por centros de pesquisas.

- Método de Ensaio Preconizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT. (1986)
- Método de Ensaio de Estanqueidade à água Preconizado pelo Departamento de Engenharia Estrutural da Fundação de Ciência e Tecnologia – CIENTEC. (1980)
- Método de Ensaio Preconizado pelo *Centre Scientifique et Technique du Batiment* – CSTB. (1959)
- Método de Ensaio Preconizado pela *American Society for Testing and Materials* – ASTM (1974).
- Método de Ensaio Preconizado pela *British Standard Institution* – BSI. (1980)]

- Método de Ensaio Preconizado pelo *Building Research Institute* – BSI. (1986)
- Método de Ensaio Preconizado pela Rilem (Tubo Rilem).
- Ensaio de Exposição de Paredes da Csiro (Sirowet)
- Teste *Germann's Water Permeability Testing* (Gwt)

Na atualidade, a CÂMARA CLIMÁTICA DO CONSELHO NACIONAL DE PESQUISAS DO CANADÁ - *ENVIRONMENTAL EXPOSURE ENVELOPE FACILITY* (EEEF) apresenta-se como os métodos mais reconhecidos no mundo da pesquisa da penetração de água de chuva. KUMARAN *et al.* (2002). Neste mesmo grupo de pesquisas, modelações higrotérmicas são desenvolvidas como práticas ferramentas de projeto de edificações fornecendo resultados que são significativos aos projetistas. KUMARAN *et al.* (2004) determinaram propriedades higrotérmicas de diferentes materiais de construção, a fim de determinar a variação de cada propriedade para cada material e, conseqüentemente, obter informações que serviram como base de dados nas modelações computacionais para análises paramétricas. Estas modelações requerem uma série de dados de entrada, como as propriedades dos materiais no processo de transferência de calor, ar e umidade. Em seu trabalho, as propriedades avaliadas foram: a porosidade, área específica, condutividade térmica, índice de umidade do equilíbrio, permeabilidade ao vapor de água, coeficiente de absorção da água, permeabilidade ao ar, difusividade de seis tipos de blocos e de quatro argamassas que são usados geralmente na América do Norte.

### **2.3 FATORES QUE INFLUENCIAM A PENETRAÇÃO DE ÁGUA EM PAREDES DE ALVENARIA: CORRELAÇÃO E INFLUÊNCIA.**

Desde vários anos, a penetração de água em paredes de alvenaria tem sido assunto de muita preocupação. Diferentes ensaios e investigações de laboratório têm sido desenvolvidos com o objetivo de estabelecer a relação de parâmetros de projeto, propriedades dos materiais e técnicas de construção na resistência de alvenaria à penetração de água. Experiências de pesquisas de laboratório e ensaios de campo apontam que a qualidade da construção e projeto são fatores fundamentais para determinar a resistência de alvenaria à penetração de água.

Nas pesquisas reportadas por RITCHIE (1961) e ISBERNER (1979), foi enfatizado que os fatores como projeto, material, qualidade da mão-de-obra e manutenção atuam simultaneamente para afetar a resistência à intempérie de estruturas de alvenarias.

As pesquisas identificaram a dificuldade em selecionar qualquer um desses fatores como a causa da infiltração em paredes de alvenarias.

A *Portland Cement Association* (PCA, 1991) apresentou uma relação dos fatores que influenciam a penetração da água e os efeitos destes fatores: teor de água na argamassa, teor de material cimentício, propriedades físicas do elemento de alvenaria, condições de cura da alvenaria, condições de exposição (variação da quantidade de água e pressão) durante o teste e exposição prolongada ao meio ambiente (envelhecimento).

As formulações das argamassas que foram utilizadas: tipos M, S e N, são exibidas nas Tabelas 2.1 e 2.2 (ASTM C 270). As paredes foram feitas com espessura de 300 mm, constituídas por blocos de concreto de 200 mm e tijolos de 100 mm com juntas de 20 mm. Esta seleção foi realizada visando ensaiar paredes representativas das que são comumente projetadas e construídas.

**Tabela 2.1: Resumo das especificações de traços de argamassas utilizados na alvenaria. (ASTM C 270 apud PCA, 2002)**

A. United States (ASTM C 270)					
Tipo de Argamassas	DOSAGEM EM VOLUME				
	Cimento Portland	Tipo cimento x alvenaria			Agregado Fino
		M	S	N	
M	1	—	—	1	4 1/2 to 6
	—	1	—	—	2 1/4 to 3
S	1/2	—	—	1	3 3/8 to 4 1/2
	—	—	1	—	2 1/4 to 3
N	—	—	—	1	2 1/4 to 3
O	—	—	—	1	2 1/4 to 3

**Tabela 2.2: Resumo das propriedades das argamassas utilizadas na alvenaria. (ASTM C 270 apud PCA, 2002)**

A. United States (ASTM C 270)			
Tipo de Argamassas	Resistência à Compressão, psi (MPa) Mínimo 28 dias	Porcentagem Mínima de Retenção de água (%)	Porcentagem Máximo de Contéudo de Ar (%)
M	2500 (17.2)	75	18
S	1800 (12.4)	75	18
N	750 (5.2)	75	20
O	350 (2.4)	75	20

Foram fabricadas 76 paredes, constituídas de corpos de provas de dimensões 1220 mm de largura x 1220 mm de altura, sendo curadas e armazenadas sob os limites prescritos na ASTM E 514. Focalizando os mesmos objetivos, DUBOVOY e RIBAR (1990) avaliaram 20 paredes, e além dos objetivos iniciais, a pesquisa levantou os efeitos do conteúdo de ar, resistência à tração dos prismas e a fabricação das amostras em relação à penetração de água em paredes de alvenaria.

As conclusões encontradas foram:

- O aumento do teor de água na argamassa ajuda a aumentar a molhagem na face de contato da unidade de alvenaria e, conseqüentemente, melhora a aderência entre a argamassa e a unidade de alvenaria. Teor de água excessivamente alto na argamassa pode aumentar a permeabilidade à água das paredes pelo aumento da absorção e retração na argamassa.

No entanto, segundo pesquisa realizada pela *Portland Cement Association* (1980), o teor de água na argamassa foi variado, e o efeito da penetração de água medido em argamassas preparadas com baixo, meio e alto teor de água. A avaliação do desempenho das paredes mostrou que argamassas com conteúdo de água médio e alto apresentam maior resistência à penetração de água que argamassas com baixo teor.

- Quanto ao teor de ar, indicou-se claramente que não tem uma influência significativa na penetração de água nas paredes.
- Todas as argamassas, indistintamente do conteúdo do material cimentício, apresentaram boa resistência à penetração de água.
- Na quarta fase de ensaios, foi investigado como a cura afetava a permeabilidade das alvenarias. A ausência ou pouca resistência de amostras de argamassas armazenadas ao ar, em condições ideais, provocou efeito negativo pela falta de cura úmida. Foram testadas paredes submetidas a uma cura ambiental: umas completamente envolvidas com uma capa plástica e outras com estopa saturada em água e cobertas com uma capa plástica.
- As paredes cobertas com a estopa molhada apresentaram uma melhor resistência à penetração de água quando comparadas com as armazenadas ao ar. Como resultado deste teste, o requisito de cura na edição atual da norma ASTM - E 514 foi modificado, prevendo que as amostras devem ser construídas em laboratório e imediatamente embaladas com plástico por 7 dias de “cura própria”. Depois desses 7 dias, deve ser removido o plástico, e as amostras curadas em ambiente de laboratório por mais 7 dias.

Conforme MELANDER e GHOSH (1992) existe uma relação entre as argamassas e as propriedades das amostras no desempenho de alvenaria na resistência à penetração de água. As propriedades das argamassas consideradas no estudo incluem: resistência à compressão, trabalhabilidade (*flow*), retenção de água e conteúdo de ar. As propriedades dos elementos de alvenaria incluem: textura superficial, porosidade e taxa inicial de absorção.

## **2.3.1 PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DAS ARGAMASSAS**

### **2.3.1.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO**

A resistência à compressão da argamassa deve ser determinada como um fator de qualidade do material desenvolvido e não como um valor de grande importância que influencie na resistência final da parede. Mas a argamassa precisa atingir uma resistência que permita suportar os esforços da própria execução da alvenaria.

Há consenso geral, dentro da literatura, que a resistência à compressão da argamassa tem pequena influência no desempenho de uma parede de alvenaria para resistir à penetração de água. Duas exceções para esta observação foram encontradas na literatura revisada. A primeira foi notada por FISHBURN *et al.* (1938), que observaram uma redução na penetração de água para argamassa com alto conteúdo de cimento. Porém, foi indicado que o conteúdo de cimento-cal não afeta a penetração de água em paredes de tijolos tanto quanto a qualidade da construção, espessura de parede ou o tipo de tijolo. GILLAM (1978) informou que paredes construídas com argamassa Tipo S desenvolvem-se melhor à penetração de água que as construídas usando argamassas Tipo N ou M. Em nenhum caso estas observações foram baseadas em uma correlação direta de penetração de água com a resistência à compressão de argamassa. Em ambos os exemplos, outros fatores junto à resistência à compressão contribuíram com os resultados registrados.

Nenhuma correlação da resistência à compressão da argamassa com a penetração de água de paredes de alvenaria foi verificada dentro dos estudos *Construction Technology Laboratories* (RIBAR, 1982; DUBOVOY e RIBAR, 1990). Adicionalmente, nos testes de painéis pequenos executados por RITCHIE e DAVISON (1963), os experimentos com unidades com alta absorção forneceram um exemplo da melhora na resistência à penetração de água com resistência à compressão reduzida.

Os dados em painéis pequenos informados por ROBINSON e BROWN (1988), em ensaio de penetração de água de amostras confeccionadas com argamassas Tipo N e Tipo M, não mostraram diferença significativa de desempenho entre os dois tipos de argamassa. Assim mesmo, a resistência à compressão da argamassa claramente tem pouco efeito na resistência da alvenaria à penetração de água. Entretanto, variações nas propriedades ocorridas a partir do nível de resistência de uma argamassa para outra têm frequentemente alguma influência no desempenho à penetração de água.

### 2.3.1.2 TRABALHABILIDADE (*FLOW*)

Na bibliografia, está bastante claro que a trabalhabilidade da argamassa tem influência direta no desempenho de paredes de alvenaria à penetração de água, uma vez que abrange a qualidade da mão de obra e o grau de contato entre argamassa e unidade de alvenaria (GHOSH e MELANDER, 1991). Vários relatórios utilizando *flow* determinado em laboratório, como uma medida de trabalhabilidade (*flowability*), mostraram melhora na resistência à penetração de água com aumento *flow* de argamassa (RITCHIE e DAVISON, 1963; BROWN, 1978; RIBAR, 1982). A pesquisa de ROBINSON e BROWN (1988) também indica uma relação entre *flow* e penetração de água, mas sugere que a taxa inicial de absorção (IRA) de unidades também deveria ser considerada na avaliação. Os autores propõem, para alcançar um desempenho ótimo, que o *flow* das argamassas deveria ser ajustado de baixo para cima com o aumento da taxa inicial de absorção (IRA).

### 2.3.1.3 RETENÇÃO DE ÁGUA

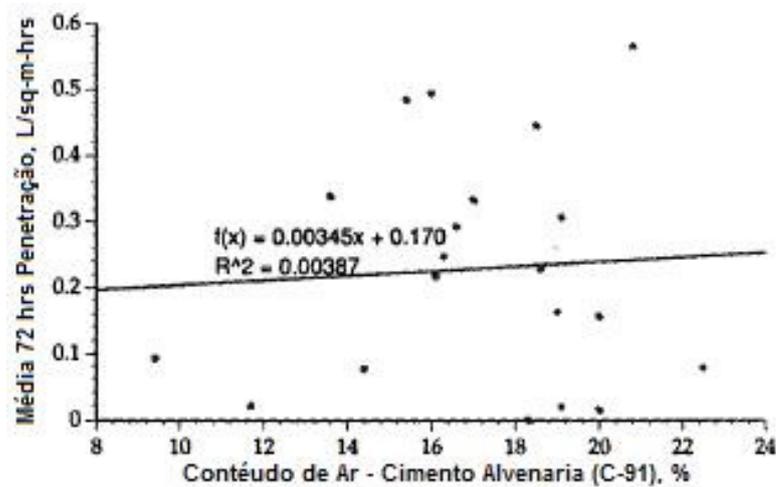
A retenção de água de argamassas usada nos estudos de penetração de água conduzidos pela *National Bureau of Standards (NBS)* indicou que argamassas com alta e moderada retenção de água apresentam melhor desempenho que argamassas com baixa retenção de água.

A resistência à penetração de água melhora com o aumento da retenção de água, sendo muito notável para paredes construídas com unidades de alta absorção. As discussões das características de trabalhabilidade de argamassas com alta e baixa retenção de água salientam que a retenção de água de argamassas medida em laboratório também foi representativa da retenção de água relativa às argamassas usadas nestes estudos (FISHBURN *et al.* 1938, FISHBURN, 1942).

RITCHIE e DAVISON (1963) também investigaram a relação da retenção de água na penetração de água em elementos de alvenarias de alta absorção e observaram uma melhoria da resistência à penetração de água com o aumento da retenção de água. Os autores destacaram esta informação com uma nota que afirma que mudanças na retenção de água de uma argamassa envolvem mudanças na composição, como também em outras propriedades da argamassa. O fato de que no estudo não foi possível isolar completamente a retenção de água como uma variável independente em seu programa experimental, não diminuiu a validade ou relevância das observações apresentadas, mas é necessário que sejam consideradas nas conclusões que envolvem esses resultados.

### 2.3.1.4 CONTEÚDO DE AR

O efeito do conteúdo de ar incorporado em argamassas de alvenaria foi recentemente assunto de muita discussão e controvérsia. Enquanto são vistas as vantagens que a incorporação de ar oferece em termos de melhoria na trabalhabilidade e durabilidade de argamassas em gelo-degelo, alguns autores identificaram que a resistência da parede à penetração de água é comprometida pelo uso de argamassas com ar incorporado. GHOSH e MELANDER (1991) notaram que há algumas declarações contraditórias de que o conteúdo de ar da argamassa afeta a penetração de água em paredes de alvenaria, sendo que várias pesquisas indicam que nenhuma relação consistente existe. A evidência mais clara que apoia esta afirmação é mostrada por um diagrama do conteúdo de ar com a medida da penetração de água, apresentado na Figura. 2. 2.



**Figura 2.2: Relação da penetração de água com o conteúdo de ar de argamassas de cimento de alvenaria. (DUBOVOY e RIBAR (1990))**

O gráfico acima foi obtido de vários dados compilados por DUBOVOY e RIBAR (1990) . Outros estudos também evidenciaram que não existe relação entre o conteúdo de ar incorporado das argamassas e a penetração de água em paredes de alvenaria. Os dados que apóiam esta tese incluem os estudos do *Construction Technology Laboratories* CTL (RIBAR (1982); DUBOVOY e RIBAR (1990)). Há estudos em painéis pequenos desenvolvidos por RITCHIE e DAVISON (1963); ROBINSON e BROWN (1988), como também vários estudos que utilizam métodos de ensaio ASTM-E 514 (GILLAM, 1978; MATTHYS, 1990; GATES *et al*, 1990). Outros estudos verificaram alguma correlação, através dos resultados em ensaios realizados também conforme a ASTM E 514 (BROWN, 1978; SKEEN, 1971).

Em ambos casos, a correlação não é muito forte e detalhes dos programas de testes individuais desencorajam a generalização das observações (GHOSH e MELANDER, 1991).

O coeficiente de correlação entre a penetração de água e o conteúdo de ar foi de 0,48, obtido por meio de um ajuste matemático dos dados realizados pelo *Holmes Laboratory Tests*. Isto indicou a carência de uma forte correlação, apesar de os dados e a expressão usada assinalarem que houve um aumento na penetração de água com o aumento do conteúdo de ar (BROWN, 1978).

No artigo apresentado por SKEEN (1971), foi feita uma comparação do desempenho de quatro argamassas de alvenaria com respeito à penetração de água. As argamassas testadas não eram as padronizadas naquele momento nos Estados Unidos, mas foi registrado que houve um aumento da penetração de água com o aumento do conteúdo de ar.

Segundo MATTHYS (1987), em ensaios realizados na *University of Texas at Arlington*, foi comparada a penetração de água nas paredes feitas com nove argamassas com cimento de alvenaria e ar incorporado com paredes feitas com nove argamassas com cimento Portland e cal sem ar incorporado, obtendo como resultado uma alta penetração nas argamassas com alto conteúdo de ar incorporado. Em contrapartida, GUILLAM (1978) reportou que a maior ou menor presença de quantidade de ar nas argamassas não parece ter um papel significativo no desempenho de resistência à penetração de água no sistema de paredes.

RIBAR (1982) avaliou argamassas com conteúdo de ar de até 17 % e concluiu que não há influência significativa na permeabilidade das paredes. Assim, mediante ensaio realizado por RICHIE e DAVISON (1963), foi feita uma comparação de três argamassas de alvenaria e dois tipos de tijolos com respeito à penetração de água, sendo que, apesar de o teor de ar não ter sido registrado, pode-se deduzir, pelos materiais componentes das argamassas, que as argamassas de alto teor de ar usadas nos painéis apresentaram uma menor vazão de água.

A *National Lime Association* (1979) analisou o efeito da composição das argamassas na infiltração de água, para isto, comparou paredes feitas com argamassas compostas de cimento-cal e argamassas com cimento comum para alvenaria com e sem ar incorporado em relação ao ensaio de penetração de água. Alguns dos testes mostraram uma leve redução da penetração de água com argamassas de baixo teor de ar e outros não exibiram nenhuma correlação.

Ensaio apresentados por ROBINSON e BROWN (1988) comparando a influência do teor de ar e a trabalhabilidade (*flow*) na resistência à penetração de água, avaliaram três tipos de tijolos. Cada tipo de tijolo foi testado com as argamassas, N e M, apresentadas nas Tabelas 2.1 e 2.2 do presente trabalho, e, por sua vez, cada combinação testada para cada trabalhabilidade (*flow*) baixa, média e alta.

Na Tabela 2.3, fica evidente a diferença na infiltração de água para argamassas com baixa trabalhabilidade quando comparadas com argamassas de alto espalhamento (*flow*), porém, é verificada uma correlação do teor de ar com a penetração de água.

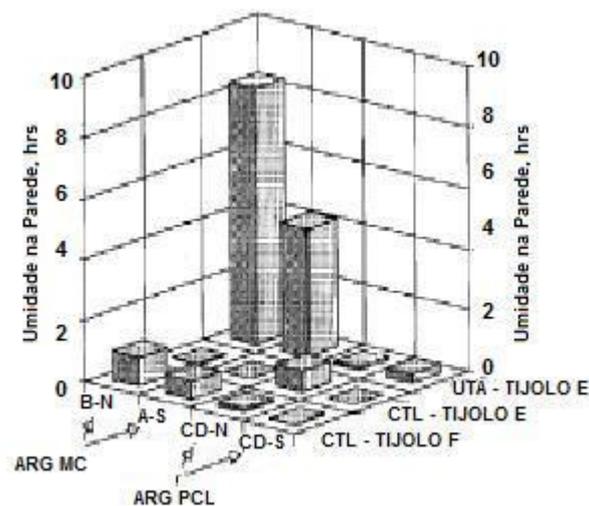
**Tabela 2.3: Influência do *flow*, conteúdo do ar e penetração de água. (GHOSH e MELANDER, 1991).**

Tipo de Tijolo	IRA	Conteúdo de Ar	Tipo de Argamassa N pelo flow			Tipo de Argamassa M pelo flow		
			Baixo	Médio	Alto	Baixo	Médio	Alto
A	8	Low	A	A	F	A	B	A
		Medium	C	C	F	C	A	A
		High	B	A	A	C	A	A
C	27	Low	D	F	A	D	D	C
		Medium	C	F	A	F	F	A
		High	D	C	D	F	F	A
D	25	Low	F	B	A	F	C	C
		Medium	F	D	C	F	F	F
		High	F	F	D	F	F	F

A = Sem Vazamento ( menos que 0.05 in./hr); F= Vazamento severo (superior que 0.39 in./hr)

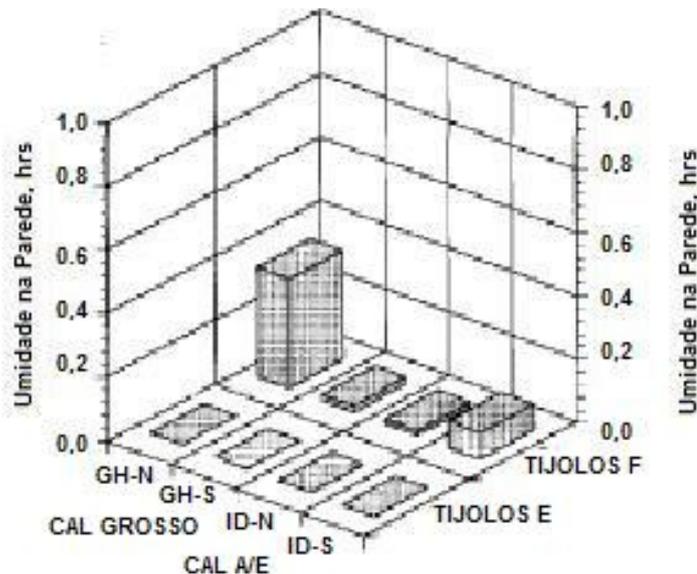
Ainda que, ao atribuir uma escala numérica nas categorias designadas por letras para cada parede variando o patamar, os autores concluíram que o desempenho das paredes para os diferentes níveis de teor de ar e para as diferentes trabalhabilidades das argamassas foi praticamente o mesmo, uma vez que as médias ficaram com valores próximos.

Novos ensaios realizados pela *University of Texas at Arlington* (UTA) e pelo *Construction Technology Laboratories* (CTL) (1990) para reavaliar a influência do teor de ar, que incluíram painéis de paredes com os mesmos materiais: argamassas de cimento e tijolos testados no primeiro estudo da *University of Texas at Arlington* (1987), contudo, adotando-se a molhagem prévia dos tijolos de alta absorção, para reduzir a variação na taxa inicial de absorção (IRA) dos tijolos, mostraram que a maioria das paredes apresentou desempenho significativamente melhor (GHOSH e MELANDER, 1991). E, assim mesmo, valores de penetração de água obtidos nas paredes construídas com argamassas de cimento de alvenaria foram geralmente melhores que os obtidos em paredes construídas com argamassa cimento-cal, como evidenciado na Figura 2.3.



**Figura 2.3: Penetração de água em alvenaria/ ensaios reproduzidos UTA. (GHOSH e MELANDER, 1991).**

O estudo do *Construction Technology Laboratories* (CTL) também inclui uma comparação da penetração de água em painéis de paredes construídas com argamassas de cimento Portland - cal usando uma cal com e sem ar incorporado (Figura 2.4). A partir destes resultados, foi evidente que não há relação entre o conteúdo de ar e a permeabilidade à água (GHOSH e MELANDER, 1991).



**Figura 2.4: Penetração de água em alvenaria em argila com variação na cal. (GHOSH e MELANDER, 1991).**

## 2.3.2 PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DA INTERFACE

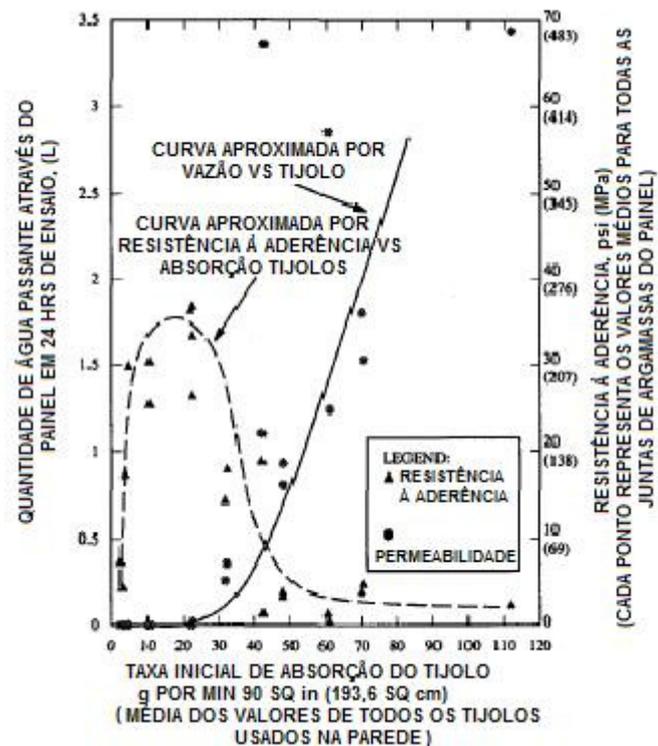
### 2.3.2.1 RESISTÊNCIA À ADERÊNCIA

É considerada como a capacidade da interface argamassa-unidade de alvenaria de absorver tensões de tração e cisalhamento sem romper. É uma característica própria que depende tanto da argamassa quanto do substrato. Estudo realizado pelo Laboratório de Pesquisas da *Portland Cement Association* (1980) não indicou relação entre a resistência à aderência e a penetração de água. Esta observação foi confirmada pelos dados apresentados por DUBOVOY e RIBAR (1990), em que através de uma análise de regressão linear dos dados, se verificou o baixo coeficiente de correlação entre a resistência de aderência medida e a penetração de água das amostras de alvenaria, sendo verificado que a penetração de água ocorria principalmente através das juntas.

Os estudos realizados por DAVISON (1979, 1980) *apud* KAZMIERCZAK (1988) demonstraram que os principais meios de penetração de umidade são as aberturas na interface (unidade-argamassa) e pelas juntas, e que as áreas de má-aderência contribuem para que isto aconteça. Considerou que a aderência está diretamente relacionada às características das unidades e da argamassa e que estudos mais aprofundados sobre a influência do material, da resistência à aderência da interface e da mão-de-obra precisavam ser desenvolvidos.

Conforme MELANDER e GHOSH (1992), a relação entre a resistência à aderência de alvenaria e a penetração de água não é tão direta. Como previamente notado, em testes que envolvem amostras de parede de alvenaria na dimensão estabelecida pela norma ASTM E 514, o resultado da construção freqüentemente disfarça outras relações que possam existir. Além disso, métodos de ensaio para medida de resistência à aderência fornecem resultados com alta variabilidade e pobre reprodução. No entanto, a interpretação de resultados, em estudos que envolvem tanto a resistência à aderência de alvenaria quanto à penetração de água, freqüentemente tem falhado ao considerar a influência das condições relativas do teste em materiais diferentes. Como resultado, estudos diferentes apresentam conclusões variadas em relação à resistência à aderência e penetração de água em alvenaria.

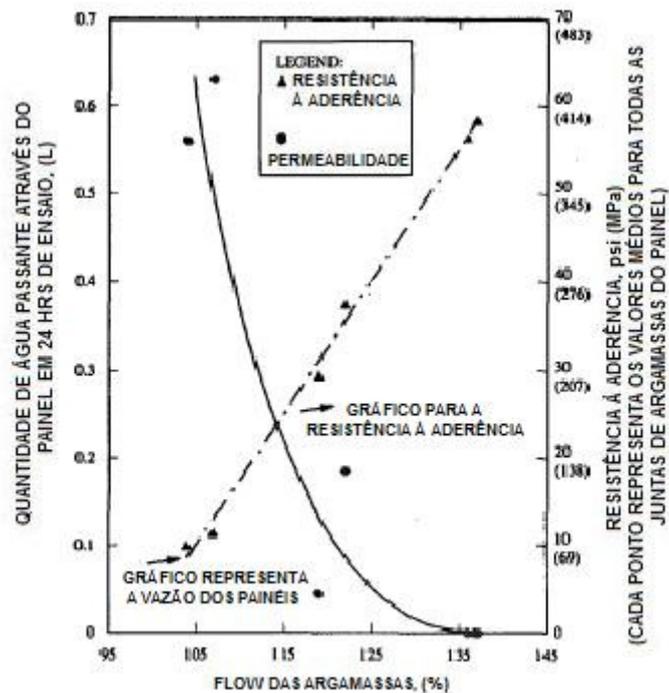
No estudo de RITCHIE e DAVISON (1963) com painéis pequenos, foram observadas algumas correlações gerais na influência da sucção do tijolo na resistência à aderência e na penetração de água nos painéis, como mostrado na Fig. 2.5. Enquanto alguma relação entre resistência à aderência e penetração de água é evidente, não é consistente. No caso de certas unidades de alvenaria de baixa taxa inicial de absorção (IRA), baixos resultados no teste de penetração eram determinados, embora a resistência à aderência também fosse baixa.



**Figura 2.5: Influência da absorção de tijolos na resistência à aderência e à permeabilidade. MELANDER e GHOSH (1992)**

A comparação da influência da trabalhabilidade (*flow*) da argamassa, a resistência à aderência e penetração de água nas paredes é apresentada na Fig. 2.6, sendo que existe indicação de alguma relação geral entre a resistência à aderência e a resistência à penetração de água. Porém, nesta comparação, a resistência de aderência aumenta e a penetração de água diminui com um aumento da trabalhabilidade (*flow*) da argamassa. Isto ocorre provavelmente pela melhora no grau de aderência, resultado de misturas mais trabalháveis.

Deve ser salientado que as condições de teste foram desenvolvidas para minimizar a influência na qualidade da fabricação e permitir a investigação de variáveis independentes no programa de teste. A vantagem de tais métodos é a possibilidade de focalizar em variáveis específicas. Um entrave existente está na importância relativa destas variáveis na construção atual devido ao fato de que podem ser modificadas por falta de controle e de que não se tenha uma consideração prática.



**Figura 2.6: Influência do *flow* da argamassa na resistência à penetração de umidade e resistência à aderência. MELANDER e GHOSH (1992)**

As investigações desenvolvidas pelo *Construction Technology Laboratories* (CTL) durante a década passada mostram considerações desta propriedade (RIBAR, 1982; DUBOVOY e RIBAR 1990). Em numerosos testes que envolveram argamassas de cimento Portland, cal e de argamassas de cimento de alvenaria, foi detectado, repetidamente, que nenhuma relação existe entre a resistência à aderência em combinações de argamassa-unidade de alvenaria e penetração de água em painéis construídos com os mesmos materiais. Uma interpretação prática da diferença dos resultados entre as investigações em painéis à escala reduzida por RITCHIE (1961) e o ensaio seguindo os parâmetros estabelecidos na norma ASTM-E 514 por DUBOVOY e RIBAR (1990) é que as influências demonstradas pela qualidade na construção inerente ao método de teste ASTM-E 514 dominam qualquer efeito que a resistência à aderência de alvenaria possa ter exercido na resistência à penetração de água.

## **2.3.3 PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS E FÍSICAS DA UNIDADE DE ALVENARIA**

### **2.3.3.1 TAXA INICIAL DE ABSORÇÃO (IRA)**

A capacidade de absorção de água é empregada para indicar a quantidade de vazios e a permeabilidade das unidades de alvenarias. Segundo o ensaio normalizado ASTM C67-1991, a taxa inicial de absorção, também chamada de sucção, é o ganho de massa devido à água absorvida pela face de assentamento de uma unidade seca quando é parcialmente imersa em uma lâmina de água a  $3,2 \pm 0,25$  mm por um minuto, sendo expresso o resultado do ensaio em gramas por 30 polegadas quadradas de área ( $193,55 \text{ cm}^2$ ).

Se a absorção inicial do bloco for alta, este pode absorver água da argamassa e dificultar a sua aderência. As unidades de concreto com taxa de absorção inicial superior a  $30\text{g}/\text{min} \cdot 30 \text{ pol}^2$  devem ser assentadas com argamassas com alto poder de retenção de água. Esta propriedade é extremamente importante para o perfeito desempenho da alvenaria porque, ao contrário dos blocos cerâmicos, os blocos de concreto não devem ser molhados antes de sua utilização, pois, em função da sua microestrutura, em presença de umidade expandem e durante a secagem retraem (CALÇADA, 1998).

Vários estudos apontaram que a taxa inicial de absorção (IRA) de unidades tem um importante papel na resistência de alvenaria à penetração de água. FISHBURN *et al.* (1938); FISHBURN (1942) observaram um aumento na penetração de água com um aumento na taxa inicial de absorção do elemento de alvenaria (blocos cerâmicos). A penetração de água foi reduzida quando a taxa inicial de absorção (IRA) do elemento de alvenaria foi diminuída com pré-molhagem. Como previamente mencionado, o uso de argamassas com alta retenção de água também melhora o desempenho de paredes feitas com unidades de absorção altas.

Os estudos realizados por RITCHIE e DAVISON (1963) em painéis à escala reduzida e a pesquisa desenvolvida por ROBINSON e BROWN (1988) identificaram que baixa penetração de água é obtida com unidades de alvenarias com baixa taxa inicial de absorção (IRA). Em 1980, a *Portland Cement Association* avaliou o efeito da taxa inicial de absorção (IRA) da unidade de alvenaria na penetração. Foram utilizados corpos-de-prova com taxa inicial de absorção (IRA) levemente baixa e com argamassas de conteúdo de água médio. Através da redução da taxa inicial de absorção de 14 para 10g/30pol<sup>2</sup>/minuto, houve uma pequena melhora na resistência à penetração de água.

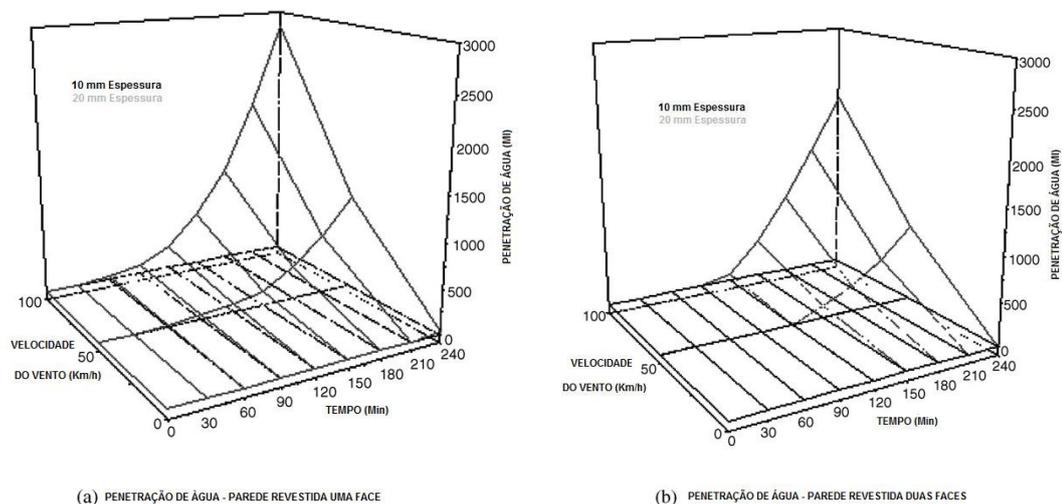
### **2.3.3.2 POROSIDADE E TEXTURA SUPERFICIAL**

YORKDALE (1982), revisando a relação da taxa inicial de absorção (IRA) das unidades de alvenaria e a resistência à aderência, sugeriu que a estrutura dos poros e a textura superficial deveriam ser investigadas por possuírem possíveis efeitos na resistência à aderência. Uma forte correlação foi mostrada, por meio da análise de regressão linear múltipla entre as variáveis independentes da relação de contorno, a taxa inicial de absorção (IRA) e a resistência à aderência, e enquanto se reconhece que a resistência à aderência não se correlaciona com a penetração de água nas paredes de alvenaria. Isto também impossibilita que a estrutura porosa e a densidade de massa aparente tenham um papel importante no aspecto de desempenho de materiais à penetração de água na alvenaria. Nenhuma informação publicada foi localizada sobre este tópico. Assim, sugere-se que este tópico seja abordado em futuros programas de pesquisa nos aspectos de materiais à penetração de água na alvenaria.

### 2.3.4 OUTRAS PROPRIEDADES DA ALVENARIA.

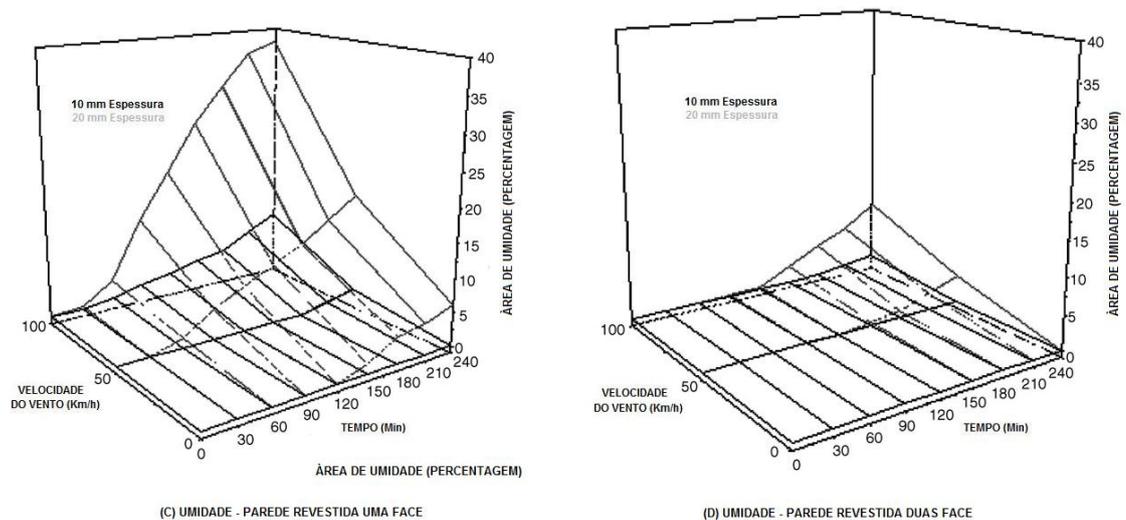
ANAND *et al.* (2003) apresentaram o estudo sobre a influência de vários tipos de unidades de alvenaria e argamassas, condições de exposição, tratamentos de proteção superficial e construção. O teste foi realizado conforme a norma ASTM E 514-90.

#### 2.3.4.1 INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DA JUNTA.



**Figura 2.7: Influência da espessura das juntas na argamassa.**  
**a) Penetração de água para parede revestida numa face b) penetração de água para duas faces revestidas. ANAND *et al.* (2003)**

Com relação, às influências da espessura, verificou-se que a percentagem de área de umidade foi alta para a alvenaria com argamassa de assentamento de 20 mm (Fig 2.7 e 2.8). Isto pode ser atribuído ao fato de a argamassa ser composta de duas camadas e o volume acumulado de água absorvida depende da característica da sorptividade do material da segunda camada (HALL, 1995 apud ANAND *et al.* 2003). Na composição da primeira camada da superfície rebocada e a segunda camada do tijolo e argamassa, aumento na espessura de junta da argamassa (20 mm) conduz a uma alta sorptividade da segunda camada e, portanto, maior quantidade de água alcança o interior. Revestida por uma camada grande de argamassa de 20 mm, também resultou na aparição de uma alta umidade.



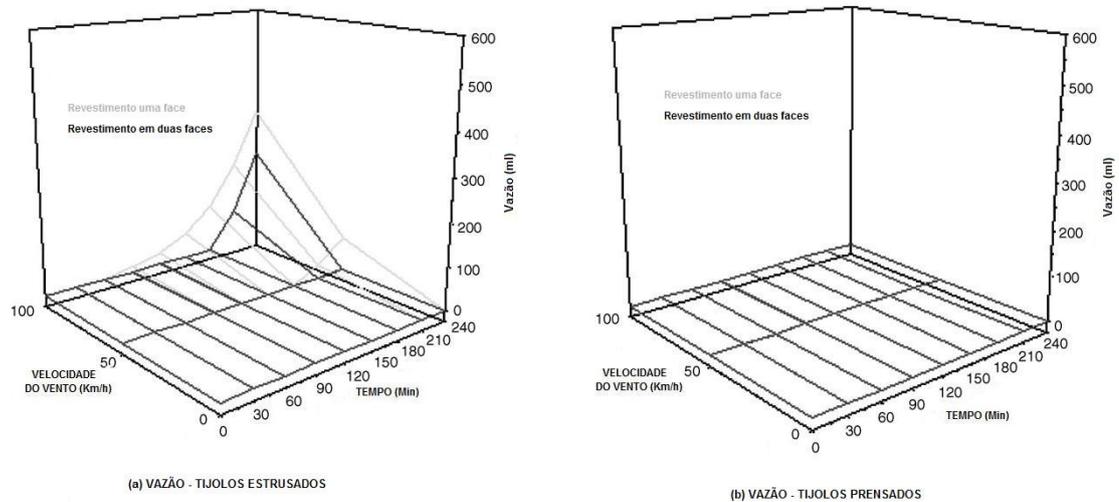
**Figura 2.8: Influência da espessura das juntas na argamassa.**  
**a) umidade para parede revestida numa face b) umidade para duas faces revestidas**  
**ANAND *et al.* (2003)**

### 2.3.4.2 INFLUÊNCIA DA RESISTÊNCIA / TIPO DE TIJOLO

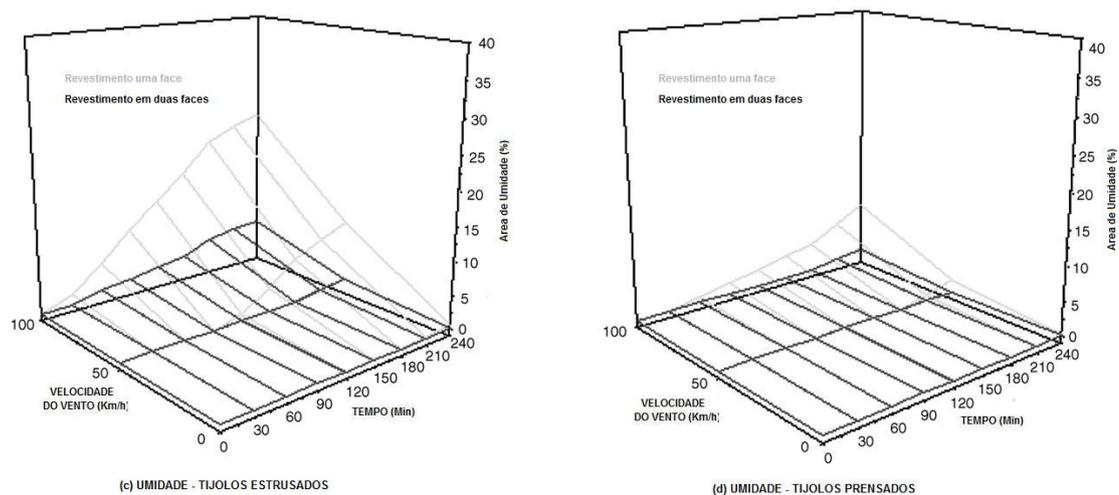
Mantendo todos os parâmetros anteriores, amostras de alvenaria foram construídas com tijolos extrudados (resistência à compressão de 6,4MPa e absorção de 11,9%) e tijolos prensados (resistência à compressão de 12MPa e absorção de 8%). Os tijolos extrudados tiveram uma densidade e resistência à compressão relativamente baixa e uma alta absorção característica contrária aos tijolos prensados. As alvenarias com dois tipos de unidades, com espessura de juntas das argamassas de 10 mm, foram revestidas com uma argamassa com uma composição unitária de 1:5 de cimento e areia (com uma resistência à compressão de 7,2MPa e uma trabalhabilidade, *flow*, de 112%) na face testada ao ensaio de estanqueidade.

A penetração de água total (Fig. 2.9 a) e a área de mancha da umidade (Fig. 2.9 b) aumentaram com o tempo e a pressão, mas o grau de influência variou para cada tipo de tijolo. A diferença entre os dois tipos é mais acentuada para as altas velocidades de vento. A baixa resistência à penetração de água é associada às alvenarias com tijolos prensados, sendo atribuída ao fato de que a absorção de água iniciou cerca de 1,5 vezes do tempo que os tijolos extrudados.





**Figura 2.10: Influência da superfície final – penetração de água.**  
**ANAND *et al.* (2003)**



**Figura 2.11: Influência da superfície final – umidade**  
**ANAND *et al.* (2003)**

Sobre o assunto, BAUER (1987) e KAZMIERCZAK (1988) notaram em ensaios realizados em alvenaria de tijolos de seis furos, que paredes não revestidas não apresentam as mínimas condições de estanqueidade, que a espessura da parede tem influência direta com seu desempenho e que pontos de infiltração de água são provenientes de juntas mal preenchidas.

Até este ponto de análise, foram definidas as forças que permitem a penetração de água de chuva e apresentados o histórico de ensaios de avaliação da estanqueidade e os resultados experimentais obtidos para materiais avaliados - na maioria dos casos foram mostrados resultados para tijolos, constatando-se a carência de pesquisa em blocos de concreto. Uma compreensão dos mecanismos que influenciam nos testes usados é importante. Pode ser observado que existe uma caracterização das propriedades mecânicas de cada um dos elementos construtivos e que os resultados obtidos em relação à estanqueidade restringem-se a parâmetros que dependem da inspeção visual, ficando muito abstrata a explicação destes resultados.

Os ensaios encontrados em blocos e que avaliou novos parâmetros de caracterização foi desenvolvidos por KVANDE e WALDUM (2002), que propuseram a determinação de conteúdo de umidade em diferentes partes da parede.

A vazão e a pressão são fatores integrantes do processo de penetração de água, mas foi constatado por GARDEN (1963), CHEWS (2001) e por KVANDE e WALDUM (2002) que a pressão influencia no processo mais que a vazão, porque, se existisse um filme de água, esta não penetraria na parede, a menos que houvesse uma pressão direcionando a água para o interior da mesma.

Numerosos testes em painéis à escala reduzida foram feitos por vários investigadores para eliminar a variável da qualidade na construção visando possibilitar o estabelecimento de relações entre as propriedades dos materiais e a penetração de água e, estes tiveram resultados controversos e variados.

Qualquer discussão sobre a influência de uma propriedade individual do material na penetração de água precisa ser muito bem analisada, tendo conhecimento, desde o ponto de vista físico, dos mecanismos de migração de umidade e do ponto de vista tecnológico, o processo de construção e as características e composição dos elementos construtivos são requisitos indispensáveis dentro do processo de determinação da resistência de uma parede de alvenaria à penetração de água de chuva.

A influência de propriedades individuais do material na penetração de água é geralmente dependente de outras propriedades dos materiais no sistema de alvenaria. Por exemplo, o efeito de usar uma unidade de alta taxa inicial de absorção (IRA) também é influenciado pela retenção de água da argamassa. O entendimento desta relação é útil na seleção de materiais que são compatíveis.

Das propriedades das argamassas investigadas, uma hierarquia é evidente em termos da influência potencial destas na resistência de paredes de alvenaria à penetração de água. Dentre as propriedades, o conteúdo de ar e a resistência à compressão são as que têm pouca ou nenhuma correlação na penetração de água. Por outro lado, as pesquisas indicam que a trabalhabilidade (*flow*) e retenção de água da argamassa podem afetar significativamente o desempenho de penetração de água da parede de alvenaria.

Em relação à resistência à aderência da argamassa, não foi encontrada uma forte correlação com respeito ao desempenho de paredes de alvenaria à penetração de água, mas, do ponto de vista físico, pode ser observado que, quando a umidade alcança a interface, o processo de molhagem torna-se lento devido à resistência hídrica da interface.

Uma relação existe entre a taxa inicial de absorção (IRA) de tijolo e o desempenho de paredes de alvenaria à penetração de água. Amostras de paredes construídas com unidades de alta absorção geralmente exibem uma baixa resistência à penetração quando comparadas com as construídas com unidades de baixa taxa inicial de absorção (IRA). Reduzindo-se a taxa inicial de absorção através de molhagem das unidades ou usando argamassas de alta retenção de água, até o momento de construção, melhora-se a resistência à penetração de água de paredes construídas com unidades com alta absorção.

Além da taxa inicial de absorção (IRA), pouco foi publicado sobre a influência das propriedades do elemento de alvenaria com relação à penetração de água, ficando evidente a necessidade de pesquisas nesta área.

A avaliação de propriedades físicas e higrotérmicas básicas como porosidade, isotermas de adsorção, absorção por capilaridade, permitirá obtenção de parâmetros de comportamento da água – material poroso, sendo salientado que a análise dos fenômenos e mecanismos físicos e higrotérmicos de transferência de umidade dos elementos de construção constituintes da edificação apresenta enormes dificuldades pela complexidade da composição das paredes, atualmente constituídas de múltiplas camadas.

A seguir são apresentados os mecanismos de sorção de umidade, os modelos teóricos de transferência de umidade em meios porosos e as equações que descrevem o fluxo combinado da umidade na fase vapor e líquida nos materiais e elementos de construção porosos.

## 2.4 MECANISMOS DE SORÇÃO DE UMIDADE

A sorção de água capilar pode ser dividida em três regiões de acordo com os mecanismos de fixação e transferência de água. As duas primeiras regiões de sorção, adsorção molecular e condensação capilar de vapor de água, são comumente referidas como a sorção higroscópica. A região final de sorção de água, sucção de água ou absorção de água líquida, é referida como sorção super - higroscópica ou capilar.

### 2.4.1 MECANISMOS DE FIXAÇÃO DE UMIDADE EM MEIOS POROSOS.

Para MENDES (1997), as moléculas de água na fase líquida, aderidas a uma superfície, podem ser de natureza pluvial e/ou originadas da condensação de vapor de água do ar circundante. A fase vapor pode migrar diretamente na estrutura. A fixação de vapor na superfície dos poros pode ocorrer através de adsorção, nos poros mais finos, através de condensação capilar.

#### 2.4.1.1 ADSORÇÃO/DESSORÇÃO

Os materiais usados freqüentemente, na construção civil, são higroscópicos. Isto significa que colocados em um ambiente em que a umidade relativa varia, o seu teor de umidade também varia (*fenômenos de adsorção*)<sup>2.1</sup>. Os materiais de construção podem apresentar vários graus de higroscopicidade, podendo ser classificados em:

*Higroscópico*: quando a quantidade de água fixada por adsorção é relativamente importante, exemplo: o concreto celular e o gesso; e *não-higroscópicos*: quando a sua massa é praticamente, independente da umidade relativa do ambiente onde se encontre exemplo, o barro vermelho (FREITAS, 1992).

Conforme FERNANDES (1990), o mecanismo de adsorção foi interpretado primeiramente por LANGMUIR em 1918 e, segundo o autor, no equilíbrio há taxas iguais de condensação e evaporação sobre a superfície sólida considerando a formação de uma camada única de moléculas sobre a estrutura porosa. É chamada de teoria monomolecular.

---

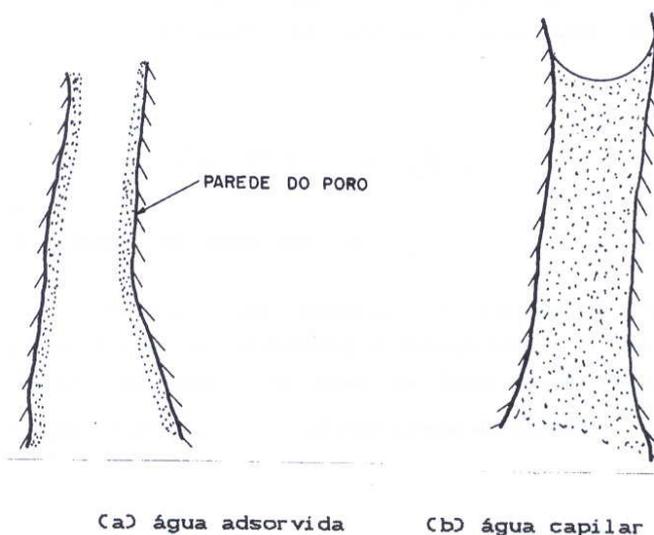
2.1 A adesão por adsorção é um fenômeno físico que ocorre quando uma partícula de um material se deposita na superfície de outro sem que haja interação química (ATKINS, 1999 *apud* PAES, 2005).

Esta interpretação inicial foi seguida e aprimorada por BRUNAUER, EMMET e TELLER (BET) em 1938, concluindo que a superfície de poros é recoberta por várias camadas moleculares superpostas (esta teoria foi chamada de teoria de adsorção multimolecular ou BET), e o estado de equilíbrio corresponde à situação em que há evaporação numa determinada camada de moléculas sobre a superfície sólida e condensação numa camada imediatamente inferior. Posteriormente, o modelo de BET foi aperfeiçoado, originando o modelo atualmente conhecido como modelo de GAB, em homenagem aos autores GUGGENHEIM, ANDERSON e DE BÔER. Na concepção de MEROUNI (1987), este modelo é o que melhor se ajusta às curvas isotérmicas de equilíbrio. Segundo BROCKEN (1998), este fenômeno de adsorção é predominante em microporos de tamanhos até 2nm com uma superfície específica relativamente alta nas paredes dos poros.

O conteúdo de umidade obtido experimentalmente para uma dada condição de equilíbrio higro-térmico é composto de uma parcela de água adsorvida e outra de água capilar. A água adsorvida é composta de camadas de moléculas que condensam sobre a superfície dos poros (Figura 2.12a) (FERNANDES, 1990).

#### 2.4.1.2 CONDENSAÇÃO CAPILAR

A condensação capilar pode ser considerada como o mecanismo que faz com que a fase líquida preencha os poros e ocorre, de acordo com BROCKEN (1998), nos poros de tamanho 2-50 nm. A Figura 2.12 b apresenta esquematicamente a água na situação de condensação capilar.

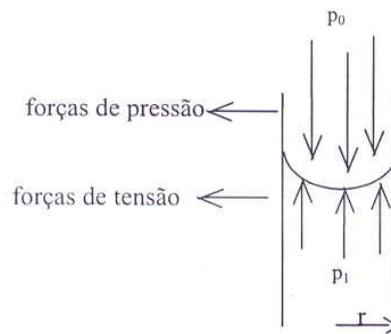


**Figura 2.12 - Os dois modos de condensação da água no seio poroso (FERNANDES, 1990)**

Neste fenômeno, forma-se uma superfície curva separando as fases líquida e gasosa, que, através de seus dois raios principais de curvatura ( $r_1$  e  $r_2$ ) e da tensão superficial ar – água, relacionam-se com a pressão capilar  $p_c$ , dada pela Lei de LAPLACE:

$$p_c = p_0 - p_1 = \sigma \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right); \quad [2.4]$$

as pressões  $p_0$  e  $p_1$  podem ser visualizadas na Figura 2.3:



**Figura 2.13: Representação esquemática de um fluido molhante em um cilindro de pequeno diâmetro (MENDES,1997).**

A lei de KELVIN estabelece que, quando se tem o equilíbrio termodinâmico entre as fases vapor e líquido, elas se encontram dentro de um mesmo nível energético ou num mesmo potencial, podendo ser expressas genericamente por:

$$\phi_l = \phi_v = \rho_l \frac{RT}{M} \ln h, \quad [2.5]$$

onde:  $\phi_l$  e  $\phi_v$  são os potenciais correspondentes ao líquido e vapor, respectivamente, expressos em unidades de pressão. Na ausência de adsorção física, quando a fixação ocorre puramente por condensação capilar, o potencial se iguala à pressão capilar, levando à seguinte expressão:

$$\phi = \rho_l \frac{RT}{M} \ln h = -\sigma \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \quad [2.6]$$

Para uma interface esférica de raio  $r_e$ ,  $r_1=r_2=r_e$ , logo tem-se:

$$\phi = \rho_l \frac{RT}{M} \ln h = \frac{-2\sigma}{r_e}, \quad [2.7]$$

ou que explicitamente, para uma umidade relativa, tem-se

$$h = \exp\left( \frac{-2\sigma M}{r_e \rho_l RT} \right) \quad [2.8]$$

Para condições de estabilidade da interface, escreve-se:

$$r_e \geq \frac{r}{\cos \alpha}, \quad [2.9]$$

em que  $r$  é o raio do poro.

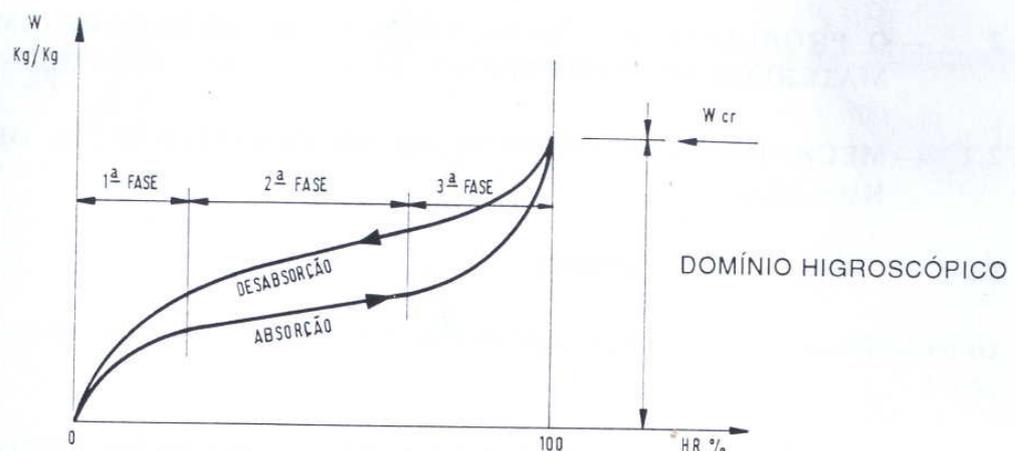
Isto caracteriza uma condição necessária para haver condensação capilar (MENDES, 1997).

Por meio da equação de Kelvin, pode ser estabelecido que a condensação que ocorre dentro de um poro, para uma determinada pressão de vapor, é definida pelo raio médio da curvatura. E aí, a sorção de água, devido à condensação capilar nos materiais porosos, é relacionada para esta umidade relativa. Para condições isotérmicas, esta relação é aplicada na modelação de *rangos* superiores de  $h=0,4$  e são chamadas de isotermas de adsorção dos materiais porosos.

As isotermas de adsorção traduzem a interação água - superfície do sólido para todo o domínio higroscópico das atividades da água, permitindo quantificar os fenômenos de sorção de vapor de água que têm influência na vida útil de materiais de construção. As curvas fornecem os valores de equilíbrio do teor de água (evaporável) molar, gravimétrica ou volumétrica do material em função da umidade relativa do ar do ambiente, para uma dada temperatura fixa.

Denominam-se isotermas de adsorção quando a curva é obtida através de umidades relativas crescentes (molhagem) e de isotermas de dessorção para umidades relativas decrescentes (secagem), existindo o efeito de “*histerese*”<sup>2.2</sup> entre os dois, que, segundo BROCKEN (1998), pode ser devido a dois mecanismos: o ângulo de contato histerese e por histerese capilar resultante da estrutura porosa do material.

Os fenômenos exibidos anteriormente são representados graficamente na Figura 2.14. e são atribuídos às forças intermoleculares ou de Van Der Waals que atuam na interface sólido - fluido, no interior dos poros.



**Figura 2.14: Variação do teor de umidade de um material poroso em função da umidade relativa do ambiente (FREITAS, 1992).**

<sup>2.2</sup> Histerese: Comportamento diferencial entre as curvas de adsorção e dessorção que pode influenciar significativamente para curvas de umidades em zona de elevados teores de umidade.

Numa primeira fase, ocorre a fixação de uma camada de moléculas de água na superfície interior do poro (adsorção monomolecular), seguindo-se, numa segunda fase da deposição de várias camadas de moléculas (adsorção plurimolecular). Quando nos diâmetros dos poros pequenos há junção de camadas plurimoleculares (condensação capilar), ocorre o fenômeno descrito pela teoria de Kelvin (FREITAS,1992).

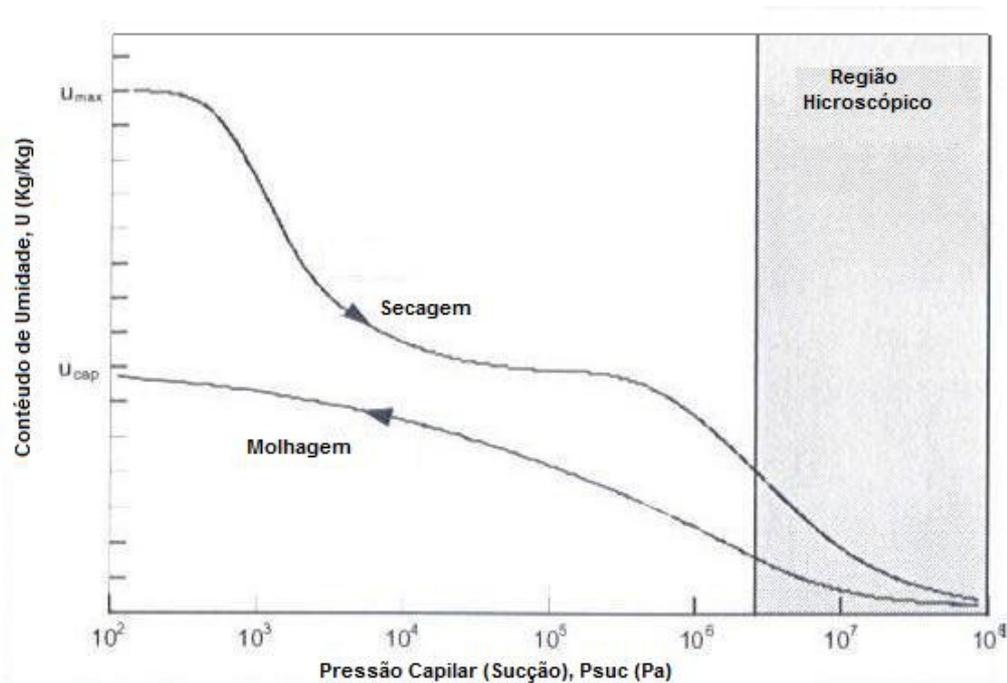
#### 2.4.1.3 ÀGUA CAPILAR ABSORVIDA (Região super - higroscópica)

Nos macroporos, os quais representam o volume de poros dominantes em materiais de construção porosos, a absorção de água capilar não é usualmente representada pelas isotermas de adsorção. Nesta região, a sorção de água ocorre para umidades relativas acima de 95 % (BROCKEN, 1998) e 98 % (VALEN, 1998) e é normalmente apresentada em função da pressão capilar. Devido aos poros terem diferentes tamanhos e formas, cada pressão capilar distribuir-se-á dentro dos poros até que uma condição de equilíbrio seja estabelecida (assim os poros menores serão preenchidos inicialmente com as pressões capilares mais altas). Como resultado, a pressão de sucção capilar é relacionada com o conteúdo de umidade dos materiais.

A curva de sucção (curva de pressão ou curva de retenção) é a que descreve esta relação entre a pressão ou sucção capilar e a quantidade acumulada de água dentro do material. Portanto, o desenvolvimento da curva de pressão capilar (sucção) depende da distribuição do raio dos poros e da sua variação, sendo que a sucção é tanto menor quanto maior for o teor de umidade. A sucção capilar pode ser expressa pela seguinte equação:

$$\psi = -\frac{P_c}{\rho_l \times g} \text{ [m de } H_2O \text{]} \quad [2.10]$$

Na Figura 2.5, é apresentada uma típica curva de sucção de um material poroso, sendo que durante a absorção capilar, o material atingirá o conteúdo de umidade de saturação capilar (ucap). Neste caso, segundo PEDERSEN (1990) *apud* VALEN (1998), os grandes poros nunca serão totalmente preenchidos com água durante a absorção capilar, pois existem bolhas de ar no seu interior. Nesta mesma curva, a quantidade de água máxima que pode ser absorvida é limitada pela porosidade aberta dos materiais porosos. Este valor é definido como o conteúdo de umidade de saturação a vácuo (umáx) e somente poderá ser alcançado quando o processo for realizado em uma câmara de vácuo, onde todos os poros estarão acessíveis à água e o material poderá alcançar o estado de saturação total.



**Figura 2.15: Curva de sucção capilar**  
**Fonte: PEDERSEN (1990) apud VALEN (1998)**

## 2.4.2 MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE UMIDADE EM MEIOS POROSOS.

Para MENDES (1997), a umidade é transferida no interior do meio poroso mediante diferentes mecanismos de transporte. O vapor de água é transferido para o interior através de fenômeno de difusão, e a fração condensada através do fenômeno de capilaridade. O processo de difusão ocorre na presença de um gradiente de pressão parcial que faz com que as moléculas de vapor tenham movimento relativo com as moléculas que compõem o ar. No fluxo de fase líquida nos poros, tem – se presente o fenômeno de capilaridade, que é constituído pelas forças externas criadas por contato superficial, gradientes de pressão e peso de coluna de líquido.

Em materiais de edificações e meios porosos em geral, a migração de umidade é fortemente influenciada pela estrutura porosa, o que não permite que o fluxo de líquido seja governado pela teoria da difusão. Para que haja penetração de água por capilaridade, é necessário que a interação entre as moléculas do líquido seja mais importante que as interações delas com a superfície sólida, possibilitando a formação de pontes de líquido entre superfícies opostas.

O transporte de vapor em meio poroso pode se apresentar tanto por difusão quanto por efusão, como forças motrizes oriundas do gradiente de concentração de vapor de água. A diferença está na resistência de escoamento.

Na difusão, esta resistência é predominantemente em virtude da colisão entre as moléculas de vapor e do ar, enquanto, na efusão, ela está associada à colisão entre as moléculas de vapor de água e as superfícies sólidas.

#### **2.4.2.1 MODELOS TEÓRICOS DE TRANSFERÊNCIA DE UMIDADE EM MEIOS POROSOS.**

Diversos pesquisadores têm descrito o processo de transferência de umidade por vários anos. Podem ser referidos os trabalhos de PHILIP & de VRIES (1957), LUIKOV (1966), GLASER (1959), KRISCHER (1978) *apud* BROCKEN, 1998, entre tantos outros citados no item 1.1.2. Mas a teoria de PHILIP & de VRIES tem sido a de maior uso prático. Esta teoria descreve a transferência simultânea de água líquida, vapor de água e calor governados pelos gradientes de teor de umidade e temperatura. O modelo da transferência de umidade é baseado em uma aproximação macroscópica considerando o material como contínuo. Conseqüentemente, a validade do modelo é restringida para dimensões de material que são suficientemente grandes para considerar os parâmetros do material como parâmetros médios do material macroscópico. Para tais critérios, WHITAKER (1977) e BEAR e BENSABAT (1991) introduziram o chamado volume elementar representativo (REV) para relacionar as propriedades físicas e geométricas microscópicas de meio poroso real com as propriedades macroscópicas do modelo contínuo.

Nesta derivação das equações para o transporte de umidade, é assumido que:

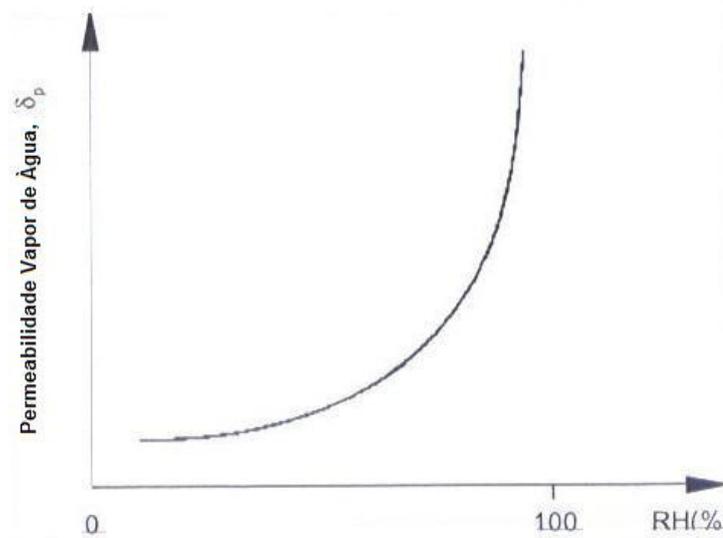
- O material é homogêneo, isotrópico e rígido;
- A fase sólida é inerte;
- A fase líquida é pura e incompressível;
- A fase do ar pode ser considerada como um gás ideal para as pressões atmosféricas e como gradientes de pressões desprezíveis;
- As forças determinantes do transporte de umidade são consideradas sob condições isotérmicas;
- E as forças gravitacionais e os efeitos da histerese são desprezíveis.

### 2.4.2.1.1 TRANSFERÊNCIA DE VAPOR DE ÁGUA

A difusão de vapor de água é um movimento relativo contínuo das moléculas de vapor de água (movimento browniano) que ocupa o espaço poroso do material. A lei de FICK é a que expressa a pressão de vapor de água parcial como potencial, sendo descrito o transporte de umidade ( $g_v$ ):

$$g_v = -\delta_p \frac{\partial p_v}{\partial x} \quad (\text{kg/s.m}^2) \quad [2.11]$$

em que a propriedade de transporte  $\delta_p$  é a permeabilidade de vapor de água (kg/s.m.Pa) e  $p_v$  é a pressão de vapor de água parcial (Pa). A curva de permeabilidade de vapor de água de um material poroso é apresentada na Figura 2.16.



**Figura 2.16: Curva típica da permeabilidade de vapor de água como uma função exponencial da umidade relativa**  
**Fonte: HENDENBLAD, (1993) apud VALEN (1998)**

A Lei de FICK pode ser vista para o transporte de umidade em diferentes formas com diferentes potenciais, como destacados a seguir:

$$g_v = -D_w \frac{\partial w}{\partial x} = -D_u \rho \frac{\partial u}{\partial x} \quad [2.12]$$

$$g_v = -\delta_v \frac{\partial v}{\partial x}, \quad [2.13]$$

Em que  $D_w$  ou  $D_u$   $m^2/s$  são os coeficientes de difusividade do vapor de água com relação ao conteúdo de umidade  $w$  ( $kg/m^3$ ) como massa por volume de material seco e, o conteúdo de umidade  $u$  ( $kg/kg$ ) como massa por massa de material seco, respectivamente. O  $\delta_v$  ( $m^2/s$ ) é a permeabilidade de umidade em relação ao teor de vapor de água  $v$  ( $kg/m^3$ ). As equações 2.16 e 2.18 são normalmente usadas dentro da área higroscópica (0-98 % umidade relativa), enquanto que a Figura 2.17 pode ser usada em toda a região do material seco até a saturação com água. A maioria dos coeficientes de transporte de umidade ( $\delta_p$ ,  $\delta_v$ ,  $D_w$ ,  $D_u$ ) não são constantes, mas variam com o teor de umidade e também, em alguns casos, com a temperatura.

### 2.4.2.1.2 TRANSFERÊNCIA DE ÁGUA LÍQUIDA

De acordo com PEDERSON,1990 *apud* VALEN 1998, a teoria desenvolvida para o transporte laminar em um tubo capilar é atualmente difundida pela descrição do processo de transporte em materiais porosos, usando a Lei de Darcy, a qual é válida para um tubo laminar.

$$g_l = -K \frac{\partial P_{suc}}{\partial x} \quad (kg/s.m^2) \quad [2.14]$$

Em que  $g_l$  é o fluxo de água ( $kg/s.m^2$ ),  $K$  ( $kg/s.m.pa$ ) é a condutividade hidráulica e  $P_{suc}$  é a pressão por sucção (Pa). A Lei de DARCY é usada extensamente e, para muitas aplicações, aceita. No entanto, para o transporte líquido capilar através de material poroso não saturado é usada na sua forma original. Para explicar, será mostrada a equação de Darcy na forma diferencial:

$$q = \frac{V}{At} = -k \frac{dh}{ds} \quad [2.15]$$

*Em condições de não-saturação*, a primeira modificação na equação de Darcy envolve o reconhecimento de que os poros ocupados por ar reduzem a área efetiva ao fluxo, aumentando a tortuosidade do fluxo remanescente. Assim, a condutividade hidráulica em meios porosos não-saturados é menor do que nos saturados e dependente do conteúdo de água ou da pressão da água nos meniscos dos poros.

BUCKINGHAM, *apud* PAES, 2004 chegou a propor uma equação para quantificar a densidade de fluxo em tal condição (meio não-saturado), todavia, considerando somente o gradiente de tensão nos capilares, sem fazer menção ao componente gravitacional (z). Ao que parece, isso só foi corrigido alguns anos mais tarde, por GARDNER & WIDTSOE (1921), citado por FREDLUND & RAHARDJO (1993) *apud* PAES, 2004, de tal forma que se pode escrever esta equação da densidade de fluxo em meio não-saturado como:

$$q = -k(\theta) \frac{dh}{ds} \quad [2.16]$$

em que:

(s = coordenada em qualquer posição, x,y ou z);

q (m/s) é a densidade de fluxo, ou seja, o volume de água por unidade de área e de tempo;

k (m/s) é a condutividade hidráulica, que em meio não saturado é uma função da umidade ( $\theta$ ) ou da pressão da água nos meniscos capilares ( $p/\rho g$ );  $dh/ds$  (m/m) é o gradiente do potencial hidráulico, sendo  $h = z + (p/\rho g)$ , em que: z é a energia potencial gravitacional e  $(p/\rho g)$  a energia potencial de pressão.

Aplicando a equação da continuidade ou equação da conservação da matéria:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = - \left[ \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right] \quad [2.17]$$

Assim como da difusividade hidráulica:

$$D(\theta) = k(\theta) \frac{d(p/\rho g)}{d\theta} = k(\theta) \frac{1}{c} \quad \text{sendo } c^* = \frac{d(\theta)}{d(p/\rho g)} \quad [2.18]$$

Foi definida a equação diferencial geral que governa o movimento de água em meios não-saturados, hidraulicamente homogêneos, em regime de fluxo transiente:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial z} + k(\theta) \right] \quad [2.19]$$

Se a densidade de fluxo for considerada *somente na direção x*, como no caso dos blocos que absorvem água (pasta aglomerante) da argamassa fresca (desprezando-se a gravidade), então a (2.19) fica:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( - D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) \quad [2.20]$$

Em que  $\theta$  é o teor de umidade,  $x$  é a profundidade de penetração da água no material e  $t$  o tempo. PHILIP (1957) resolveu a equação (2.20) usando a transformação de Boltzmann considerando que o fluxo em materiais porosos não-saturados começa dependendo do tempo.

$$2 \frac{d}{d\phi} \left( D(\theta) \frac{d\theta}{d\phi} \right) + \phi(\theta) \frac{d\theta}{d\phi} = 0 \quad [2.21]$$

Com base em PHILIP (1957), HALL (1989) calculou o volume de água absorvida por unidade de volume do bloco cerâmico ( $i$ ) como:

$$i = t^{1/2} \int_{\theta_i}^{\theta_1} \phi(\theta) d\theta \quad [2.22]$$

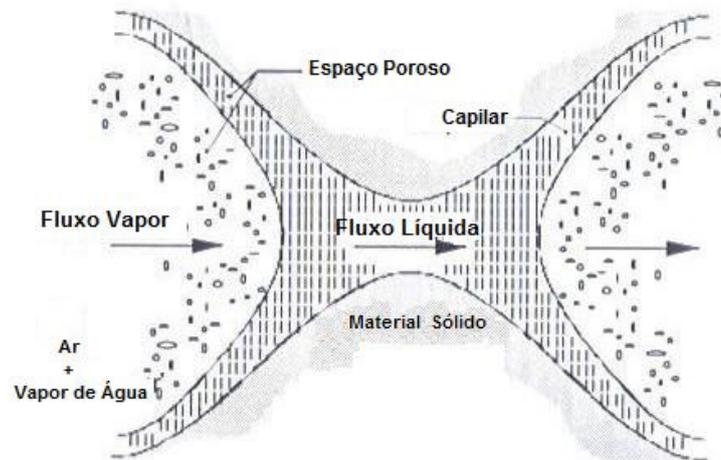
Definindo  $\theta_1$  como o teor de umidade à saturação e o teor de umidade  $\theta_i$  podendo ser zero para amostras secas artificialmente, e o valor da integração pode ser determinado durante qualquer período de tempo  $t$ . PHILIP (1957) define esta integral como a sorptividade  $S$  simplificando a equação (2.22) para a equação (2.23)

$$i = S t^{1/2} \quad [2.23]$$

A partir da equação (2.23), pode ser considerado que a absorção unidimensional da água é relacionada linearmente com a raiz quadrada do tempo. Conseqüentemente, antes da saturação das unidades de alvenaria, a reta do volume de água absorvida por unidade de área de sucção de superfície *versus* a raiz quadrada do tempo de absorção deve ser linear. A inclinação da reta define a sorptividade ( $s$ ) do material. Estudos realizados atribuem a existência de uma intersecção pelo armazenamento de água absorvida pelo material no primeiro contato pelos poros próximos da superfície; JANSON (1965), HALL e YAU (1987) e HALL (1989) atribuem ao preenchimento dos poros abertos da superfície de infiltração.

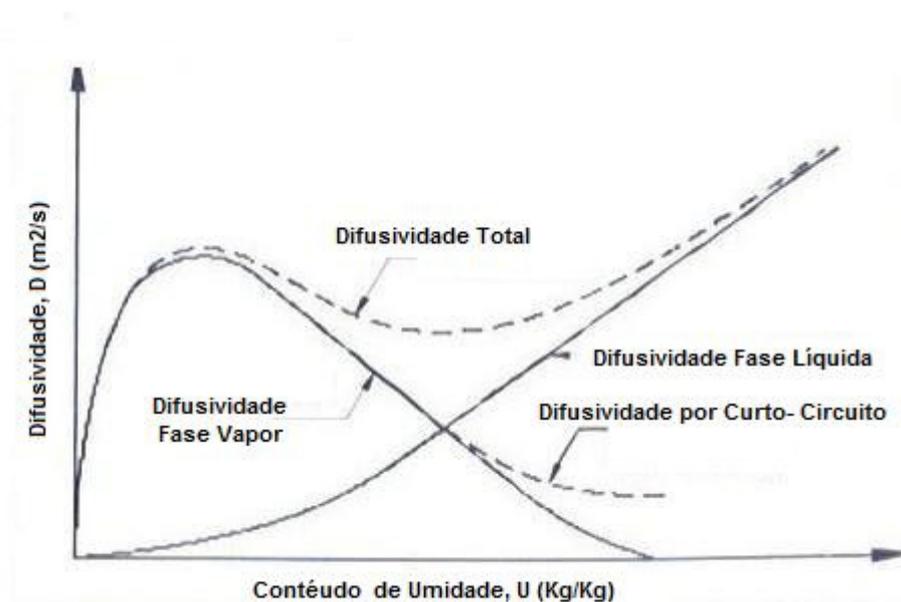
### 2.4.2.1.3 COMBINAÇÃO DA TRANSFERÊNCIA DO VAPOR DE ÁGUA E DE ÁGUA LÍQUIDA

Na região higroscópica, a transferência de umidade é dominada pela difusão de vapor de água e a umidade é principalmente adsorvida pelas paredes dos poros. No entanto, com o aumento do teor de umidade, ilhas de água (líquida) formam-se dentro dos capilares menores. De acordo com ANDERSON (1985), este transporte combinado de vapor de água e água na fase líquida ocorre em série. Isto é mostrado na Figura 2.17.



**Figura 2.17: Transporte de umidade combinado em um material poroso como séries de transporte de vapor de água e água líquida.**  
**Fonte: ANDERSON (1985) apud VALEN (1998)**

Como apresentada na seção 2.4.2.1.1, a transferência de umidade na área de umidade pode ser descrita pela equação 2.12, em que as propriedades de transporte  $D_w$  ou  $D_u$  são a difusividade de umidade, que depende do teor de umidade  $w$  ou  $u$ , sendo válido para toda a área de umidade desde o vapor até o fluxo capilar. Na Figura 2.18, é exibida a curva típica de difusividade umidade total tomada de Philip & de Vries (1957) apud VALEN (1998)

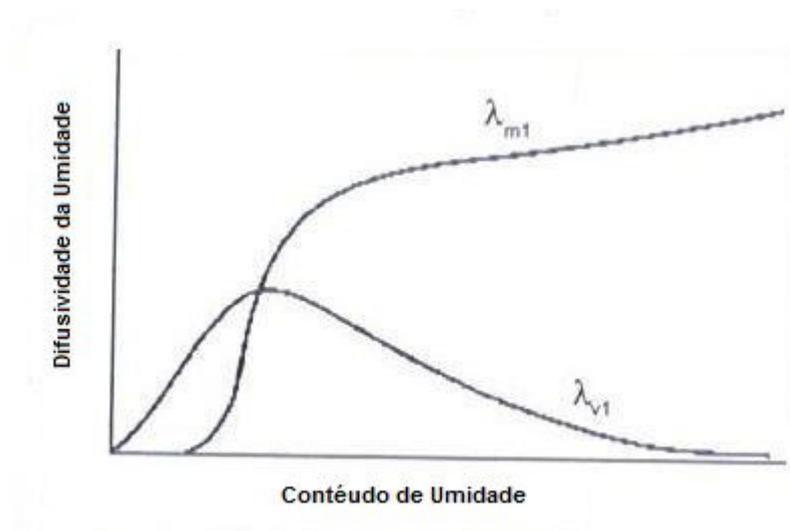


**Figura 2.18: Difusividade de umidade total como uma função do conteúdo de umidade.**  
**Fonte: PHILIP & DE VRIES (1957) apud VALEN (1998)**

Por outro lado, pela separação do vapor de água e o fluxo capilar em duas partes, o fluxo de umidade total ( $g_{total}$ ) pode ser encontrado pela combinação da equação do vapor de água por difusão e o fluxo de água líquida (equações 2.11 e 2.14), tendo a seguinte expressão:

$$g_{total} = g_v + g_w = g_{difusão} + g_{capilar} = \delta_p \frac{\partial p_v}{\partial x} + K \frac{\partial P_{suc}}{\partial x} \quad [2.24]$$

Na figura 2.9, e tem-se a curva da difusividade de vapor de água e a da difusividade da água líquida quando as duas fases são separadas.



**Figura 2.19: Difusividade de umidade como uma função do conteúdo de umidade para vapor de água ( $\lambda_{v1}$ ) e água líquida ( $\lambda_{m1}$ ).**

**Fonte: ANDERSON, (1985) apud VALEN (1998)**

---

## **CAPÍTULO 3**

### **METODOLOGIA E PROGRAMA EXPERIMENTAL**

Com o levantamento do estado de arte, na seqüência será apresentado o programa experimental que foi desenvolvido com o objetivo de verificar a influência da estrutura de poros dos diferentes materiais componentes do sistema de revestimento composto por argamassas mistas (cimento: cal: areia/cinza pesada) e substratos de concreto (mais e menos densos) no transporte e fixação de água. Procurou-se estabelecer o grau de correlação das características de estanqueidade à penetração de água de chuva em paredes com os resultados dos ensaios experimentais, investigando-se o grau de influência dos fatores intervenientes para os diferentes materiais utilizados nos revestimentos.

Para tanto, foram realizados ensaios de caracterização das argamassas em estado fresco através do ensaio de consistência e retenção de água, e endurecido, através da resistência à compressão; caracterização física através da determinação da porosidade aberta (porosidades permeáveis) e massa específica por meio da saturação a vácuo. A caracterização do domínio higroscópico foi realizada através das isotermas de adsorção das argamassas e do substrato e, a caracterização do domínio capilar com monitoramentos da transferência de água das argamassas no estado endurecido e também do substrato através do ensaio de absorção capilar. Tais procedimentos permitiram obter os perfis de evolução da absorção de água em função da raiz do tempo, a sorptividade e o ângulo de molhamento aparente.

Numa etapa posterior, os sistemas de revestimento compostos pelas argamassas de revestimento aplicados em diferentes substratos [mais e menos denso] foram avaliados quanto ao desempenho à penetração de água de chuva, através do ensaio de estanqueidade. A avaliação da condutividade térmica permitiu identificar o efeito das cinzas na condutividade térmica das argamassas. Como ensaios complementares foram avaliados a resistência à aderência à tração do revestimento sobre o substrato (bloco), o grau de hidratação e a perda de massa ao fogo das argamassas.

Na seqüência abaixo, são apresentados as características dos experimentos e os procedimentos que serão empregados, fornecendo-se, dessa forma, uma visão detalhada do programa experimental.

### **3.1 ROTEIRO METODOLÓGICO**

Para este roteiro metodológico, foram definidas características de avaliação fixas, escolhidas arbitrariamente para a pesquisa, e as características dependentes, que permitiram uma avaliação do comportamento dos elementos de construção na transferência de água, sendo descritas na seqüência abaixo:

- **Características fixas de avaliação do sistema (variáveis independentes):** composição da argamassa, tipo de substrato (mais denso e menos denso) e espessura da camada de revestimento.

- **Composição das argamassas:**

Seis argamassas mistas (cimento: cal: areia/cinza pesada) com incorporação de cinzas pesadas e de aditivo foram desenvolvidas a partir do traço referência base com a composição, em massa, de 10% de cimento, 20% de cal e 70% de areia, em que foram trabalhados teores de substituição de areia por cinza pesada de 50% e 100%. A composição escolhida deve-se à melhor adequação na dosagem para que as argamassas elaboradas com as cinzas pesadas como agregado fornecessem uma argamassa com características de argamassas de revestimento, e sem fissuras e sem pulverulência. A variação no tipo de agregado e a natureza higroscópica das cinzas pesadas poderão influenciar no transporte e fixação de água.

- **Tipo de substrato:**

Dois tipos de substrato de natureza distinta (blocos de concreto mais denso (D1) e menos denso (D2) foram utilizados na pesquisa. A variação na densidade, conseqüentemente porosidade e da textura superficial influenciou o transporte de água no sistema de revestimento).

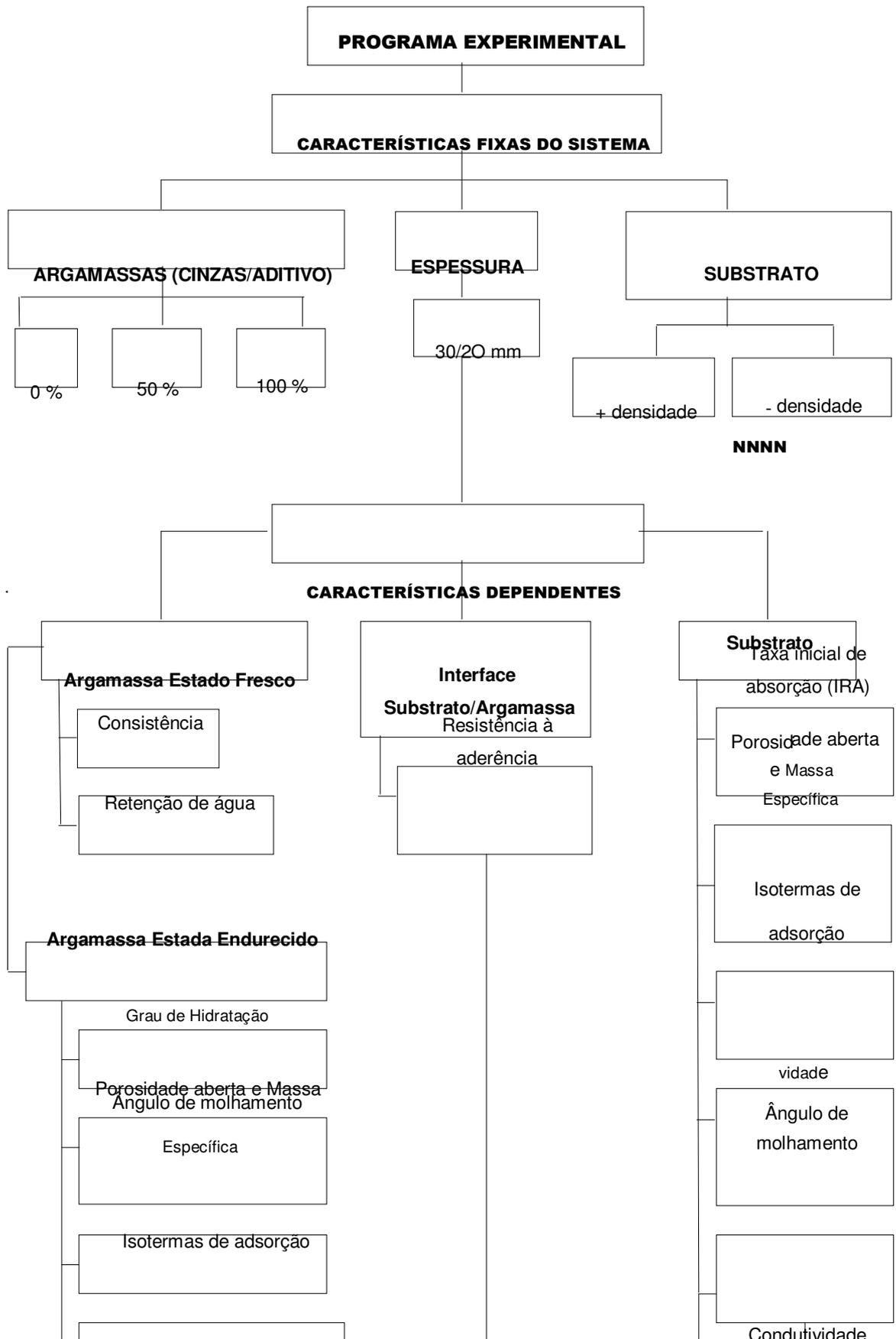
- **Espessura do revestimento:**

Foram utilizadas para todas argamassas, uma espessura de revestimento de 30mm para as amostras de caracterização e de 20mm para as paredes utilizadas no ensaio de estanqueidade. A espessura mínima de 30mm adotada refere-se à espessura máxima permitida por norma para realização de revestimento externo de fachada em camada única (NBR 13749/95). Buscou-se atingir uma espessura de 30 cm para garantir uma amostra com uma altura adequada que permitira caracterizá-la nos ensaios de avaliação e com características idênticas às argamassas de revestimento das paredes.

➤ **Características dependentes (variáveis dependentes) de cada elemento:**

- **Argamassa de revestimento no estado fresco:** consistência, retenção de água, e **no estado endurecido:** resistência à compressão, porosidade aberta, isoterma de adsorção, absorção por capilaridade, ângulo de molhamento e condutividade térmica.
- **Substrato:** taxa inicial de absorção de água (IRA), porosidade aberta, isoterma de adsorção, absorção por capilaridade, ângulo de molhamento e condutividade térmica.
- **Interface (argamassa/substrato):** resistência à aderência.

Na Figura 3.1, apresenta-se o fluxograma geral com os ensaios experimentais que foram seguidos durante a pesquisa.



## 3.2 DESCRIÇÃO DO PROGRAMA EXPERIMENTAL

### 3.2.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS EMPREGADOS

Nesta pesquisa, foram utilizados como substratos, blocos estruturais vazados de concretos produzidos em escala industrial. Além destes, foram utilizadas argamassas aplicadas aos substratos confeccionadas com os seguintes materiais constituintes:

- Cimento Portland CP-II-F, classe 32, escolhido pela ausência na sua composição de adições minerais ativas;
- Cal hidratada classificada pela NBR7175 (1992) como tipo CH-III;
- Areia natural classificada segundo a norma Brasileira NBR 7211 (ABNT,1993) com granulometria média;
- As cinzas pesadas são oriundas da bacia 7 da unidade C do Complexo Termelétrico de Jorge Lacerda, localizado no município de Capivari de baixo em Santa Catarina.

Estes materiais com exceção da cinza pesada foram escolhidos por serem comumente utilizados na execução de revestimentos em argamassa e facilmente adquiridos na região onde foi realizada a pesquisa. A Tabela 3.1 apresenta os resultados de análise do cimento CP-II-F 32, fornecido pelo fabricante.

#### 3.2.1.1 CIMENTO

**Tabela 3.1: Caracterização física e química do cimento Portland CP II-F-32 - lote 05/2005.**

CARACTERIZAÇÃO	MÉTODOS DE ENSAIOS	CARACTERÍSTICAS DETERMINADAS	UNIDADE	RESULTADOS
FÍSICA	NBR 11579	Finura na peneira # 200	(%)	3,19
	NBR 9202	Finura na peneira # 325	(%)	14,72
	NBR NM 76	Blaine	(cm <sup>2</sup> /g)	3295
	NBR NM 43	Consistência normal	(%)	25,74
	NBR NM 65	Tempo de início de pega	(h:min)	02:37
	NBR NM 65	Tempo de fim de pega	(h:min)	03:25
	NBR 11582	Expansibilidade a quente	(mm)	0,7
	NBR 7215	Resistência à compressão 1 dia	(MPa)	15
	NBR 7215	Resistência à compressão 3 dias	(MPa)	26,3
	NBR 7215	Resistência à compressão 7 dias	(MPa)	32,2
	NBR 7215	Resistência à compressão 28 dias	(MPa)	40
	NBR 9676	Massa Específica	g/cm <sup>3</sup>	3,06
QUÍMICA	NBR 5743	Perda ao fogo	(%)	5,07
	NBR 9203	Óxido de silício - SiO <sub>2</sub>	(%)	18,84
	NBR 9203	Óxido de alumínio - Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(%)	4,33
	NBR 9203	Óxido de ferro - Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	(%)	2,57
	NBR 9203	Óxido de cálcio - CaO	(%)	60,29
	NBR 9203	Óxido de magnésio - MgO	(%)	4,95
	NBR 7227	Óxido de cálcio livre - CaO Livre	(%)	1,23
	NBR 5745	Trióxido de enxofre - SO <sub>3</sub>	(%)	3,17
	NBR 5744	Resíduo insolúvel	(%)	1,22
	-	Equivalente alcalino	(%)	0,59

A massa unitária do cimento foi determinada de acordo com a NBR7251/82 e o valor obtido para esta foi de 1,08 kg/dm<sup>3</sup>.

### 3.2.1.2 CAL HIDRATADA

A cal hidratada empregada na elaboração das argamassas de revestimento foi classificada pela NBR 7175/92 como tipo CH-III, da marca Gulin, pertencente ao lote de Abril de 2005. A caracterização do lote de cal utilizado foi fornecida pelo fabricante, conforme apresentada na Tabela 3.2.

**TABELA 3.2: Laudo técnico da cal CH-III, marca Gulin, lote 05/2005.**

CARACTERIZAÇÃO	CARACTERÍSTICAS DETERMINADAS	UNIDADE	RESULTADOS
FÍSICA	Finura da peneira ABNT 30 (0,6 mm)	%	= 0,5
	Finura da peneira ABNT 200 (0,075 mm)	%	= 15,0
	Umidade	%	0,1
QUÍMICA	Perda ao fogo	%	23,8
	(Resíduo Insolúvel)	%	4,7
	Óxido de cálcio - CaO	%	42,6
	Óxido de magnésio - MgO	%	27,1
	Óxidos totais	%	91,5
	Anidrico Sulfúrico (SO <sub>3</sub> )	%	nd
	Anidrico Carbônico (SO <sub>3</sub> )	%	6,6
	Óxidos não hidratados	%	13,4

A massa específica da cal foi determinada conforme a NBR 6474/8, e a massa unitária de acordo com a norma NBR7251/82. Os resultados destas determinações estão apresentados na Tabela 3.3.

**Tabela 3.3: Caracterização da cal**

Característica	Unidade	Média
Massa unitária	(kg/dm <sup>3</sup> )	0,77
Massa específica	(kg/dm <sup>3</sup> )	2,42

### 3.2.1.3 AGREGADOS

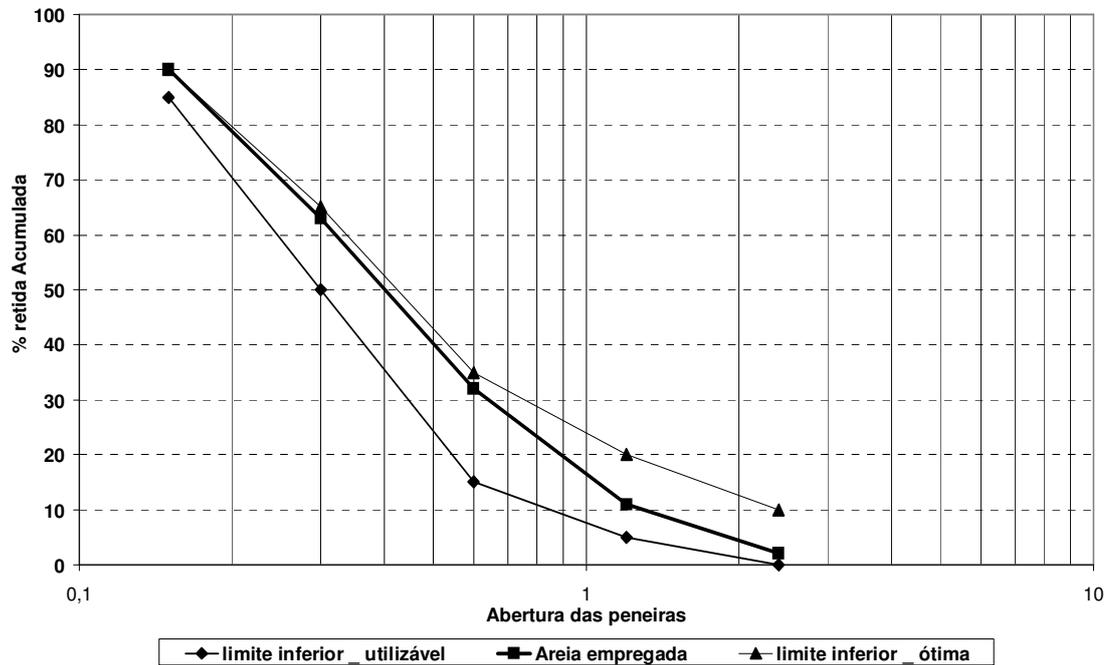
#### 3.2.1.3.1 AREIA

A areia natural utilizada é proveniente da região da Grande Florianópolis. A análise granulométrica desta areia está apresentada na Tabela 3.4.

**Tabela 3.4: Análise granulométrica da areia**

# Peneiras (mm)	Granulometria_Areia		
	% Retida	% retida acumulada	% passante acumulada
2,4	2,11	2,43	97,57
1,2	8,26	10,69	89,31
0,6	21,32	32,01	67,99
0,3	31,00	63,01	36,99
0,15	26,62	89,63	10,37
Fundo	10,37	100,00	0,00
Diâmetro Máximo Característica (mm)			1,20
Diâmetro Mínimo Característica (mm)			< 0,15
Modulo de Finura			1,08
Material Pulverulento (%)			2,67
Massa Unitária (kg/dm <sup>3</sup> )			1,32
Massa Específica (kg/dm <sup>3</sup> )			2,62
<b>Caracterização NBR 7211: Areia Fina com modulo de finura (MF) =1,98</b>			

Conforme verificado no gráfico da Figura 3.2 esta areia é classificada, segundo a NBR7211/2005, como areia fina (Zona 2).



**Figura 3.2: Distribuição granulométrica da areia.**

### 3.2.1.3.2 CINZA PESADA

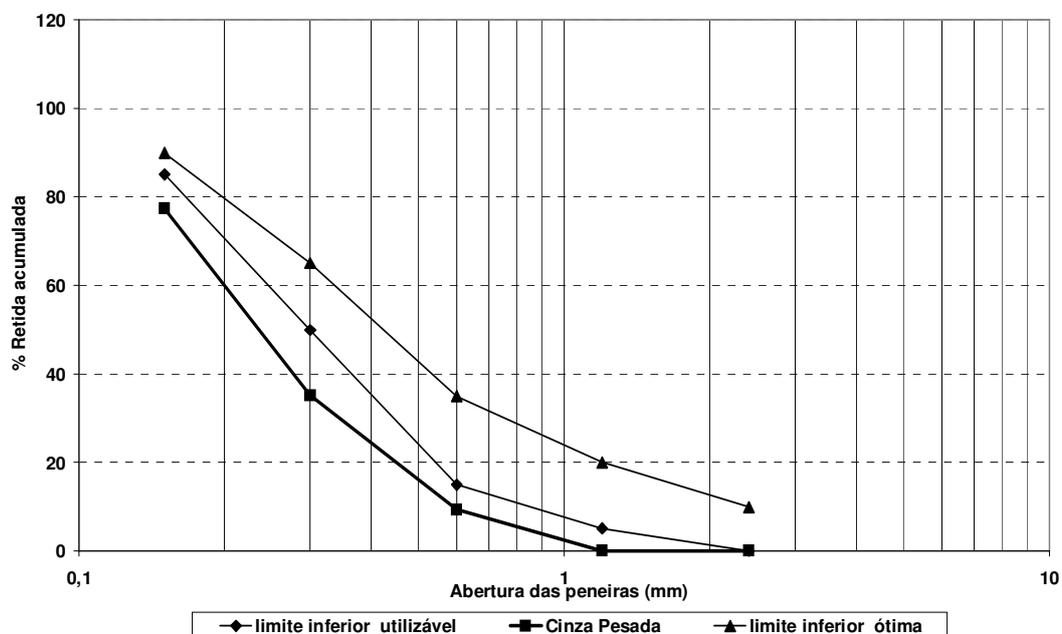
A cinza pesada utilizada nesta pesquisa é oriunda da esteira da Unidade C do Complexo Termelétrico de Jorge Lacerda, localizado no município de Capivari de Baixo em Santa Catarina.

A análise granulométrica desta cinza está apresentada na Tabela 3.5.

**Tabela 3.5: Análise granulométrica da cinza pesada**

Peneiras (mm)	Porcentagens		
	% Retida	% Retida Acumulada	% Passante Acumulada
2,4	0	0	100
1,2	0	0	100
0,6	12	12	88
0,3	24	36	64
0,15	38	74	26
Fundo	26	100	0
<b>Dimensão máxima característica</b>	1,2 mm		
<b>Dimensão mínima característica</b>	< 0,15 mm		
<b>Módulo de finura</b>	1,22		
<b>Classificação NBR 7211</b>	não é classificada		

Conforme verificado no gráfico da Figura 3.3, esta cinza pesada não se enquadra nas classificações propostas pela NBR7211/2005 para agregados miúdos, apresentando quantidade de finos superior aos limites estabelecidos pela Zona 1 (muito fina).



**Figura 3.3: Distribuição granulométrica da cinza pesada.**

Na Tabela 3.6, são apresentadas as principais características da cinza pesada. Em relação aos valores de massa unitária e massa específica da cinza pesada:  $0,57 \text{ kg/dm}^3$  e  $1,85 \text{ kg/dm}^3$ , respectivamente, são bastante inferiores aos valores encontrados para a areia:  $1,32 \text{ kg/dm}^3$  e  $2,62 \text{ kg/dm}^3$ , respectivamente. Desta maneira, a cinza pesada constitui um material de massa específica reduzida quando comparado com a areia, ou seja, pode ser considerado como sendo um agregado leve. No ensaio de perda de massa ao fogo, obteve-se a quantidade de material incombusto no processo de queima do carvão mineral, que é 4,44%.

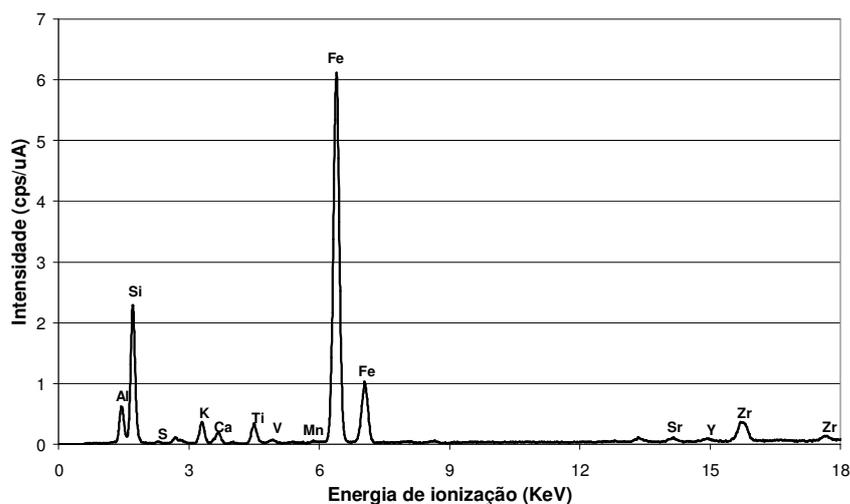
**Tabela 3.6: Características da cinza pesada**

Característica	Unidade	Média
Massa unitária	( $\text{kg/dm}^3$ )	0,57
Massa específica	( $\text{kg/dm}^3$ )	1,85
Material Pulverulento	(%)	9,85
Perda de massa ao fogo	(%)	4,44

Na Tabela 3.7, é apresentada a composição química, e, na Figura 3.4 o espectro por energia dispersiva da cinza pesada. Através destes é possível verificar que a cinza pesada é composta principalmente por óxidos de silício, alumínio, potássio e ferro, e que pertence a classe F segundo a ASTM C618.

**Tabela 3.7: Composição química da cinza pesada**

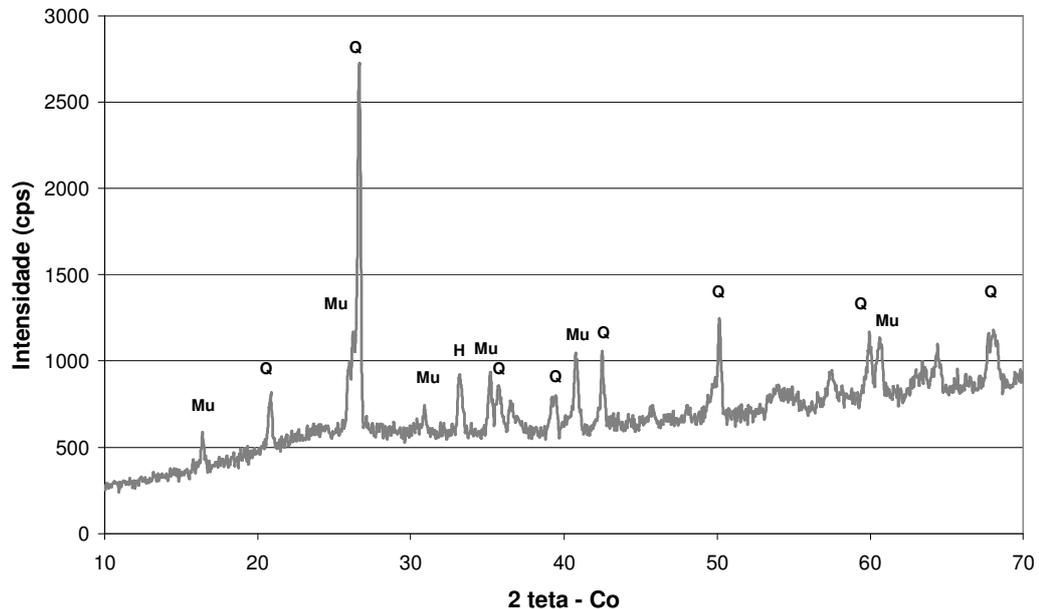
Análise	(%)	Análise	(%)
SiO <sub>2</sub>	41,789	SnO <sub>2</sub>	<b>0,046</b>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	38,209	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<b>0,031</b>
K <sub>2</sub> O	9,043	SO <sub>3</sub>	<b>0,029</b>
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,366	MnO	<b>0,026</b>
TiO <sub>2</sub>	0,810	ZnO	<b>0,014</b>
CaO	0,698	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<b>0,013</b>
MgO	0,402	SrO	<b>0,013</b>
ZrO <sub>2</sub>	<b>0,071</b>	CO <sub>2</sub>	<b>4,44</b>



**Figura 3.4: Espectro por energia dispersiva da cinza pesada**

Na Figura 3.5, são apresentados os difratogramas, onde puderam-se determinar os seguintes percentuais relativos, em peso, das fases presentes na cinza pesada: quartzo (31,96%), mulita (59,22%) e hematita (8,82%) (Fonte: SANTOS, 2006).

Quanto ao termo percentuais relativos das fases presentes, deve-se ao fato de não estar sendo considerada a fase amorfa presente na cinza pesada, embora na bibliografia seja mencionado que esta é em torno de 50% no caso das cinzas oriundas da queima do carvão mineral. De acordo com a bibliografia, é a fase amorfa que contribuirá para a redução na condutividade térmica (DEMIRBOGA, R (2003), BLANCO, F, GARCIA, P, MATEOS, S. e AYALA, S. 2000).



Q: quartzo ( $\text{SiO}_2$ ); M: mulita ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ); H: hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

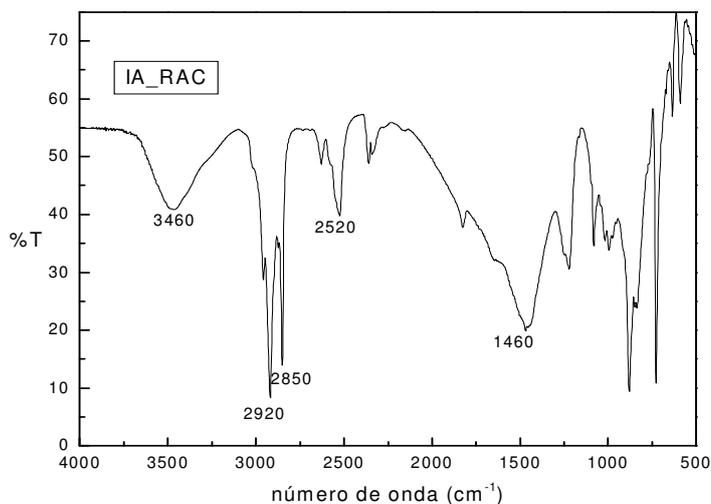
**Figura 3.5: Difratogramas da cinza pesada de carvão mineral (Santos 2006).**

#### 3.2.1.4 INCORPORADOR DE AR

Neste estudo experimental, foi utilizado o aditivo em pó: incorporador de ar da marca Racicol. Para a caracterização deste aditivo, foi obtido o seu espectro por infravermelho, que está apresentado na Figura 3.6. Este espectro foi obtido em pastilha de KBr, sendo que a análise desta foi realizada através de um espectrofotômetro de BOMEM FT-IR, modelo MB-100. Através da análise do infravermelho, tem-se que as seguintes posições de banda em  $\text{cm}^{-1}$  representam os seguintes grupos ou ligação:

- 3460: OH;
- 2920 e 2850:  $\text{CH}_x$ ;
- 2520: composto inorgânico (Na);
- 1460:  $\text{CH}_x$  e  $\text{CO}_3$ .

Além disso, determinou-se a perda de massa ao fogo deste aditivo, sendo que esta foi bastante elevada: 49,59%, (Fonte: SANTOS, 2006).



**Figura 3.6: Infravermelho do incorporador de ar (Fonte: Santos, 2006)**

### 3.2.1.5 SUBSTRATO

O substrato usado na presente pesquisa é definido pelos blocos pré-fabricados de concreto, vazados e com as dimensões de: 140 mm de largura x 190 mm de altura x 390 mm de comprimento. Os blocos foram produzidos com duas características distintas: blocos mais densos e menos densos. A escolha deste substrato às suas características diferenciadas: textura superficial e estrutura de poros somados à produção industrial deste produto de uso corrente na construção civil no estado de Santa Catarina. Tais características distintas afetariam o transporte e a fixação de água.

Os blocos foram empregados na montagem do substrato para a aplicação da argamassa de revestimento e posterior avaliação do sistema. Para tanto, os blocos foram caracterizados quanto à capacidade de absorção de água, com a realização de ensaios de IRA (taxa inicial de absorção) e à sorptividade que será determinada através da absorção capilar.

Os blocos de concreto foram produzidos na empresa de pré-moldados Toniolo situada no município de São José (SC). No total, foram produzidos 600 blocos. Uma série foi vibro-compactada no tempo de 5 segundos de aplicação da energia de compactação, constituindo a série D1 (mais densa). Na outra série, a energia de compactação teve duração de 2,8 segundos, constituindo a série D2 (menos densa). As Fotos 3.1 ilustram o processo de fabricação dos blocos. Após a produção dos blocos, estes foram paletizados e levados à câmara de cura por 24 horas. Terminada a cura térmica, os blocos foram embalados em filmes plásticos e trazidos para o laboratório de materiais. Os agregados utilizados para a confecção dos blocos foram areias naturais e uma brita zero granítica (estes agregados são os mesmos utilizados na produção industrial). Na Tabela 3., são apresentadas as porcentagens retidas acumuladas, o módulo de finura e a porcentagem de material pulverulento dos agregados utilizados.



**Foto 3.1 - Processo fabricação dos blocos de concretos produzidos na Toniolo**

**Tabela 3.8: Composição granulométrica dos agregados utilizados na produção dos blocos**

# Peneiras (mm)	% Retida Acumulada		
	Areia Natural 1	Areia Natural 2	Brita "Zero"
9,5	0,00	0	0
6,3	0,00	1,06	22,14
4,8	0,00	3,31	58,15
2,4	0,00	19,28	89,94
1,2	0,00	47,39	95,93
0,6	0,19	73,72	97,78
0,3	1,5	88,02	98,36
0,15	90,1	95,18	99,17
Fundo	100,00	100,00	100,00
<b>Diâmetro Máximo Característica (mm)</b>	<b>0,3</b>	<b>4,8</b>	<b>0,60</b>
<b>Diâmetro Mínimo Característica (mm)</b>	<b>&lt;0,15</b>	<b>0,15</b>	<b>0,15</b>
<b>Modulo de Finura</b>	<b>0,92</b>	<b>3,27</b>	<b>5,39</b>
<b>Massa Específica (kg/dm3)</b>	<b>2,62</b>	<b>2,64</b>	<b>2,69</b>
<b>Material Pulverulento (%)</b>	<b>1,3</b>	<b>1,65</b>	<b>0,67</b>

O cimento empregado foi CPV ARI-RS (mesmo utilizado no processo industrial para a fabricação de blocos de concreto). As características do cimento são apresentadas na Tabela 3.9.

**Tabela 3.9: Caracterização física e química do cimento Portland CPV ARI-RS**

CARACTERIZAÇÃO	MÉTODOS DE ENSAIOS	CARACTERÍSTICAS DETERMINADAS	UNIDADE	RESULTADOS
FÍSICA	NBR 11579	Finura na peneira # 200	(%)	0,17
	NBR 9202	Finura na peneira # 325	(%)	1,34
	NBR NM 76	Blaine	(cm <sup>2</sup> /g)	4966
	NBR NM 43	Consistência normal	(%)	30,43
	NBR NM 65	Tempo de início de pega	(h:min)	02:09
	NBR NM 65	Tempo de fim de pega	(h:min)	02:58
	NBR 11582	Expansibilidade a quente	(mm)	0,56
	NBR 7215	Resistência à compressão 1 dia	(MPa)	22,4
	NBR 7215	Resistência à compressão 3 dias	(MPa)	33,7
	NBR 7215	Resistência à compressão 7 dias	(MPa)	39,4
	NBR 7215	Resistência à compressão 28 dias	(MPa)	49,1
	NBR 9676	Massa Específica	g/cm <sup>3</sup>	2,06
QUÍMICA	NBR 5743	Perda ao fogo	(%)	3,68
	NBR 9203	Óxido de silício - SiO <sub>2</sub>	(%)	22
	NBR 9203	Óxido de alumínio - Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(%)	6,79
	NBR 9203	Óxido de ferro - Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	(%)	3,13
	NBR 9203	Óxido de cálcio - CaO	(%)	52,57
	NBR 9203	Óxido de magnésio - MgO	(%)	5,27
	NBR 7227	Óxido de cálcio livre - CaO Livre	(%)	1,29
	NBR 5745	Trióxido de enxofre - SO <sub>3</sub>	(%)	3,21
	NBR 5744	Resíduo insolúvel	(%)	12,05
-	Equivalente alcalino	(%)	0,75	

(Fonte: fabricante)

No total, foram produzidos 300 blocos de densidade D1 (mais denso) e 300 blocos de densidade D2 (menos denso). Depois de fabricados, foram levados para o laboratório com 28 dias de idade, onde foram pesados (umidade natural) e secos em estufa de temperatura 110 °C para parar a hidratação, tendo a mesma idade em média de 53 dias, esfriados ao ar livre, pesados (massa seca), envoltos em filme PVC e armazenados para evitar carbonatação, tendo como idade média 53 dias.

### 3.2.1.6 ÁGUA

Para a fabricação das argamassas foi utilizada água da rede pública local, fornecida pela CASAN (SC).

## 3.2.2 PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS

Foram testadas seis argamassas de revestimento, os traços escolhidos foram baseados em estudos desenvolvidos por SANTOS *et al.*, (2004). As argamassas foram produzidas a partir do traço base, em massa, de 10% de cimento, 20% de cal e 70% de areia. A partir desta composição, denominada de Referência (0% CZP), foram efetuadas as substituições da areia por cinza pesada nos teores de 50% e 100%. Uma segunda série de argamassa foi produzida mantendo-se a relação dos materiais e incorporando-se um aditivo incorporador de ar. A substituição de areia por cinza pesada foi feita em volume através da seguinte relação entre as massas unitárias no estado solto, apresentada na Fórmula 3.1:

$$m_{CZP} = \frac{d_{CZP}}{d_{areia}} \times m_{areia} \quad [3.1]$$

As proporções dos materiais componentes das argamassas, para os traços em massa e volume, são apresentadas na Tabela 3.10 abaixo.

**Tabela 3.10: Traço das argamassas em massa e em volume.**

ESTUDO DE DOSAGEM									
Traço	massa					volume			
Percentagem de substituição	Cimento	Cal	Areia	CZP	IA	Cimento	Cal	Areia	CZP
<b>0% CZP</b>	1	2	7	0	0	1	2,81	5,73	0,00
<b>50% CZP</b>	1	2	3,5	1,51	0	1	2,81	2,86	2,86
<b>100% CZP</b>	1	2	0	3,02	0	1	2,81	0,00	5,72
<b>0% CZP + IA</b>	1	2	7	0	0,0003	1	2,81	5,73	0,00
<b>50% CZP + IA</b>	1	2	3,5	1,51	0,00024	1	2,81	2,86	2,86
<b>100% CZP + IA</b>	1	2	0	3,02	0,00018	1	2,81	0,00	5,72

A quantidade de água foi fixa para todas as argamassas, tomando-se, no momento da homogeneização, a análise qualitativa da trabalhabilidade, na mesa de consistência (*flow table*) procedimento estabelecido pela NBR13276/95. Na Tabela 3.1, são apresentadas as relações água/cimento e água/materiais secos, em massa e volume dos materiais, valores para as argamassas sem e com aditivo.

**Tabela 3.11: Relação dos materiais em massa e em volume.**

Teor de substituição	Relações em massa			Relações em volume		
	a/c	a/aglomerantes	a/mat.secos	a/c	a/aglomerantes	a/mat.secos
<b>0% CZP</b>	2,29	0,76	0,23	2,47	0,65	<b>0,27</b>
<b>50% CZP</b>	2,29	0,76	0,29	2,47	0,65	<b>0,27</b>
<b>100% CZP</b>	<b>2,29</b>	<b>0,76</b>	<b>0,38</b>	<b>2,47</b>	<b>0,65</b>	<b>0,27</b>

Para a preparação destas argamassas foi seguido o mesmo procedimento utilizado por SANTOS *et al*, (2006). Para tanto, foi utilizado um misturador mecânico descrito na NBR 7215/82 para volumes maiores, contendo uma cuba de aço inoxidável com capacidade aproximada de dez litros.

Os materiais secos, juntamente com a água, foram misturados mecanicamente na velocidade baixa durante um minuto. Então, promoveu-se a mistura mecânica na velocidade alta por mais um minuto. Desligou-se o misturador e, por trinta segundos, com o auxílio de uma espátula, foram removidos materiais segregados das laterais da cuba e da pá para o interior da cuba, deixando a mistura descansar por mais trinta segundos. Logo após esse intervalo, para finalizar a preparação da argamassa, a mistura mecânica foi efetuada por mais um minuto em velocidade alta.

Foram moldados corpos-de-prova cilíndricos de 5x10 cm para o ensaio de resistência à compressão. Os seguintes procedimentos de moldagem foram adotados: foi feita a substituição do uso de óleo, que poderia vedar os poros da superfície, por filme plástico, e o adensamento dos moldes foi realizado por meio de mesa de queda livre.

Os corpos-de-prova cilíndricos foram preenchidos em três camadas respectivamente, sendo que cada camada foi submetida a quinze quedas.

Durante 24 horas, os corpos-de-prova foram mantidos em seus moldes, em ambiente de laboratório, com a base superior tapada com uma plaqueta de vidro a fim de evitar-se a evaporação de água da argamassa. Após este período, foi feita a desmoldagem e os corpos-de-prova foram envolvidos por filme plástico parafinado seguido de papel de alumínio a fim de evitarem-se trocas gasosas e líquidas com o meio externo, e assim mantidos até a idade de 100 dias sob temperatura e umidade relativa controladas de  $23\pm 1^{\circ}\text{C}$  e  $55\pm 5\%$ , respectivamente.

### **3.2.3 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS**

#### **3.2.3.1 ENSAIOS DE AVALIAÇÃO DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO E ESTADO ENDURECIDO**

##### **3.2.3.1.1 Consistência**

O índice de consistência das argamassas foi avaliado conforme procedimento da norma NBR 13276/95. A metodologia de ensaio consiste na medida do espalhamento (diâmetro) de uma amostra de argamassa, moldada em um molde com a forma de um tronco de cone sobre a mesa padrão de ensaio. Esse espalhamento é conseguido por meio da introdução de impactos de uma altura padronizada na mesa de ensaio de consistência.

##### **3.2.3.1.2 Retenção de água**

Quanto à retenção de água, a norma, ASTM C270-82 fixa limite mínimo em argamassas de cimento e cal em 75%, na bibliografia nacional, alguns autores consideram 80% como um valor bom para a capacidade de retenção de água, baseando-se na experiência de laboratório e nas observações em canteiro de obra.

### **3.2.3.1.3 Resistência Característica**

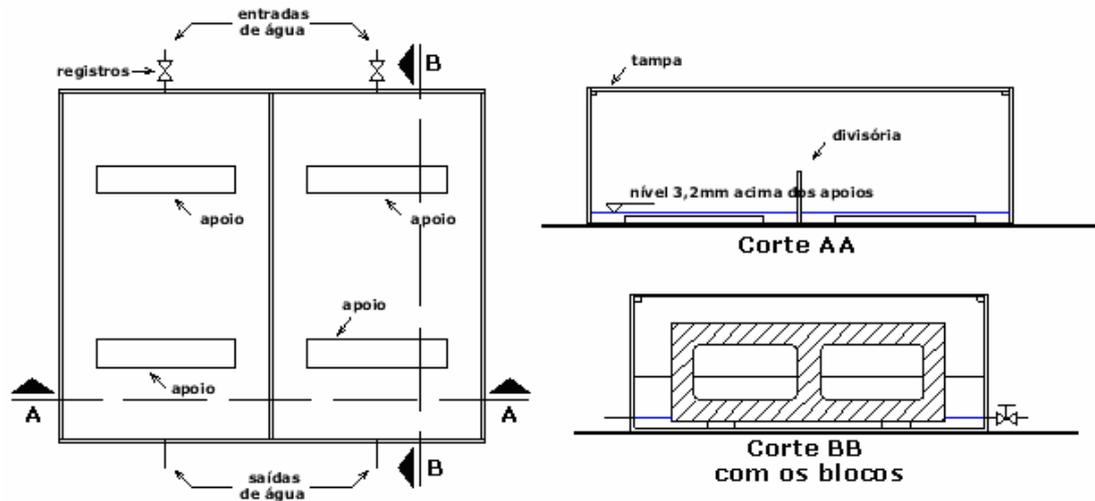
Para a realização do ensaio, foram utilizados três corpos de prova de cada uma das seis argamassas e as etapas de ensaio conforme NBR 13279/1995.

## **3.2.4 CARACTERIZAÇÃO DO SUBSTRATO**

Os ensaios de caracterização empregados na avaliação do substrato foram: o IRA (*Initial Rate Absorption*), método de ensaio da ASTM C – 67, ou taxa inicial de absorção de água, e a absorção de água por capilaridade. Uma vez caracterizado individualmente cada bloco constituiu parte de cada painel. A caracterização do substrato foi feita reagrupando-se os blocos cujos resultados de absorção de água não diferiram de 15% do valor médio da absorção encontrada nos ensaios individuais para a composição do mesmo painel. Na seqüência itemizada abaixo, são apresentados os procedimentos que foram empregados na caracterização do substrato: taxa inicial de absorção e absorção de água por capilaridade.

### **3.2.4.1 Taxa inicial de absorção**

Os ensaios de IRA e de absorção de água, ao longo do tempo foram realizados com o auxílio de um recipiente que permitiu manter sempre constante uma pequena lâmina de água (profundidade de 3,2mm) com a qual a face do bloco ensaiada permanece em contato. Nesta pesquisa, a face do bloco ensaiada foi a mesma que posteriormente foi revestida com a argamassa. A Figura 3.7 e a Foto 3.2 ilustra o esquema geral deste ensaio: a mesma montagem que foi empregada para o acompanhamento da absorção capilar. Ressalta-se ainda que a tampa do recipiente tem uma abertura no topo de 1% da sua seção transversal, visando principalmente evitar a evaporação excessiva de água durante a realização do ensaio. Para a realização dos ensaios do IRA e de absorção capilar foram confeccionados 4 recipientes de acrílicos divididos em duas caixas, que permitiam avaliar 8 blocos por dia, como pode ser visto nas Fotos 3.3.



**Figura 3.7: Esquema geral de extração das amostras.**



**Foto 3.2 - Esquema utilizado para a realização do ensaio de IRA e absorção de água ao longo do tempo.**

Na determinação da taxa inicial de absorção IRA, foi realizada a seguinte seqüência:

- Todos os blocos foram numerados e pesados inicialmente;
- Secagem dos blocos em estufa a  $100 \pm 5^\circ\text{C}$ , até constância de massa (aproximadamente 24 horas);
- Manutenção dos blocos por 24 horas em caixas de isopor e sílica gel para evitar a absorção de umidade do meio ambiente.
- Pesagem dos blocos e embalagem com filme PVC (três camadas) até a realização dos ensaios, quando foram desembalados e pesados novamente (ms).
- Imersão da face a ser revestida, em lâmina de água de 3,2 mm de profundidade durante 1 minuto;
- Determinação da massa do bloco úmido ( $\mu$ ) e cálculo do IRA, por meio da Equação 3.4.

$$\text{IRA (g/194cm}^2\text{/min)} = \frac{\mu(\text{g}) - m_s(\text{g})}{A(\text{cm}^2)} \times 194 \quad (3.4)$$

onde:

IRA = Taxa inicial de absorção de água livre (g/194cm<sup>2</sup>/min);

mu = massa úmida (g);

ms = massa seca (g);

A = Área do bloco em contato com a lâmina de água (cm<sup>2</sup>).

### 3.2.4.2 Absorção por capilaridade

Imediatamente após os procedimentos para a determinação da taxa inicial de absorção (IRA), foi realizado o ensaio de absorção capilar dos blocos (ao longo do tempo) e determinada a sorptividade (S). Os tempos adotados no ensaio de absorção de água livre dos blocos, ao longo do tempo, foram determinados depois de realizados ensaios pilotos de pré - avaliação nos blocos, uma vez que, devido a sua densidade, estes absorvem uma parcela expressiva de água. As medidas de ganho de massa de água pelos blocos devem ser realizadas em intervalos de tempo menores, espaçando-se após este tempo crítico. Neste sentido, a determinação da absorção capilar de água foi prevista para os seguintes intervalos de tempo, em minutos: 1 (IRA), 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 50, 65, 80, 95, 110, 135, 180, 240, 300, 360, 420 (saturado). Após a saturação, os blocos foram novamente secos em estufa por 24 horas, e posteriormente esfriados e envolvidos em plásticos impermeáveis para emprego como substrato, que foi revestido com as argamassas. Com os resultados, foram obtidos perfis da evolução da absorção de água em função da raiz quadrada do tempo. A partir deste, pode-se observar o comportamento diferenciado dos dois tipos de blocos utilizados e calcular suas sorptividades (S), por meio da Equação 3.5.

$$i = S \cdot t^{1/2} \quad (3.5)$$

Onde: i = volume de água absorvida por unidade de área (mm<sup>3</sup>/mm<sup>2</sup>);

S = coeficiente de absorção de água, “sortividade” (mm.min<sup>-1/2</sup>); e

t = tempo (min)

---

*Obs: segundo a norma ASTM C-67 a massa de água absorvida durante o ensaio é padronizada para uma área de 30 polegadas quadradas (194cm<sup>2</sup>) sendo a taxa inicial de absorção expressa em (g/194cm<sup>2</sup>/min).*

Com a determinação da absorção capilar de cada bloco, foi determinado o valor médio e selecionados através de análise estatística, os blocos cujos resultados individuais não diferissem em 15% do valor médio. No total, foram selecionados, nesta primeira etapa de avaliação do sistema de revestimento, 96 (noventa e seis) blocos. Desta forma, foi assegurada a representatividade dos substratos empregados (bloco mais denso e menos denso).

Destaca-se, mais uma vez, que, após a secagem, os blocos selecionados foram acondicionados em plásticos impermeáveis, mantendo-se nesta condição até sua utilização nos ensaios de transporte de água.

### **3.2.4.3 Resistência característica do bloco (fbk)**

A resistência à compressão dos blocos de concreto é a capacidade de resistir a cargas perpendiculares ao plano de assentamento dos mesmos. As paredes de alvenaria feitas com blocos de concreto são feitas para resistirem, preferencialmente, a esforços axiais de compressão. Por isso o resultado desse ensaio é considerado o mais importante dentre as características físicas do bloco. O procedimento adotado está normalizado nas normas ABNT NBR 12118 e ABNT NBR 6136.

### **3.2.5 ENSAIOS DE AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE REVESTIMENTO**

Os sistemas de revestimento foram constituídos de um painel de dimensão de 1200 mm x 400 mm, formado pelas duas series de blocos D1 e D2 e revestido com as diferentes argamassas 0% CZP, 50 % CZP e 100% CZP, com e sem aditivo incorporador de ar. No total, foram montados 12 sistemas de revestimentos.

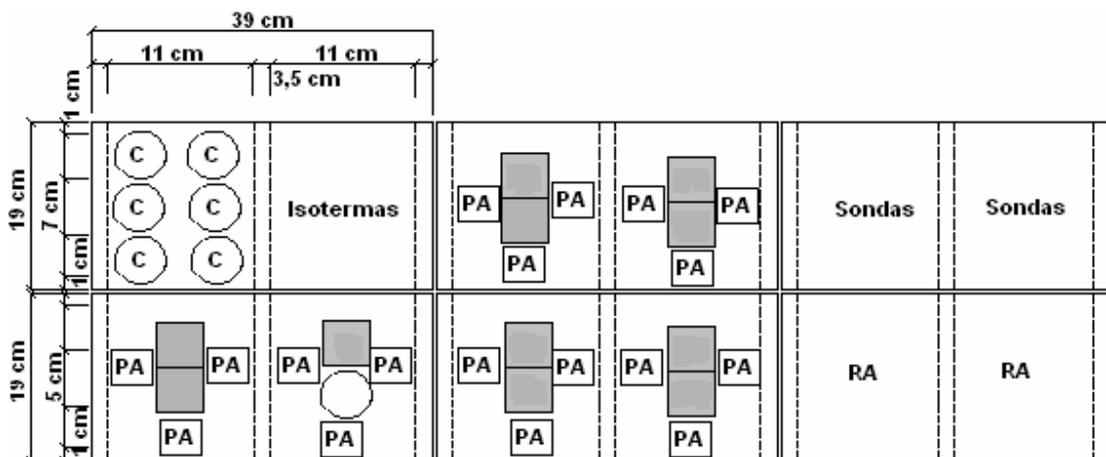
O sistema de revestimento foi avaliado conforme o seguinte procedimento:

- **Etapa 01:** montagem de painéis pequenos com junta seca com sistema de travamento periférico, sendo cada painel montado na horizontal e tendo por montagem 06 (seis) blocos de concreto de dimensões 140 mm de largura x 190 mm de altura x 390 mm de comprimento;
  - i) aplicação de cada tipo de argamassa no substrato específico para atingir um revestimento de espessuras (30 mm)
  - ii) separação dos blocos através de fio de corte de aço atravessando a junta seca dos blocos;

iii) acompanhamento da pega da argamassa;

- **Etapa 02:** após o fim da pega, cada sistema foi envolvido em filme plástico impermeável e permanecendo desta forma, acondicionado até a idade de 28 dias, quando foram cortadas as amostras das argamassas e substrato para os seguintes ensaios:
  - 48 (quarenta e oito amostras) destinadas à avaliação da porosidade aberta e a massa específica;
  - 03 (três) amostras para avaliação da absorção capilar de água e ângulo de molhamento;
  - 01 (uma) amostra para o levantamento das isotermas de adsorção;
  - avaliação de resistência à aderência.

Para evitar o efeito da carbonatação, as amostras foram envolvidas em filmes plásticos impermeáveis até a idade de 28 dias. Nos ensaios de caracterização do domínio higroscópico e capilar, as amostras foram extraídas do painel conforme o esquema de montagem e de extração da Figura 3.8 abaixo e Foto 3.3, onde se encontram também as dimensões das amostras que serão obtidas por corte (amostras prismáticas) ou extração na serra-copo (amostras cilíndricas):



#### HOMECLATURA

C - Capilaridade da Argamassa e do Substrato - amostras cilíndricas (5 cm x 3cm)

I - Isotermas da Argamassa e do Substrato - Amostras quadradas (3 cm x 3 cm x 1 cm)

PA - Porosidade Aberta da Argamassa e do Substrato - Amostras quadradas (3 cm x 3 cm x 1 cm)

RA - Resistência à aderência - amostras cilíndricas (5 cm x 3cm)

Sondas - amostras para calibração das sondas térmicas - amostras prismáticas (3,5cm x3,5cm x 7cm)

**Figura 3.8: Esquema geral de extração das amostras.**



**Foto 3.3 - Esquema geral de processo de realização dos painéis para extração amostra.**

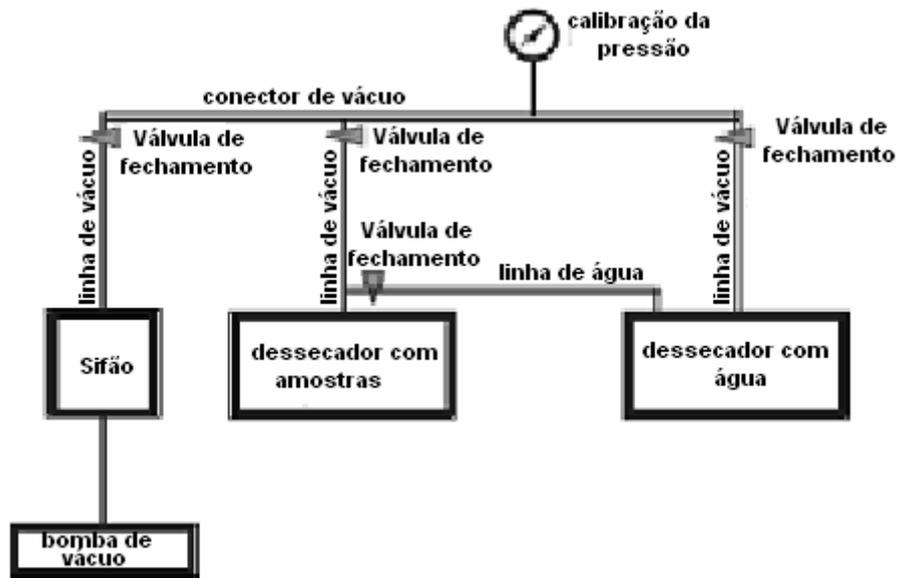
Após a extração, as amostras compondo o sistema, o substrato e a argamassa foram secos em estufa ventilada na temperatura de 50° C até constância de massa e observando-se que a variação entre duas leituras (pesagens) sucessivas não apresentasse uma variação 0,1% da média. Nesta condição, as amostras foram esfriadas e envolvidas em filmes plásticos impermeáveis até o momento da realização dos ensaios.

### **3.2.5.1 Porosidade aberta das argamassas e dos substratos**

A porosidade aberta é definida como a percentagem de volume de poros abertos em relação ao volume total da amostra, ou seja, a porosidade permeável. Sua determinação foi feita através de um teste de saturação de água a vácuo. As amostras dos blocos e as argamassas foram secas na temperatura de 50 °C. Foram coletadas 40 amostras de um bloco de cada grupo de extração de amostras (I-D1, II-D1, III-D1, I-D2, II-D2 e III-D2), totalizando 240 amostras de blocos e 480 de argamassas.

As amostras foram retiradas com o auxílio de uma serra adiamantada da maior face (19cm x 39cm) do bloco e tinham forma prismática com três centímetros de largura, três centímetros de comprimento e um centímetro de altura. Secas, foram saturadas de água pela substituição do ar nos poros abertos com uso de água destilada e deionizada.

Este processo de ensaio obedeceu aos procedimentos experimentais mostrados por SAFFI UDDIN & HEARN (2004) e consistiu em três etapas consecutivas: a amostra foi colocada em um recipiente hermético depois de ser pesada. O ar no recipiente foi evacuado com uma bomba de vácuo até uma pressão de ar absoluta de 2500 Pa e mantida nessa condição durante 30 minutos, e após foi fornecida água destilada ao recipiente com a bomba de vácuo em funcionamento por 30 minutos. Depois foi desligada a bomba de vácuo e a amostra foi mantida imersa durante 24 horas. Foram realizadas pesagens para obter o peso da amostra saturada e saturada imersa com balança com aproximação de 0,001g. Na Figura 3.9, apresenta-se o esquema de ensaio para a determinação da porosidade aberta.



**Figura 3.9: Esquema de ensaio de porosidade aberta por saturação a vácuo.**

A porosidade aberta ( $\Psi_0$ ) e massa específica ( $\rho$ ) foram calculadas pela formula 3.6 e 3.7:

$$\Psi_0 = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s - m_{si}} \quad [3.6]$$

$$\rho = \rho_l \frac{m_s}{m_s - m_{si}} \quad [3.7]$$

Onde:  $m_{sats}$  - massa da amostra saturada de água (kg)

$m_s$  – massa da amostra seca (kg)

$m_{sat\_imersa}$  - massa da amostra saturada de água imersa (kg).

$\rho_l$  densidade da água ( $\text{kg/m}^3$ )

Sendo utilizada uma balança hidrostática para serem feitas as medições.

### 3.2.5.2 Isotermas de adsorção das argamassas e dos substratos

As isotermas de adsorção foram avaliadas segundo a norma NF-x15014, obtidas do trabalho de MEROAUNI (1987) e norma ASTM C 1498-01. Foram abordadas apenas as isotermas de adsorção, por considerar-se que estas representam os fenômenos de sorção de vapor de água atuantes no domínio higroscópico das argamassas durante o processo de molhagem, sendo este processo avaliado na presente pesquisa.

As amostras ensaiadas foram fatias de 3cm x 3cm com espessura de 1cm, cortadas das amostras quadradas extraídas das argamassas e também do substrato (blocos).

As amostras foram secas na temperatura de 50° C por 15 dias e colocadas em dessecadores. A umidade relativa no interior do dessecador foi mantida com o uso de oito soluções salinas diferentes, saturadas com corpo de fundo, à temperatura de 50°C: hidróxido de potássio (KOH), acetato de potássio (KCH<sub>3</sub>CO<sub>2</sub>), cloreto de magnésio (MgCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O), bicromato de sódio (Na<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>.2H<sub>2</sub>O), nitrito de sódio (NaNO<sub>2</sub>), cloreto de sódio (NaCl), sulfato de amônia (NH<sub>4</sub>SO<sub>4</sub>) e sulfato de potássio (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Os sais forneceram os seguintes valores de umidade relativa: 6, 20, 31, 47, 65, 76, 79 e 96%, respectivamente.

Os dessecadores foram previamente colocados por um período de 24 horas em uma estufa à temperatura controlada (50° C) para alcançar o equilíbrio térmico. As amostras foram mantidas nos dessecadores até a obtenção de massa de equilíbrio. Para tanto, as massas foram pesadas regularmente com uso de balança digital (precisão de 0,0001g). Na Figura 3.3, está ilustrado o aparato experimental utilizado para a realização do ensaio:



(a)



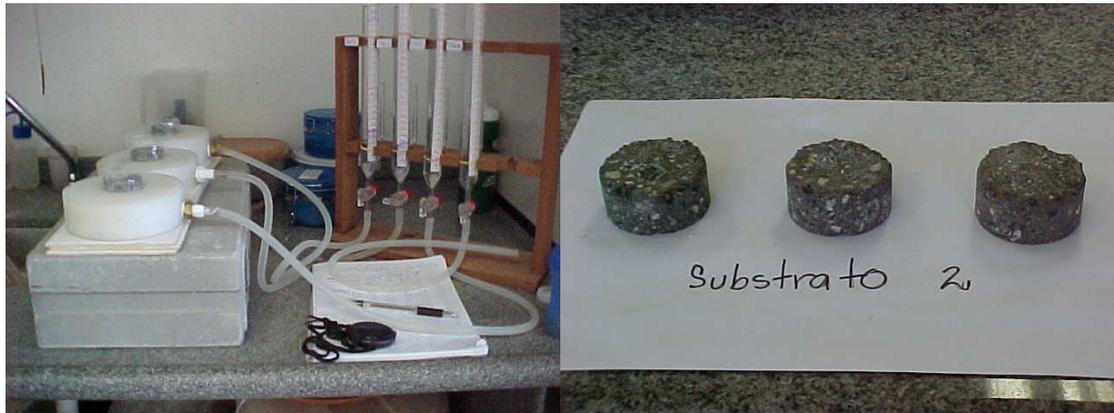
(b)

**Foto 3.4 - Aparato experimental do ensaio de adsorção****(a) Amostras dos blocos de concretos (b) Amostras das argamassas**

### **3.2.5.3 Absorção por capilaridade e ângulo de molhamento das argamassas**

O ensaio de avaliação da absorção de água consistiu na medida da variação da altura de uma coluna de água diretamente relacionada com a quantidade de água absorvida pela amostras empregando-se um frasco de Mariotte adaptado à pedra porosa. Neste ensaio, a pressão atmosférica é zero. Foram realizadas medidas periódicas em intervalos que registrassem a pequena variação de volume de água infiltrada na amostra (1mm de coluna de líquido com aproximação de 4.9g).

Através dos valores obtidos nestas medidas, foi possível traçar a curva que expressa a cinética de absorção de água das argamassas. Para evitar a evaporação de água através da superfície lateral, as amostras foram mantidas em filmes plásticos. O aparato e as amostras utilizadas para a realização do ensaio estão ilustrados na Foto 3.5 (a) e (b).



(a)

(b)

**Foto 3.5 - Aparato experimental do ensaio de capilaridade****(a) ensaio em andamento (b) Amostras dos blocos ensaiados**

Este ensaio de absorção por capilaridade foi com imersão em dois líquidos molhantes: água e álcool (líquido perfeitamente molhante e ângulo de molhamento igual a zero ( BORNEMIZA *apud* MEROUANI, 1987). Os corpos-de-prova que foram ensaiados com água foram secos em estufa a 50°C, por 14 dias e depois novamente ensaiados com álcool para assim determinar o ângulo de molhamento aparente entre o líquido molhante e a parede do capilar. Este ângulo é obtido através da Equação (3.7) estabelecida por BORNEMIZA *apud* MEROUANI (1987).

$$\cos \alpha_e = \left( \frac{Se}{Sa} \right)^2 \frac{\mu_e \sigma_a}{\mu_a \sigma_e}, \quad [3.7]$$

onde:  $\alpha_e$  = ângulo de molhamento aparente,

$\mu_e$  = viscosidade dinâmica da água,

$\mu_a$  = viscosidade dinâmica do álcool,

$\sigma_e$  = tensão superficial água-ar,

$\sigma_a$  = tensão superficial álcool-ar,

$Se$  = inclinação da reta que relaciona a absorção de água infiltrada ( $St$ ) com a raiz do tempo (água),

$Sa$  = inclinação da reta que relaciona a absorção de água infiltrada ( $St$ ) com a raiz do tempo (álcool),

Os valores da viscosidade dinâmica do álcool e da água, bem como suas tensões superficiais em relação ao ar, são apresentadas na Tabela 3.12.

**Tabela 3.12: Características dos líquidos à temperatura de 20°C. (Fonte: Merouani, 1987)**

Líquidos	$\sigma$ (dynes/cm)	$\mu$ (centipoise)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )
Água	72,750	1,005	1,000
Álcool	23,040	1,200	0,789

Os valores de  $Se$  e  $Sa$  são obtidos das equações das curvas dos gráficos que relacionam a posição do menisco no capilar do material com o tempo. As inclinações das retas obtidas fornecem valores que serão utilizados para o cálculo  $Se$  e  $Sa$ . Como as curvas a serem obtidas no ensaio de absorção capilar estarão relacionadas com a absorção (Kg/m<sup>2</sup>) e o tempo em horas (h), e não em relação à posição do menisco e o tempo em minutos (m), será necessário através dos gráficos que relacionam a absorção capilar e a raiz do tempo, encontrar os valores de  $Se$  e  $Sa$ .

Utilizando-se a equação [3.8], novos gráficos foram obtidos relacionando a posição do menisco no capilar do material com o tempo. Como considerações de cálculo dos valores, para o caso da água, os resultados dos pontos obtidos foram divididos por 1000 e para o caso do álcool divide-se os resultados por 789, conforme os valores de densidades dos líquidos em g/cm<sup>3</sup> apresentados na tabela 3.4.

$$S(t) = \frac{m(t) - ms}{\rho l x A} \quad [3.8]$$

$S(t)$ = estoque de líquido infiltrado,

$m(t)$ =massa do corpos-de-prova num determinado instante,

$ms$  = massa do corpos-de-prova seco em estufa,

$\rho l$  - densidade do líquido utilizado,

$A$  = área da seção dos corpos-de-prova =78,540 cm<sup>2</sup>

#### 3.2.5.4 Procedimento de calibração das sondas térmicas

Para avaliar a influência da temperatura no processo de transferência de umidade, foram utilizadas sondas térmicas. Para o uso das mesmas foi necessário realizar a calibração prévia para vários conteúdos de umidade (previsão de 10 umidades) para cada argamassa, substrato e sistema de revestimento. A calibração foi realizada seguindo o procedimento que se descreve na seqüência:

- Foram cortadas e furadas 10 amostras de 3cm x 3 cm x 7 cm para cada conteúdo de umidade mássico (um furo foi feito no meio da amostra para inserir as sondas possibilitando a implantação das sondas térmicas para posterior medições térmicas) e colocadas para secar em estufa a 50°C, sendo pesadas até constância de peso;
- Com a porcentagem obtida na saturação por absorção capilar, foi definido o intervalo de umidades das amostras;
- Tendo-se o peso seco das amostras, foi calculada a quantidade de água necessária para cada amostra para alcançar os valores de umidades mássicos, variando entre 0% e saturação em intervalos lineares;
- Foi colocada a quantidade de água para cada umidade em um recipiente plástico e juntamente com as nove amostras sendo tampado o recipiente com plástico e elástico para evitar evaporação; uma amostra correspondente à umidade relativa de 0% ficava de reserva em recipiente com sílica-gel;
- As amostras colocadas em água ficavam por um período de dois dias para absorver a água durante este período; após a umidificação das amostras, estas foram pesadas, embaladas, pesadas novamente com a embalagem e armazenadas durante 30 dias para uma melhor distribuição do conteúdo de umidade;
- Depois, foram pesadas as amostras com embalagem novamente para saber se houve perda de massa e iniciou-se o procedimento de calibração com as sondas térmicas.

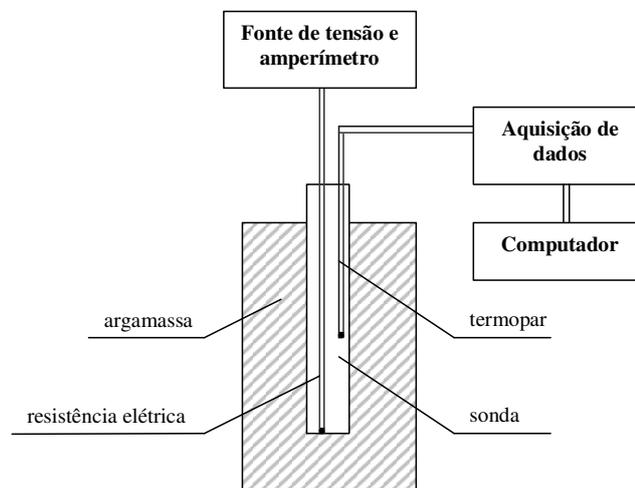
Todas as amostras foram pesadas na balança de precisão 0,0001g e foi utilizada água destilada e deionizada. Após a obtenção da umidade desejada, as amostras foram envolvidas por filme plástico e recobertas com papel alumínio a fim de manter o conteúdo de umidade. O procedimento experimental utilizado para umedecer as amostras está apresentado na Foto 3.6 .



**Foto 3.6 - Procedimento utilizado para umedecer as amostras para a calibração da sonda**

As amostras foram assim mantidas por um período mínimo de 45 dias para que ocorresse a homogeneização da distribuição de umidade ao longo da amostra. Definiu-se este tempo considerando seja suficiente para a homogeneização em função das constatações efetuadas por FERNANDES; PHILLIPI & PEDRINI (1991), nas quais é estipulado um tempo de pelo menos 45 dias. Em função da ocorrência de fenômenos de ganho e perda de água, embora pouco significativos, o valor considerado para a umidade presente na amostra foi o obtido na data da realização do ensaio com a sonda através da realização de nova pesagem.

Para a medida da condutividade térmica, utilizou-se aparato experimental semelhante ao apresentado por FERNANDES; PHILLIPI & PEDRINI (1991) e disponível no laboratório de Valores UFSC. O arranjo experimental é esquematizado na Figura 3.10 e foto 3.7.

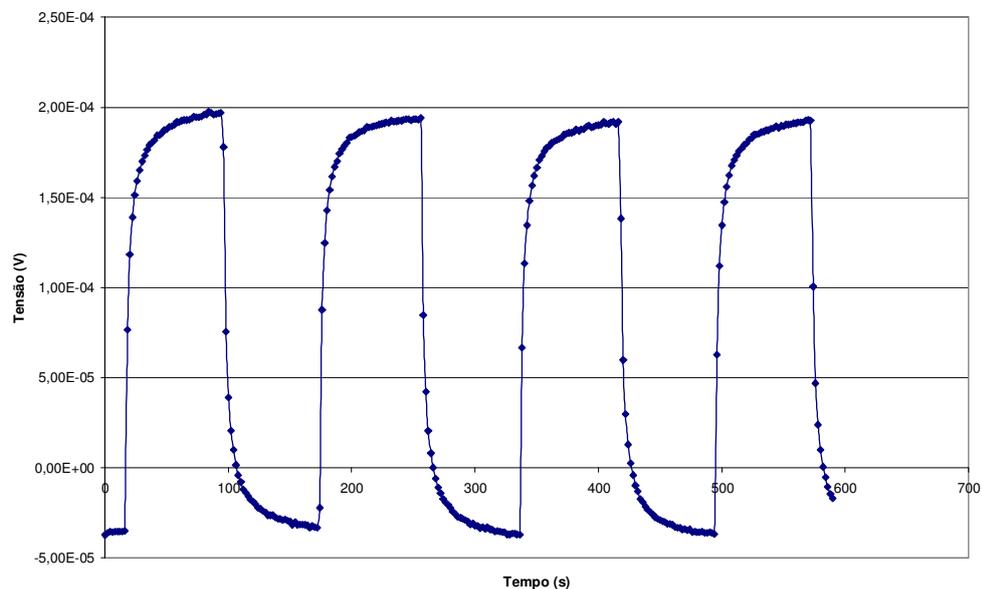


**Figura 3.10: Aparato experimental para a determinação da condutividade térmica (Fonte: Santos, 2006)**

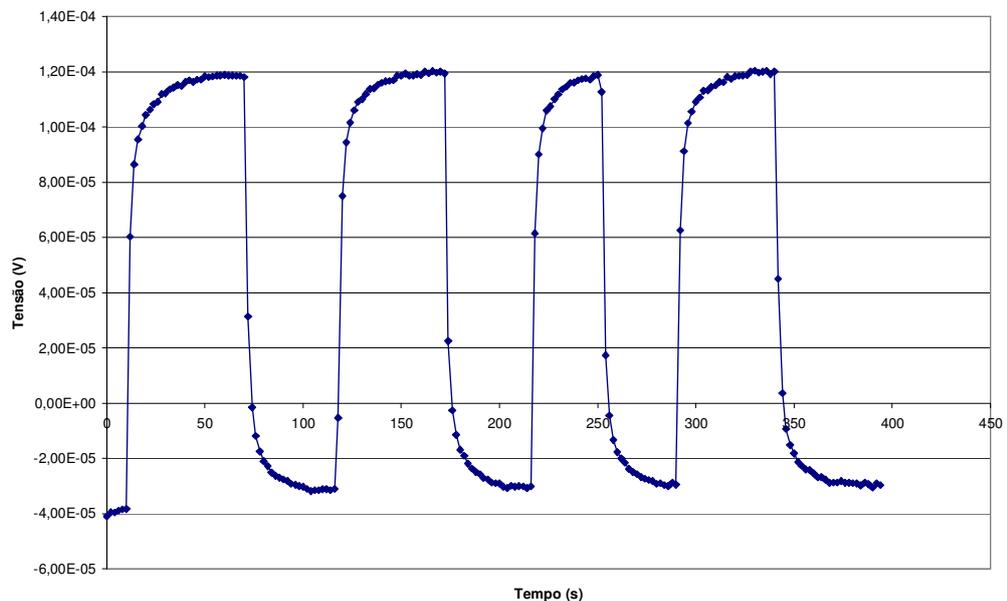


**Foto 3.7 - Sonda utilizada para a determinação da condutividade térmica**

Para a realização do ensaio, a sonda foi introduzida na amostra de argamassa e de blocos por meio de um furo com aproximadamente 3 mm de diâmetro e 50 mm de profundidade, e o espaço vazio foi preenchido com pasta térmica Implastec, à base de silicone e condutividade térmica de 2,0 W/mxK, para evitar a convecção de ar e atenuar a resistência de contato sonda-material. O ensaio consistiu na aplicação de tensão no fio de *Constantan* e medida indireta da variação de temperatura em função do tempo através do termopar. Para cada amostra de argamassa, este procedimento foi repetido 3 vezes. Um exemplo de dados brutos obtidos através deste procedimento pela aquisição de dados está ilustrado na Figura 3.11 e 3.12.

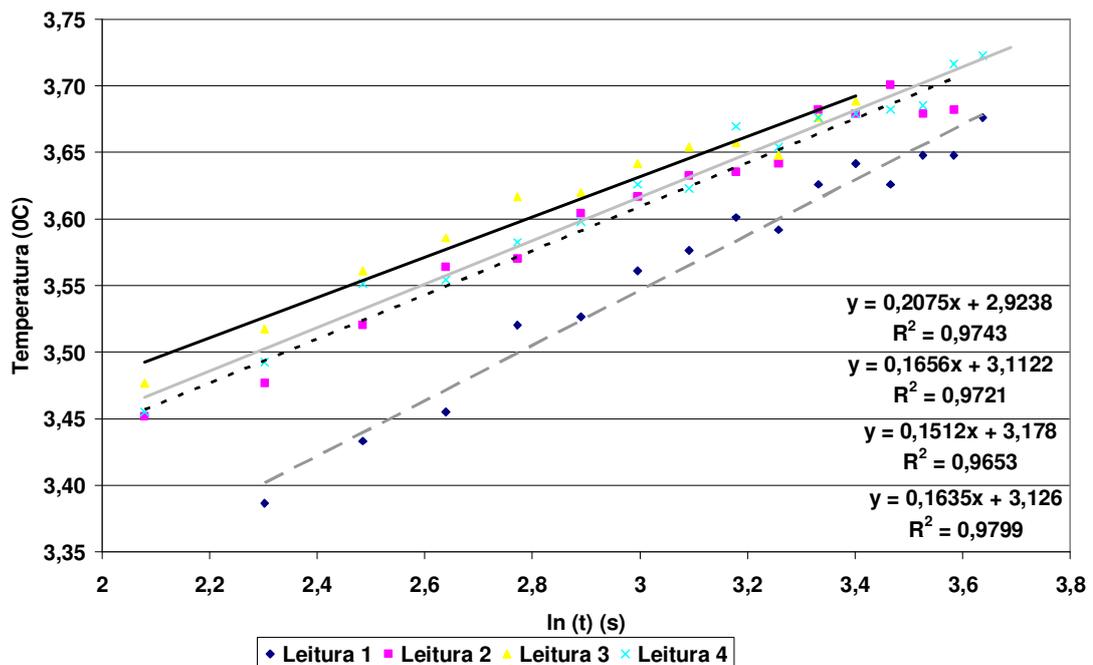


**Figura 3.11: Exemplo de dados brutos obtidos da aquisição para uma amostra de argamassa**



**Figura 3.12: Exemplo de dados brutos obtidos da aquisição para uma amostra de bloco**

Os picos observados através da Figura 3.11 e 3.12 correspondem à aplicação de tensão no fio de *Constantan*, sendo que esta tensão foi aplicada durante cerca de 75 s. Em cada pico, verificam-se duas fases distintas: um trecho de taxa rápida de aumento da tensão, que corresponde à condutividade do meio entre a sonda e a argamassa, que neste arranjo experimental estava preenchido com pasta térmica à base de silicone com condutividade térmica de  $2,2 \text{ W/ (m x K)}$ . e um trecho praticamente linear, que corresponde à condutividade no meio 2 (argamassa). Deste trecho referente à argamassa é que foi selecionado um intervalo de dados o mais linear possível, sendo que este, de forma geral, correspondeu ao intervalo entre 10s e 60s da aplicação da tensão. Apenas os dados deste intervalo foram trabalhados para a obtenção da inclinação da reta que relaciona a temperatura com o logaritmo neperiano do tempo. Um exemplo típico da obtenção da inclinação destas retas para uma mesma amostra está ilustrado na Figura 3.13



**Figura 3.13: Exemplo típico da obtenção do coeficiente A para determinação da condutividade térmica (bloco)**

### 3.2.6 ENSAIO DE PENETRAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA

Para a execução do ensaio, foram obedecidos os procedimentos descritos na norma "Standards Test Method for Water Penetration and Leakage Through Masonry", **American Society for Testing and Materials** E 514. ASTM, Baltimore, 1990 e as condições de exposição conforme proposto pela metodologia do IPT (**Instituto de Pesquisas Tecnológicas**), "Critérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social". IPT, São Paulo, 1998. (THOMAZ e RANIERI, 1998), que normalizam uma pressão de ar de 400 MPa (40 mm de coluna de água) e uma pressão de água de 3l/min. Depois da montagem de protótipos e armazenagem com embalagem de PVC e desembalar os protótipos de paredes, procedeu-se a montagem da bancada experimental. Abaixo seguem as especificações de realização do ensaio e as observações que são realizadas durante o ensaio.

1. Preparação da vedação da câmara:
  - Colocação de fita adesiva sobre a borracha; (foto 3.7-a)
  - Aplicação de silicone sobre a fita adesiva; (foto 3.7-b)
  - Verificação dos dispersores de água.
2. Acoplamento da câmara na parede:
  - Com o silicone ainda em estado fresco, procede-se à fixação da câmara com o uso de seis travessões unidos por parafusos nas duas extremidades. (foto 3.7- c - d)
3. Acoplamento das instalações que fornecem a água e a pressão à câmara. (foto 3.7- e -f)
4. Posicionamento do reservatório de fornecimento de água, (foto 3.7-g);
5. Posicionamento do reservatório inferior de catação de efluente e bomba de recalque que envia água para o reservatório superior, onde é estocada a água para fornecimento ao reservatório de água principal, que fornece a água para a câmara de estanqueidade. Neste reservatório superior, chegam três mangueiras: uma de entrada de água do reservatório inferior e duas mangueiras (uma de ajuste fino, que mantém o nível de água, e outra que permite a correção do nível de água) conectadas ao reservatório principal da câmara de estanqueidade, (foto 3.7-h-i);
6. Verificação das conexões e das mangueiras quanto a vazamento e presença de bolhas;
7. Instalação do reservatório principal que consta de tubulação de fornecimento para a câmara, hidrômetro de verificação de vazão (3l/min) e registro de esfera na saída do reservatório principal na entrada da câmara;

8. Verificação do sistema de compressor de ar e tubulação para possibilitar a aplicação de pressão pneumática uniforme de 400Pa (40mmca) e colocação da conexão à câmara de estanqueidade.

Esta câmara tem um formato prismático de metal e é constituída de:

- Abertura em uma das faces para fixação de corpo de prova com uma área mínima de 1000 mm de largura e 1000 mm de altura;
- Orifícios para ligação da alimentação de água, do sistema de aplicação de pressão e do manômetro;
- Orifício da saída de água na base, provido de sifão que possibilite a formação de um fecho hídrico no interior da câmara;
- Equipamento para controle de pressão instalado de maneira que a medida não seja afetada pela velocidade e mantida ao longo do ensaio;
- Tubulação com 31 dispersores de água que permitem a aplicação de vazão constante e igual a 3,0 dm<sup>3</sup>/minuto junto à parede, na parte superior da face exposta, de modo que crie uma película homogênea e contínua por cima da superfície;
- Tubulação com 31 furos que permitem a aplicação de pressão de vento.

Todo o procedimento de ensaio descrito anteriormente pode ser observado no resumo de fotos colocado a seguir:



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

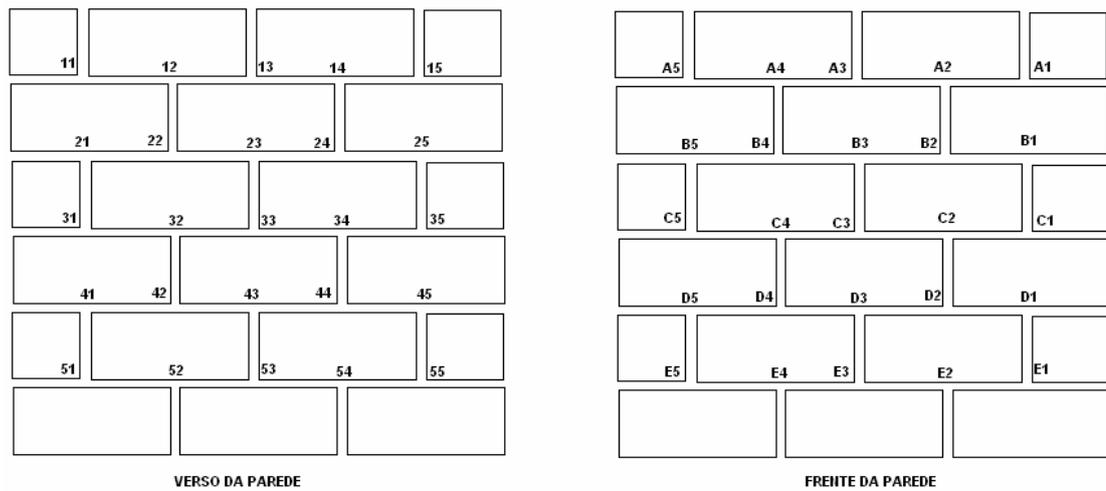


**Foto 3.8 - Processo de realização de ensaio de estanqueidade**

Uma vez montada a bancada experimental para cada painel, inicia-se o ensaio com duração de 7 horas. Durante este período, foram feitos monitoramentos em intervalos de 30 minutos através de fotos com câmara digital e nos intervalos de 0h, 3h e 7h através da câmara de imagem infravermelho, registrando-se os seguintes parâmetros:

- tempo de aparição da 1ª mancha de umidade visível na face oposta da amostra;
- área de umidade na face oposta da parede e ao fim do período, expressa em percentual da área testada;

- controle da temperatura na superfície oposta da parede ensaiada;
- controle de temperatura da água ao longo do tempo de ensaio, (foto 3.7-1);
- ao final do ensaio, foram extraídas, de cada parede, 75 amostras (25 amostras da argamassa de revestimento, 25 amostras da argamassas de assentamento e 25 amostras de blocos) para assim calcular a percentagem de umidade em cada ponto da parede. Estas amostras foram extraídas e numeradas conforme se apresenta na Figura 3.14 a seguir:



**Figura 3.14: Mapeamento da extração das amostras de argamassas e blocos das paredes**

Em alguns painéis (15 em total), foram usados sensores de umidade e temperatura colocados no interior das paredes para avaliar a cinética de comportamento da umidade ao longo do tempo e no ambiente de laboratório. Para tanto, foram usados *data logger* Hobbos U12 Temperatura/RH (fabricante: ONSET).



**Foto 3.9 - Monitoramento de HR e Temperatura no interior através de Hobbos**

### 3.2.6.1 Características do sistema para avaliar a estanqueidade

Na Tabela 3.13, apresenta-se um resumo dos sistemas construtivos que foram construídos para o ensaio de avaliação do desempenho à estanqueidade.

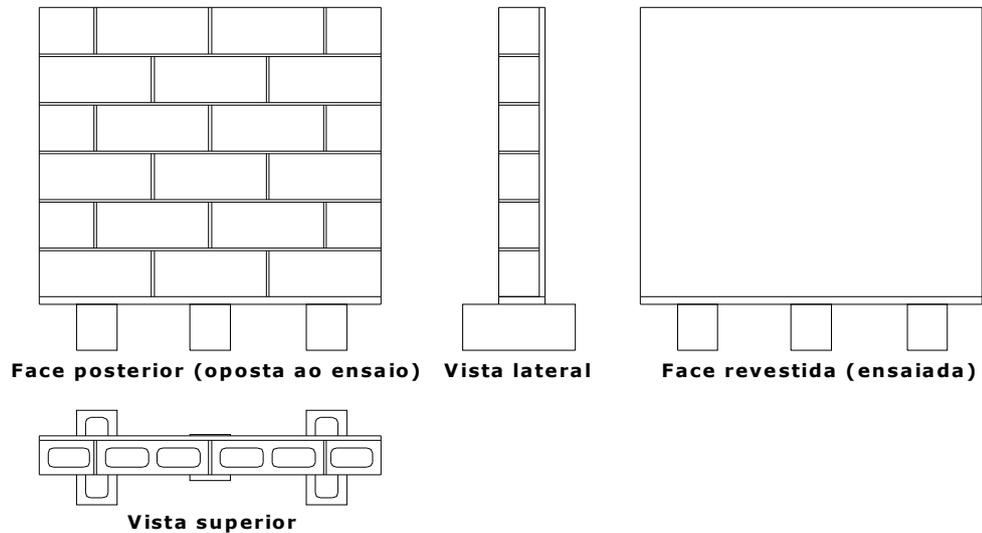
**Tabela 3.13: Resumo da composição dos painéis para ensaio de estanqueidade.**

Painéis-amostras							
Blocos prefabricados de concreto	Tipo de argamassa Assentamento/Revestimento						Total
	Cinzas Pesadas						3 tipos/argamassas
	s/ar incorporado			c/ar incorporado			
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	
	0%	50%	100%	0%	50%	100%	
D1(+ denso)	2	2	2	2	2	2	12
D2 (- denso)	2	2	2	2	2	2	12
2 tipos/blocos	4	4	4	4	4	4	24

### 3.2.6.2 Fabricação do sistema construtivo

Os protótipos foram construídos com uma dimensão de 1200 mm de largura por 1200 mm de altura e com revestimento de 20 mm de espessura, como mostrado na Figura 3.15. Para a construção foram utilizados 18 blocos por painéis. Os blocos que foram utilizados para a fabricação dos painéis, foram avaliados individualmente em relação à taxa inicial de absorção e absorção por capilaridade e foram reagrupados; aqueles blocos cujo resultado não diferirem de 15 % de valor médio de absorção.

No total, nesta etapa, foram necessários 528 (quinhentos e vinte oito) blocos. Para esta avaliação, foram caracterizados 8 blocos por dia.



**Figura 3.15: Protótipos das paredes para ensaio de estanqueidade**

Tendo as características de comportamento das argamassas em relação à retenção de água e dos blocos com relação à absorção inicial e ao longo do tempo, foram mapeados cada um dos blocos em cada parede, e as paredes foram revestidas de maneira a conseguir um melhor comportamento em relação ao ensaio de penetração de água de chuva. Foi adotada, na montagem dos painéis, parede com a combinação de blocos com alta, média e baixa absorção inicial, revestidas com argamassas de alta, média e baixa retenção de água, respectivamente.

É apresentado, na Figura 3.16, o esquema de fabricação de cada parede, para cada grupo de blocos e para cada tipo de argamassa tendo em vista a distribuição descrita anteriormente; todas as paredes, com sua respectiva distribuição de blocos, são apresentados no ANEXO D:



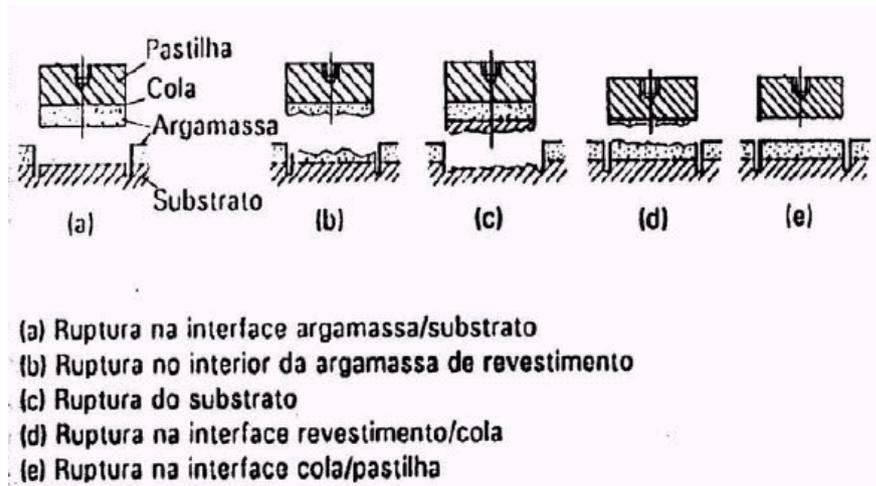
### **3.2.6.3 Ensaio de determinação do grau de hidratação das argamassas**

Com as amostras extraídas das argamassas de assentamento e de revestimento de cada uma das paredes para avaliar a percentagem de umidade ao final do ensaio, foi separada uma amostra de argamassa, tanto de revestimento quanto de assentamento; e colocada para secar a temperatura de 105° C, moída até a passagem do material na peneira de abertura de malha de 150 µm. A amostra necessária para a realização do ensaio possui uma massa representativa de 600 mg. Este ensaio de Análise Térmico Diferencial (ATD) tem como objetivo identificar as faixas de temperaturas em que ocorrem alterações físico-químicas na estrutura dos componentes presentes na estrutura das argamassas. O ensaio é realizado em atmosfera de ar, com taxa de aquecimento de 10°C/min, até atingir a temperatura de 900°C. Foi utilizado, para esta caracterização o equipamento patenteado pela INSA Lyon e disponível no laboratório de Valores UFSC.

### **3.2.6.4 Resistência à aderência**

Este ensaio visa determinar a condição de aderência dos elementos constituintes da parede, isto é, o grau de adesão entre as diferentes camadas que compõem o revestimento que, neste caso em particular, compreende substrato e revestimento.

Para determinação dos valores de resistência de aderência à tração, foram feitos ensaios em laboratório, de acordo com os preceitos estabelecidos na norma brasileira NBR 13528 (1995). As amostras avaliadas foram obtidas das mesmas paredes avaliadas no ensaio de estanqueidade de água, durante o processo de desmontagem, sendo separados aleatoriamente três blocos de concretos de cada parede, e, para a preparação dos corpos-de-prova, foi utilizada uma serra diamantada a seco, sem impactos, e de forma continuada; até se atingir a superfície do bloco por cada parede (foram preparadas 18 amostras). A colagem dos dispositivos de tração foi efetuada em seguida, com uso de cola base Epoxi.. Para cada ensaio realizado, foram registradas as cargas de ruptura, o diâmetro efetivo do corpo-de-prova, a espessura do revestimento e os percentuais dos tipos de ruptura. Os diversos locais onde podem ocorrer as rupturas nos corpos-de-prova são mostrados na Figura 3.17.



**Figura 3.17: Tipos de ruptura no ensaio de determinação da resistência de aderência à tração de revestimento.**

## CAPÍTULO 4

### APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentados os resultados obtidos no programa experimental da tese. A seguir, são expostos os resultados relacionados aos ensaios realizados com os substratos e as argamassas frente às suas características físicas, higrotérmicas e químicas de absorção de água: taxa inicial de absorção (IRA), absorção total (saturação), sorptividade e absorção de água ao longo do tempo, massa específica, porosidade aberta e isoterma de absorção. São também apresentados os resultados de estanqueidade à água de chuva obtidos nas paredes nos diferentes sistemas de revestimentos.

#### 4.1 RESULTADOS OBTIDOS DOS SUBSTRATOS

##### 4.1.1 PROPRIEDADES DE CARACTERIZAÇÃO DOS SUBSTRATOS

Na Tabela 4.1, são apresentados os resultados médios dos ensaios de caracterização inicial dos substratos, em que foram analisadas a absorção de água total e a resistência à compressão.

**Tabela 4.1: Resultados dos ensaios de caracterização dos blocos**

Características Determinadas	Método de ensaio	Número de determinações	Blocos de concreto - D1			Blocos de concreto - D2		
			Resultados médio	Desvio Padrão	Coefficiente de variação (%)	Resultados médio	Desvio Padrão	Coefficiente de variação (%)
Absorção de água (%)	(ABNT, 1991)	6	6,6	0,39	6,00	7,0	0,89	12,76
Resistência à compressão (Mpa)	(ABNT, 1991)	6	7,0	1,35	14,73	4,9	0,98	15,14

Através dos resultados, pode-se conferir que os blocos de concreto D<sub>1</sub> apresentaram maior resistência á compressão e uma absorção total menor em relação aos blocos de concreto D<sub>2</sub>. Pelos resultados obtidos de resistência à compressão e absorção total, os blocos podem ser classificados segundo a norma ABNT 6136 (1994), Classe AE, para os blocos D<sub>1</sub> que apresentam uma resistência de 7,0 MPa e uma absorção total de 6,6 %, que seria um bloco de uso geral como parede externa acima ou abaixo do nível do solo, que podem estar expostas à umidade e que não recebem revestimentos de argamassa de cimento; para o caso dos blocos D<sub>2</sub>, que apresentam uma resistência à compressão de 4,9 MPa e uma absorção total de 7 %, seriam da classe BE, um bloco para uso específico, limitado ao uso do nível do solo.

Conforme aos resultados obtidos da taxa inicial de absorção (IRA) sobre os blocos da série D1 e D2, estabeleceu-se que os mesmos poderiam ser agrupados em três grandes grupos com valores baixos, médios e altos de IRA. Esta classificação foi mantida para as análises representativas de cada agrupamento. Os resultados da organização dos blocos são expostos no ANEXO A.

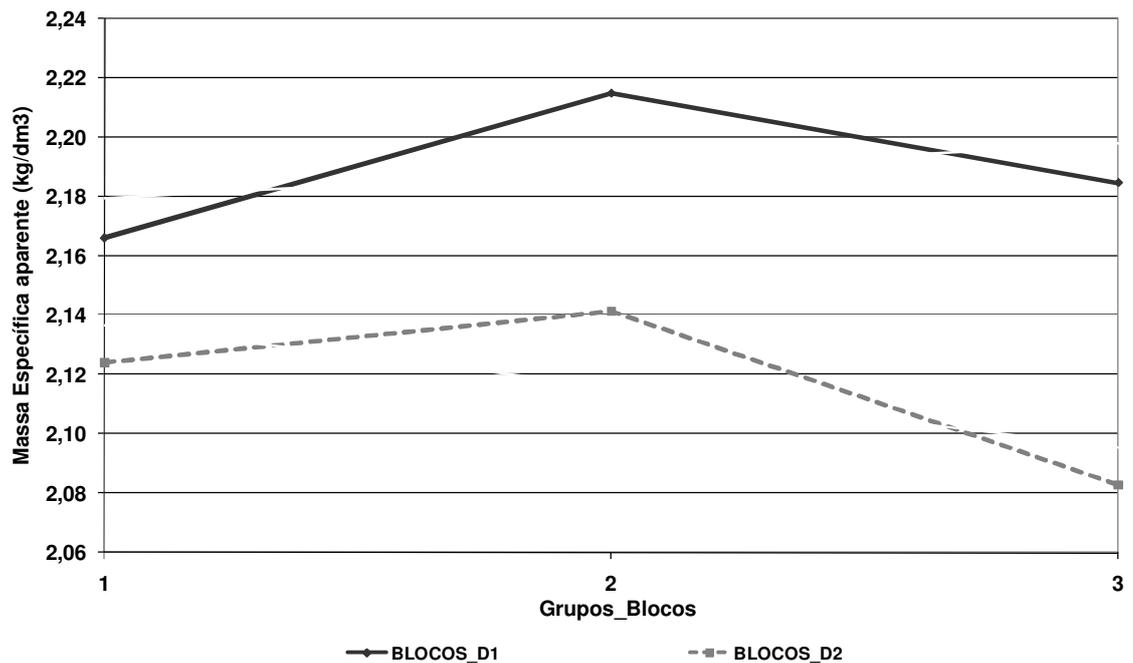
#### **4.1.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS SUBSTRATOS**

Após os blocos serem divididos, foram extraídas amostras testemunhas e caracterizadas em relação a suas propriedades físicas: massa específica e porosidade aberta, sendo apresentados, na Tabela 4.2 e nas Figuras 4.1 e 4.2, os valores médios para cada um dos grupos e para cada uma das séries. No ANEXO E, estão os valores para obter os resultados expostos a seguir.

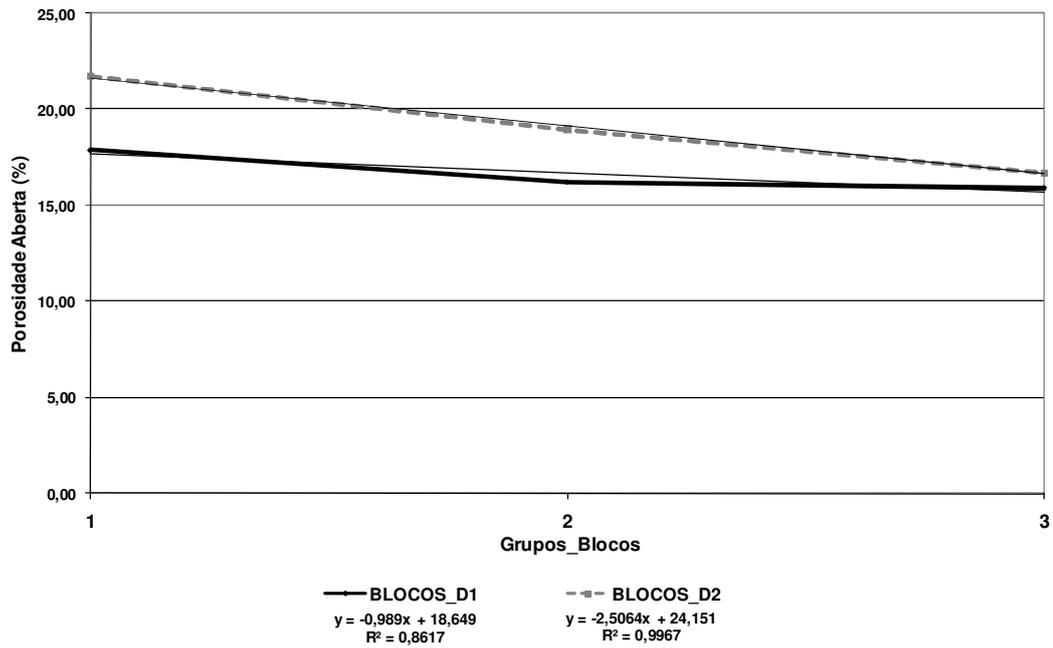
**Tabela 4.2: Propriedades físicas dos blocos.**

Porosidade Aberta (%)				Massa Específica (kg/dm <sup>3</sup> )				Massa de H <sub>2</sub> O (g)				Teor de umidade (%)			
BLOCOS D1		BLOCOS D2		BLOCOS D1		BLOCOS D2		BLOCOS D1		BLOCOS D2		BLOCOS D1		BLOCOS D2	
I	17,89	I	21,73	I	2,17	I	2,12	I	1,77	I	2,43	I	8,27	I	10,24
II	16,21	II	18,97	II	2,21	II	2,14	II	1,00	II	0,78	II	7,33	II	8,87
III	15,91	III	16,71	III	2,18	III	2,08	III	0,90	III	0,86	III	7,30	III	8,04
Média	16,7	Média	19,1	Média	2,2	Média	2,1	Média	1,2	Média	1,4	Média	7,6	Média	9,0
Desvio	1,1	Desvio	2,5	Desvio	0,0	Desvio	0,0	Desvio	0,5	Desvio	0,9	Desvio	0,5	Desvio	1,1
CV	6,4	CV	13,1	CV	1,1	CV	1,4	CV	39,1	CV	68,7	CV	7,2	CV	12,3

Pode ser observado que os blocos de concreto do grupo I, das duas séries considerados com taxa inicial de absorção baixa, apresentam uma porosidade aberta e massa específica maior, sendo invertido o comportamento à medida que foi variando para os outros grupos, até chegar ao grupo III, que apresenta uma taxa inicial de absorção alta, porosidade aberta e massa específica menor.

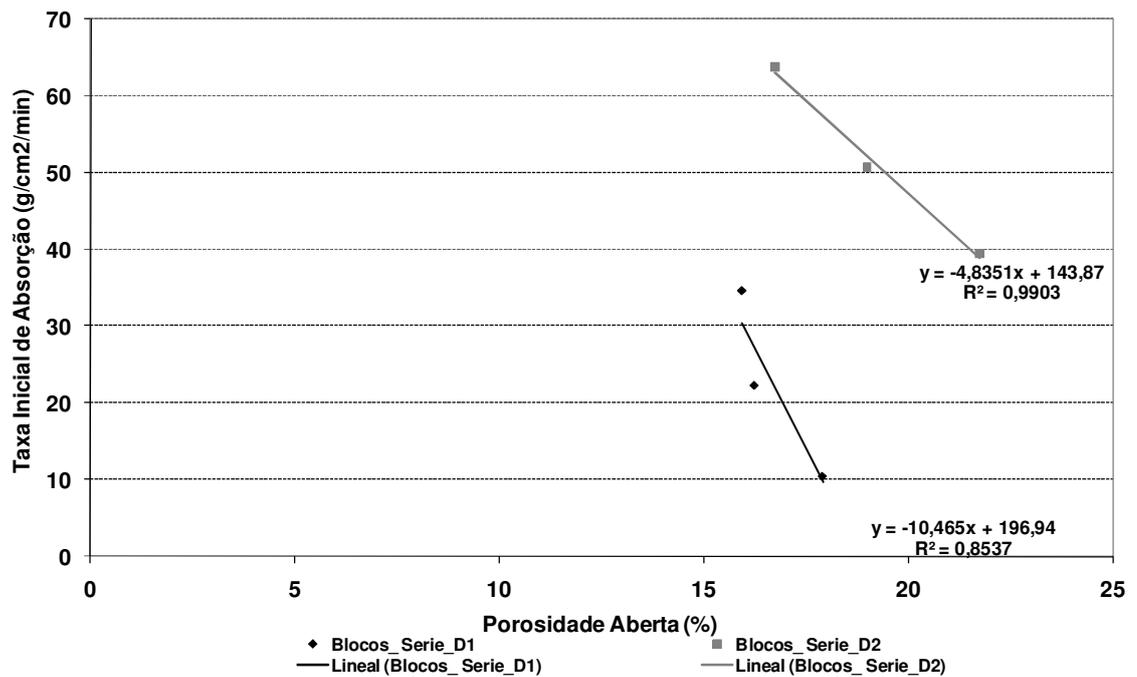


**Figura 4.1: Massa Específica para cada grupo de blocos**



**Figura 4.2: Porosidade Aberta para cada grupo de blocos.**

Analisando-se os resultados, observa-se que a série D<sub>1</sub> apresenta uma porosidade aberta menor que a série D<sub>2</sub>, mas verificou-se que quando realizada a avaliação dos resultados por cada grupo, à medida que aumentou a taxa inicial de absorção, diminuiu a porosidade aberta. Observou-se que não existe uma linearidade no comportamento, conforme observado na Figura 4.3.



**Figura 4.3: Relação da taxa inicial de absorção com a porosidade dos blocos.**

### 4.1.3 PROPRIEDADES HIGROTÉRMICAS DOS SUBSTRATOS

#### 4.1.3.1 Taxa Inicial de Absorção

As Tabelas 4.3 e 4.4 mostram os resultados médios obtidos nos ensaios de IRA das duas séries de blocos de concreto e para cada grupo, tanto das amostras extraídas dos blocos quanto dos próprios blocos.

**Tabela 4.3: Valores médios da taxa inicial de absorção (IRA) dos blocos de concreto.**

BLOCOS	SERIE D1			SERIE D2		
	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3
IRA (g/cm <sup>2</sup> /min)	10,49	22,31	34,63	39,44	50,75	63,81
Desvio	3,47	6,87	6,60	7,78	5,34	4,46
Coef_Varição (%)	33,04	30,79	19,06	19,74	10,51	6,99

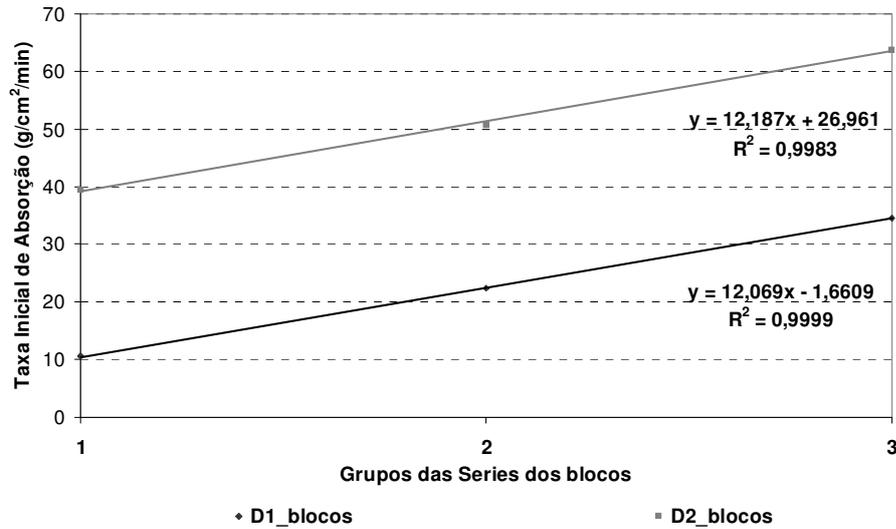
- N= 90 blocos

**Tabela 4.4: Valores médios da taxa inicial de absorção (IRA) das amostras extraídas de blocos de concreto.**

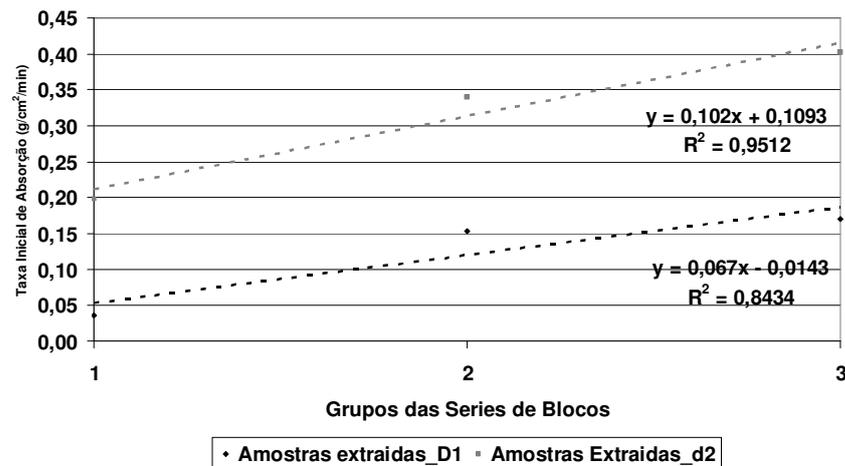
BLOCOS	SERIE D1			SERIE D2		
	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3
IRA (g/cm <sup>2</sup> /min)	0,04	0,15	0,17	0,20	0,34	0,40
Desvio	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01
Coef_Varição (%)	9,23	6,87	1,55	8,80	1,30	1,10

- N= 3 amostras de cada grupo

Poder ser observada a grande variabilidade de resultados para uma mesma série de blocos, pois os blocos da série D2 apresentaram resultados superiores em relação aos blocos da série D1 para os dos tipos de amostras avaliadas, como apresentado nas Figuras 4.4 e 4.5.



**Figura 4.4: Taxa inicial de absorção para cada grupo das séries de blocos de concreto**



**Figura 4.5: Taxa inicial de absorção para cada grupo das séries das amostras extraídas**

Depois de obtidos estes resultados partindo de cada grupo, foram subdivididos em 5 grupos de 18 blocos. O critério de agrupação foi aleatório, e tomado em relação à uma seqüência de resultados da taxa inicial de absorção, sendo divididos equitativamente pela quantidade de blocos que precisava para cada grupo, organizados igualmente para cada série na seqüência apresentada a seguir:

- GRUPO 1 - VALORES BAIXOS – Subgrupos V, VI, XI, XII, XIII.
- GRUPO 2 –VALORES MÉDIOS - Subgrupos VII, VIII, IX, X, XIV.
- GRUPO 3 –VALORES ALTOS – Subgrupos I, II, III, IV, XV.

Na tabela 4.5, são apresentados os resultados médios, o desvio padrão e o coeficiente de variação obtidos da taxa inicial de absorção para cada subgrupo.

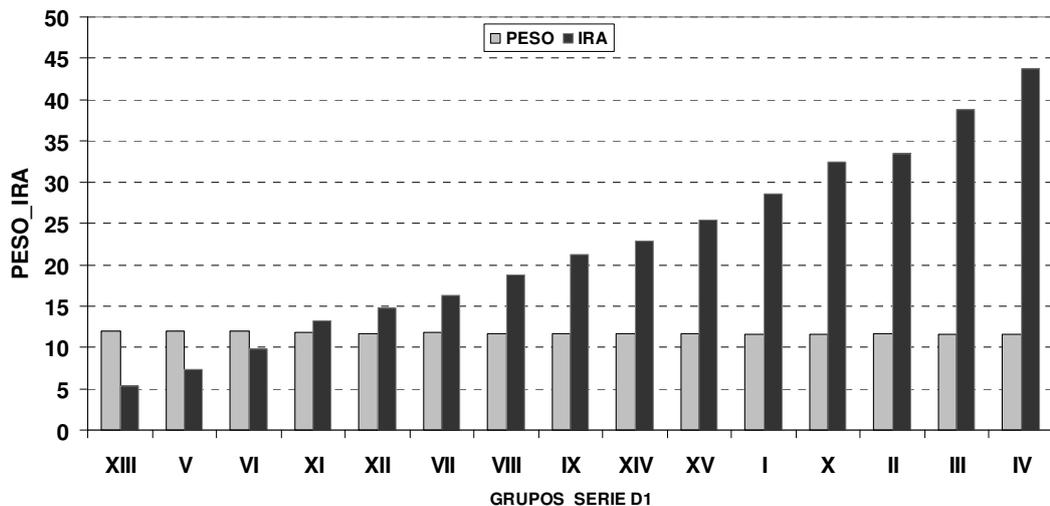
**Tabela 4.5: Valores médios da taxa inicial de absorção (IRA).**

Blocos de concreto _SERIE D1																
Grupos	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	MEDIA
IRA (g/cm <sup>2</sup> /min)	28,7	33,5	38,8	43,7	7,4	9,8	16,2	18,8	21,2	32,4	13,3	14,7	5,4	22,9	25,5	22,2
Desvio	0,98	1,67	1,70	1,81	0,76	1,26	0,63	0,85	0,49	7,79	0,89	0,52	0,50	1,58	0,39	1,5
Coef_Variação (%)	3,42	5,00	4,38	4,31	10,24	12,90	3,87	4,53	2,31	20,02	6,68	3,53	9,23	6,87	1,55	6,6
Blocos de concreto _SERIE D2																
Grupos	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	MEDIA
IRA (g/cm <sup>2</sup> /min)	62,0	65,8	69,7	59,5	30,8	41,4	51,1	54,2	55,2	30,8	44,0	48,0	29,8	51,0	59,7	50,2
Desvio	1,41	1,01	4,38	1,97	4,96	1,91	1,23	0,52	0,64	4,96	2,41	0,90	2,61	0,68	0,68	2,0
Coef_Variação (%)	2,27	1,53	6,28	3,31	16,13	4,78	2,41	0,95	1,14	16,13	5,48	1,87	8,75	1,33	1,13	4,9

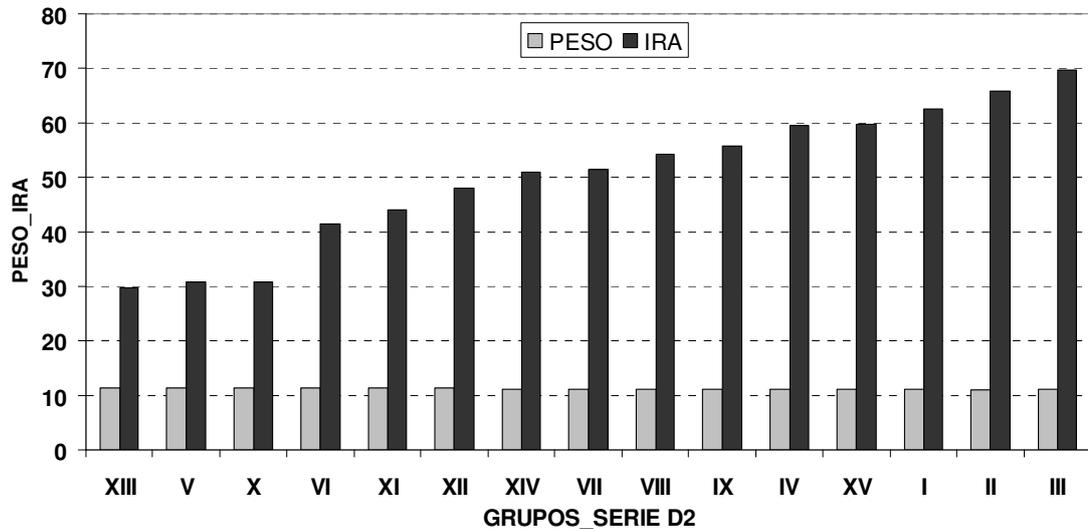
\* IRA (g/cm<sup>2</sup>/min) – valor médio de N=18

Através dos resultados, verifica-se a grande variabilidade na taxa inicial no caso dos blocos da série D<sub>1</sub>, em que podem ser encontrados valores menores de 5,4 g/cm<sup>2</sup>/min (Grupo XIII) até valores de 43,7 g/cm<sup>2</sup>/min (grupo IV). Já no caso dos D<sub>2</sub>, a variabilidade apresenta-se menor variando desde 29,8 g/cm<sup>2</sup>/min até 69,7 g/cm<sup>2</sup>/min.

Nas paredes definidas pelo número X de cada grupo, pode ser visto que os coeficientes de variação entre os blocos ficaram muito mais altos em relação às outras paredes, devido à fabricação das mesmas ao mesmo tempo em que eram realizadas as avaliações em relação à taxa inicial de absorção e a absorção por capilaridade, ficando os valores da IRA muito mais dispersos para estas paredes. Realizando-se uma análise da relação entre o peso dos blocos de concreto e a alta variabilidade na taxa inicial de absorção, na Figura 4.6 e 4.7 observa-se que houve uma grande influência e foi constatado que, para os blocos com peso maior, foram obtidos resultados menores da taxa inicial de absorção para os dois tipos de substratos.



**Figura 4.6: Relação entre o peso dos blocos versus a taxa inicial de absorção (IRA)\_série D<sub>1</sub>**



**Figura 4.7: Relação entre o peso dos blocos versus a taxa inicial de absorção (IRA)\_série D<sub>2</sub>**

#### 4.1.3.2 Absorção de água ao longo do tempo e sorptividade dos blocos

A sorptividade foi obtida a partir do levantamento da curva de absorção de água livre (absorção ao longo do tempo), sendo obtida a declividade da reta traçada a partir dos pontos de interseção do gráfico  $i \times t^{1/2}$ , podendo-se salientar que dita curva foi obtida a partir dos primeiros cinco minutos (modificação realizada a partir de constatar a alta taxa inicial que apresentaram os blocos de concreto) até os 25 minutos, como sugere a ASTM 67 draf (1996), e também porque a partir deste instante, apresenta-se uma tendência de estabilização da curva. Foram realizadas análises de regressão para cada um dos blocos e o coeficiente de correlação ( $R^2$ ) determinado para cada regressão.

Nas Figuras 4.8 e 4.9, são apresentados gráficos de obtenção da sorptividade para o subgrupo III (parede) de cada série, e os resultados médios dos três grupos e subgrupos de cada série dos blocos e das amostras extraídas são exibidos nas Tabelas 4.6, 4.7 e 4.8, assim como uma comparação dos resultados na Figura 4.10. Todos os gráficos das demais paredes são apresentados nos ANEXO B e C.

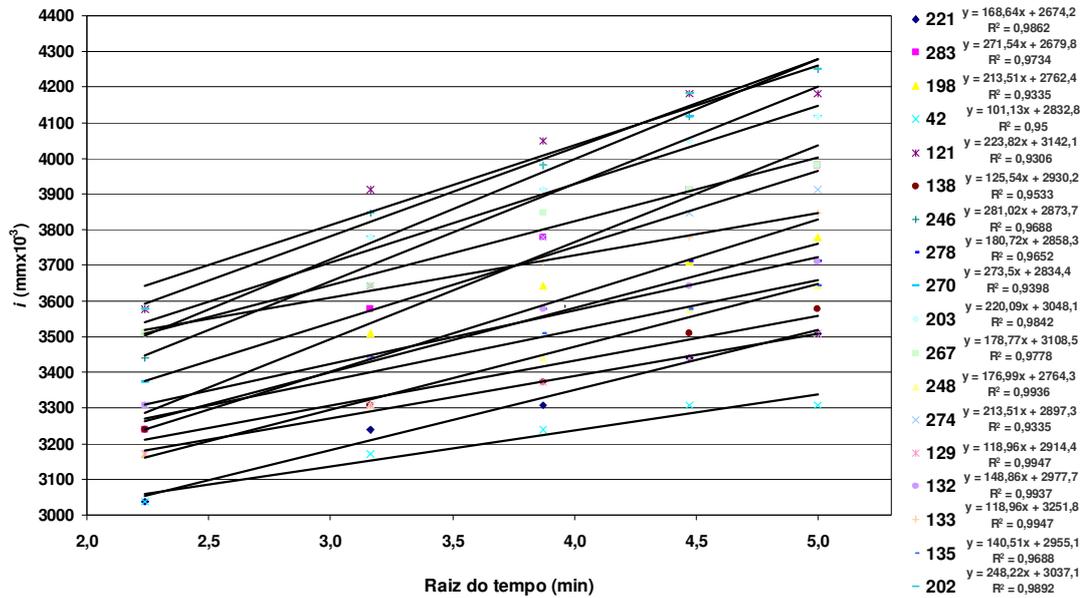


Figura 4.8: Curvas típica de Sorptividade do grupo III\_série D1 (N=18 blocos)

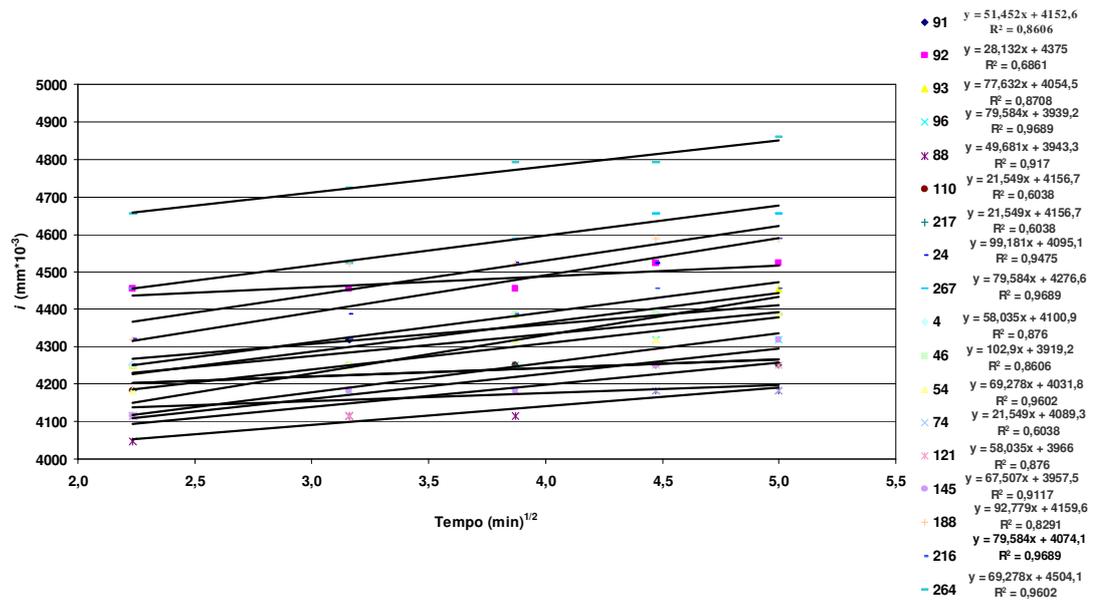


Figura 4.9: Curvas típica de Sorptividade do grupo IV\_série D2 (N=18 blocos)

**Tabela 4.6: Valores médios da Sorptividade para cada Subgrupo de cada série (S).**

Blocos de concreto - SERIE D1																
Grupos	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	MEDIA
S (mm/min <sup>1/2</sup> )x10 <sup>-3</sup>	231	191	189	140	209	225	249	261	268	185	247	240	183	252	265	222,3
Coef_Variação (%)	24,80	20,23	30,17	21,93	31,58	0,00	0,00	14,44	18,82	33,99	8,35	13,91	9,94	16,11	20,17	17,6
R <sup>2</sup>	0,96	0,95	0,97	0,95	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97	0,95	0,99	0,98	0,98	0,98	0,99	1,0

Blocos de concreto - SERIE D2																
Grupos	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	MEDIA
S (mm/min <sup>1/2</sup> )x10 <sup>-3</sup>	57	52	47	63	142	116	81	82	66	142	98	96	157	69	67	89,0
Coef_Variação (%)	31,61	41,68	41,54	41,81	26,08	25,07	39,66	45,05	40,90	26,08	30,58	32,55	21,49	42,18	21,48	33,9
R <sup>2</sup>	0,83	0,76	0,79	0,85	0,95	0,94	0,90	0,89	0,83	0,95	0,91	0,92	0,96	0,9	0,86	0,9

\* N=18 blocos

**Tabela 4.7: Valores médios da Sorptividade (S) para cada Grupo de cada série dos blocos de concreto.**

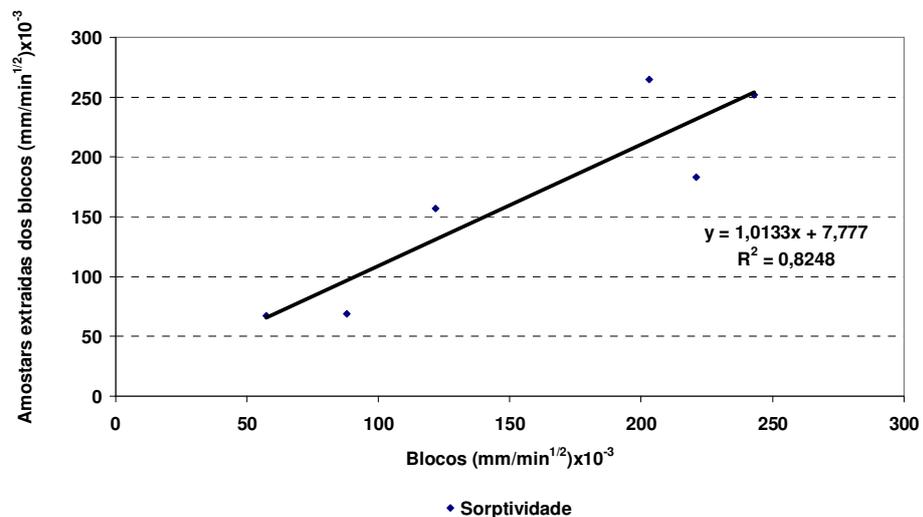
BLOCOS	SERIE D1			SERIE D2		
	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3
S (mm/min <sup>1/2</sup> )x10 <sup>-3</sup>	220,80	242,99	203,16	121,76	87,94	57,27
Coef_Variação (%)	12,76	16,67	23,46	27,15	38,77	35,62
R <sup>2</sup>	0,99	0,97	0,96	0,94	0,89	0,82

• N= 90 blocos

**Tabela 4.8: Valores médios da Sorptividade (S) para cada Grupo de cada série das amostras extraídas.**

BLOCOS	SERIE D1			SERIE D2		
	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3
S (mm/min <sup>1/2</sup> )x10 <sup>-3</sup>	183,00	252,00	265,00	157,00	69,00	67,00
Coef_Variação (%)	9,90	16,10	20,20	21,50	42,20	21,50
R <sup>2</sup>	0,98	0,98	0,99	0,96	0,90	0,86

• N= 3 amostras extraídas dos blocos



**Figura 4.10: Comparação de valores de Sorptividade dos blocos**

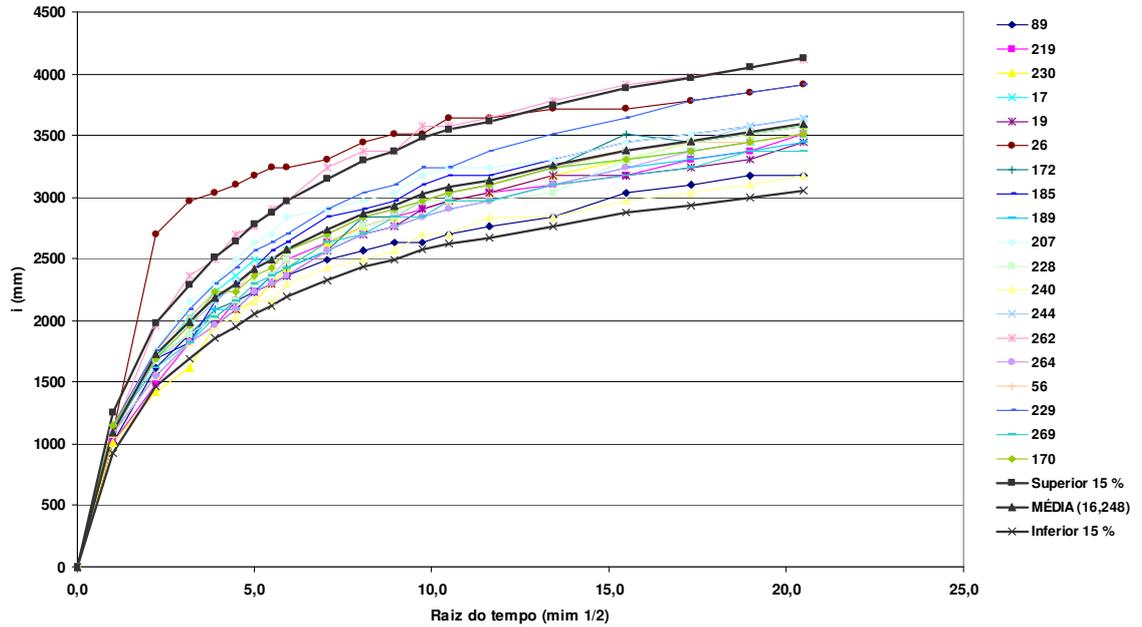
Nas Tabelas 4.6 e 4.7, podem ser analisado que, nas amostras das séries D1, houve um aumento da sorptividade, exceto no caso das amostras do grupo 3 dos blocos que diminuiu; já no caso das amostras D2 mantiveram o mesmo comportamento de uma diminuição à medida que aumentava a taxa inicial de absorção.

A Figura 4.10 mostra que as medidas realizadas de absorção capilar em amostras extraídas das paredes dos blocos (dimensão: 5 cm de diâmetro e 3 cm de altura) podem ser tomadas na análise da sorptividade dos blocos. Foi encontrada uma boa correlação entre a sorptividade medida diretamente nos blocos e a sorptividade determinada nas amostras extraídas ( $R^2 > 0,82$ ). De acordo com os resultados, a maior sorptividade é atribuída aos blocos de concreto D<sub>1</sub>, sendo que os blocos de concreto D<sub>2</sub> absorvem excessivamente água no minuto inicial, e ficam saturados rapidamente, e mantêm valores de absorção constantes ao longo do tempo, contrariamente aos blocos de concreto D<sub>1</sub>, que absorvem água uniformemente ao longo do tempo até alcançar a saturação.

Segundo ASTM draf (1996), em relação ao valor da sorptividade para blocos, quando o coeficiente de correlação ( $R^2$ ) for menor que 0,96, a relação é considerada não suficientemente linear e a sorptividade das amostras não deve ser determinada destes dados experimentais. Logo, os baixos resultados dos coeficientes de regressão indicam um desvio da relação, uma vez que a amostra ficou saturada e considera-se que o fluxo durante o processo de saturação é violado (TAHA, 2001). Considerando o exposto anteriormente, não poderia ser aplicada a teoria da sorptividade para o caso dos blocos de concreto D<sub>2</sub>, os quais, pelas características próprias do material de ser menos denso, apresentam uma absorção abrupta nos primeiros minutos, provocando a saturação do material aos 35 minutos de início do ensaio.

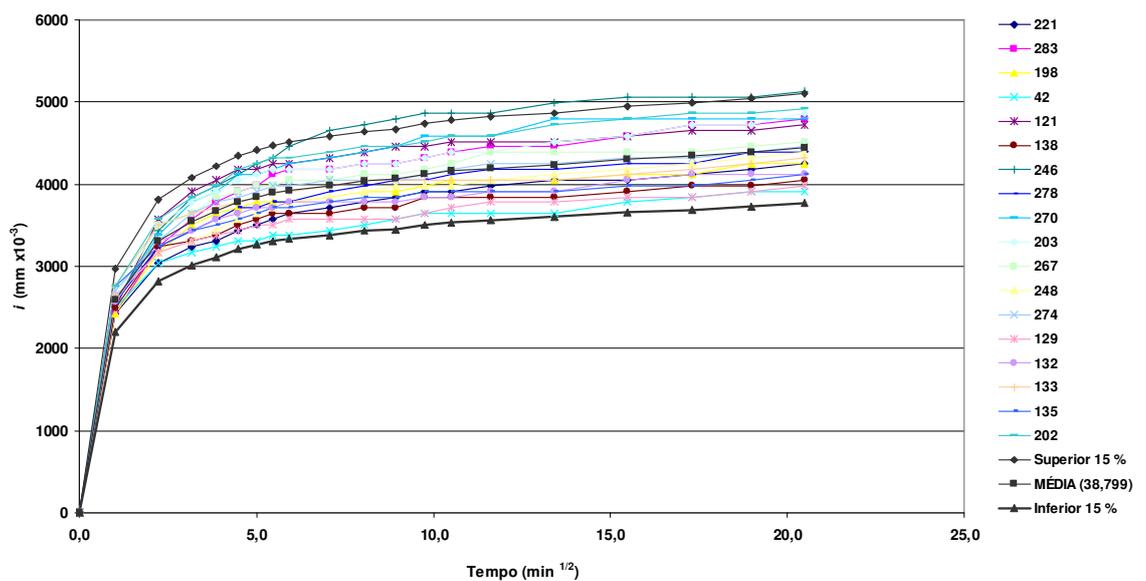
Neste sentido foi utilizada a proposta da curva de absorção de água ao longo do tempo, que segundo PAES (2004), mostra um grande potencial de utilização, uma vez que permite observar o comportamento dos elementos de construção desde o instante inicial até a sua saturação, mostrando as peculiaridades para cada tipo de substrato e para bloco de concreto componente deste substrato.

A curva de absorção ao longo do tempo, apresentada na Figura 4.11 permite conferir que nos blocos do grupo 7 blocos de concreto D<sub>1</sub>; Ex: 17, 185 e 262, com mesmo valor de taxa inicial de absorção ( $IRA=16,194 \text{ g/cm}^2/\text{min}$ ) e valores de sorptividade similares:  $S=291, 285, 289 \text{ (mm/min}^{1/2}) \cdot 10^{-3}$  respectivamente, podem apresentar comportamento de absorção ao longo do tempo diferente, podendo ser comprovado no caso do bloco 262, que contorna a curva média superior do grupo.

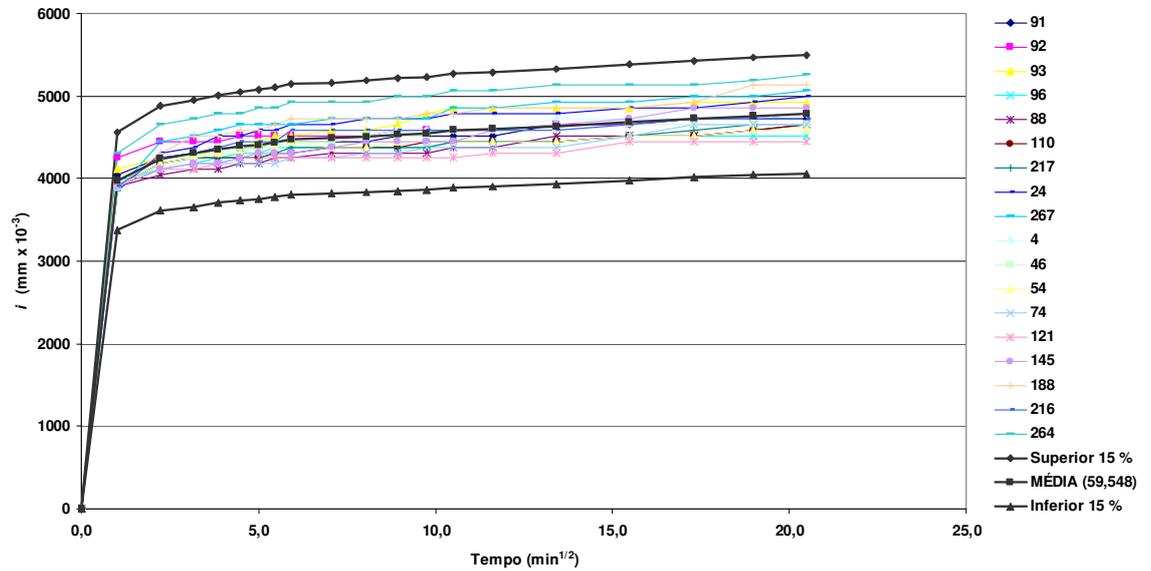


**Figura 4.11: Curvas médias de Absorção de água em função da raiz do tempo para blocos do Subgrupo XII D<sub>1</sub>**

A partir desta nova proposta, os blocos constituintes de cada grupo foram agrupados a partir de uma curva característica. Com os resultados de cada bloco, plotou-se uma curva média de absorção de água, que não diferiu de 15% do valor médio da absorção, sendo assim, realizada a distribuição por paredes como apresentado nas Figuras 4.12 e 4.13.



**Figura 4.12: Curvas médias de Absorção de água em função da raiz do tempo para blocos do Subgrupo III D<sub>1</sub>**



**Figura 4.13: Curvas médias de Absorção de água em função da raiz do tempo para blocos do Subgrupo IV D<sub>2</sub>**

### 4.1.3.3 Ângulo de molhamento aparente

Através dos valores médios do estoque infiltrado de água e álcool em função do tempo de três amostras de cada tipo de grupo dos blocos, foram obtidas as curvas que relacionam estas variáveis, sendo obtida a inclinação desta curva, que permitiu determinar o ângulo de molhamento aparente. Nos gráficos 4,14, 4,15, 4,16, 4,17, 4,18 e 4,19 são apresentados estes resultados.

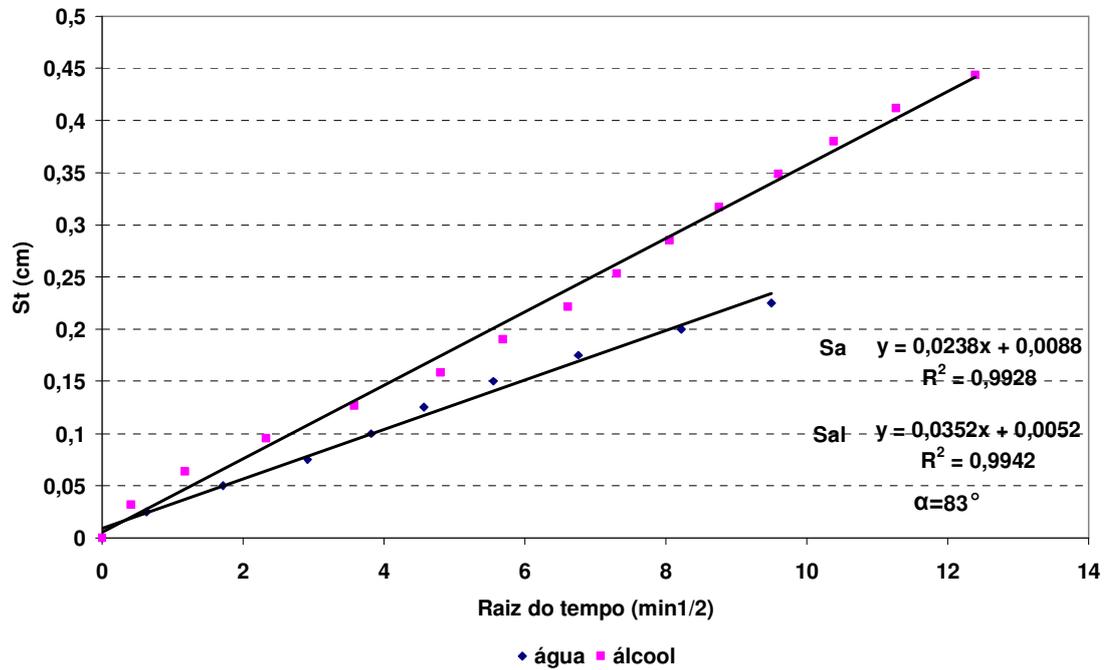


Figura 4.14: BLOCOS I D1: Estoque de líquido infiltrado em função da raiz do tempo

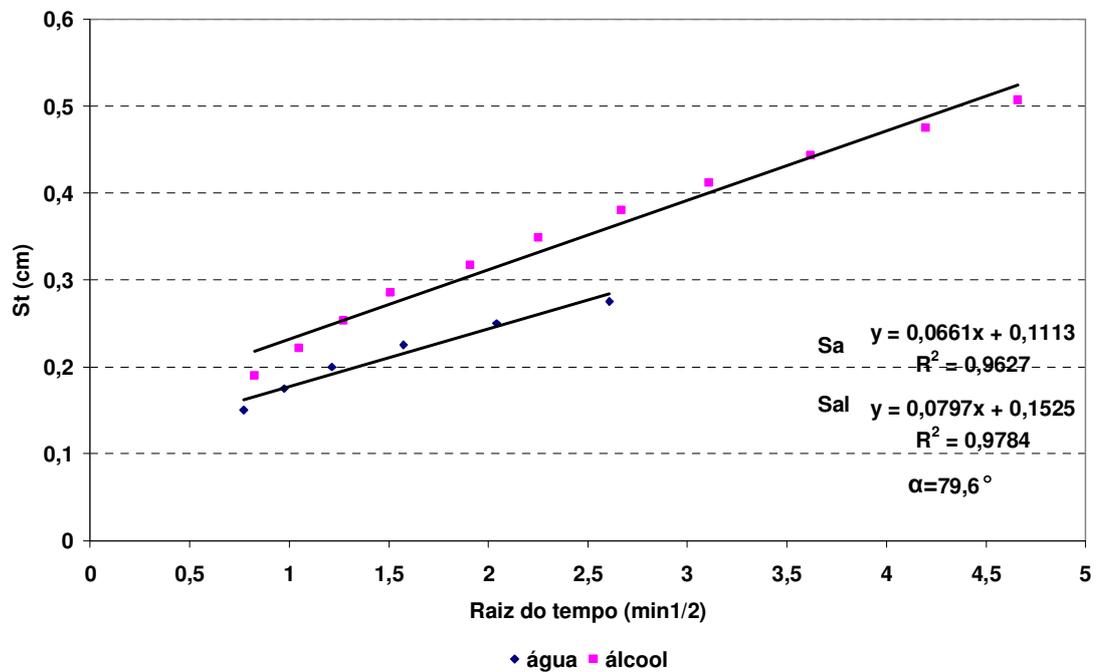


Figura 4.15: BLOCOS II D1: Estoque de líquido infiltrado em função da raiz do tempo

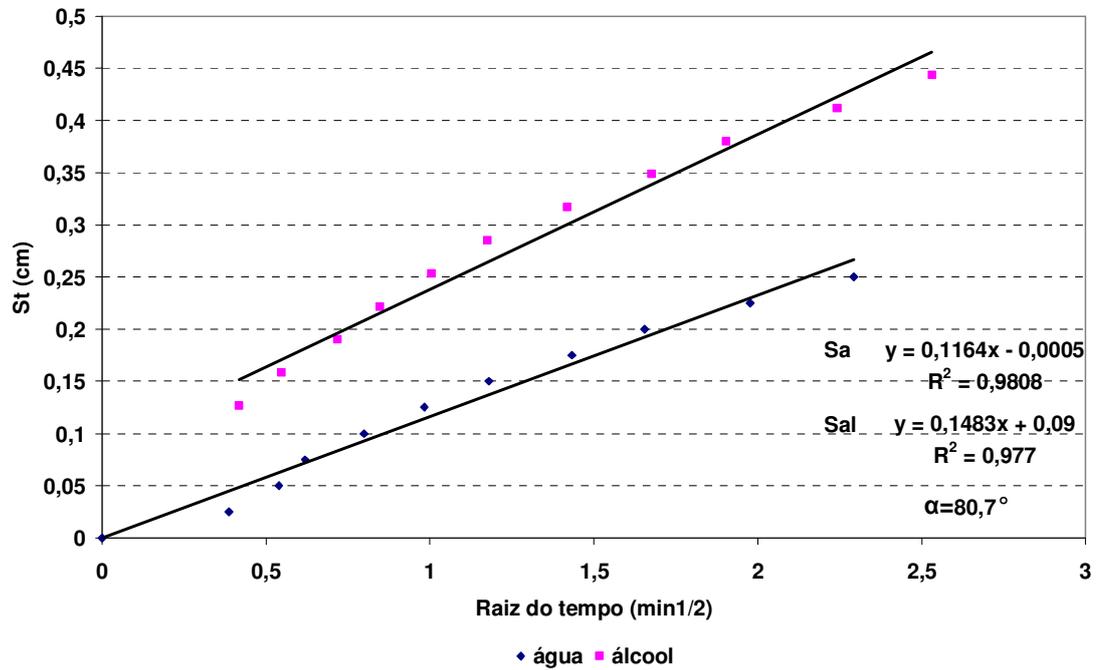


Figura 4.16: BLOCOS III D1: Estoque de líquido infiltrado em função da raiz do tempo

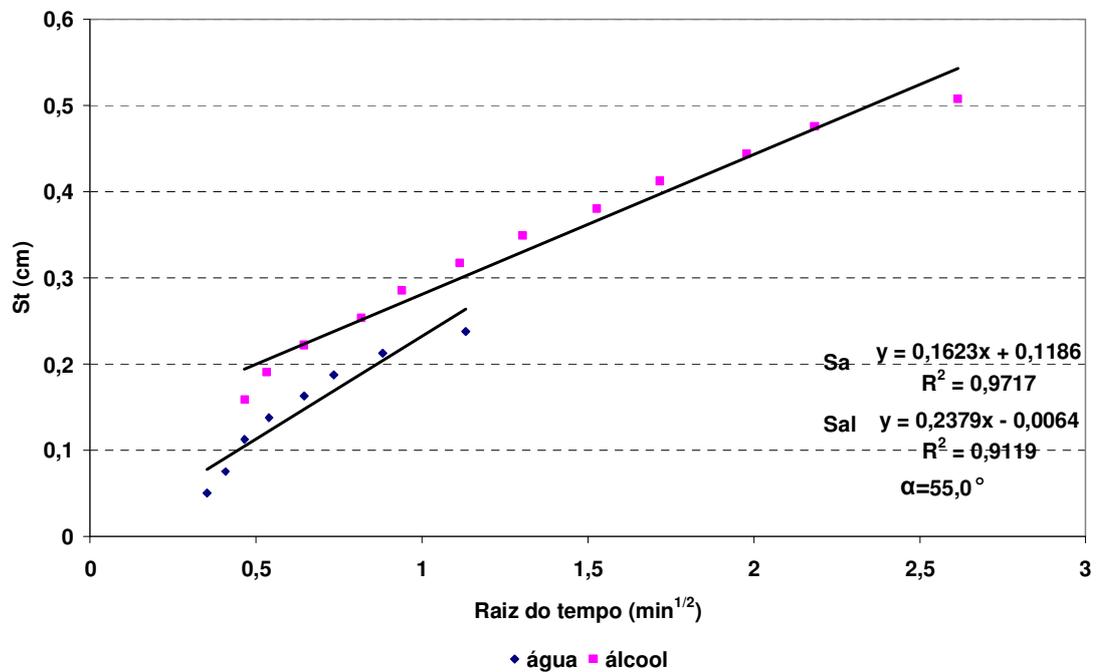


Figura 4.17: BLOCOS I D2: Estoque de líquido infiltrado em função da raiz do tempo

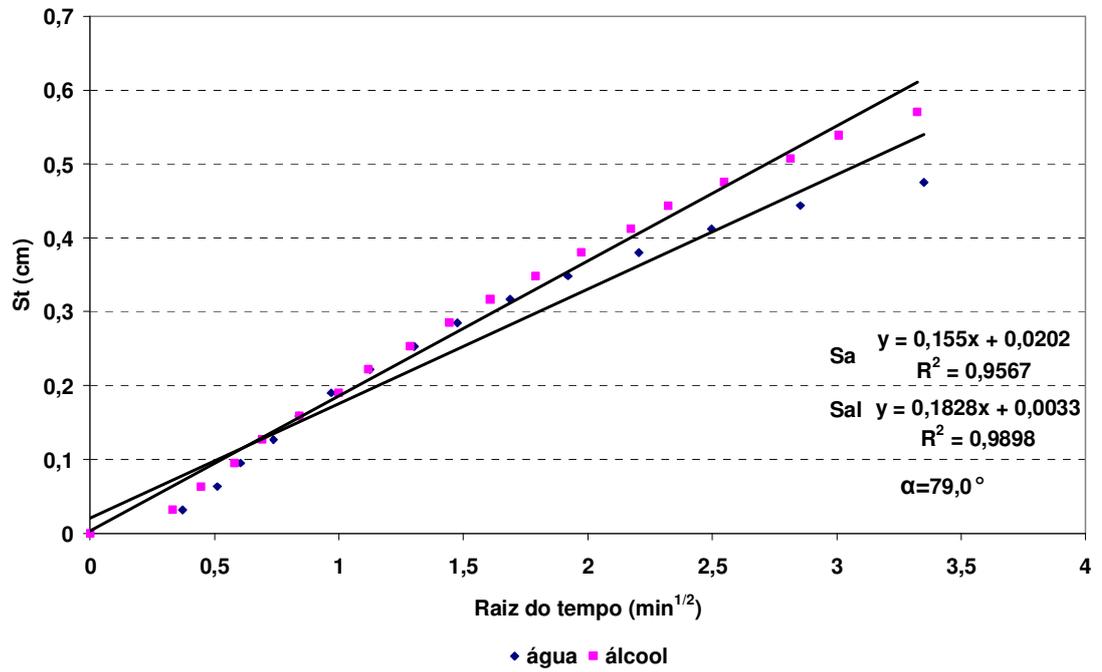


Figura 4.18: BLOCOS II D2: Estoque de líquido infiltrado em função da raiz do tempo

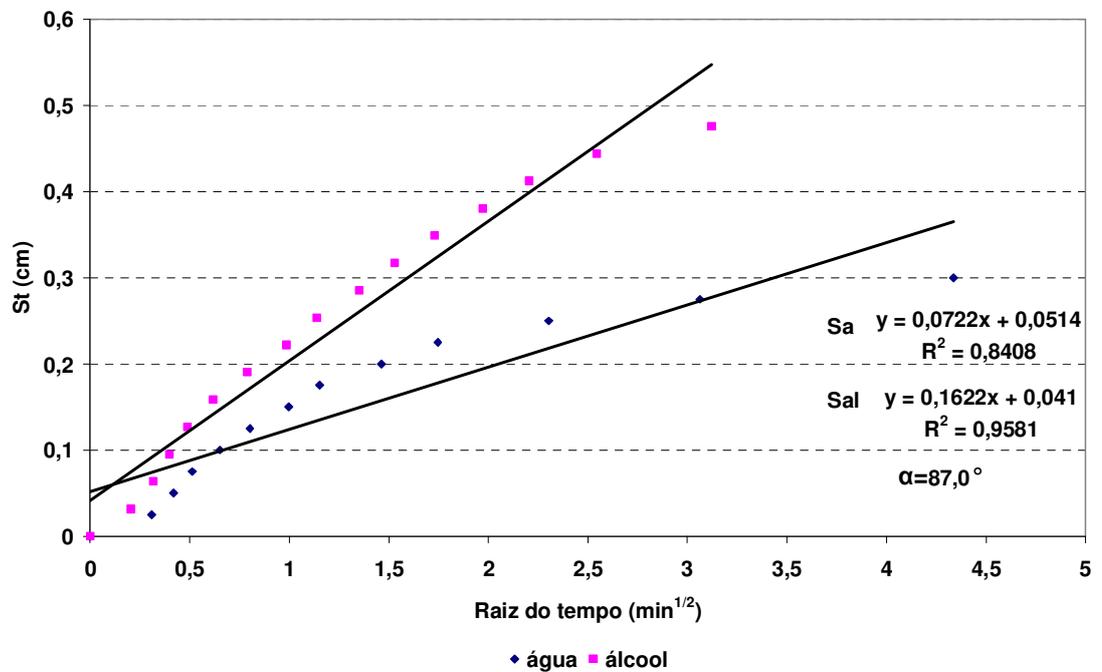


Figura 4.19: BLOCOS III D2: Estoque de líquido infiltrado em função da raiz do tempo

Conforme as Figuras 4.14 a 4.19 constatam-se uma evolução dos volumes de líquido absorvidos proporcionais à raiz do tempo. O que tende a mostrar que o efeito da gravidade é negligenciável e que a absorção é controlada pelas forças capilares. A quantidade de água capilar pode ser absorvida a uma dada pressão por um corpo poroso, e a velocidade desta absorção depende em grande parte de seu grau de molhabilidade (MEROUNI, 1987).

Na Tabela 4.9, estão sintetizados os resultados obtidos na determinação do ângulo de molhamento para cada grupo de cada série dos blocos. Os valores foram obtidos da média de três amostras de cada grupo da série dos blocos (amostras extraídas dos blocos).

**Tabela 4.9: Estoques de líquido infiltrado e ângulo de molhamento aparente**

Blocos	Ságua (cm x min <sup>1/2</sup> )	Sal (cm x min <sup>1/2</sup> )	Ângulo de molhamento (°)
I_D1	0,0238	0,0352	83,00
II_D1	0,0661	0,0797	79,60
III_D1	0,1164	0,1483	80,70
I_D2	0,2379	0,1623	55,00
II_D2	0,155	0,1828	79,00
III_D2	0,0722	0,1622	87,00

Através dos resultados, é possível observar que, nos blocos da série D1, se manteve o ângulo de molhamento quase com valores próximos, sem conseguir observar qualquer relação entres os grupos desta série. Já nos blocos da série D2, observa-se um aumento do ângulo de molhamento aparente a partir do aumento da taxa inicial de absorção dos blocos (propriedade considerada para o agrupamento dos blocos). Tendo visto a variabilidade dos resultados para cada grupo, isto pode ser resultado de que o ângulo de molhamento aparente é uma propriedade fortemente afetada pela água da superfície da parede dos poros ou eventualmente pela presença de camadas absorvidas.

#### 4.1.3.4 Adsorção

Na Tabela 4.10, é apresentado o conteúdo de umidade mássico em função da umidade relativa dos blocos para cada grupo das séries de blocos.

**Tabela 4.10: Conteúdo de umidade mássico dos blocos em função da umidade relativa da câmara.**

Solução	UR (%)	Conteúdo de Umidade Mássico (%)					
		I_D1	II_D1	III_D1	I_D2	II_D2	III_D2
Hidróxido de potássio	6	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
Acetato de potássio	20	0,1	0,1	0,0	0,2	0,2	0,0
Cloreto de Magnésio	31	0,2	0,2	0,1	0,3	0,2	0,1
Bicromato de sódio	47	0,2	0,2	0,1	0,3	0,2	0,1
Nitrito de sódio	65	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Cloreto de Sódio	76	0,5	0,5	0,4	0,4	0,6	0,5
Sulfato de Amonia	79	0,6	1,0	0,7	0,4	0,9	0,5
Sulfato de Potássio	96	1,2	1,3	1,5	0,8	1,0	1,4

A partir dos dados experimentais obtidos no ensaio de adsorção apresentados na Tabela 4.10, foram obtidos os coeficientes C, Wm e K da quadrática que ajusta estes dados ao modelo de BET e GAB. Através dos valores encontrados de correlação e fazendo uma comparação das duas curvas obtidas, verifica-se que os dados experimentais ajustam-se melhor ao modelo GAB.

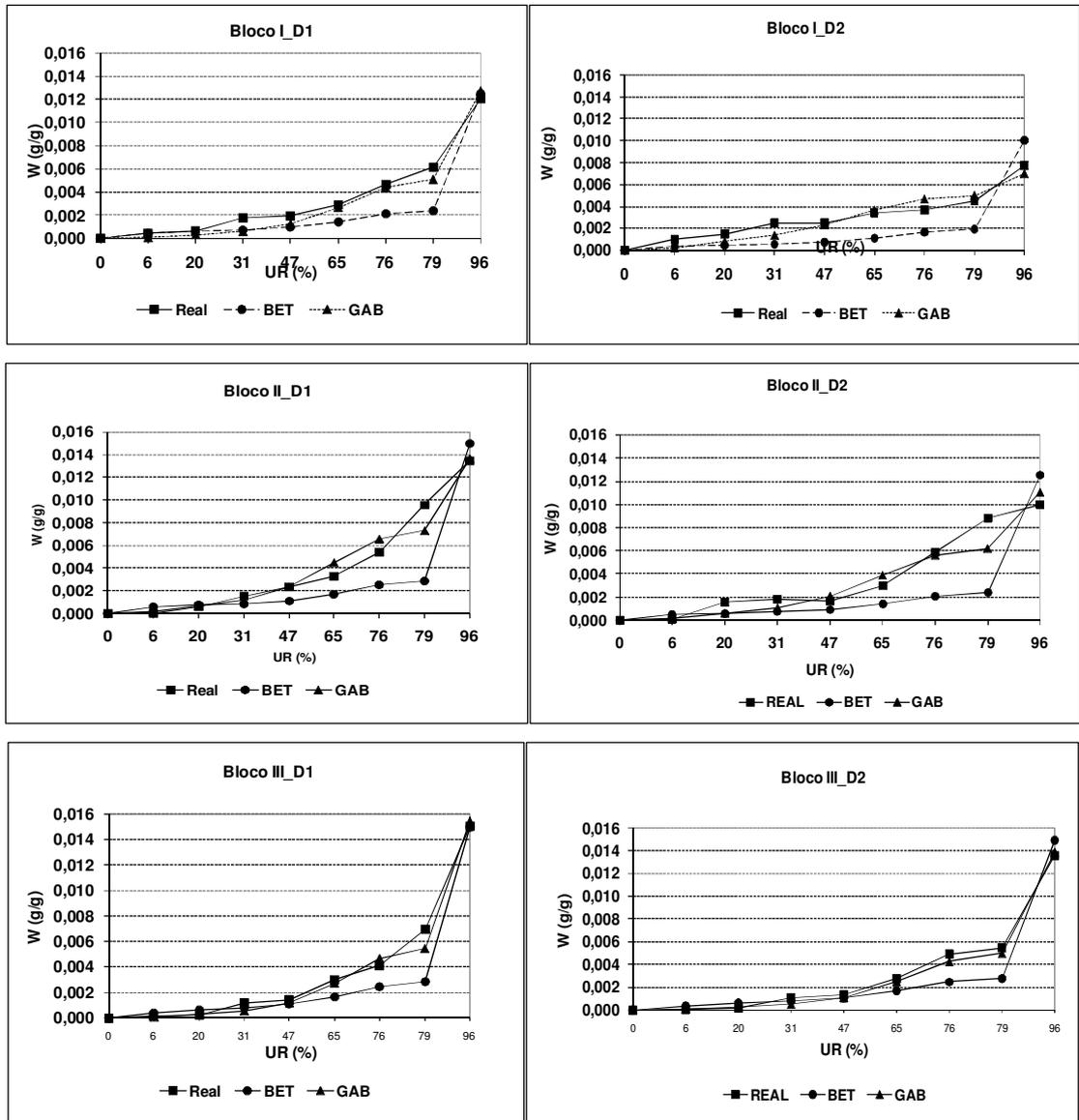
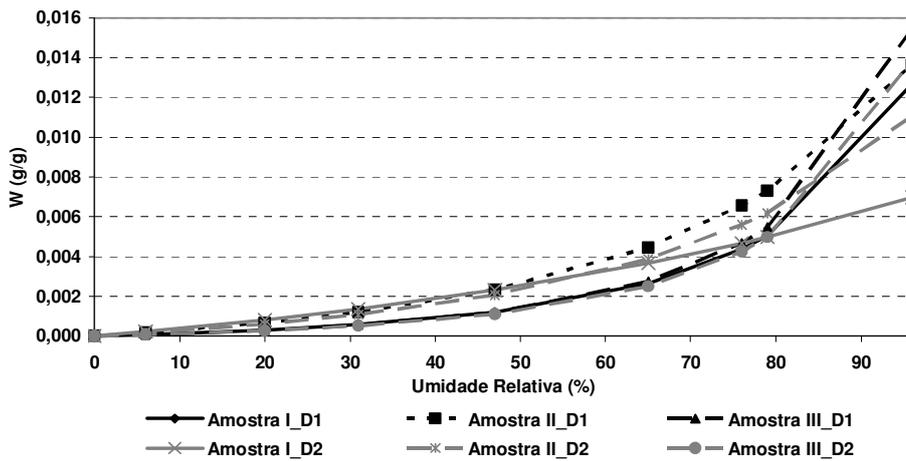


Figura 4.20: Ajuste dos dados experimentais dos blocos ao modelo GAB e BET

Através da Figura 4.20, é possível verificar que, para os blocos dos grupos I e II da série D2, a quantidade de água adsorvida nas paredes dos poros dos blocos para umidades elevadas é menor em relação a estes mesmos grupos dos blocos da série D1; mas, no caso da quantidade de água, para os grupos III, manteve-se a mesma quantidade para umidades relativas superiores. Também foi verificado que é maior a quantidade de água adsorvida nas paredes para teores de umidade relativa elevados para todas as amostras das duas séries.

Na Figura 4.21 é apresentado um resumo das curvas para o modelo GAB de cada grupo dos blocos através das quais se verifica que, para todas amostras II e III das duas séries o formato das curvas, até 47 % e 79% ,respectivamente, mantêm-se o mesmo, depois apresenta um deslocamento vertical para baixo. Já no caso das amostras I, no caso da amostras do substrato D1, quase têm um comportamento similar às amostras III, somente com uma adsorção menor e a amostra I D2 teve um comportamento diverso das outras amostras.



**Figura 4.21: Curvas do ajuste através do modelo GAB dos diferentes grupos das séries dos blocos**

Na Tabela 4.11, são apresentados sintetizados, os coeficientes C,  $W_m$  e K das curvas do ajuste através do modelo GAB e o ajuste destas curvas aos dados experimentais, bem como o parâmetro  $W_m$  (conteúdo de umidade mássico de uma monocamada), calculado a partir destes coeficientes. Além disso, é apresentado o valor de superfície específica dos blocos.

**Tabela 4.11: Coeficientes, parâmetros e superfície específica determinados através do modelo GAB**

Substratos	Argamassas	Coeficientes		$W_m \times 10^3$	Se (m <sup>2</sup> /g)
		C	K		
D1	I	0,03	0,75	7,200	52,19
	II	0,06	0,62	6,800	48,05
	III	0,02	0,78	5,410	16,87
D2	I	0,09	0,33	11,640	82,73
	II	0,05	0,58	7,990	57,25
	III	0,02	0,78	5,820	40,56

Em se tratando da superfície específica dos blocos, pode ser observado que a superfície específica foi diminuindo para os dois tipos de substratos à medida que aumentava a taxa inicial de absorção, que foi o critério de divisão dos grupos de cada bloco, sendo mais forte a relação entre estas características para os blocos da série D2. Estas constatações podem ser realizadas através da Figura 4.22.

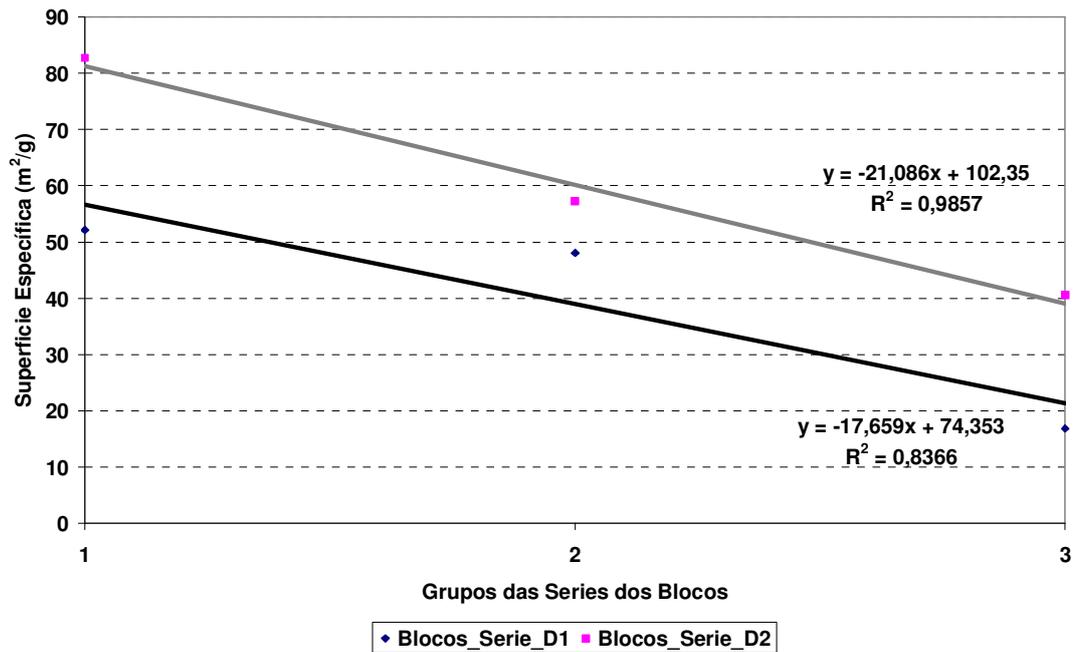
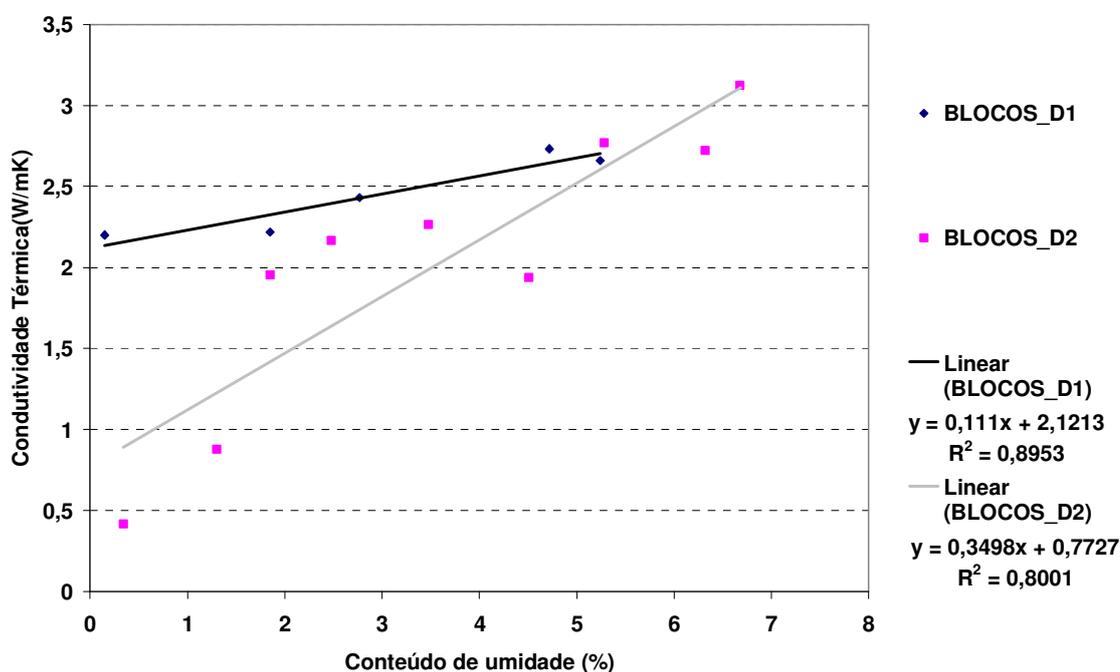


Figura 4.22: Superfície específica dos blocos por grupos de caracterização

#### 4.1.3.5 Condutividade Térmica

Na Figura 4.23, são apresentados os resultados obtidos de condutividade térmica dos blocos em relação ao conteúdo de umidade mássico, e, no ANEXO F, encontram-se os resultados que permitiram a obtenção destes resultados.



**Figura 4.23: Condutividade térmica dos blocos em função do conteúdo de umidade mássico**

Analisando os resultados obtidos do coeficiente angular das retas para os dois tipos de blocos apresentado na Tabela 4.12, pode-se verificar que é maior a influência da umidade na condutividade térmica no bloco da série D2. Isto é condizente com o fato de que a condutividade térmica aumenta em função da umidade contida nos mesmos, sendo os blocos da série D2, os blocos como mais poros acessíveis. A presença da água neste material contribui para que o isolamento térmico seja inferior.

**Tabela 4.12: Dados da reta que relaciona a condutividade térmica com o conteúdo de umidade**

Substratos	Coeficiente		R <sup>2</sup>
	Angular	Linear	
D1	0,11	2,12	0,90
D2	0,35	0,77	0,80

## 4.2 RESULTADOS OBTIDOS DAS ARGAMASSAS

### 4.2.1 PROPRIEDADES DE CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO E ENDURECIDO APLICADAS SOBRE OS SUBSTRATOS DE CONCRETO

As propriedades de caracterização das argamassas avaliadas, no estado fresco e endurecido, durante a pesquisa, são apresentadas na Tabela 4.13, bem como os resultados obtidos para cada uma delas.

**Tabela 4.13: Propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido**

Propriedades Determinadas	Método de ensaio	Resultados médio					
		Argamassas					
		0% CZP	50% CZP	100% CZP	0% CZP+IA	50% CZP+IA	100% CZP +IA
<b>Consistência (Espalhamento)</b>	NBR 13276/95	218	209	183	235	214	195
<b>Retenção de água (funil) 15 minutos</b>	NBR 9287/86	82,75	78,04	79,7	95,61	91,74	81
<b>Resistência à compressão</b>	NBR 6136/2005	1,44	2,16	2,69	0,87	1,98	2,59

Através dos resultados, verifica-se que para uma mesma relação a/c, as argamassas estudadas apresentam diferentes consistências, sendo que, quanto maior o teor de cinza, menor é a consistência, ocorrendo para as argamassas sem ou com aditivo incorporador de ar.

Em relação à capacidade de retenção de água, tem-se que o emprego da CZP implica uma redução da capacidade de retenção de água, sendo que este resultado está de acordo com o encontrado por MARGON (2002) e SANTOS (2006). No entanto, não foi encontrada uma forte relação entre o teor de CZP e a retenção de água.

Analisando os dados obtidos da resistência à compressão, observa-se que as argamassas sem IA tiveram uma maior resistência à compressão que as argamassas com IA, e à medida que aumentou o teor de CZP, aumentou a resistência à compressão.

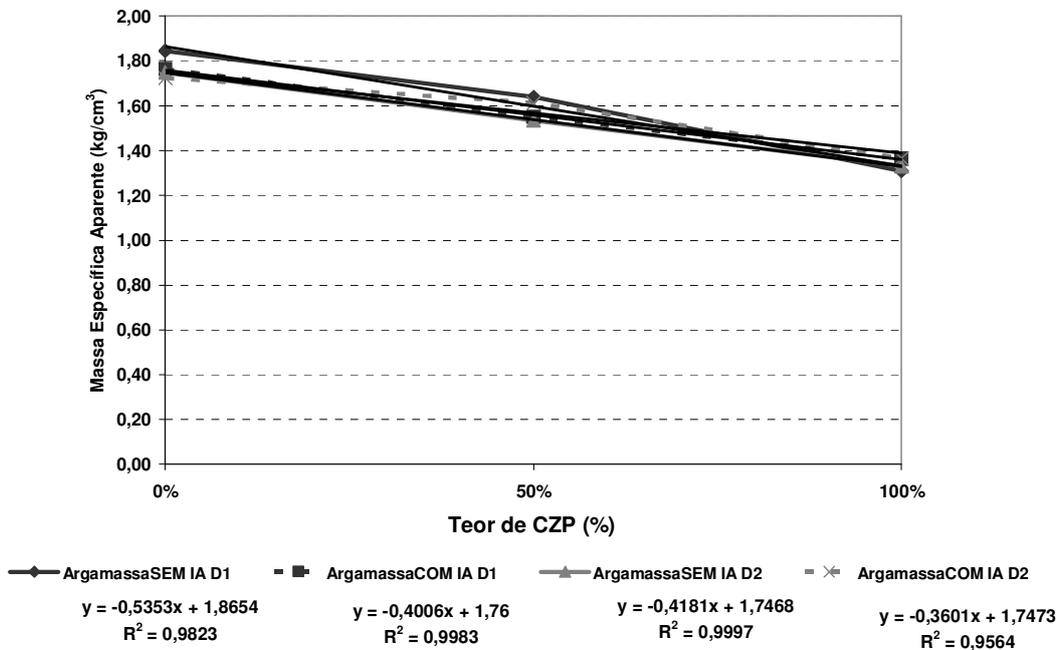
### 4.2.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO

Na Tabela 4.14, são apresentados os valores médios das propriedades físicas no estado endurecido das argamassas estudadas, que são massa específica aparente e a porosidade aberta. Os valores individuais, a partir dos quais estas propriedades foram calculadas, estão apresentados no ANEXOS G.

**Tabela 4.14: Propriedades físicas das argamassas no estado endurecido**

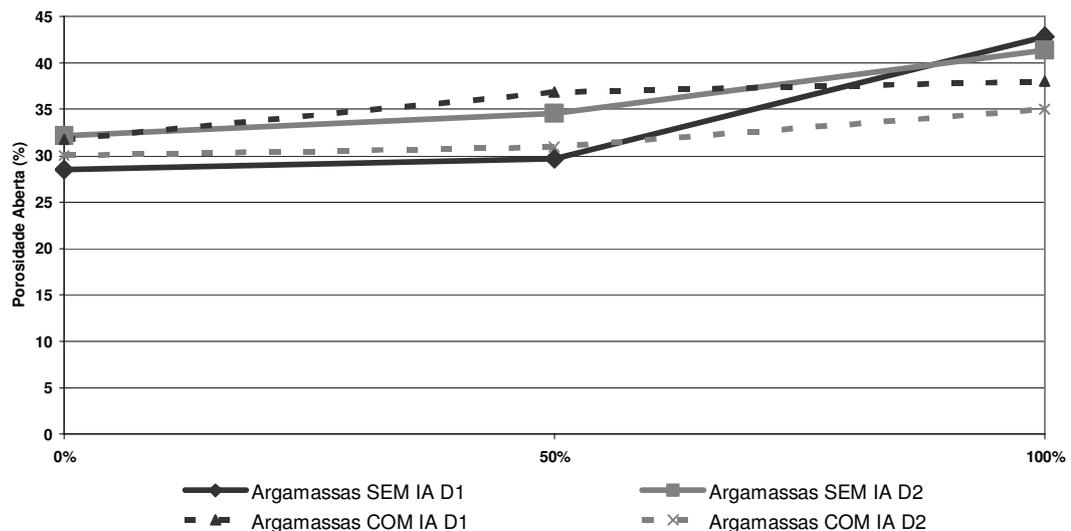
Substratos	Argamassas	Massa Específica		Porosidade Aberta (%)		Massa de H <sub>2</sub> O (g)		Teor de umidade (%)		Grau de saturação (kg/dm <sup>3</sup> )	
		Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio
D1	0%	1,84	0,08	28,52	2,44	1,74	0,46	15,48	1,35	6,55	1,10
	50%	1,64	0,03	29,70	1,78	2,79	0,60	18,13	1,27	5,54	0,39
	100%	1,31	0,02	42,85	1,24	2,90	0,68	32,31	2,93	3,14	0,53
	0% + IA	1,76	0,02	31,78	1,08	2,33	0,39	18,02	0,73	5,56	0,22
	50% + IA	1,55	0,03	36,85	1,09	2,04	0,48	23,77	0,71	4,21	0,12
	100% + IA	1,36	0,02	38,04	1,38	2,73	0,56	27,89	1,05	3,59	0,13
D2	0%	1,75	0,04	32,16	1,01	2,04	0,28	18,39	0,54	5,44	0,16
	50%	1,53	0,02	34,57	0,95	2,29	0,39	22,54	0,74	4,44	0,14
	100%	1,33	0,04	41,41	1,43	2,53	1,16	30,75	2,74	3,29	0,51
	0% + IA	1,73	0,02	30,04	1,15	2,04	0,36	17,41	0,70	5,75	0,23
	50% + IA	1,61	0,03	30,93	2,09	2,53	0,42	19,22	1,56	5,23	0,44
	100% + IA	1,36	0,01	35,00	1,57	2,64	0,43	25,65	1,27	3,90	0,19

Estes valores são apresentados no gráfico da Figura 4.24. Foi observado que tanto para as argamassas colocadas para o substrato D1 quanto para substrato D2, à medida que aumentava o teor de CZP, diminuía a massa específica aparente.



**Figura 4.24: Massa específica aparente das argamassas no estado endurecido**

Os resultados obtidos para a porosidade aberta, apresentados na Figura 4.25, mostram que para um mesmo teor de CZP, a porosidade é reduzida com o emprego do IA, nos casos das argamassas 100 % CZP aplicadas no substrato D1 e de todas as argamassas aplicadas no substrato D2. Verifica-se ainda que, quanto maior o teor de CZP, maior é a porosidade aberta, podendo ser considerado que o uso das cinzas pesadas na composição das argamassas contribuiu para um maior volume de poros permeáveis.



**Figura 4.25: Porosidade aberta das argamassas**

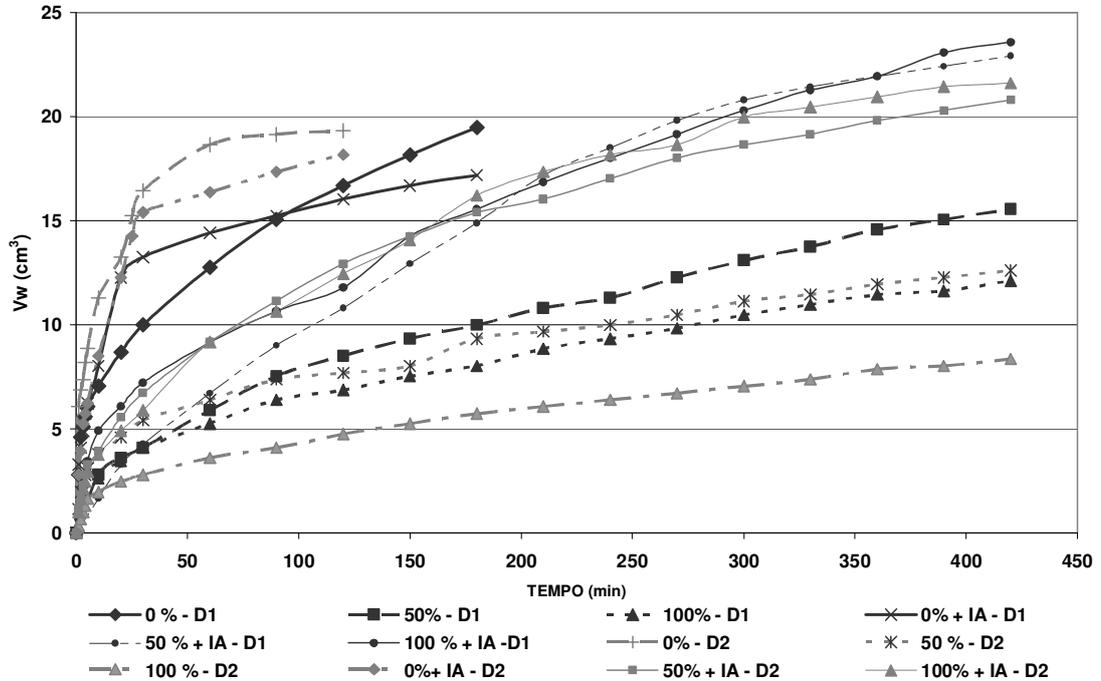
Também pode ser observado que houve um aumento da porosidade para as argamassas sem IA do substrato D1 para 0% CZP D2 sendo invertido este comportamento no caso das argamassas com aditivo e 100 %, em que aumentou a porosidade para as argamassas aplicadas nos substratos D1.

## 4.2.3 PROPRIEDADES HIGROTÉRMICAS DAS ARGAMASSAS

### 4.2.3.1 Absorção de água por capilaridade e a sorptividade

Na Figura 4.26 está ilustrado o volume de água absorvido ( $V_w$ ) em função do tempo para as diferentes argamassas para os dois tipos de substratos. Observa-se, através deste, que tiveram uma menor absorção para o mesmo teor de cinza, no caso das argamassas do substrato D2 (100% CZP, 50% CZP e 100% CZP+IA, 50% CZP+IA) sendo invertido este comportamento no

caso das argamassas 0%CZP, 0%CZP+IA, em que foi menor para as argamassas do substrato D1.



**Figura 4.26: Geral: Volume de água absorvido por capilaridade em função do tempo**

Comparando-se as argamassas com e sem IA, para um mesmo teor de substituição, para cada substrato, observa-se que o aditivo proporcionou uma redução da quantidade de água absorvida somente no caso das argamassas 0%CZP, porque nas restantes houve um aumento da mesma. Visto que a maior quantidade de ar incorporado nas argamassas com aditivo incorporador de ar, evidenciado pela baixa massa específica, aumentou a capilaridade, o que pode ser atribuído à presença de poros permeáveis nas argamassas com aditivo incorporador de ar, o que provoca o avanço de frentes líquidas no meio poroso.

Na Figura 4.27, a quantidade de água absorvida em função do tempo é apresentada em tempos específicos: 3, 5 e 7 horas. Os valores das amostras 0%CZP, 0%CZP+IA são referentes às 2 horas de realização do ensaio, pois estas amostras alcançaram o topo nesse tempo. Ao longo do tempo, foi mantido o mesmo comportamento para todas as argamassas com tendência de aumentar a absorção; somente às 5 horas houve uma inversão do comportamento para as argamassas 50%CZP+IA D1 e 100%CZP+IA D1.

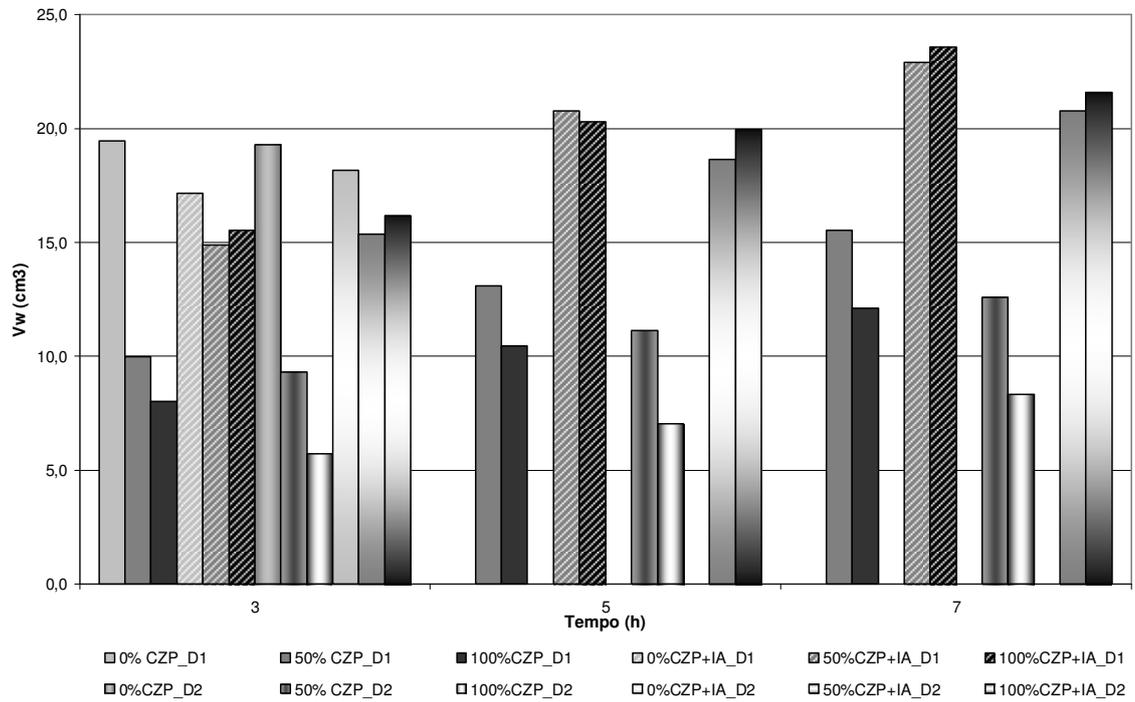


Figura 4.27: Volume de água absorvida nos tempos de 3, 5, e 7 horas

No gráfico da Figura 4.28, é apresentado o volume do líquido absorvido por área da seção transversal do corpo-de-prova (X) em função do tempo. Através deste, verifica-se que, quanto maior o teor de CZP, menor é a taxa de variação de “X”, em função do tempo no caso das argamassas SEM IA, porque, no caso das argamassas com IA, houve uma inversão no comportamento no caso das argamassas com 50 e 100 % CZP.

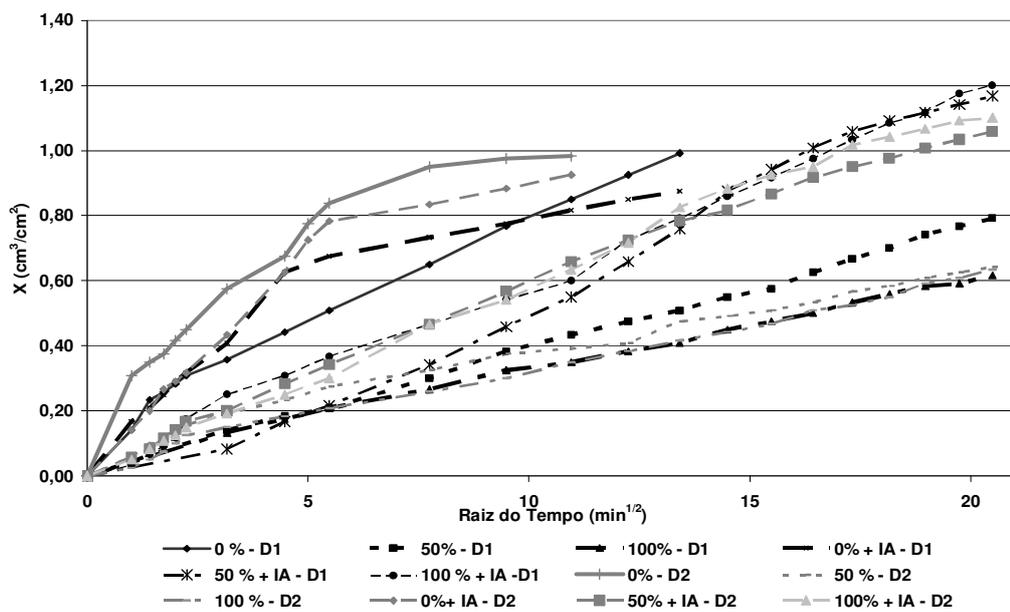


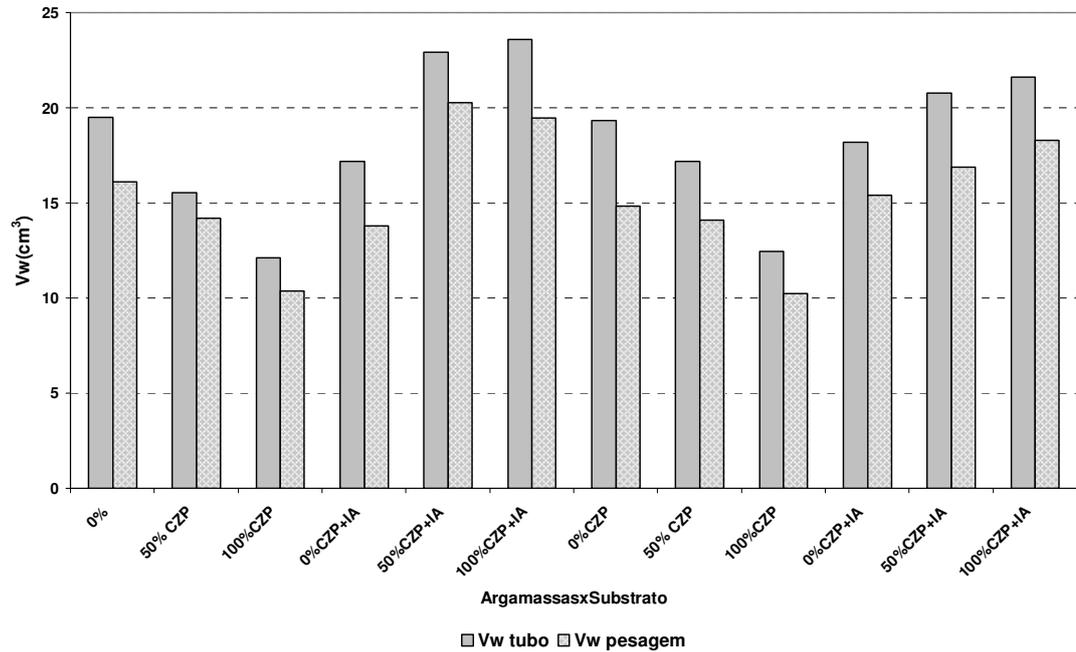
Figura 4.28: Geral: Volume de líquido absorvido por área da seção transversal em função da raiz do tempo

Mesmo estando com as laterais protegidas com filme plástico, nas amostras do ensaio de absorção de água por capilaridade foi verificado o efeito da evaporação, igualmente como foi verificado por SANTOS (2006). Esta verificação pode ser feita através da comparação dos resultados de absorção total de água (7 horas), obtida através das leituras de altura de água no tubo e mediante pesagem da amostra. Esta comparação é apresentada na Tabela 4.15 e na Figura 4.29.

**Tabela 4.15: Ocorrência do fenômeno de evaporação de água no ensaio de absorção de água por capilaridade**

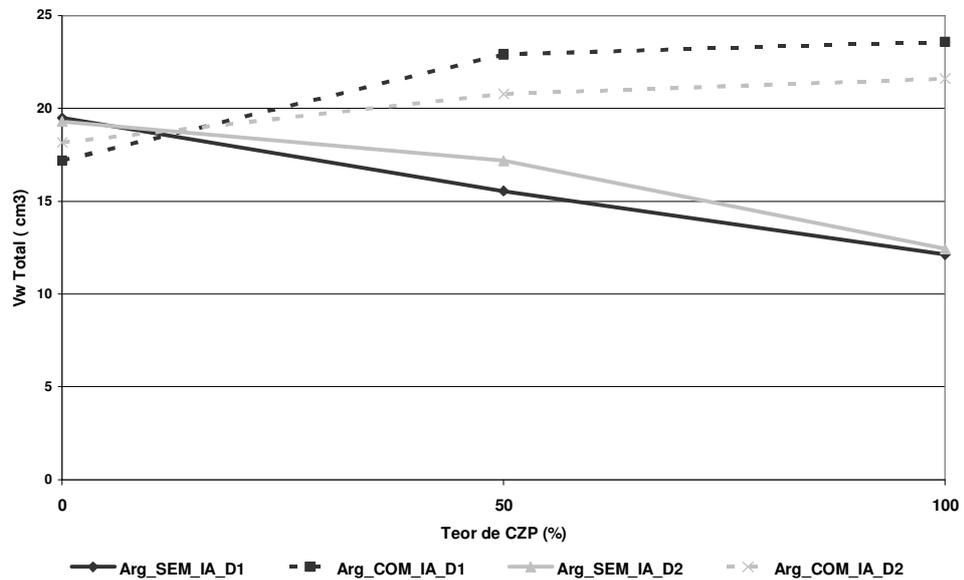
SUBSTRATOS	ARGAMASSAS	Vw tubo	Vw pesagem	Massa de H <sub>2</sub> O (g)	Teor de umidade (%)	Água que evaporou (%)	Tempo em que a mancha capilar atingiu o topo do cp (min)
D1	0%	19,48	16,12	16,12	17,29	3,4	150
	50% CZP	15,55	14,17	14,16	15,57	1,4	420
	100% CZP	12,11	10,34	10,34	12,60	1,8	360
	0% CZP+IA	17,19	13,80	13,79	15,08	3,4	60
	50% CZP+IA	22,91	20,26	20,25	20,63	2,7	300
	100% CZP+IA	23,57	19,45	19,45	23,28	4,1	380
D2	0% CZP	19,31	14,83	14,82	16,03	4,5	60
	50% CZP	17,19	14,08	14,08	14,40	3,1	360
	100% CZP	12,44	10,22	10,22	11,89	2,2	400
	0% CZP+IA	18,17	15,39	15,39	15,64	2,8	60
	50% CZP+IA	20,79	16,88	16,88	19,58	3,9	220
	100% CZP+IA	21,60	18,28	18,28	25,88	3,3	330

Através da Figura 4.29, observa-se que, apesar da leitura no tubo desconsiderar os valores da absorção total de água por causa do efeito da evaporação apresenta, a mesma tendência de comportamento obtida pela medida da massa em todas as argamassas analisadas, exceto no caso da argamassa 100 % CZP + IA, em que se vê uma diferença mais acentuada no comportamento.



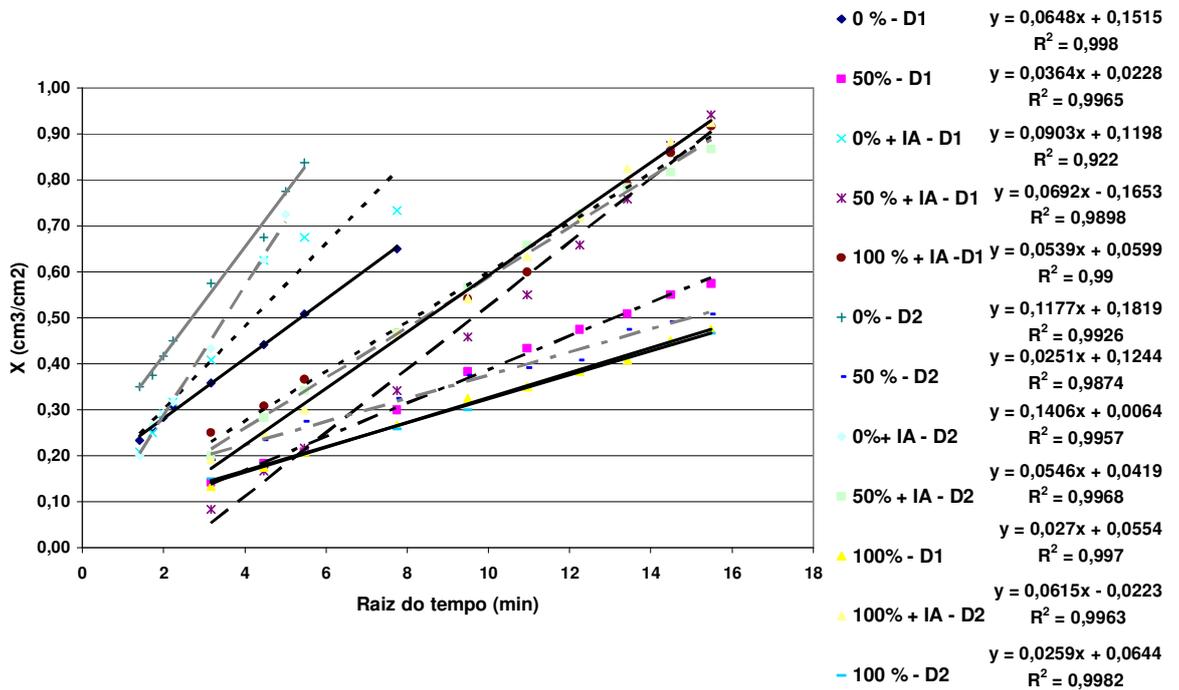
**Figura 4.29: Absorção total de água (7 horas) obtida através de leitura no tubo e medida de massa, respectivamente**

Tomando-se, então, os valores de volume total de água absorvida como sendo os obtidos por meio de pesagem, tem-se que, para as argamassas sem aditivo incorporador de ar, a absorção total de água diminuiu com o teor de substituição de areia por cinza pesada para as duas séries dos substratos. Já para as argamassas com incorporador de ar, a tendência foi de aumentar o volume de água absorvida nas duas séries dos substratos. Estes resultados estão apresentados na Figura 4.30.



**Figura 4.30: Variação do volume total de água absorvida em função do teor de cinza pesada**

Na Figura 4.31 apresenta-se o coeficiente de sorptividade das diversas argamassas no intervalo de tempo entre 2 - 120 minutos (para as argamassas 0% CZP SEM e COM IA) e entre 10 minutos e 240 minutos (para as restantes argamassas), sendo que este intervalo foi adotado em função de que, para todas as argamassas a relação entre “X” e a raiz do tempo são lineares. É importante salientar que as amostras analisadas foram extraídas dos painéis de caracterização, tendo uma altura de 3 cm; por isso no caso das argamassas 0% CZP SEM e COM IA, o topo foi alcançado nas primeiras horas.



**Figura 4.31: Volume de líquido absorvido por área da seção transversal em função da raiz do tempo – Determinação da sorptividade**

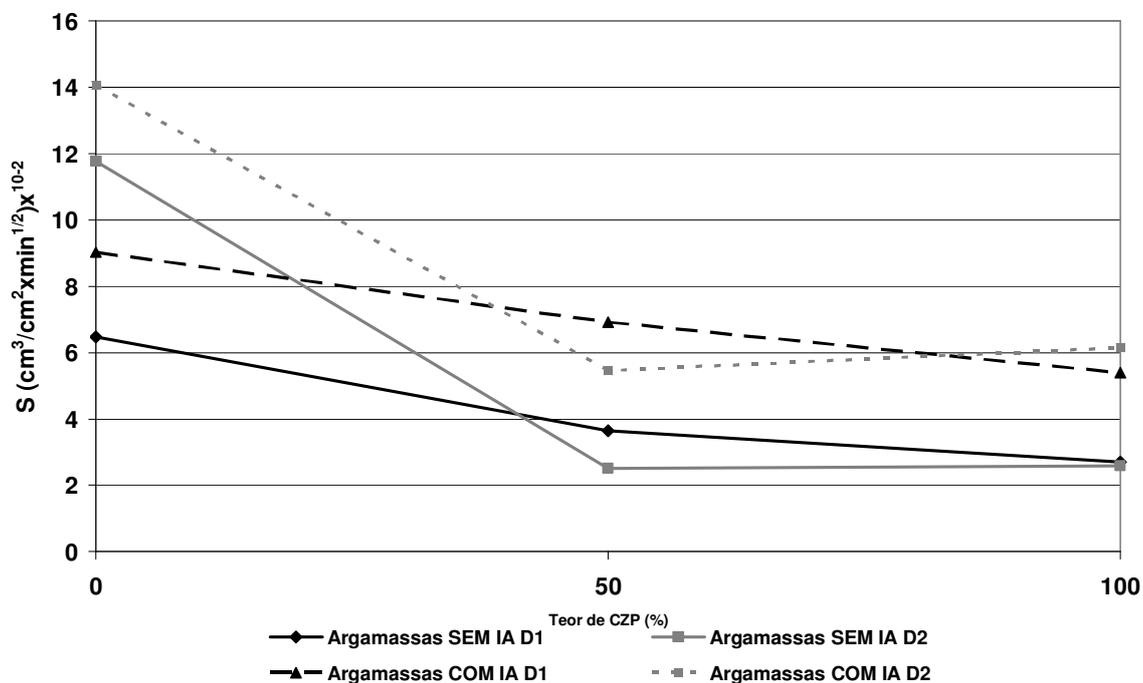
Pode-se constatar no processo de ingresso de água líquida no material poroso, a progressão do menisco no capilar ( $X$ ) é proporcional, de uma parte, à raiz do tempo ( $\sqrt{t}$ ), sendo que a velocidade de avançamento decresce na relação  $1/\sqrt{t}$  ao longo do tempo. De outra parte, é proporcional à  $\sqrt{\text{raio}}$ , uma vez que os poros maiores são preenchidos mais rapidamente que os poros mais finos.

Na Tabela 4.16, são dispostos os coeficientes de sorptividade obtidos através do gráfico da Figura 4.32. Pode-se verificar, por meio desta, que, para todas as argamassas, quanto maior o teor de cinza pesada menor a sorptividade, exceto no caso da argamassa 50% CZP sem e com IA D2, em que não houve esta tendência. Isto pode ser decorrente do refinamento dos poros das argamassas com cinza pesada, pois a CZP, em função da sua finura promove um efeito *filler*, além de apresentar potencial pozolânico.

**Tabela 4.16: Coeficiente de sorptividade (S) das argamassas**

Coeficiente de Sorptividade ( $\text{cm}^3/\text{cm}^2 \times \text{min}^{1/2}$ ) $\times 10^{-2}$		
Argamassas	Substrato	
	D1	D2
0%CZP	6,48	11,77
50% CZP	3,64	2,51
100%CZP	2,7	2,59
0%CZP+IA	9,03	14,06
50%CZP+IA	6,92	5,46
100%CZP+IA	5,39	6,15

Para um mesmo teor de cinza pesada, tem-se que, quando se comparam as argamassas com e sem IA para os dois substratos, houve uma mesma tendência de comportamento. As argamassas aditivadas apresentam, de maneira geral, um aumento no coeficiente de sorptividade, conforme visualizado na Figura 4.32. Este aumento pode ser atribuído à presença de poros permeáveis nas argamassas com aditivo incorporador de ar, o que provoca o avanço de frentes líquidas no meio poroso.



**Figura 4.32: Variação do coeficiente de sorptividade em função do teor de cinza pesada**

### 4.2.3.2 Ângulo de molhamento aparente

Nos gráficos 4.33 à 4.44, são apresentadas as curvas obtidas para cada argamassa do estoque de líquido infiltrado para os dois líquidos utilizados para a determinação do ângulo de molhamento. Estes valores foram obtidos através das médias de três amostras, sendo que os valores individuais são apresentados no ANEXO I.

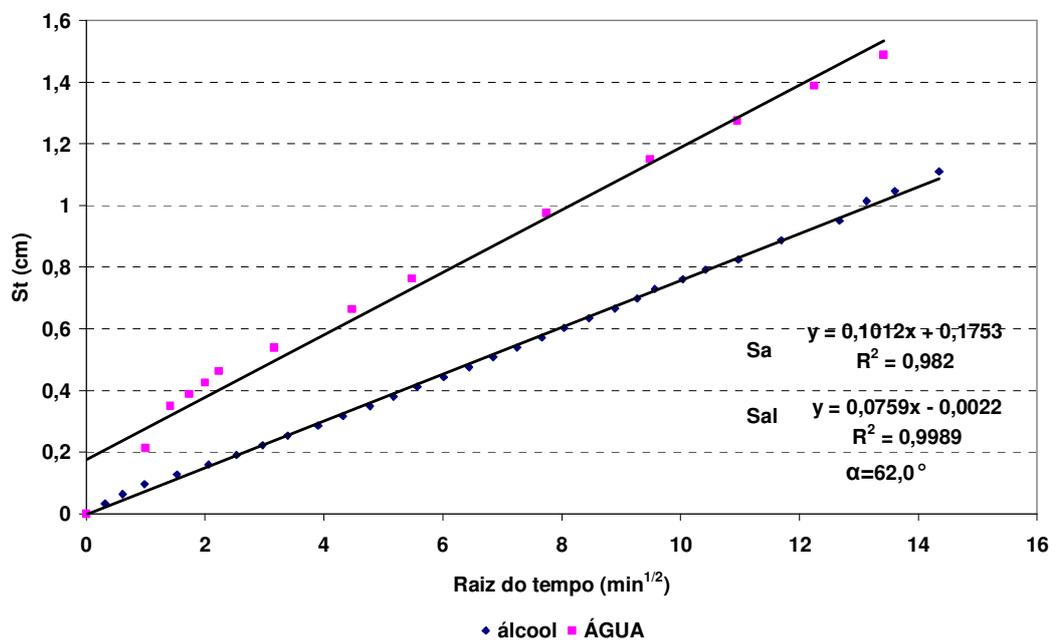


Figura 4.33: ARGAMASSA 0% CZP D1: Estoque de líquido infiltrado em função da raiz do tempo

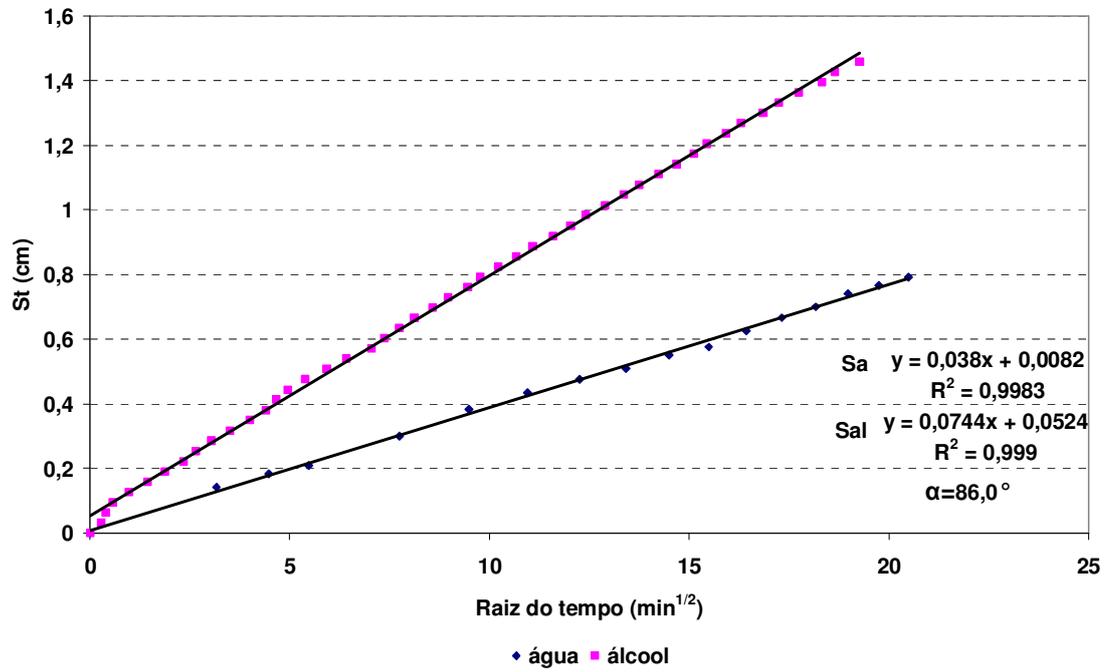


Figura 4.34: ARGAMASSA 50% CZP D1: Estoque de líquido infiltrado em função da raiz do tempo

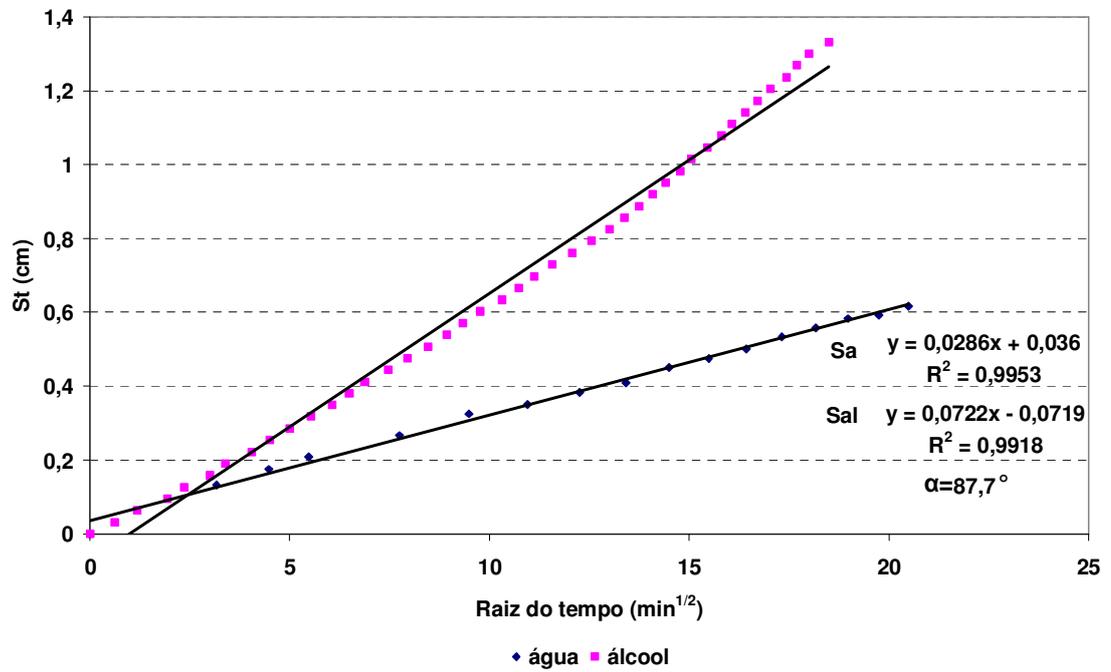
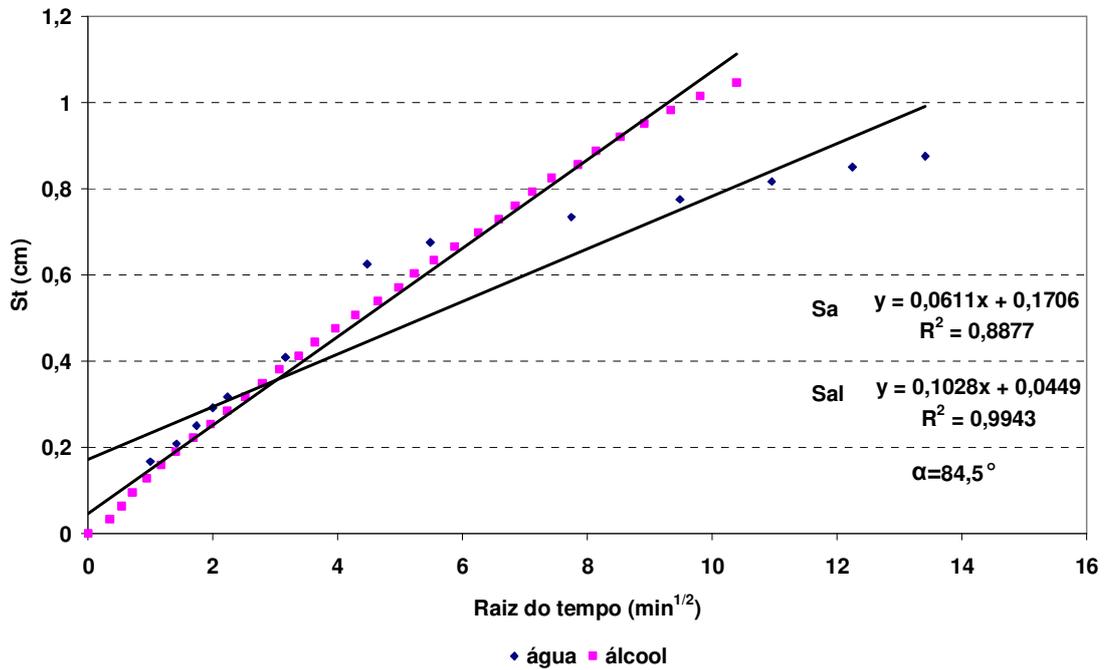
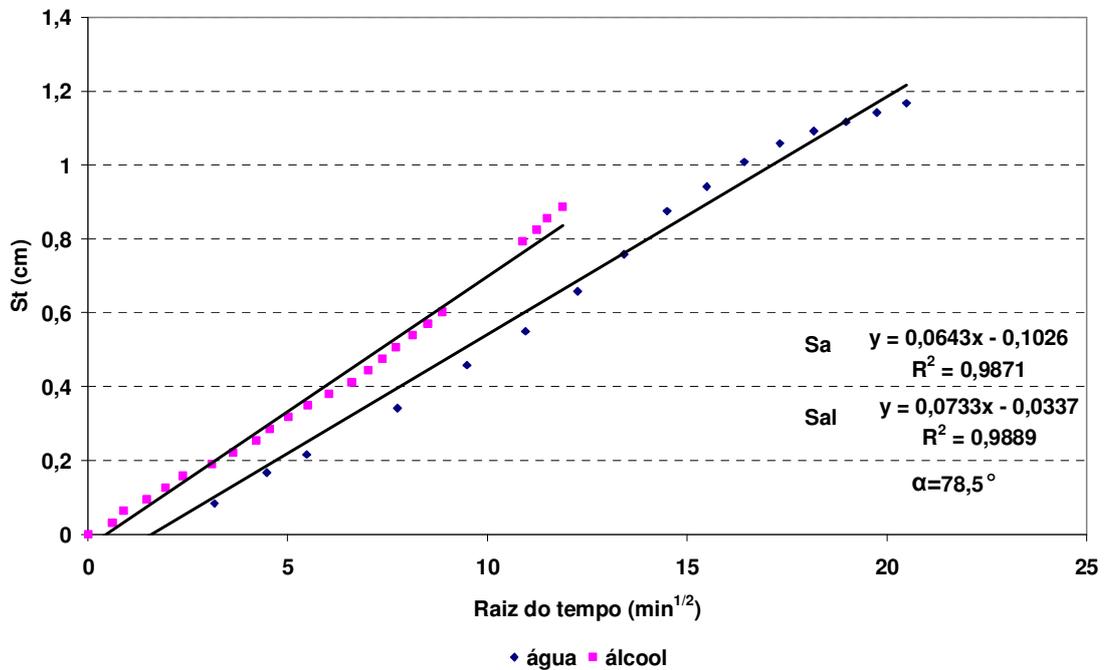


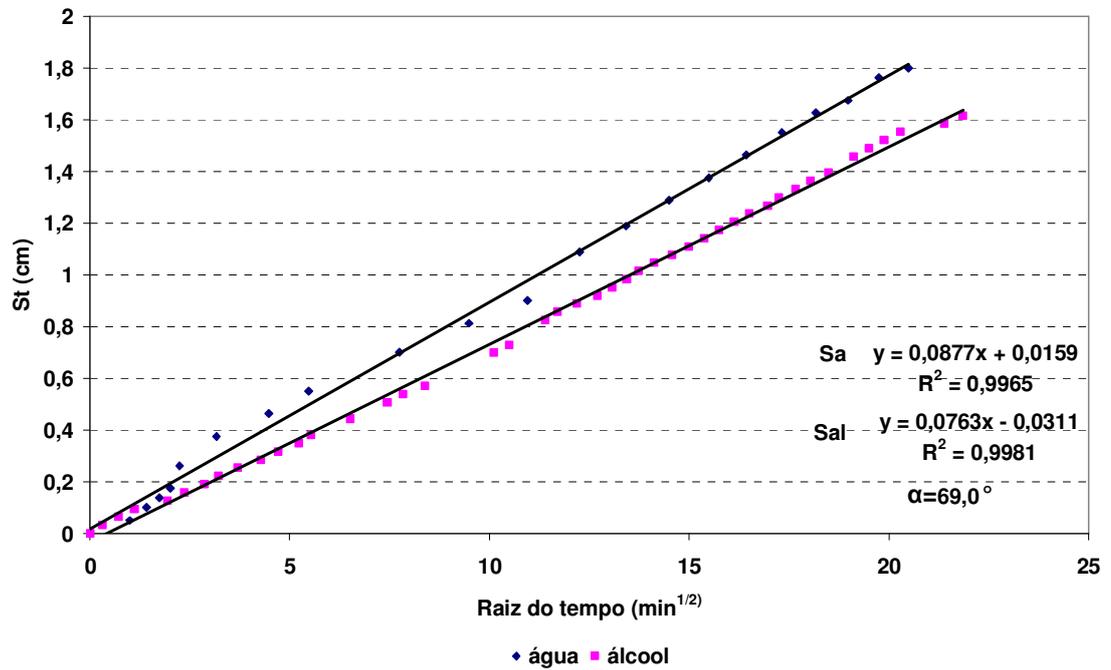
Figura 4.35: ARGAMASSA 100% CZP D1: Estoque de líquido infiltrado em função da raiz do tempo



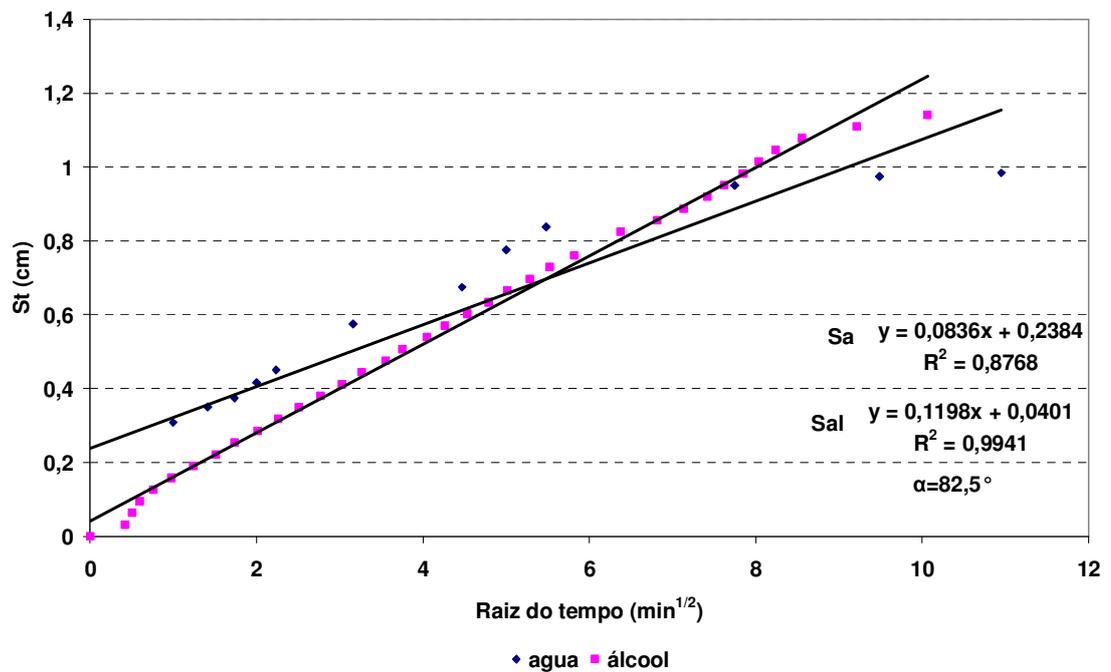
**Figura 4.36: ARGAMASSA 0% CZP+IA D1: Estoque de líquido infiltrado em função da raiz do tempo**



**Figura 4.37: ARGAMASSA 50% CZP+IA D1: Estoque de líquido infiltrado em função da raiz do tempo**



**Figura 4.38: ARGAMASSA 100% CZP+IA D1: Estoque de líquido infiltrado em função da raiz do tempo**



**Figura 4.39: ARGAMASSA 0% CZP D2: Estoque de líquido infiltrado em função da raiz do tempo**

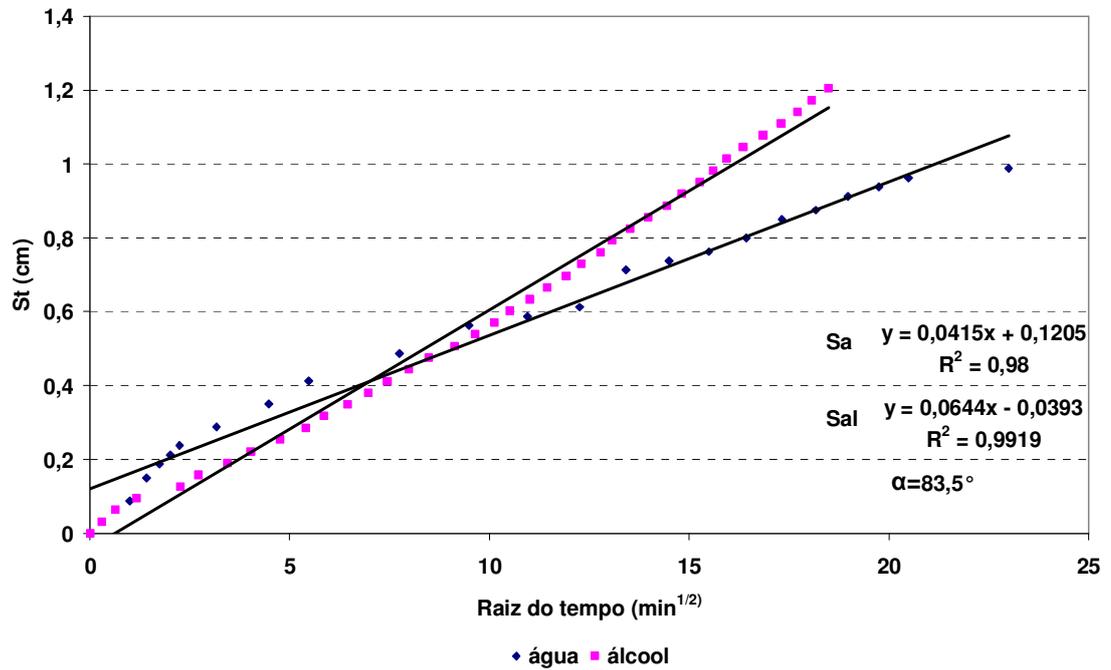


Figura 4.40: ARGAMASSA 50% CZP D2: Estoque de líquido infiltrado em função da raiz do tempo

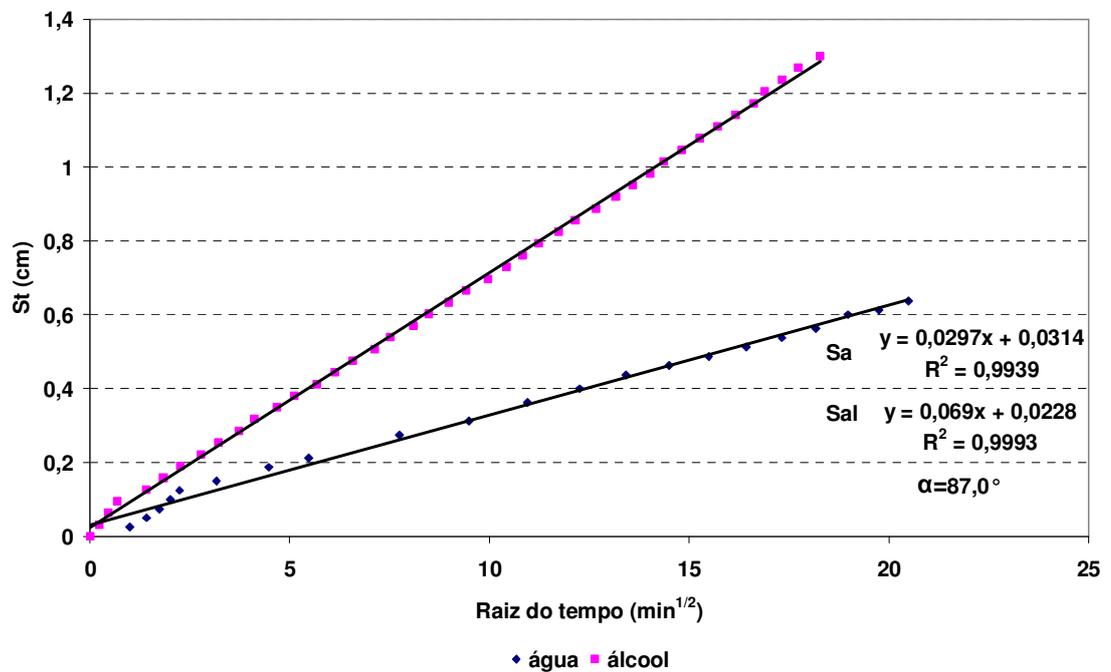
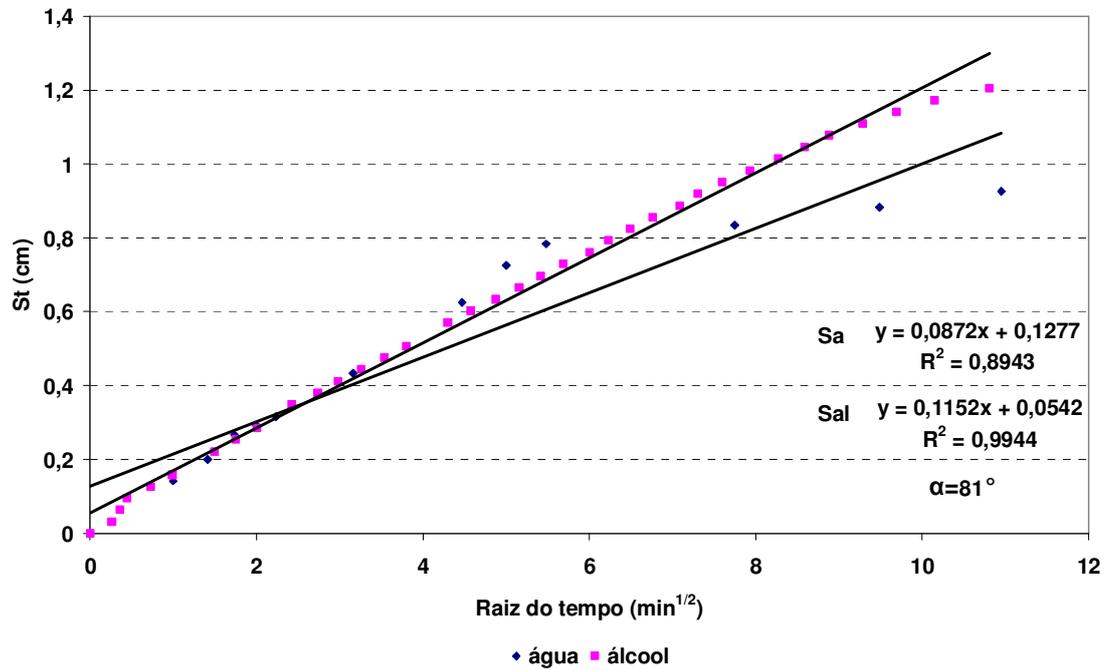
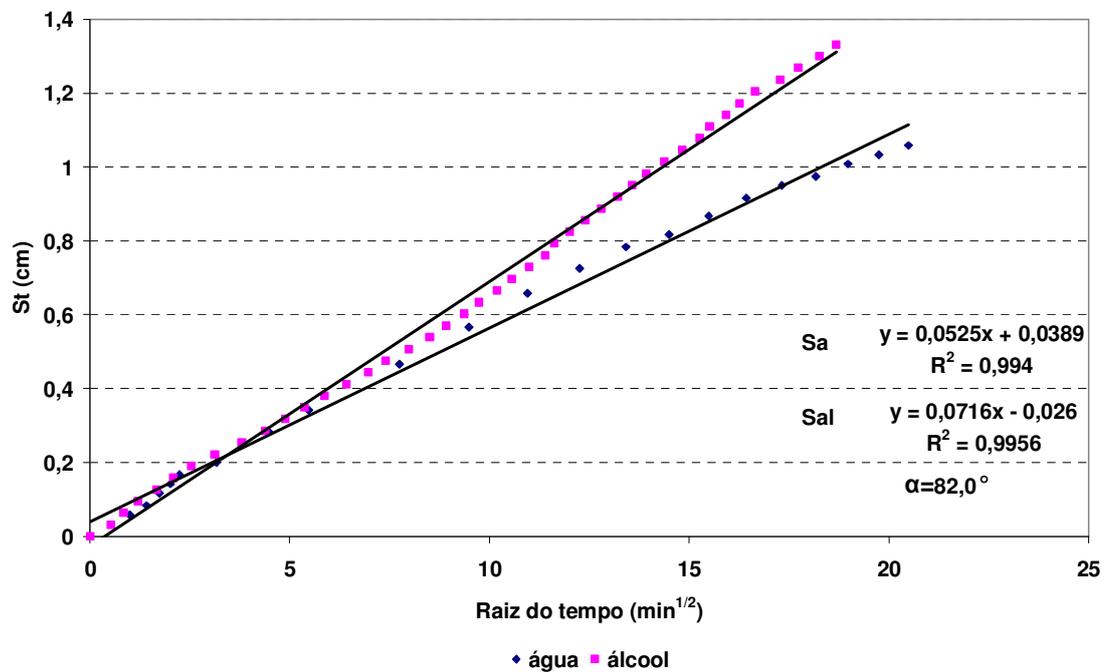


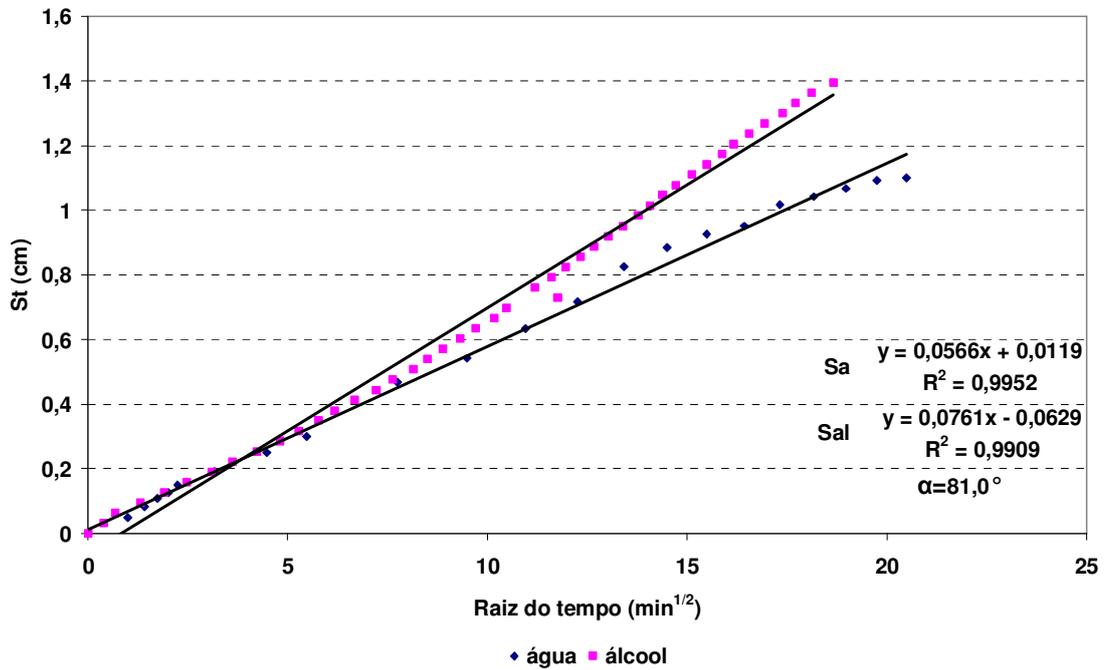
Figura 4.41: ARGAMASSA 100% CZP D2: Estoque de líquido infiltrado em função da raiz do tempo



**Figura 4.42: ARGAMASSA 0% CZP+IA D2: Estoque de líquido infiltrado em função da raiz do tempo**



**Figura 4.43: ARGAMASSA 50% CZP+IA D2: Estoque de líquido infiltrado em função da raiz do tempo**



**Figura 4.44: ARGAMASSA 100% CZP+IA D2: Estoque de líquido infiltrado em função da raiz do tempo**

Através dos dados obtidos das curvas, na Tabela 4.17 estão sintetizados os resultados para a determinação do ângulo de molhamento aparente.

**Tabela 4.17: Estoques de líquido infiltrado e ângulo de molhamento aparente**

SUBSTRATOS	ARGAMASSAS	Sagua (cm x min <sup>1/2</sup> )	Sal (cm x min <sup>1/2</sup> )	Ângulo de molhamento (°)
D1	0%CZP	0,1012	0,0759	62
	50% CZP	0,038	0,0744	86
	100%CZP	0,0286	0,0722	87,7
	0%CZP+IA	0,0611	0,1028	84,5
	50%CZP+IA	0,0643	0,0733	78,5
	100%CZP+IA	0,0877	0,0763	69
D2	0%CZP	0,0836	0,1198	82,5
	50% CZP	0,0415	0,0644	83,5
	100%CZP	0,0297	0,069	87
	0%CZP+IA	0,0872	0,1152	81
	50%CZP+IA	0,0525	0,0716	82
	100%CZP+IA	0,0566	0,0761	81

Na Figura 4.45, é apresentado o ângulo de molhamento aparente em função do teor de CZP para os dois tipos de substratos. Através desta, é possível observar que não foram verificados uma relação nítida entre o teor de CZP, o tipo de substrato e o ângulo de molhamento, sendo possível

comentar que, a partir das argamassas com 50% CZP dos dois substratos, houve uma diminuição do ângulo de molhamento com a adição do IA.

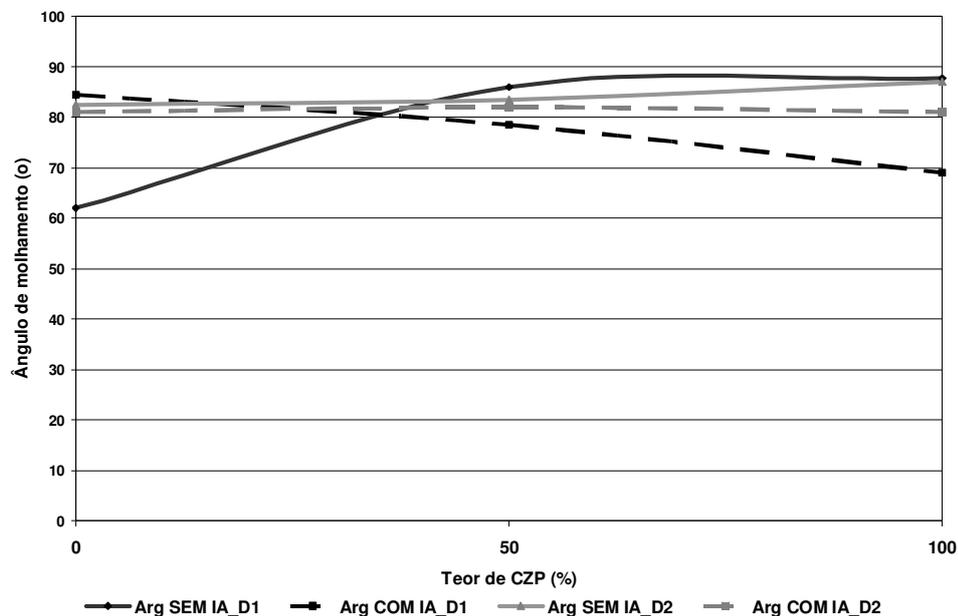


Figura 4.45: Ângulo de molhamento aparente em função do substrato e do teor de CZP

### 4.2.3.3 Adsorção

Nas Tabelas 4.18 e 4.19, são apresentados os conteúdos de umidade mássicos em função da umidade relativa das argamassas.

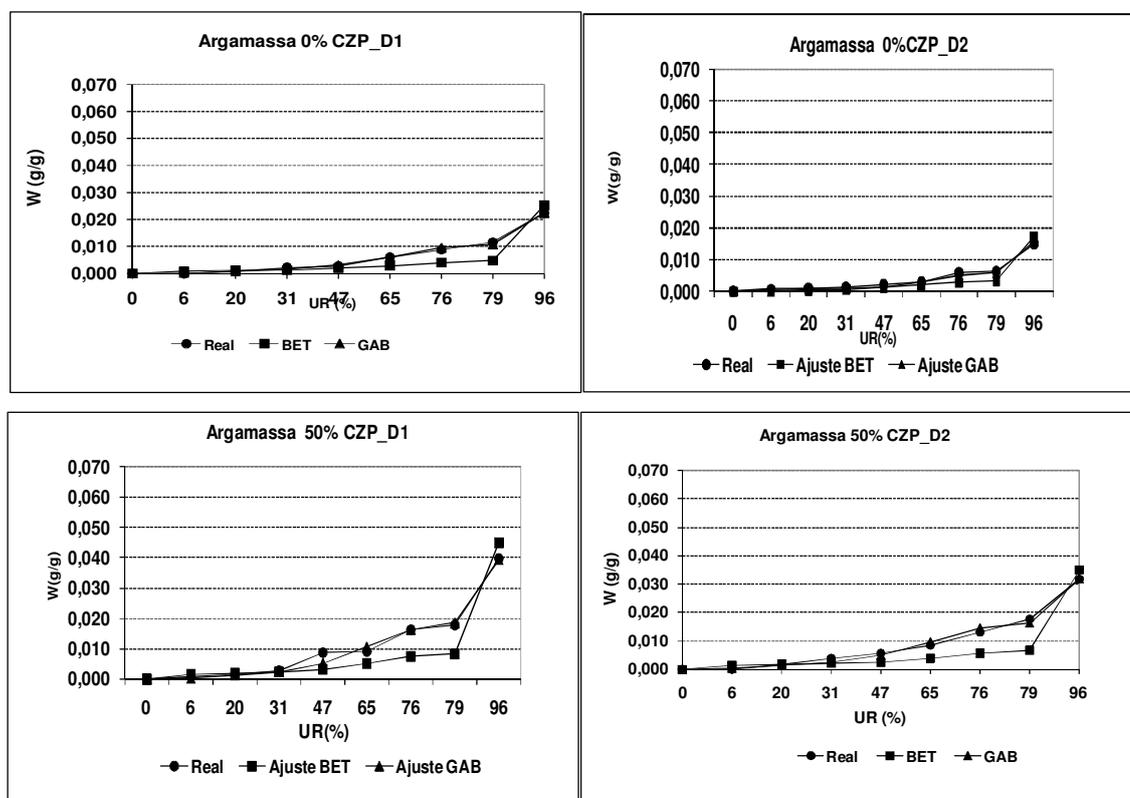
Tabela 4.18: Conteúdo de umidade mássico em função da umidade relativa das argamassas revestidas no substrato D1

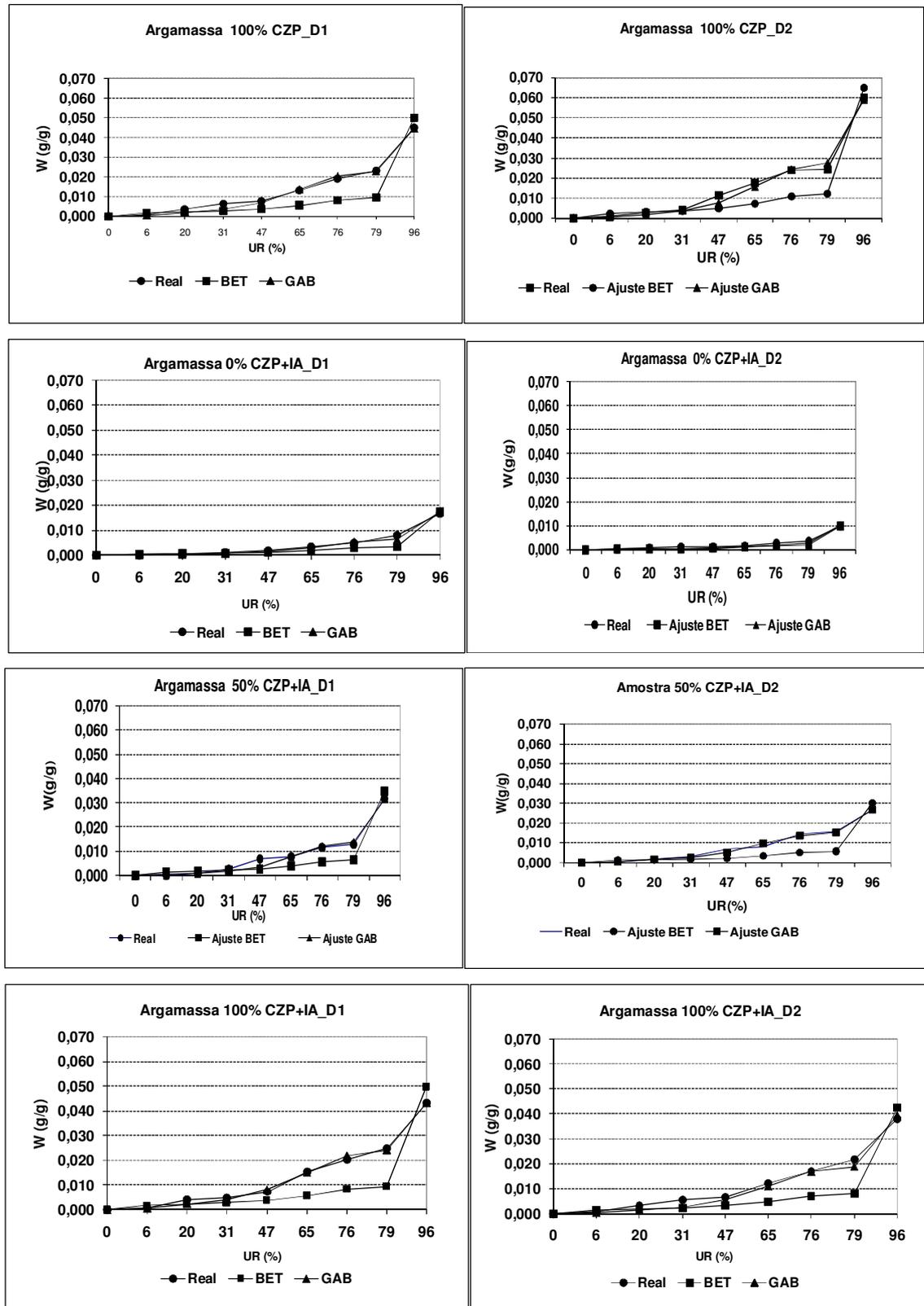
Solução	UR (%)	Conteúdo de Umidade Mássico (%)					
		0% D1	50% D1	100% D1	0%+IA D1	50%+IA D1	100%+IA D1
Hidróxido de potássio	6	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1
Acetato de potássio	20	0,1	0,1	0,4	0,0	0,2	0,4
Cloreto de Magnésio	31	0,2	0,2	0,6	0,1	0,2	0,5
Bicromato de sódio	47	0,3	0,2	0,8	0,2	0,2	0,7
Nitrito de sódio	65	0,6	0,3	1,3	0,3	0,3	1,6
Cloreto de Sódio	76	0,9	0,5	1,9	0,5	0,6	2,0
Sulfato de Amonia	79	1,1	1,0	2,3	0,8	0,9	2,5
Sulfato de Potássio	96	2,2	1,3	4,5	1,7	1,0	4,3

**Tabela 4.19: Conteúdo de umidade mássico em função da umidade relativa das argamassas revestidas no substrato D2**

Solução	UR (%)	Conteúdo de Umidade Mássico (%)					
		0% D2	50% D2	100% D2	0%+IA D2	50%+IA D2	100%+IA D2
Hidróxido de potássio	6	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1
Acetato de potássio	20	0,1	0,2	0,0	0,2	0,2	0,3
Cloreto de Magnésio	31	0,2	0,4	0,1	0,3	0,2	0,6
Bicromato de sódio	47	0,2	0,6	0,1	0,3	0,2	0,7
Nitrito de sódio	65	0,3	0,8	0,3	0,3	0,3	1,2
Cloreto de Sódio	76	0,5	1,3	0,4	0,4	0,6	1,7
Sulfato de Amonia	79	0,6	1,8	0,7	0,4	0,9	2,2
Sulfato de Potássio	96	1,2	3,2	1,5	0,8	1,0	3,8

A partir destes dados experimentais obtidos no ensaio de adsorção, foram obtidos os coeficientes C, Wm e K da quadrática que ajusta os valores das curvas que relacionam W com a umidade relativa ao modelo GAB e BET, assim como a curva real. Estas novas curvas ajustadas estão apresentadas nos gráficos das Figuras 4.46 para todas as argamassas sem e com IA dos dois substratos.





**Figura 4.46: Comparação entre os pontos experimentais de absorção e o ajuste dos dados experimentais das argamassas ao modelo GAB e BET**

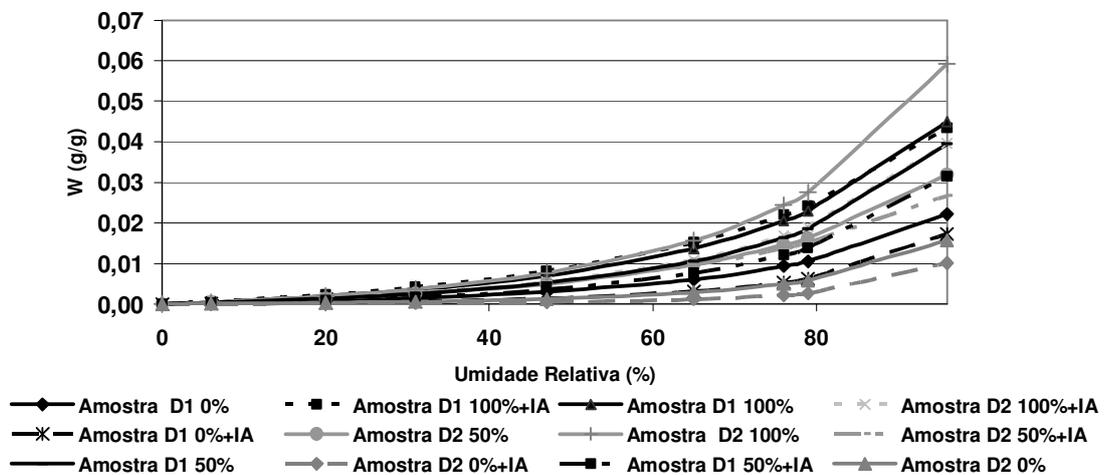
Através dos gráficos da Figura 4.46 é possível verificar que, quanto maior o teor de cinza pesada, maior é a quantidade de água adsorvida nas paredes dos poros das argamassas para teores de umidade relativa elevados para as argamassas nos dois substratos. Em relação a um mesmo tipo de argamassa, as argamassas do substrato D2 apresentaram resultados menores de adsorção de água exceto na argamassa 100 % CZP, em que houve um aumento.

Em se tratando da condensação capilar, de acordo com a Lei de Kelvin-Laplace, ocorre somente nos poros de raio menor que o raio crítico, sendo que este é função da umidade relativa. Os valores médios do raio crítico para a temperatura de 50°C de todas as argamassas estão apresentados na Tabela 4.20. Através dos dados apresentados nesta tabela, verifica-se que para valores de UR até cerca de 60%, a condensação capilar apenas ocorre nos microporos, para valores de UR entre 60 e 96%, esta ocorre nos mesoporos, como foi verificado por SANTOS (2006).

**Tabela 4.20: Raio crítico em função da umidade relativa (T=50°C)**

UR (%)	6	20	31	47	65	76	79	96
Raio crítico (nm)	0,39	0,69	0,95	1,48	2,63	4,19	4,91	30,78

Na Figura 4.47 é apresentado um resumo das curvas das argamassas com e sem IA, através das quais se verifica que, para um mesmo teor de cinza, o formato das curvas com e sem IA são bastante semelhantes, sendo que as com IA apresentam praticamente apenas um deslocamento vertical para baixo, exceto na argamassa 100% + IAD, em que, para umidades menores, a curva uma adsorção maior, invertendo somente para a umidade relativa de 96 %.



**Figura 4.47: Curvas do ajuste através do modelo GAB das diferentes argamassas das séries dos blocos**

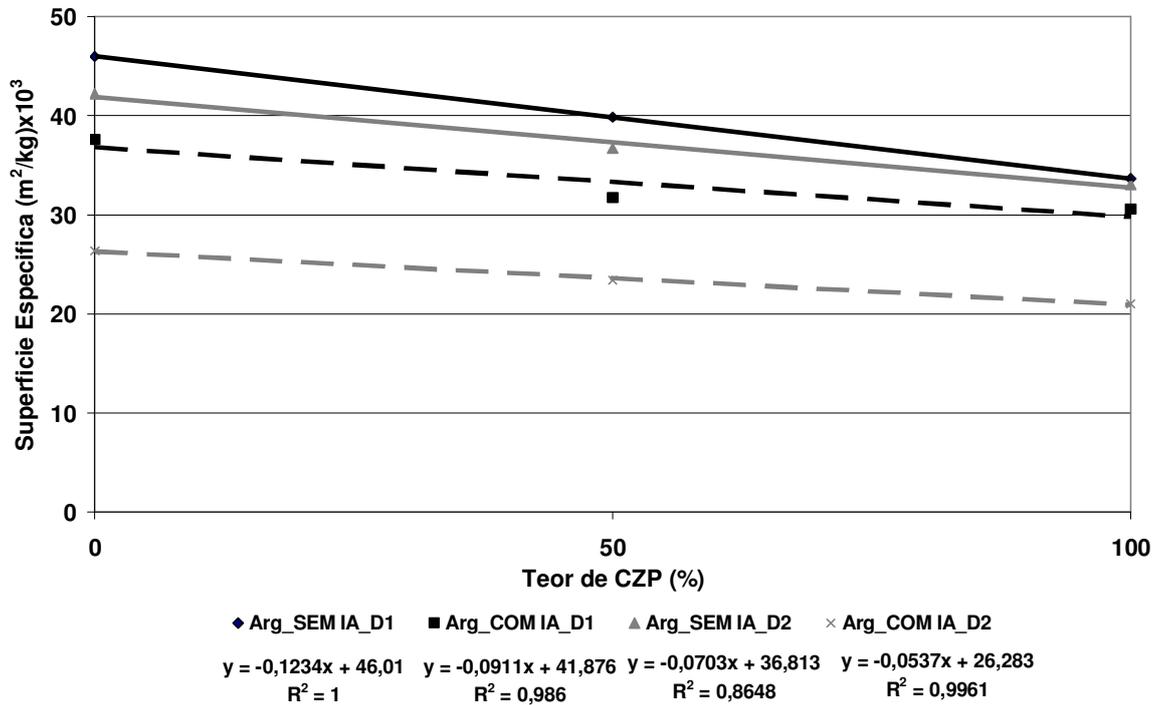
Quanto à análise da forma, é interessante uma vez que, através desta, podem ser distinguidas duas fases. A primeira fase, em que ocorre principalmente a adsorção monomolecular, considera-se que não é possível observar a partir deste gráfico, pois as amostras avaliadas foram de pequenas dimensões e a fixação das moléculas de água em quantidades ínfimas não sendo possível quantificar; a segunda é a caracterizada pela adsorção plurimolecular; e a terceira pela condensação capilar dos mesoporos.

Na Tabela 4.21, apresentam-se sintetizados os coeficientes A,B,C das curvas do ajuste através do modelo GAB e o ajuste destas curvas aos dados experimentais, bem como o parâmetro  $W_m$  (conteúdo de umidade mássico de uma monocamada), calculado a partir destes coeficientes. Além disso, é apresentado o valor de superfície específica das argamassas.

**Tabela 4.21: Coeficientes, parâmetros e superfície específica determinados através do modelo GAB**

Substratos	Argamassas	Coeficientes		$W_m \times 10^3$	Se ( $m^2/g$ )
		C	K		
D1	0%	0,06	0,68	7,470	45,99
	50%	0,08	0,69	7,270	39,88
	100%	0,04	0,64	7,680	33,65
	0 % + IA	0,03	0,79	6,370	37,62
	50 %+ IA	0,07	0,73	6,110	31,69
	100 % +IA	0,12	0,60	6,700	30,58
D2	0%	0,03	0,78	7,210	42,19
	50%	0,08	0,65	7,150	36,70
	100%	0,08	0,71	7,430	33,08
	0 % + IA	0,00	0,84	4,570	26,38
	50 %+ IA	0,16	0,60	4,340	23,40
	100 % +IA	0,02	0,67	4,600	21,01

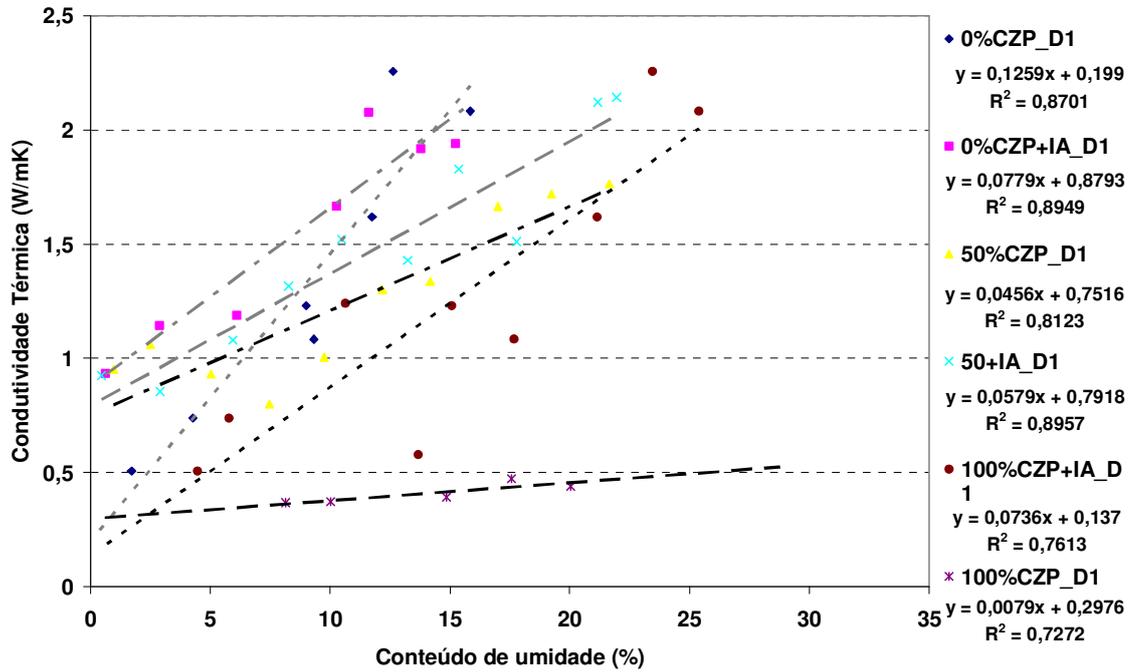
Em se tratando da superfície específica das argamassas, tem-se que o emprego de cinzas pesadas e/ou incorporador de ar provoca uma redução nesta. Estas constatações podem ser realizadas através da Figura 4.48.



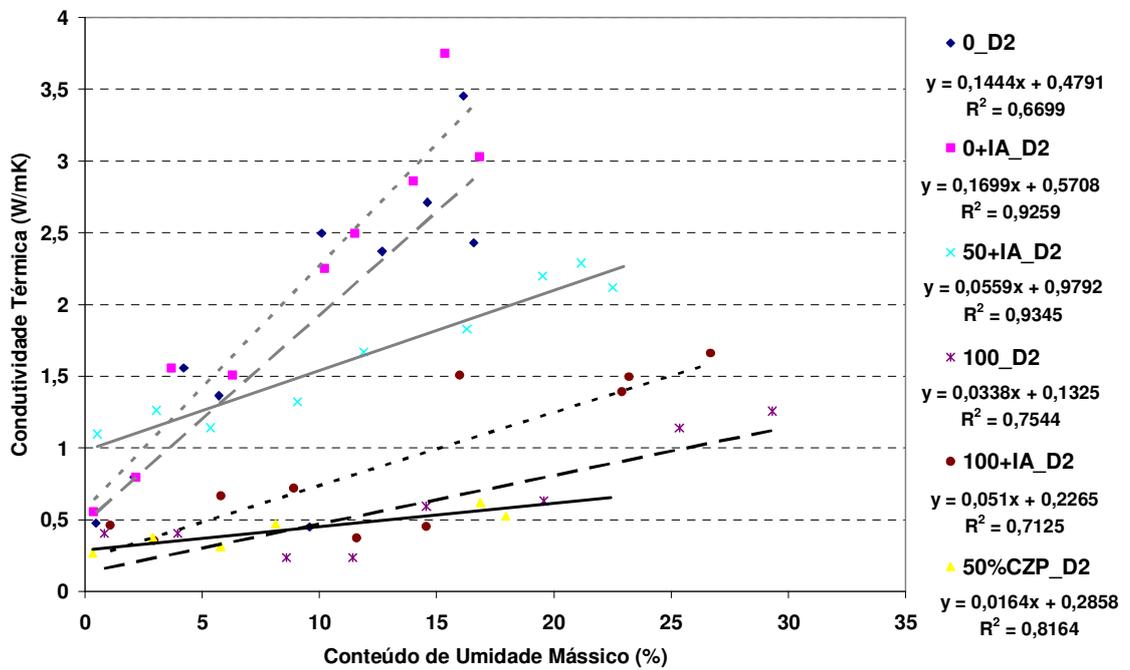
**Figura 4.48: Superfície específica das argamassas em função do teor de CZP**

#### 4.2.3.4 Condutividade térmica

Nas Figuras 4.49 e 4.50 e na Tabela 4.22, são apresentados os resultados da condutividade térmica em função do conteúdo de umidade mássico para as argamassas aplicadas nos dois substratos, e os valores individuais são apresentados no ANEXO J. Para todos os casos, a condutividade térmica aumenta com o conteúdo de umidade.



**Figura 4.49: Condutividade térmica das argamassas D1 em função do conteúdo de umidade mássico.**



**Figura 4.50: Condutividade térmica das argamassas D2 em função do conteúdo de umidade mássico.**

**Tabela 4.22: Dados da reta que relaciona a condutividade térmica com o conteúdo de umidade**

Substratos	Argamassas	Coeficiente		R <sup>2</sup>
		Angular	Linear	
D1	0%	0,13	0,20	0,87
	50%	0,05	0,75	0,81
	100%	0,01	0,30	0,72
	0 % + IA	0,08	0,88	0,89
	50 %+ IA	0,06	0,79	0,90
	100 % +IA	0,07	0,14	0,76
D2	0%	0,14	0,48	0,67
	50%	0,02	0,29	0,81
	100%	0,03	0,13	0,75
	0 % + IA	0,17	0,57	0,93
	50 %+ IA	0,06	0,98	0,93
	100 % +IA	0,05	0,23	0,71

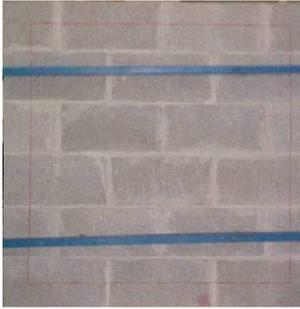
Analisando os resultados, pode ser observada a tendência de que quando maior é o teor de CZP tanto maior é a influência da umidade na condutividade térmica das argamassas SEM IA D1 e SEM E COM IA D2. Porque, no caso das argamassas COM IA\_D1 houve um comportamento diferenciado, em que não é possível encontrar uma relação, ainda que se pode se constatar que a influência da umidade é menor para estas argamassas com IA, na sua composição.

### 4.3 RESULTADOS OBTIDOS DAS PAREDES

#### 4.3.1 Resultados obtidos do ensaio de estanqueidade

Através do ensaio de avaliação à estanqueidade, foi conferido que o tempo de aparição da 1ª mancha de umidade visível na face oposta da amostra, em todas as paredes, em média 5 minutos, com exceção das paredes 11, 21 e 24, que apresentaram manchas aos 35, 15 e 12 minutos, respectivamente.

Em relação à área de umidade, o acompanhamento da evolução de mancha foi feito com o registro de uma imagem da face oposta ao revestimento de trinta em trinta minutos com o auxílio de uma máquina fotográfica digital e de infravermelho. As imagens foram recortadas para que ficasse em destaque a parede com a mancha de umidade, e a área da mancha ao longo do tempo e no final de sete horas, foi calculada utilizando-se o programa IMAGE TOOL 3.0 da UTHSCSA. Nas fotos, é apresentada a evolução da mancha ao longo do tempo para cada uma das paredes.



0h0m



0h30m



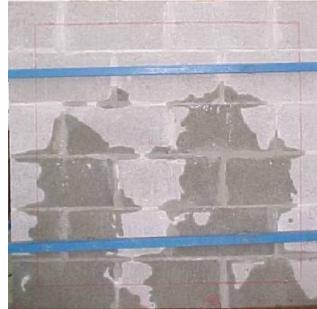
1h0m



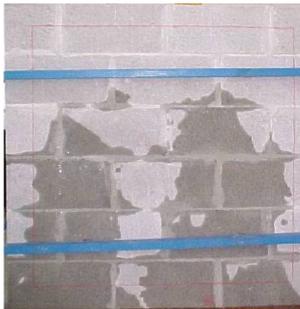
1h30m



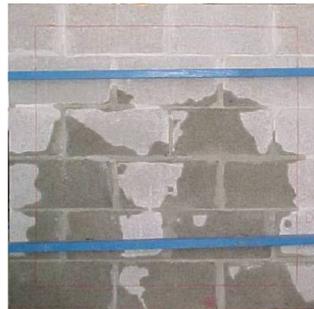
2h0m



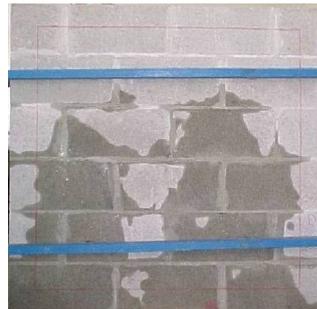
2h30m



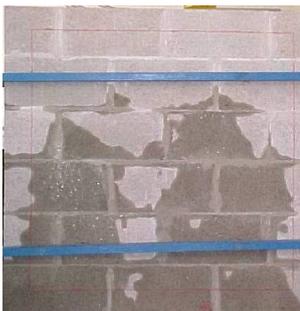
3h0m



3h30m



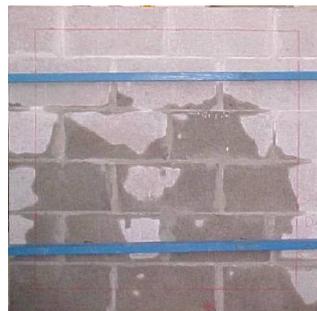
4h0m



4h30m



5h0m



5h30m



4h30m



5h0m

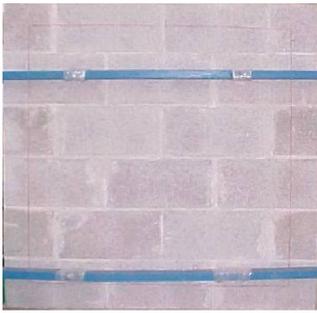


5h30m

**Foto 4.1 - Mancha de umidade no final do ensaio de cada parede avaliada do substrato D1 - Parede 1 - blocos D1 - argamassa 0%CZ**

ECV/NPC/VALORES

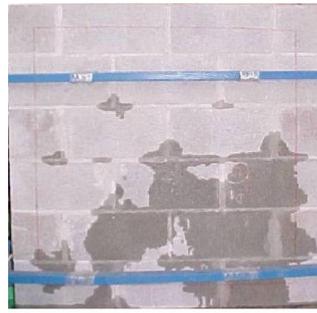
6h0m



6h30m



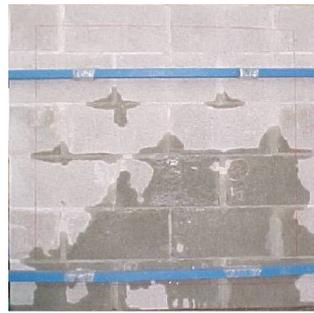
7h0m



0h0m



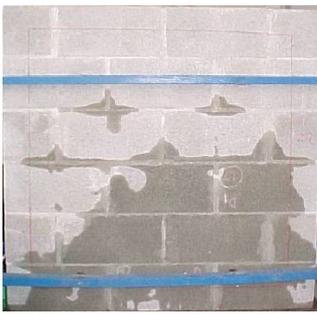
0h30m



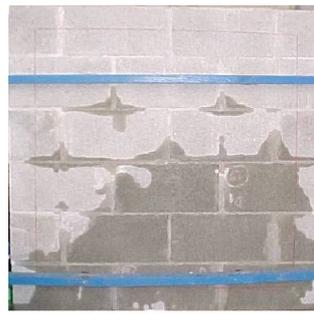
1h0m



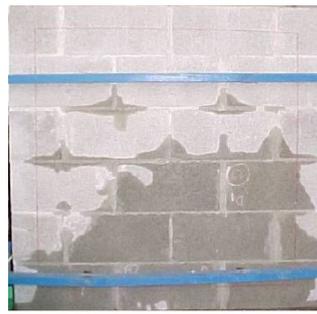
1h30m



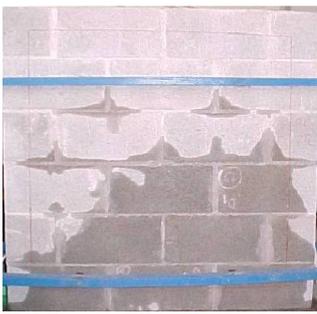
2h0m



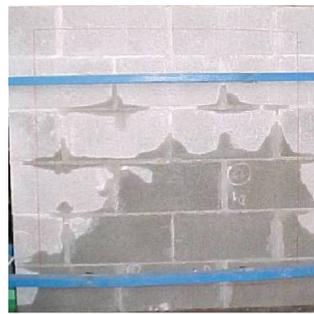
2h30m



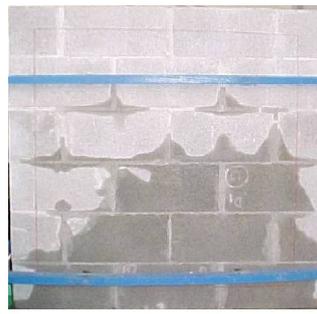
3h0m



3h30m



4h0m



4h30m



5h0m



5h30m



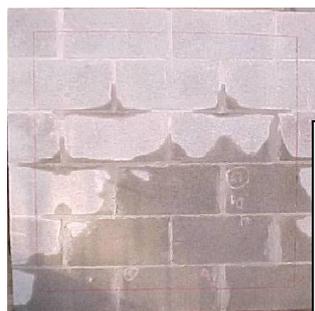
ECV/NPC/VALORES



6h0m



6h30m

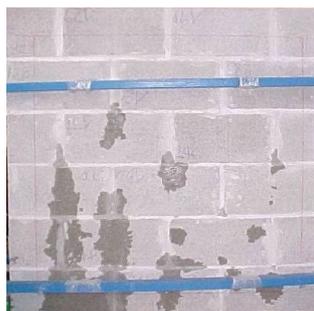


7h0m

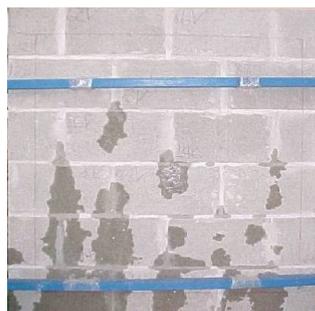
**Foto 4.2 – Mancha de umidade no final do ensaio de cada parede avaliada do substrato D1 - Parede 2 – blocos D1 – argamassa 0%CZ**



0h0m



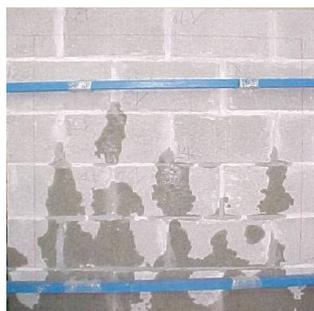
0h30m



1h0m



1h30m



2h0m



2h30m



3h0m



3h30m



4h0m



3h0m



3h30m



4h0m

ECV/NPC/VALORES

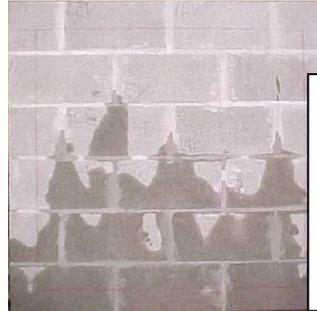
4h30m



5h0m



5h30m



**Foto 4.3 – Mancha de umidade no final do ensaio de cada parede avaliada do substrato D1 - Parede 03 – blocos D1 – argamassa 0% CZ+IA**

6h0m



6h30m



7h0m



0h0m



0h30m



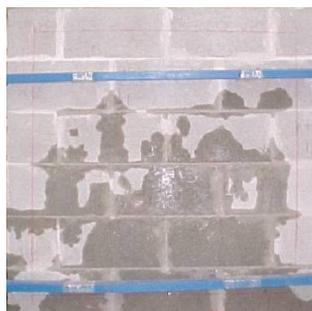
1h0m



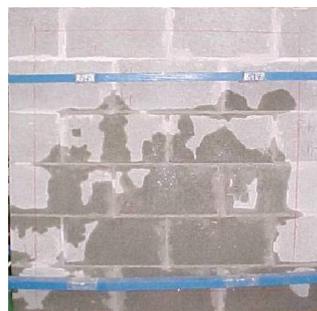
1h30m



2h0m



2h30m



3h0m



3h30m



4h0m



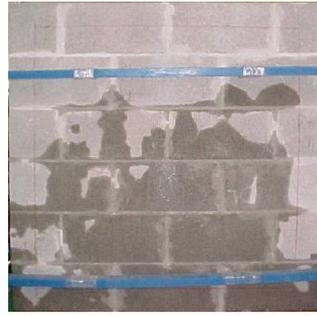
ECV/NPC/VALORES



4h30m



5h0m



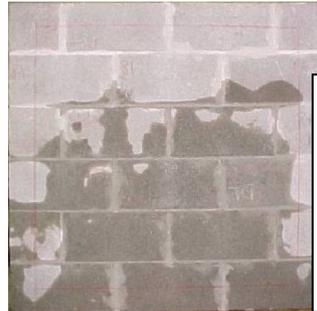
5h30m



6h0m



6h30m



7h0m

**Foto 4.4 – Mancha de umidade no final do ensaio de cada parede avaliada do substrato D1 - Parede 04 – blocos D1 – argamassa 0%CZ+IA**



0h0m



0h30m



1h0m



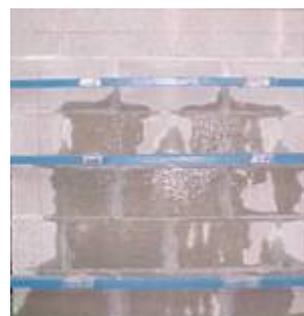
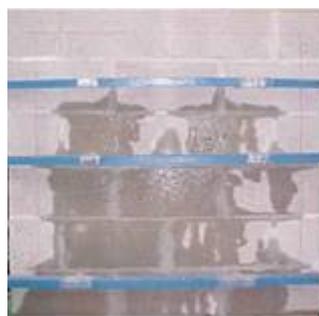
1h30m



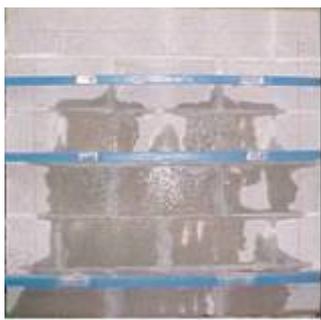
2h0m



2h30m



3h0m



3h30m



4h0m



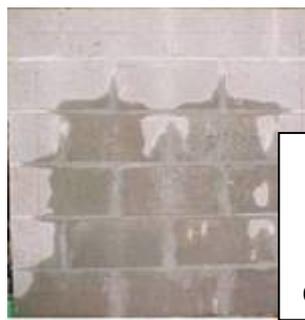
4h30m



5h0m



5h30m



**Foto 4.5 – Mancha de umidade no final do ensaio de cada parede avaliada do substrato D1 - Parede 05 – blocos D1 – argamassa 50%CZ**

6h0m



6h30m



7h0m



0h0m



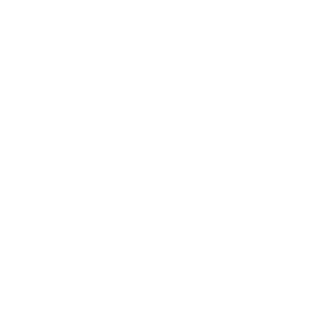
0h30m



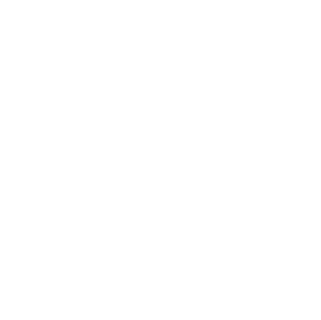
1h0m



1h30m



2h0m



2h30m



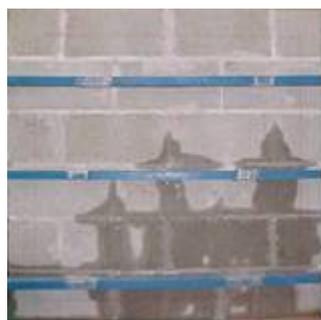
ECV/NPC/VALORES



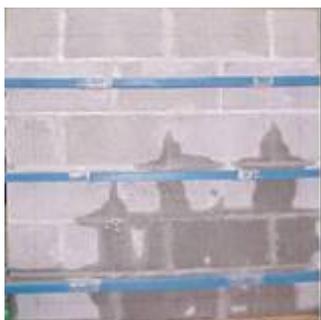
3h0m



3h30m



4h0m



4h30m



5h0m



5h30m



6h0m



6h30m

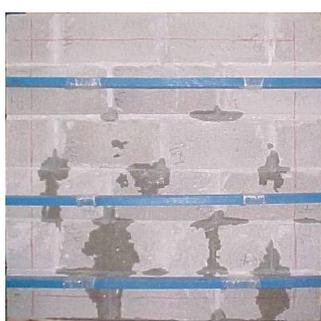


7h0m

**Foto 4.6 – Mancha de umidade no final do ensaio de cada parede avaliada do substrato D1 - Parede 06 – blocos D1 – argamassa 50% CZ**



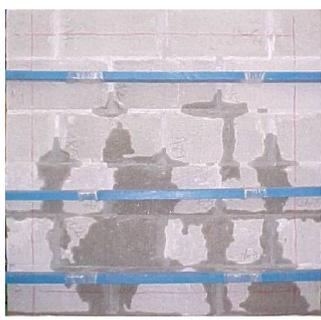
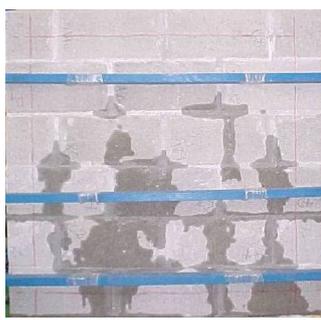
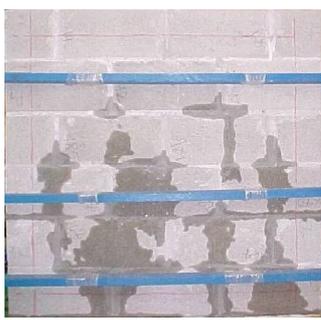
0h0m



0h30m

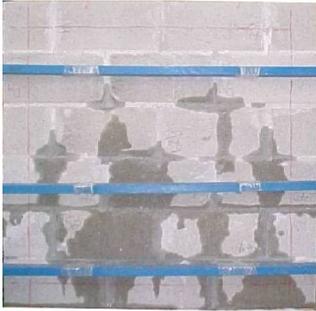


1h0m

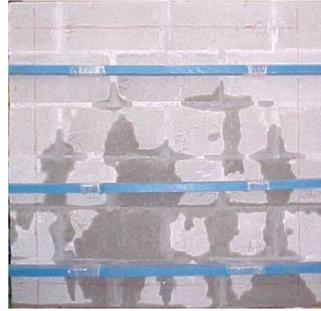


ECV/NPC/VALORES

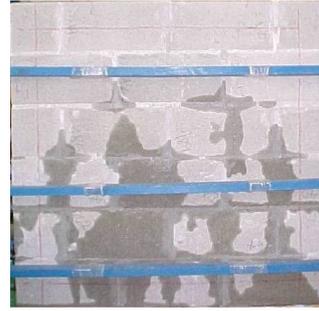
1h30m



2h0m



2h30m



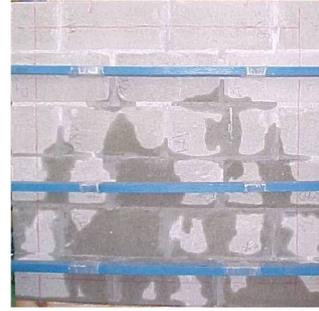
3h0m



3h30m



4h0m



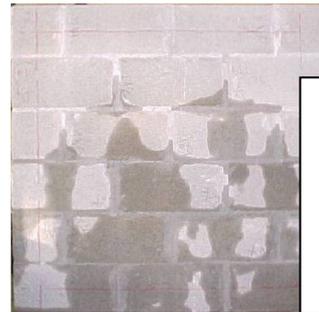
4h30m



5h0m



5h30m



**Foto 4.7 – Mancha de umidade no final do ensaio de cada parede avaliada do substrato D1 - Parede 07 – blocos D1 – argamassa 50%CZ+IA**

6h0m



6h30m



7h0m



0h0m



0h30m



1h0m



ECV/NPC/VALORES



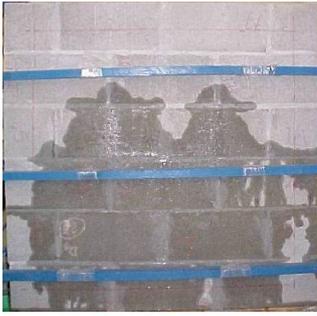
1h30m



2h0m



2h30m



3h0m



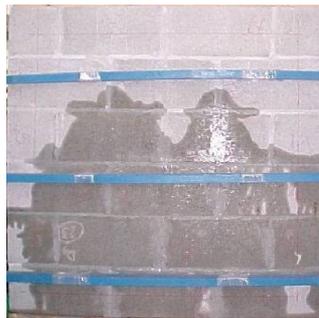
3h30m



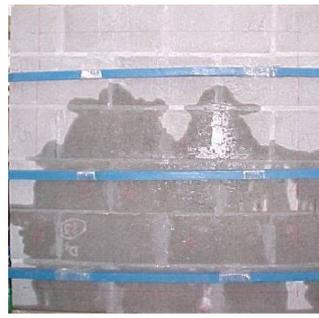
4h0m



4h30m



5h0m



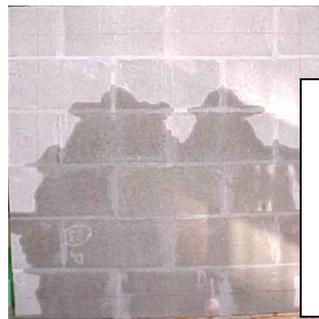
5h30m



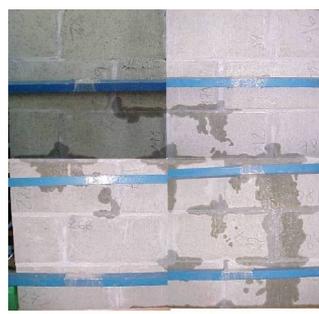
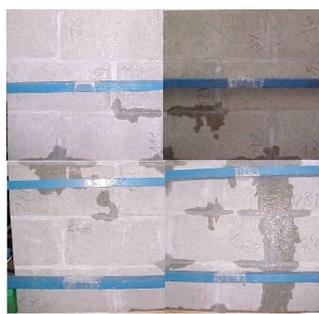
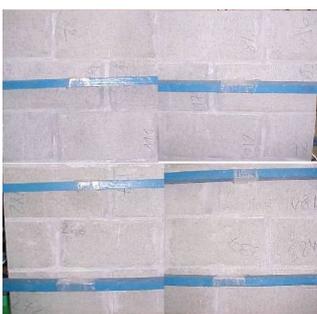
6h0m



6h30m



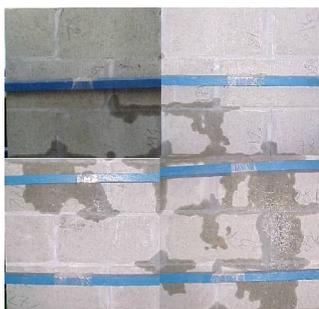
7h0m



**Foto 4.8 – Mancha de umidade no final do ensaio de cada parede avaliada do substrato D1 - Parede 08 – blocos D1 – argamassa 50%CZ+IA**

ECV/NPC/VALORES

0h0m



0h30m



1h0m



1h30m



2h0m



2h30m



3h0m



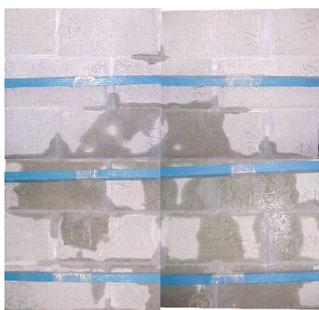
3h30m



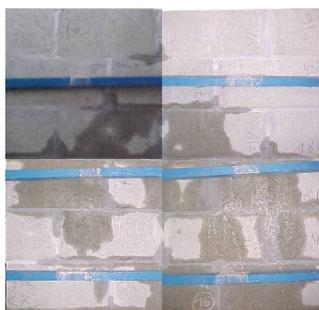
4h0m



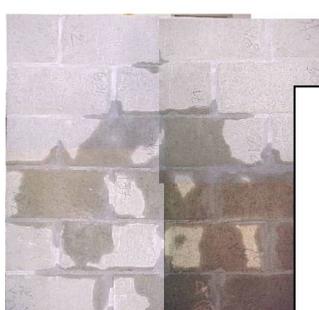
4h30m



5h0m



5h30m



6h0m



6h30m



7h0m



**Foto 4.9 - Mancha de umidade no final do ensaio de cada parede avaliada do substrato D1 - Parede 09 - blocos D1 - argamassa 100%CZ**

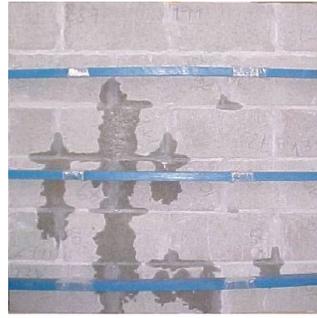
ECV/NPC/VALORES



0h0m



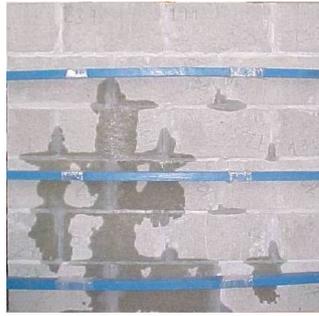
0h30m



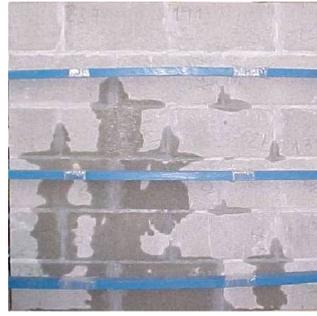
1h0m



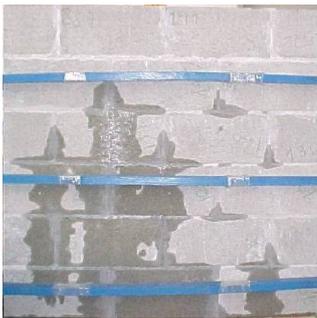
1h30m



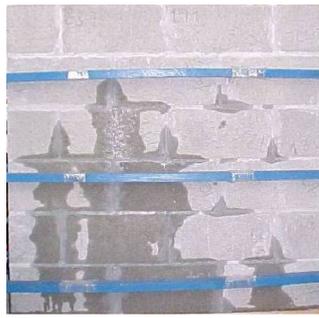
2h0m



2h30m



3h0m



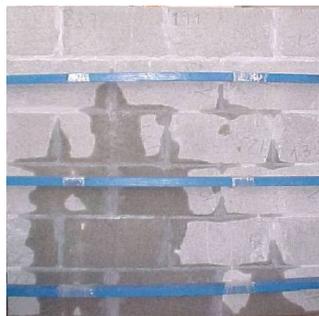
3h30m

Não registrada

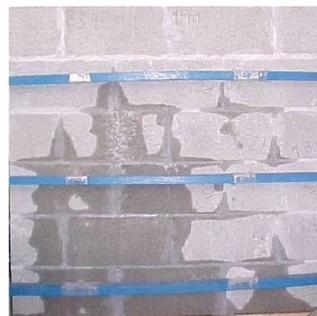
4h0m



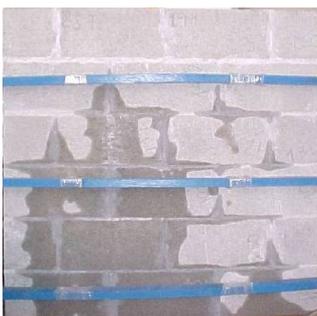
4h30m



5h0m



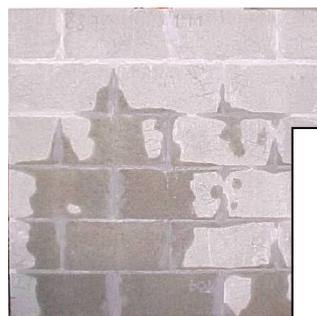
5h30m



6h0m



6h30m



7h0m

Foto 4.10 – Mancha de umidade no final do ensaio de cada parede avaliada do substrato D1 - Parede 10 – blocos – argamassa 100%CZ



0h0m



0h30m



1h0m



1h30m



2h0m



2h30m



3h0m



3h30m



4h0m



4h30m



5h0m



5h30m

**Foto 4.11 - Mancha de umidade no final do ensaio de cada parede avaliada do substrato D1 - Parede 11 - blocos D1 - argamassa 100%CZ+IA**

6h0m

6h30m

7h0m

Não registrada



0h0m

0h30m

1h0m



1h30m

2h0m

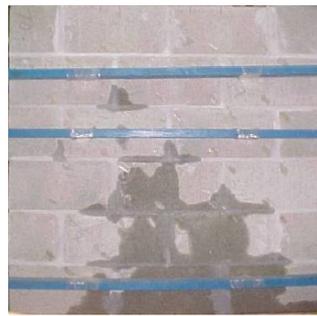
2h30m



3h0m

3h30m

4h0m



4h30m

5h0m

5h30m

ECV/NPC/VALORES



6h0m

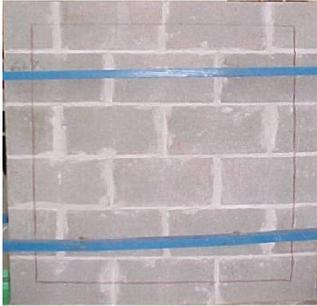


6h30m



7h0m

**Foto 4.12 – Mancha de umidade no final do ensaio de cada parede avaliada do substrato D1 - Parede 12 – blocos D1 – argamassa 100% CZ+IA**



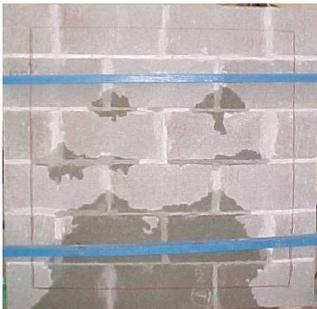
0h0m



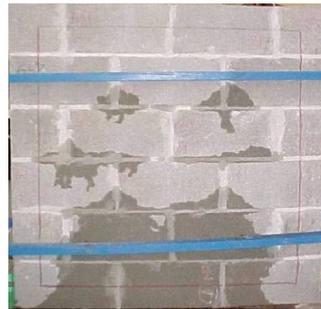
0h30m



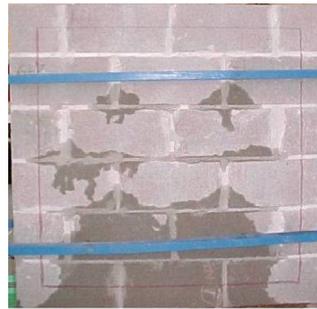
1h0m



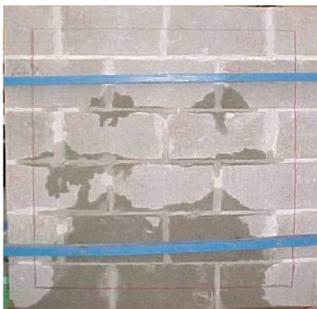
1h30m



2h0m



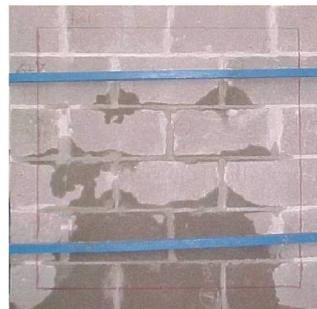
2h30m



3h0m



3h30m



4h0m

ECV/NPC/VALORES

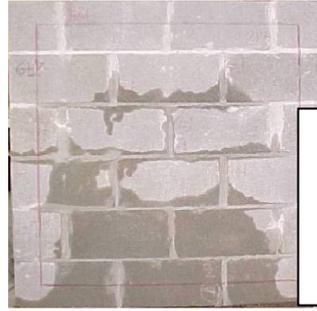
4h30m



5h0m

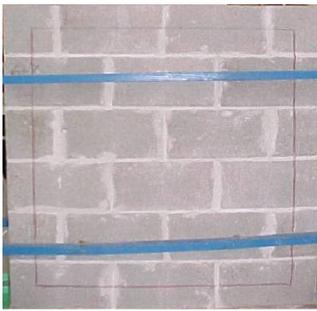


5h30m



**Foto 4.13 – Mancha de umidade no final do ensaio de cada parede avaliada do substrato D1 - Parede 13 – blocos D2 – argamassa 0%CZ**

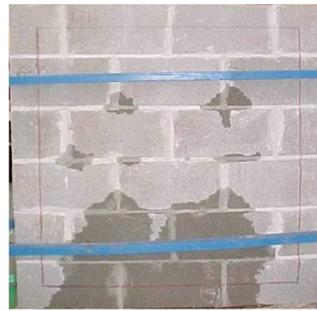
6h0m



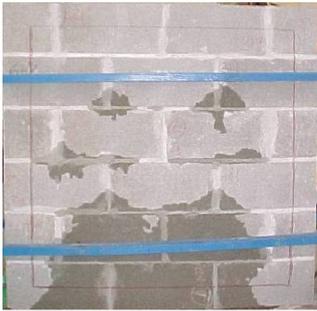
6h30m



7h0m



0h0m



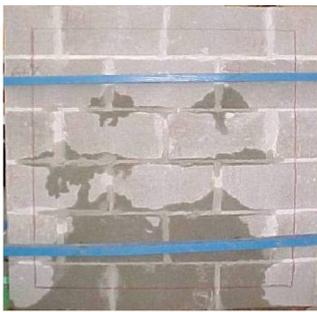
0h30m



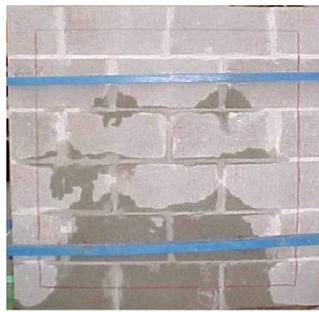
1h0m



1h30m



2h0m



2h30m



3h0m



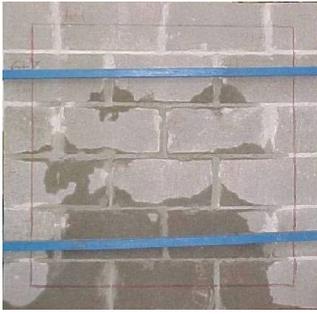
3h30m



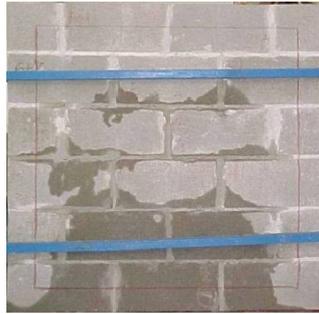
4h0m



ECV/NPC/VALORES



4h30m



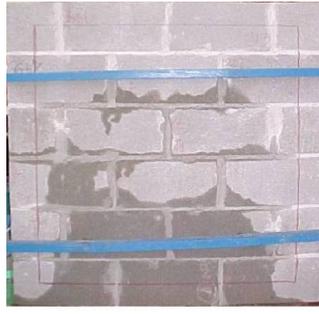
5h0m



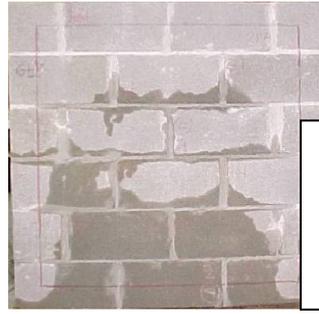
5h30m



6h0m



6h30m



7h0m

**Foto 4.14 - Mancha de umidade no final do ensaio de cada parede avaliada do substrato D1 - Parede 14 - blocos D2 - argamassa 0%CZ**



0h0m



0h30m



1h0m



1h30m



2h0m



2h30m

ECV/NPC/VALORES

3h0m



3h30m



4h0m



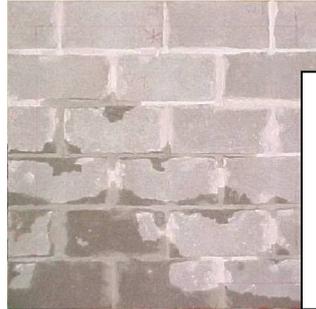
4h30m



5h0m



5h30m



**Foto 4.15 – Mancha de umidade no final do ensaio de cada parede avaliada do substrato D1 - Parede 15 – blocos D2 – argamassa 0%CZ+IA**

6h0m



6h30m



7h0m

Não registrada

0h0m



0h30m



1h0m



1h30m



2h0m



2h30m



ECV/NPC/VALORES



3h0m



3h30m



4h0m



4h30m



5h0m



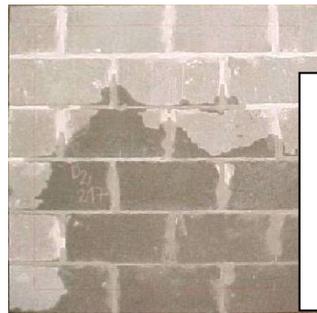
5h30m



6h0m



6h30m



7h0m

**Foto 4.16 – Mancha de umidade no final do ensaio de cada parede avaliada do substrato D1 - Parede 16 – blocos D2 – argamassa 0%CZ+IA**



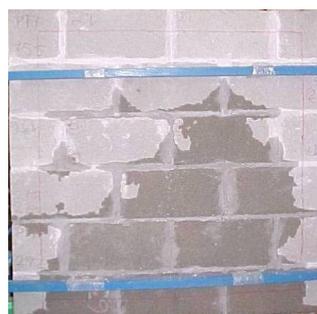
0h0m



0h30m



1h0m



1h30m



2h0m

Não registrada

2h30m



3h0m



3h30m



4h0m



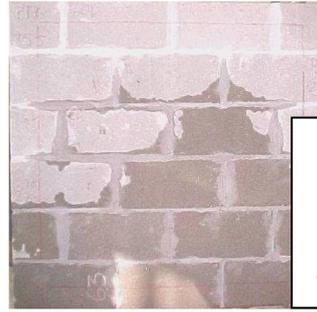
4h30m



5h0m

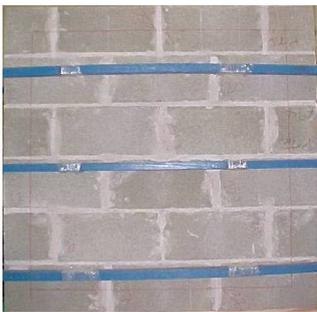


5h30m

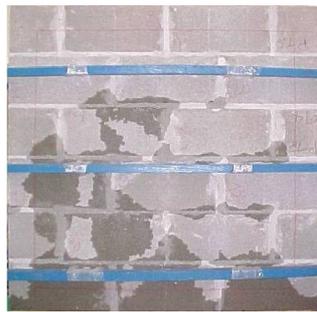


**Foto 4.17 - Mancha de umidade no final do ensaio de cada parede avaliada do substrato D1 - Parede 17 - blocos D2 - argamassa 50%CZ**

6h0m



6h30m



7h0m



0h0m



0h30m



1h0m



ECV/NPC/VALORES



1h30m



2h0m



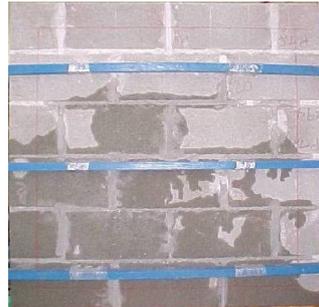
2h30m



3h0m



3h30m



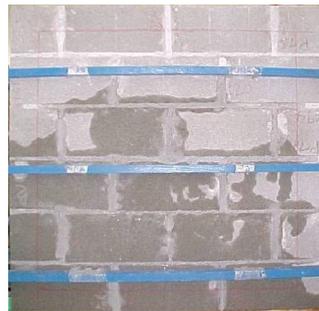
4h0m



4h30m



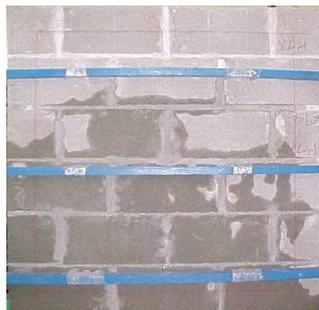
5h0m



5h30m



6h0m



6h30m



7h0m

Não registrada



**Foto 4.18 - Mancha de umidade no final do ensaio de cada parede avaliada do substrato D1 - Parede 18 - blocos D2 - argamassa 50%CZ**

ECV/NPC/VALORES

0h0m



0h30m



1h0m



1h30m



2h0m

Não registrada

2h30m



3h0m



3h30m



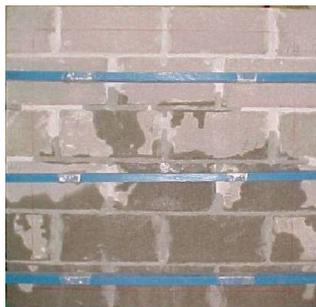
4h0m



4h30m



5h0m



5h30m



6h0m



6h30m



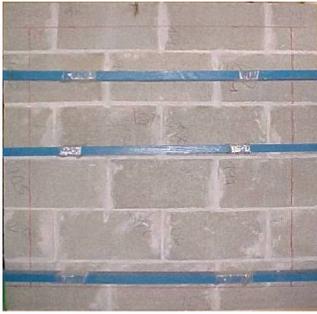
7h0m



Não registrada

Foto 4.19 – Mancha de umidade no final do ensaio de cada parede avaliada do substrato D1 - Parede 19 – blocos D2 – argamassa 50%CZ+IA

ECV/NPC/VALORES



0h0m



0h30m



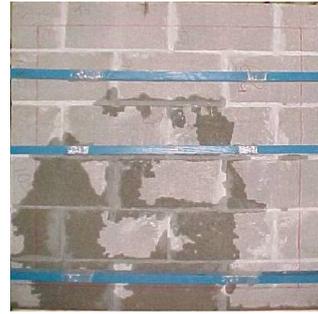
1h0m



1h30m



2h0m



2h30m



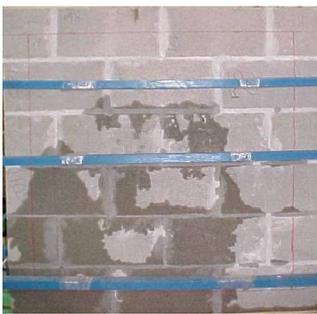
3h0m



3h30m



4h0m



4h30m



5h0m



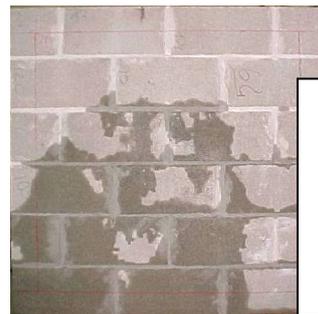
5h30m



6h0m

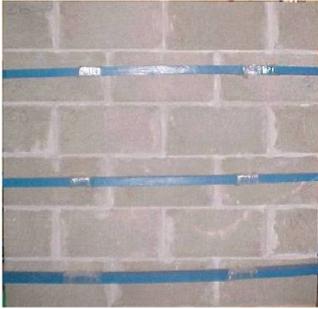


6h30m



7h0m

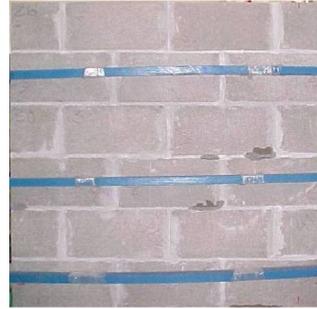
**Foto 4.20 - Mancha de umidade no final do ensaio de cada parede avaliada do substrato D1 - Parede 20 - blocos D2 - argamassa 50%CZ+IA**



0h0m



0h30m



1h0m



1h30m



2h0m



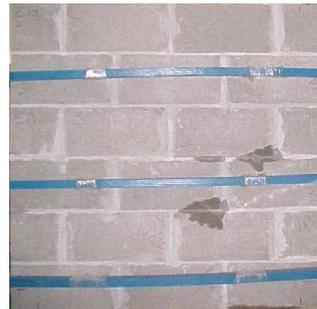
2h30m



3h0m



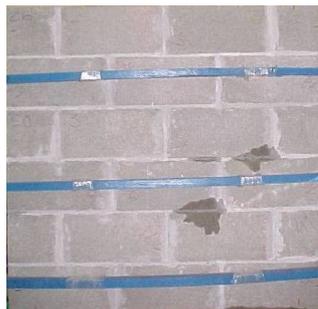
3h30m



4h0m



4h30m



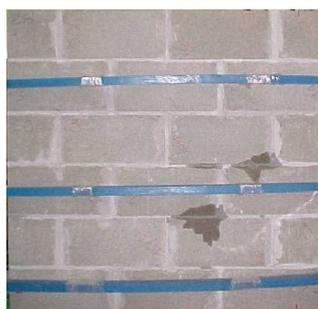
5h0m



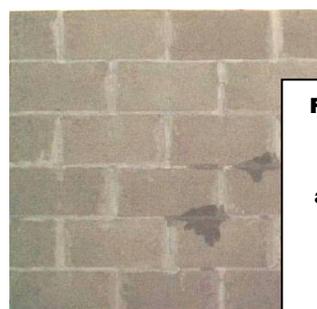
5h30m



4h30m



5h0m



5h30m

**Foto 4.21 - Mancha de umidade no final do ensaio de cada parede avaliada do substrato D1 - Parede 21 - blocos D2 - argamassa 100%CZ**

ECV/NPC/VALORES

6h0m



6h30m



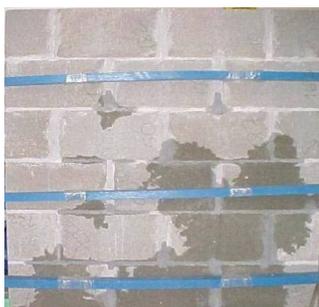
7h0m



0h0m



0h30m



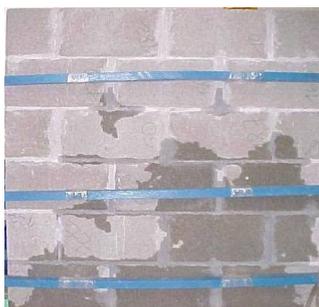
1h0m



1h30m



2h0m



2h30m



3h0m



3h30m



4h0m



4h30m



5h0m



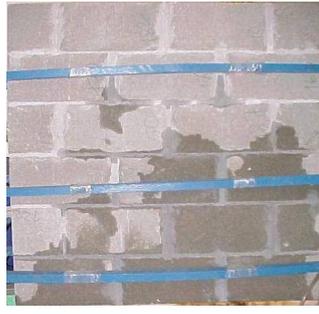
5h30m



ECV/NPC/VALORES



6h0m

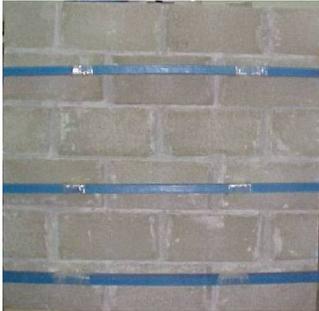


6h30m



7h0m

**Foto 4.22 – Mancha de umidade no final do ensaio de cada parede avaliada do substrato D1 - Parede 22 – blocos D2 – argamassa 100%CZ**



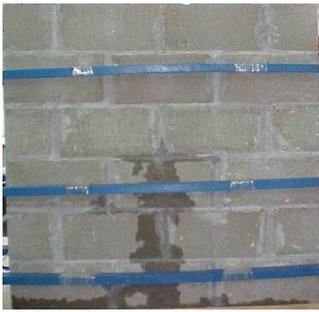
0h0m



0h30m



1h0m



1h30m



2h0m



2h30m



3h0m



3h30m



4h0m

ECV/NPC/VALORES

4h30m



5h0m



5h30m



**Foto 4.23 - Mancha de umidade no final do ensaio de cada parede avaliada do substrato D1 - Parede 23 - blocos D2 - argamassa 100%CZ+IA**

6h0m



6h30m



7h0m



0h0m



0h30m



1h0m



Não registrada

1h30m



2h0m



2h30m



3h0m



3h30m



4h0m



ECV/NPC/VALORES



4h30m



5h0m



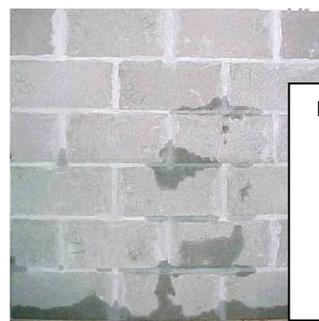
5h30m



6h0m



6h30m



7h0m

**Foto 4.24 – Mancha de umidade no final do ensaio de cada parede avaliada do substrato D1 - Parede 24 – blocos D2 – argamassa 100% CZ+IA**

Os resultados obtidos da evolução da área de mancha, ao longo do tempo, para todas as paredes são apresentados nas Figuras 4.51, 4.52 e 4.53. Pode ser observado o aumento gradual da mancha ao longo do tempo, com estabilização a partir das 3 horas de ensaio.

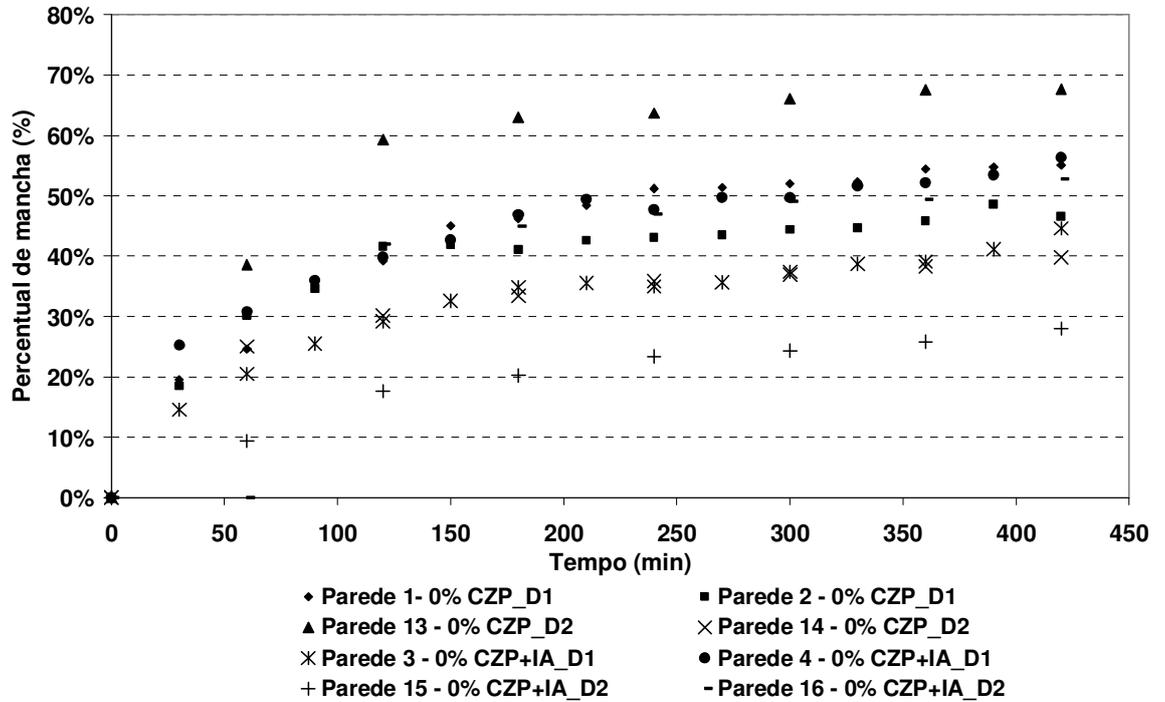


Figura 4.51: Evolução da mancha ao longo do tempo das paredes com 0% CZP – 0% CZP + IA.

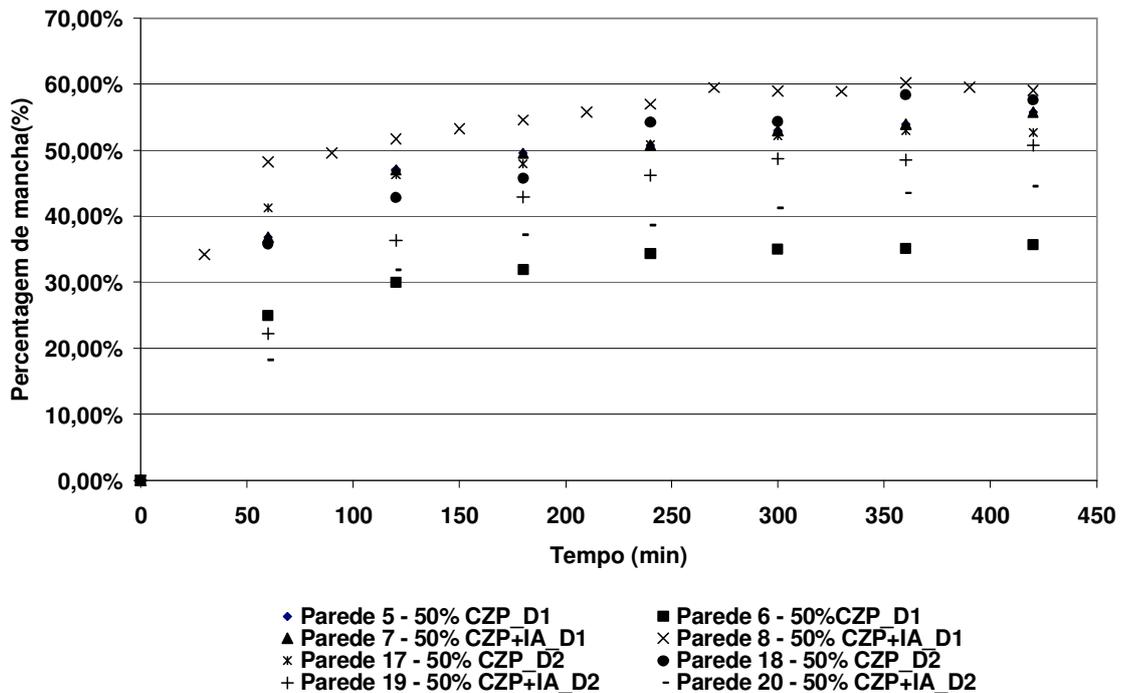
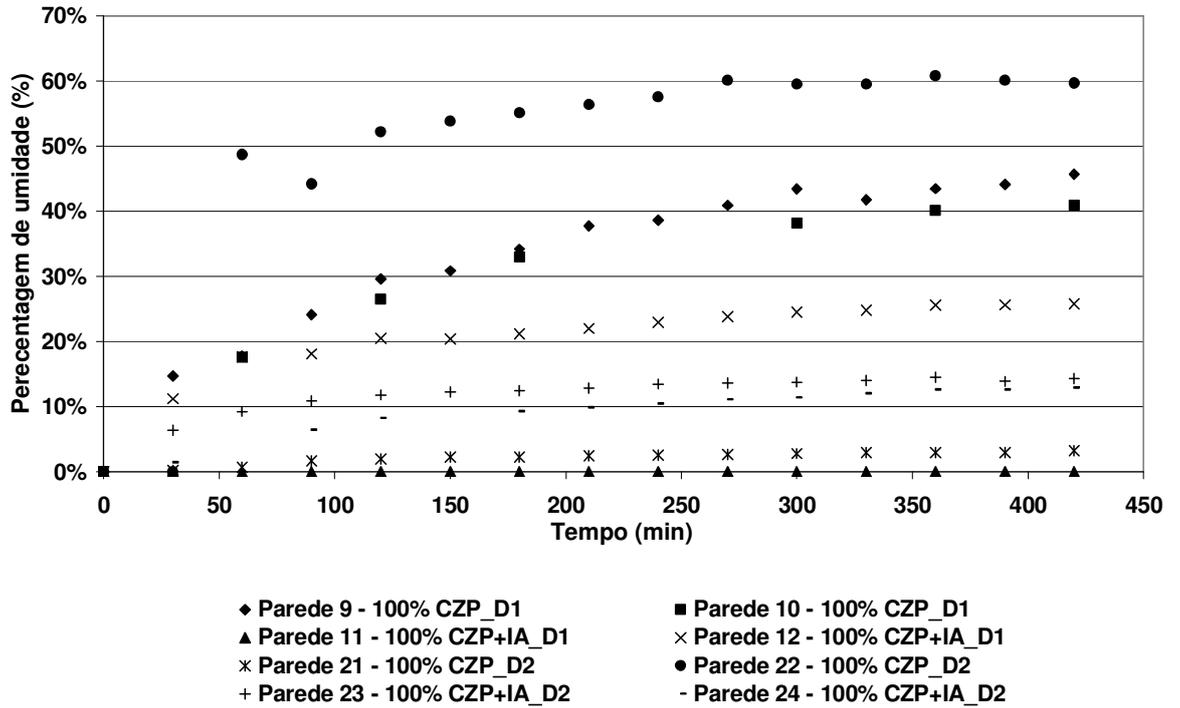
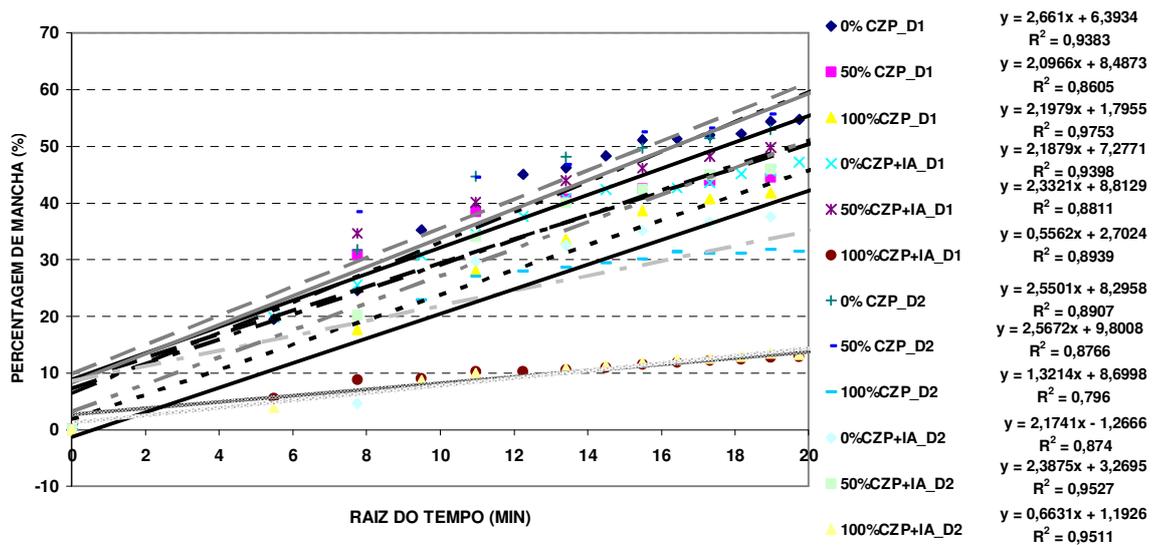


Figura 4.52: Evolução da mancha ao longo do tempo das paredes com 50% CZP – 50% CZP + IA.



**Figura 4.53: Evolução da mancha ao longo do tempo das paredes com 100% CZP – 100% CZP + IA.**

A partir destas curvas, foram obtidos o coeficiente angular (inclinação) e a correlação linear (valor da percentagem de mancha correspondente a raiz do tempo no instante zero), e o coeficiente de correlação linear das mesmas de cada parede, sendo obtidos valores médios para cada tipo de argamassa por substrato, que são apresentados na Figura 4.54 e Tabela 4.23.

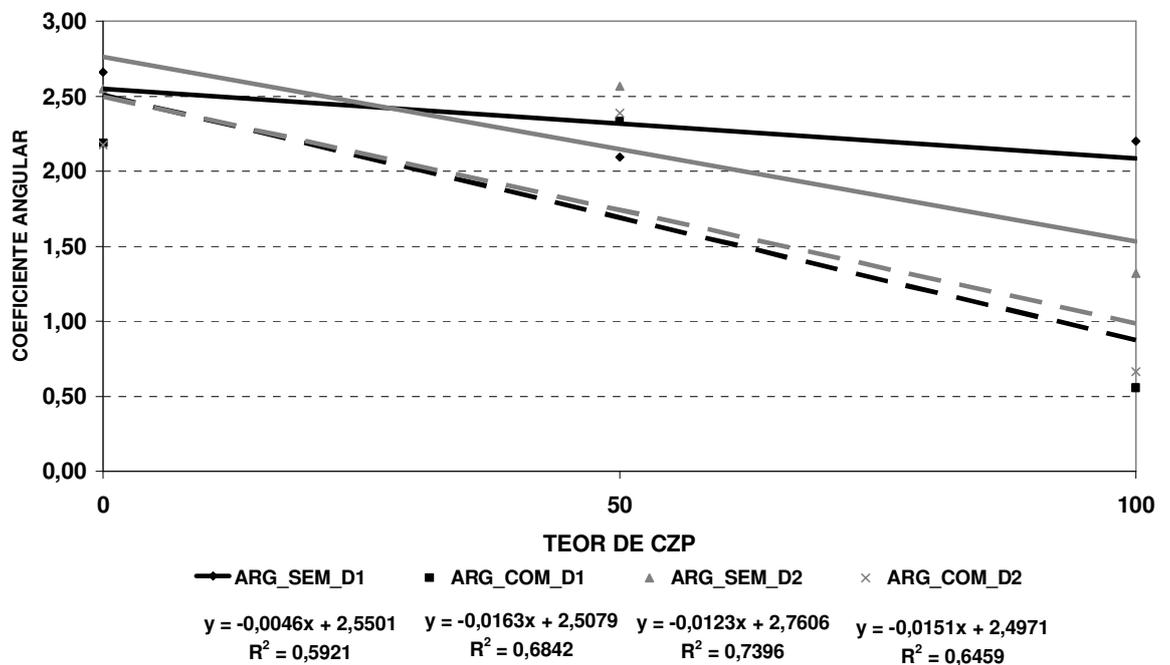


**Figura 4.54: Percentual da mancha em função da raiz do tempo para as diferentes argamassas dos dois substratos.**

**Tabela 4.23: Dados da reta que relaciona a percentagem da mancha de umidade com a raiz do tempo**

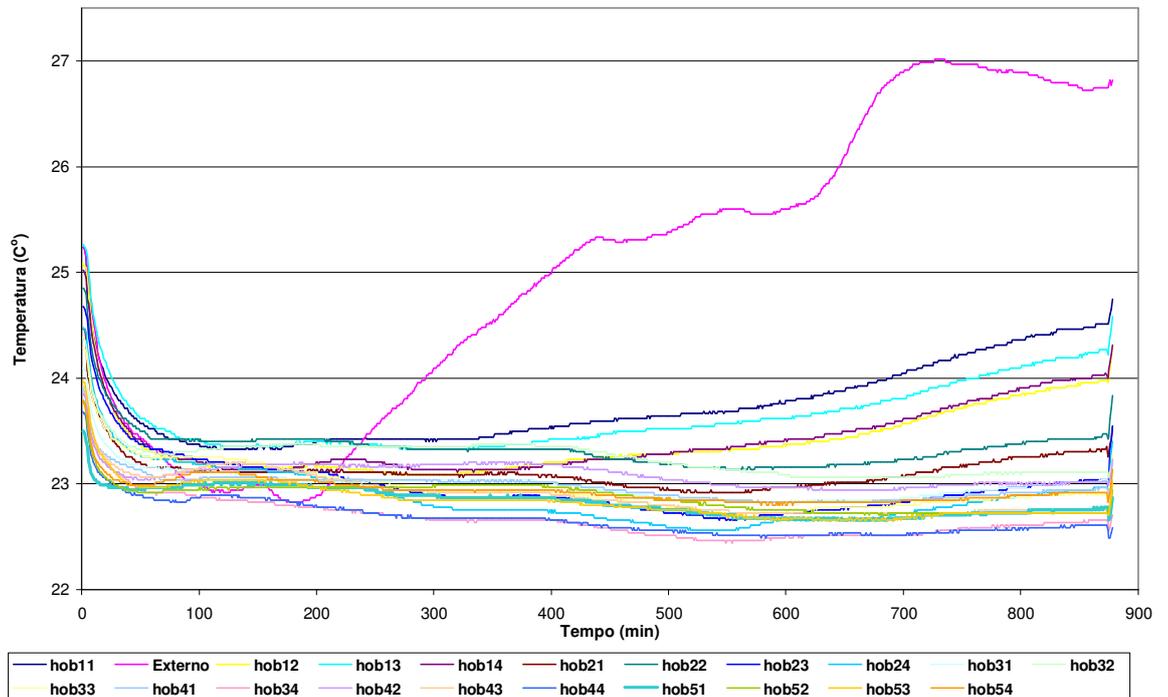
SUBSTRATOS	ARGAMASSAS	Coefficiente angular	Coefficiente linear	R <sup>2</sup>
D1	0% CZP	2,661	6,393	0,94
	50% CZP	2,097	8,487	0,86
	100% CZP	2,198	1,796	0,98
	0% CZP+IA	2,188	7,277	0,94
	50% CZP+IA	2,332	8,813	0,88
	100% CZP+IA	0,556	2,702	0,89
D2	0% CZP	2,550	8,296	0,89
	50% CZP	2,567	9,801	0,88
	100% CZP	1,321	8,700	0,80
	0% CZP+IA	2,174	1,267	0,87
	50% CZP+IA	2,388	3,270	0,95
	100% CZP+IA	0,663	1,193	0,95

Analisando o coeficiente angular das retas que relacionam a percentagem de mancha com a raiz do tempo, foi verificado que, quanto maior o conteúdo de cinzas, menor é a percentagem da mancha ao longo do tempo, acontecendo mais acentuadamente esses comportamentos nas paredes fabricadas com argamassas com IA, como ilustrado na Figura 4.55.

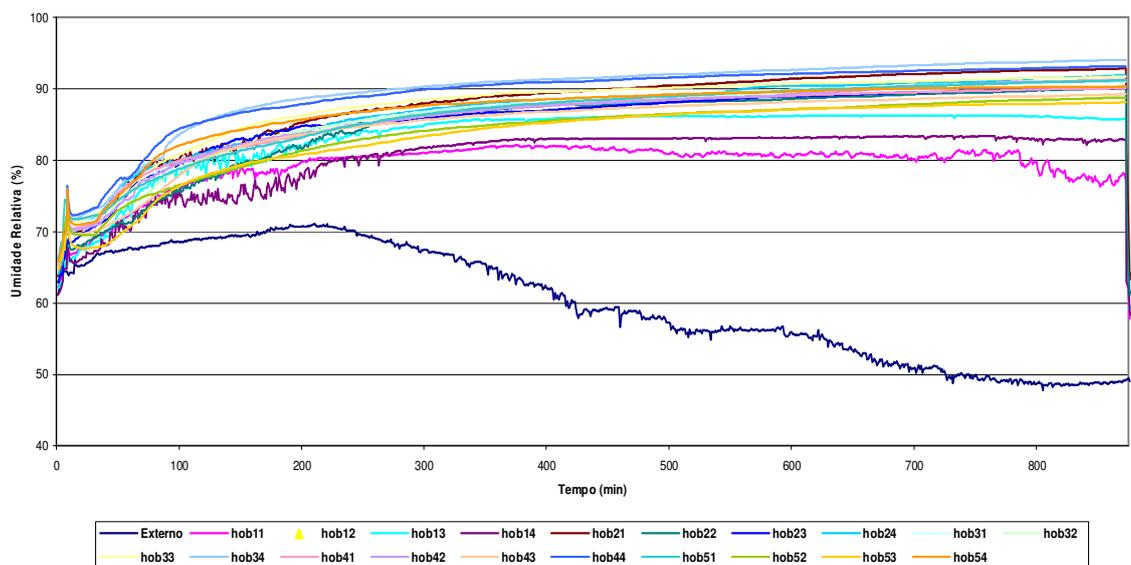


**Figura 4.55: Variação do coeficiente angular da reta que relaciona a percentagem de mancha em função da raiz do tempo para cada teor de CZP.**

A partir da colocação de sensores de umidade e temperatura (Hobbos) no interior das paredes, foi possível obter os gráficos de comportamento geral de avanço da umidade na parede, os quais são apresentados a seguir nas Figuras 4.56, 4.57, 4.58, 4.59, 4.60 e 4.61. Como foram colocados os Hobbos em 15 paredes, as curvas restantes estão exibidas no ANEXO K.



**Figura 4.56: Evolução da temperatura ao longo do tempo da parede 1 - 0% CZP\_D1**



**Figura 4.57: Evolução da umidade ao longo do tempo da parede 1 - 0% CZP\_D1**

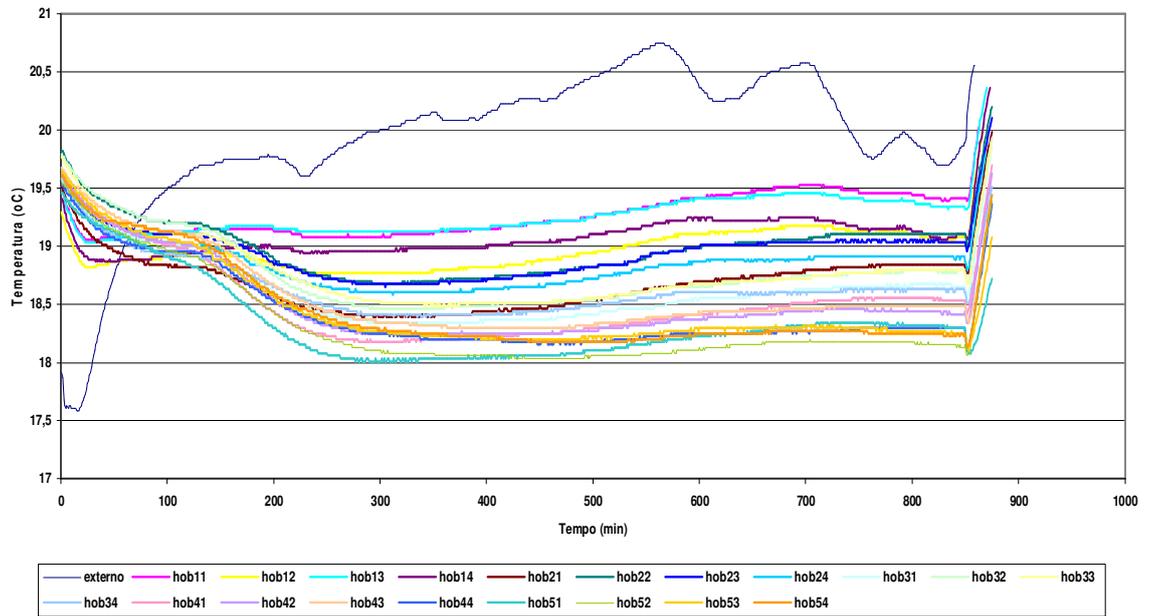


Figura 4.58: Evolução da temperatura ao longo do tempo da parede 3 - 0% CZP+IA\_D1

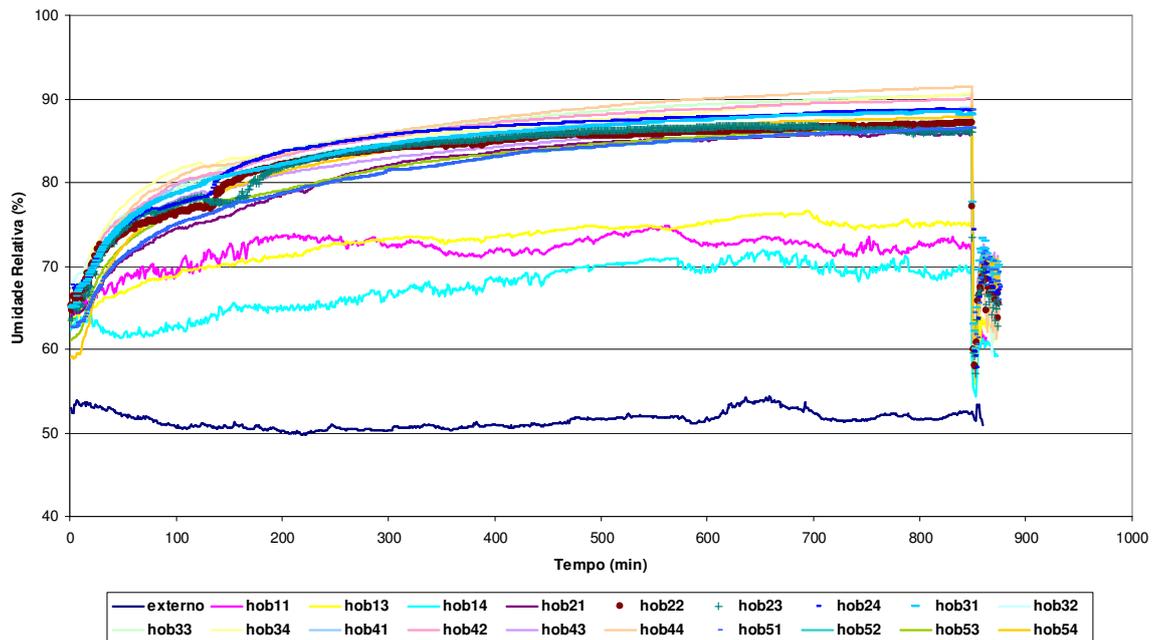
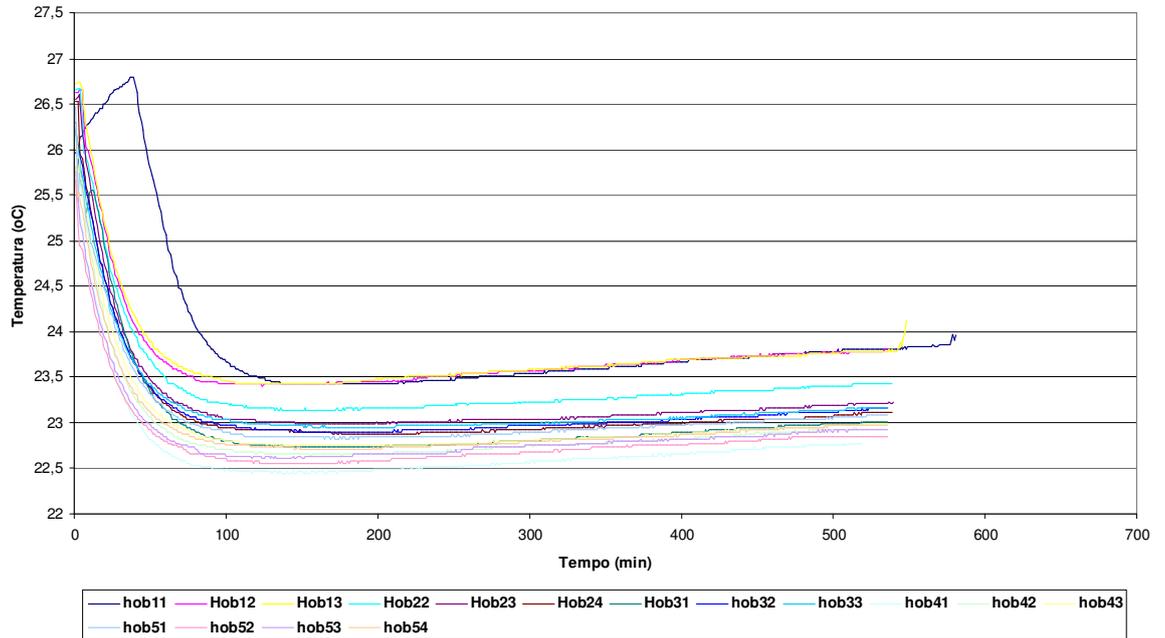
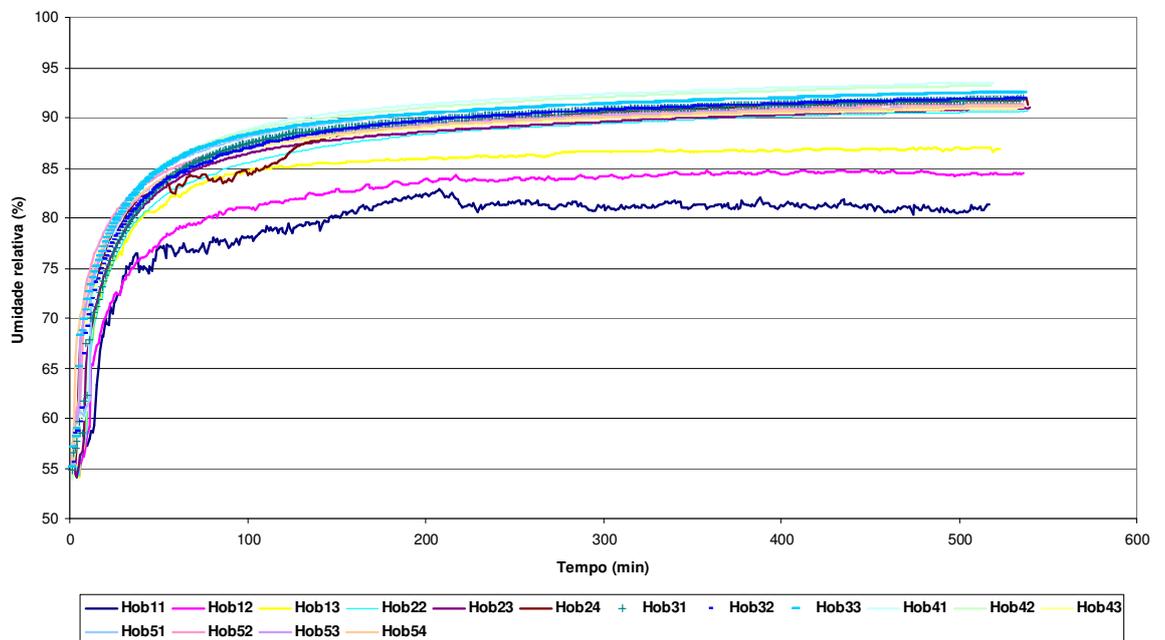


Figura 4.59: Evolução da temperatura ao longo do tempo da parede 3 - 0% CZP + IA\_D1



**Figura 4.60: Evolução da mancha ao longo do tempo das paredes com 100% CZP – 100% CZP + IA.**



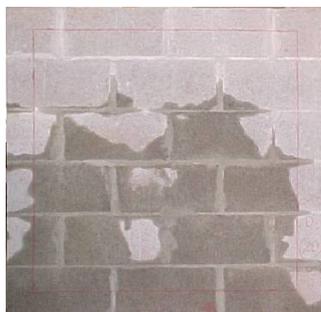
**Figura 4.61: Evolução da mancha ao longo do tempo das paredes com 100% CZP – 100% CZP + IA.**

Através dos gráficos, foi observada uma diminuição brusca da temperatura e o aumento da umidade relativa até a estabilização na primeira hora de ensaio até o final, e a definição de três comportamentos nas curvas de temperatura: uma curva inicial de presença de umidade em que há uma queda de temperatura, esta curva pode ser mais ou menos acentuada se a passagem de água foi rapidamente, como no caso das paredes (1,2,7 e 14) ou mais lento, como as paredes (6,15,16,17,18 e 20); uma curva estável; e outra curva de aumento ou diminuição da temperatura.

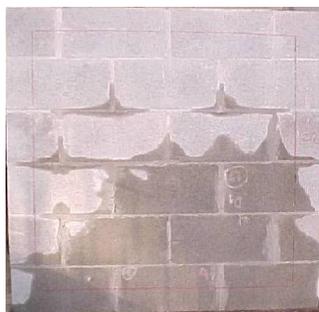
Já nas curvas de umidade, são definidos dois comportamentos: um primeiro, de aumento gradual o abrupto da umidade e um segundo, de estabilização. Nos casos das paredes 3, 4, 5 e 13, houve um comportamento diferenciado na curva em que apareceu uma primeira curva suave e uma segunda curva, em que aconteceu uma pequena estabilização.

Ao final do ensaio, foi obtida a imagem da área de mancha, como mostrado nas Fotos 4.25 e 4.26 e com esta foi possível calcular o percentual da mancha de umidade para cada parede e os valores médios para cada tipo de argamassa e substrato, sendo mostrado na Tabela 4.24.

**Paredes fabricadas com os blocos D1**



**Parede 1**



**Parede 2**



**Parede 3**



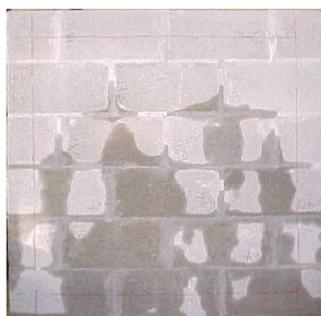
**Parede 6**



**Parede 5**



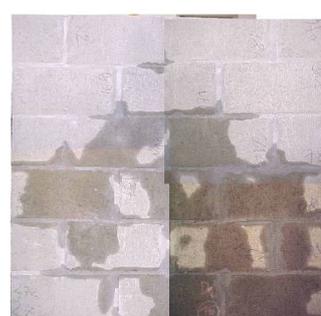
**Parede 4**



**Parede 7**



**Parede 8**



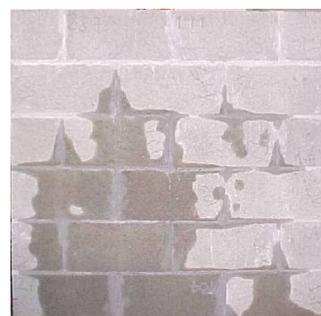
**Parede 9**



**Parede 12**



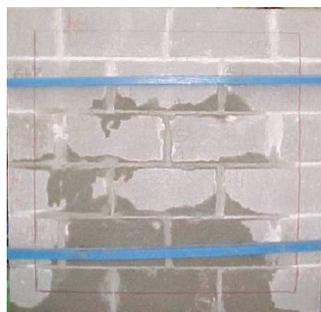
**Parede 11**



**Parede 10**

**Foto 4.25 – Mancha de umidade no final do ensaio de cada parede avaliada do substrato D1**

**Paredes fabricadas com os blocos D2**



**Parede 13**



**Parede 14**



**Parede 15**



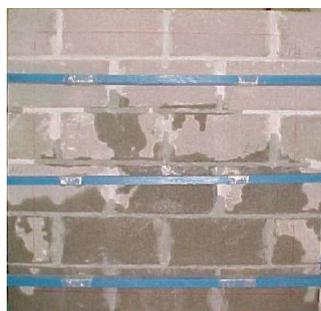
**Parede 18**



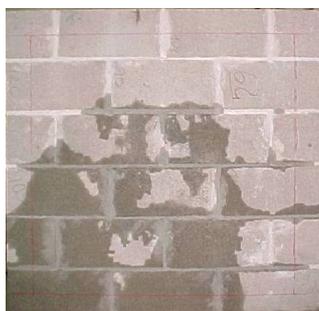
**Parede 17**



**Parede 16**



**Parede 19 (6:30)**



**Parede 20**



**Parede 21**



**Parede 24**



**Parede 23**



**Parede 22**

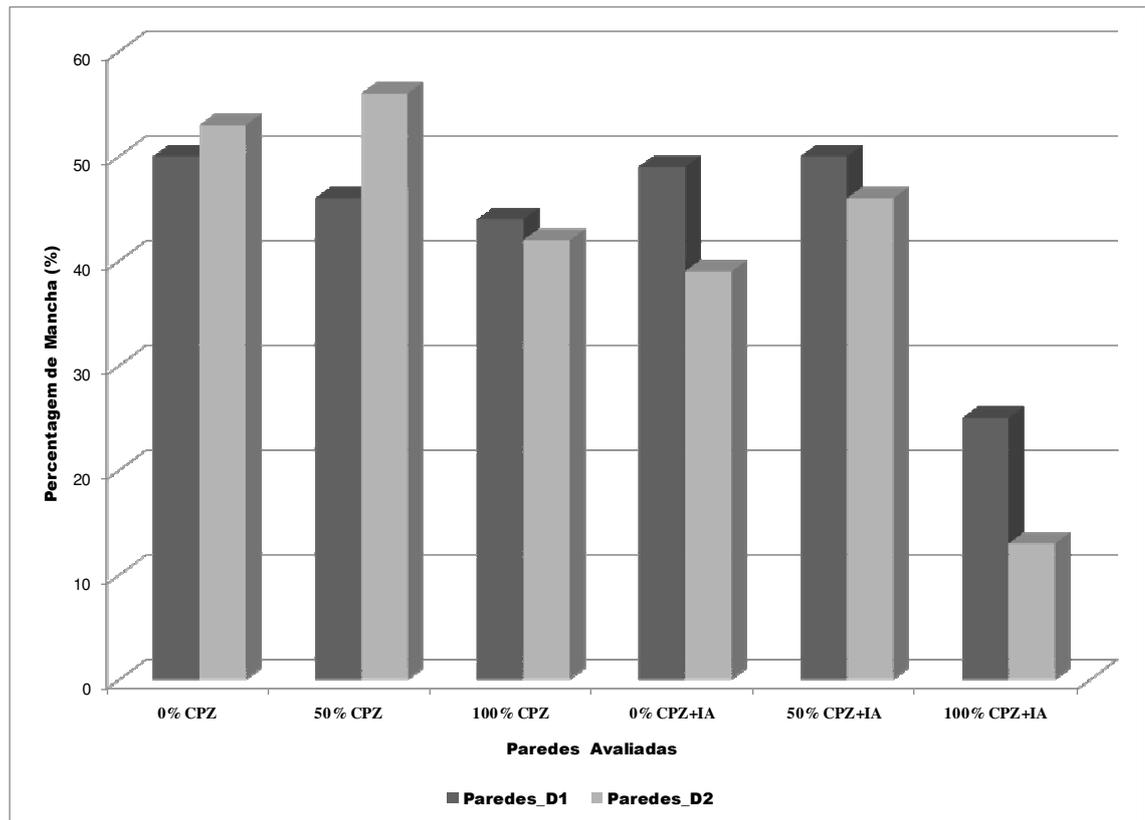
**Foto 4.26 – Mancha de umidade no final do ensaio de cada parede avaliada do substrato D2**

**Tabela 4.24: Percentual de Manchas de umidade na face não revestida após 7 horas de ensaio**

PERCENTUAL DE MANCHA DE UMIDADE EM RELAÇÃO A ÁREA TOTAL DO PROTOTIPO						
Substrato	D1			D2		
Tipo de Argamassa	Nº Parede	% de Mancha	Média (%)	Nº Parede	% de Mancha	Média (%)
0%	1	54,20	50%	13	66,6	53%
	2	46,50		14	38,7	
0%+IA	3	43,50	49%	15	27,7	39%
	4	55,00		16	51,1	
50%	5	54,70	46%	17	53,4	56%
	6	36,40		18	58,1	
50%+IA	7	41,70	50%	19	48,8	46%
	8	59,10		20	42,9	
100%	9	45,70	44%	21	3,2	42%
	10	41,90		22	41,9	
100%+IA	11	0,00	25%	23	13,8	13%
	12	25,80		24	12,6	

Através dos resultados, foi conferido que o percentual máximo das somas das áreas de mancha de umidade, na face oposta à incidência da água, em relação à área total submetida ao ensaio, para todas as paredes, ultrapassaram os valores permitidos pela norma ABNT 02:136.01.004, COBRACON, 2004 para Níveis de desempenho para estanqueidade à água de fachada (somente paredes), para qualquer tipo de edificação, tanto térreas como de mais de 1 pavimento que estipula que para alcançar um nível de desempenho M, deve ser alcançado 5 % para as edificações de mais de um pavimento e para térreas 10 %.

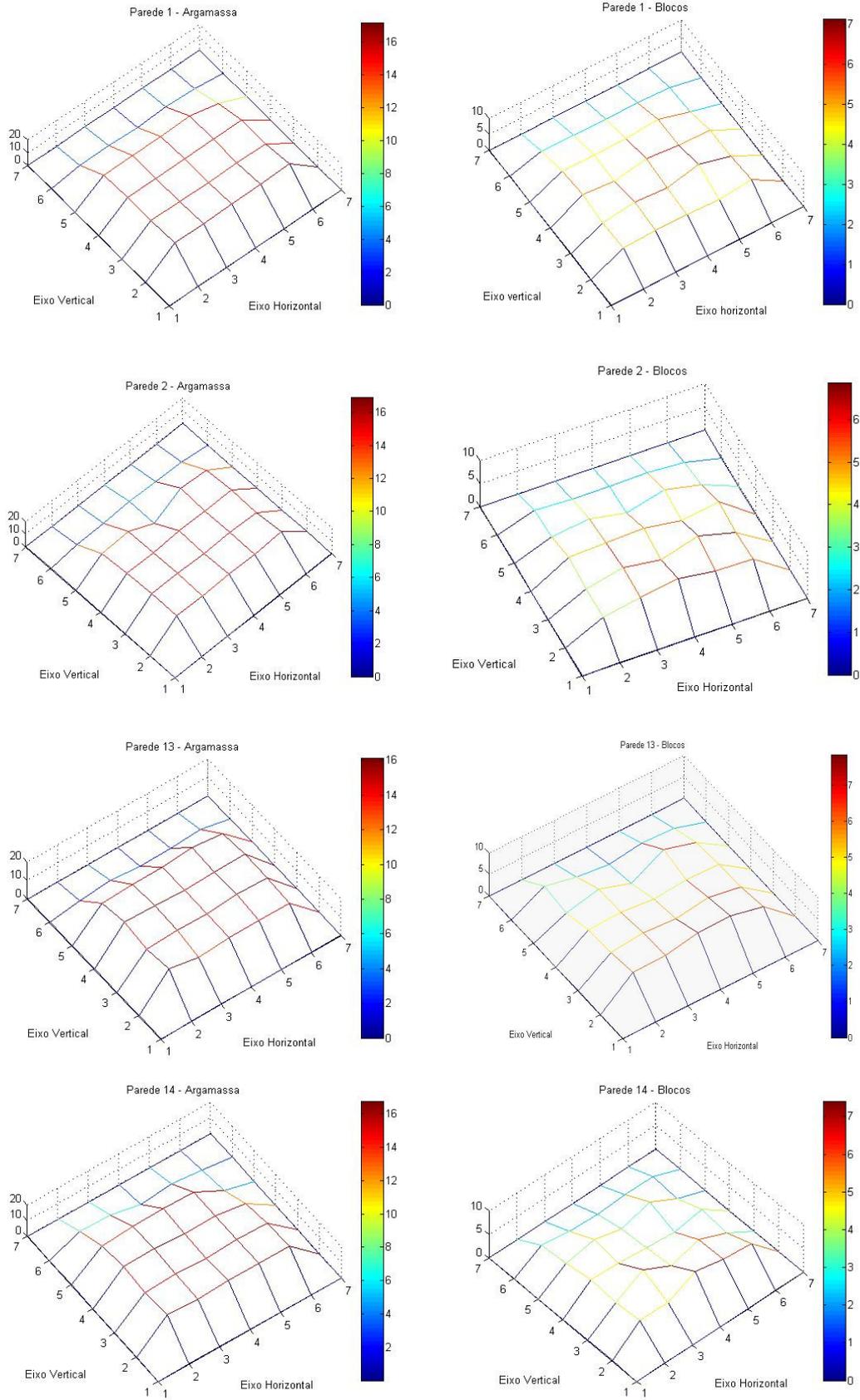
Na Figura 4.62, é apresentado um resumo do percentual de mancha de umidade na face oposta após 7 horas. Nesta é possível observar que houve uma diminuição gradual da percentagem da mancha na medida em que aumentou o teor de CZP para as ARG SEM\_D1. Também se mantêm este mesmo comportamento analisando somente a variação das argamassas ARG 0% e 100% SEM IA e COM IA dos dois substratos. Já para as argamassas ARG 50% COM IA\_D1 e ARG 50% SEM e COM IA\_D2 apresentaram um aumento mais acentuada no percentual da mancha. Sendo a ARG 100% COM IA\_D2 a que apresentou menor percentual de mancha no fim de 7 horas de ensaio.



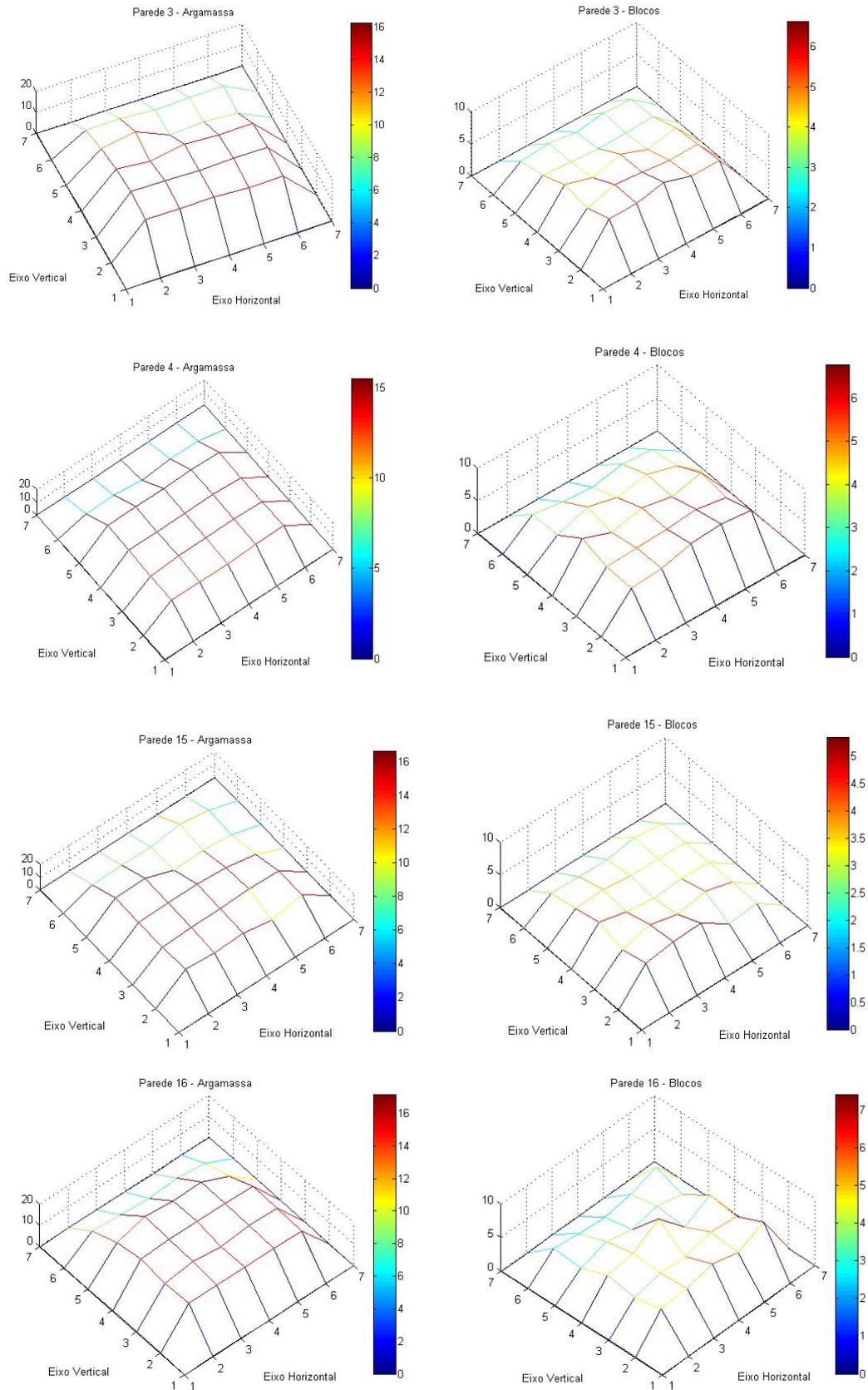
**Figura 4.62: Percentual de Manchas de umidade na face não revestida após 7 horas de ensaio**

Dos resultados conjuntos dos sensores de umidades com as fotos de evolução de mancha, foi conferida a aparição de mancha, geralmente na parte inferior das paredes, espalhando-se para a parte superior, independentemente da posição dos blocos. A aparição inicial acontece em qualquer ponto aleatório, fundamentalmente na interseção da junta vertical com a junta horizontal.

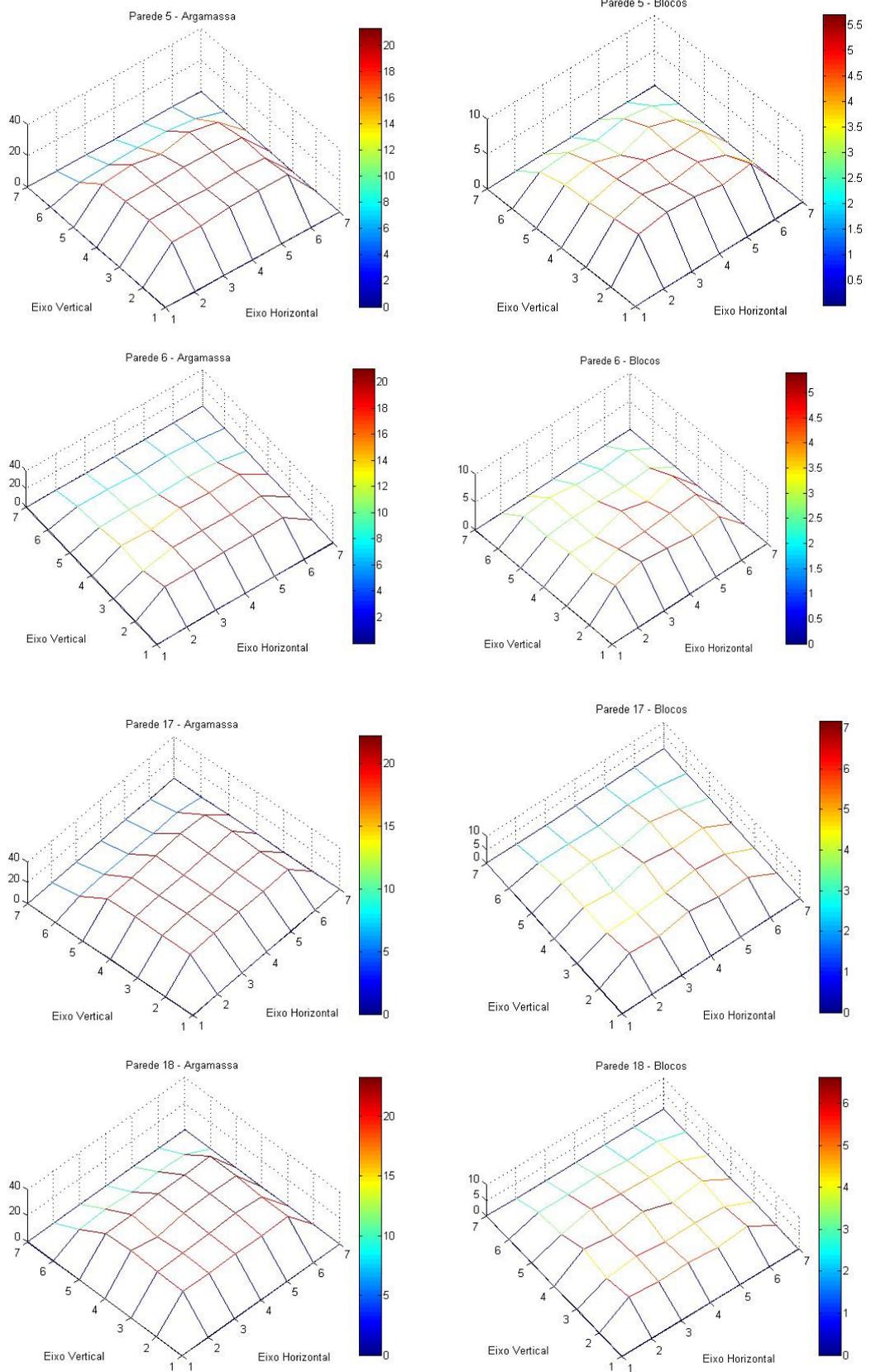
Da extração dos 25 pontos das argamassas de revestimento, de assentamento e dos blocos das paredes, foram obtidas as percentagens de umidade, sendo apresentados a seguir nas Figuras 4.63- 4.68, e no ANEXO L são apresentados os resultados individuais, sendo colocados os valores superiores da argamassa e valores inferiores dos blocos.



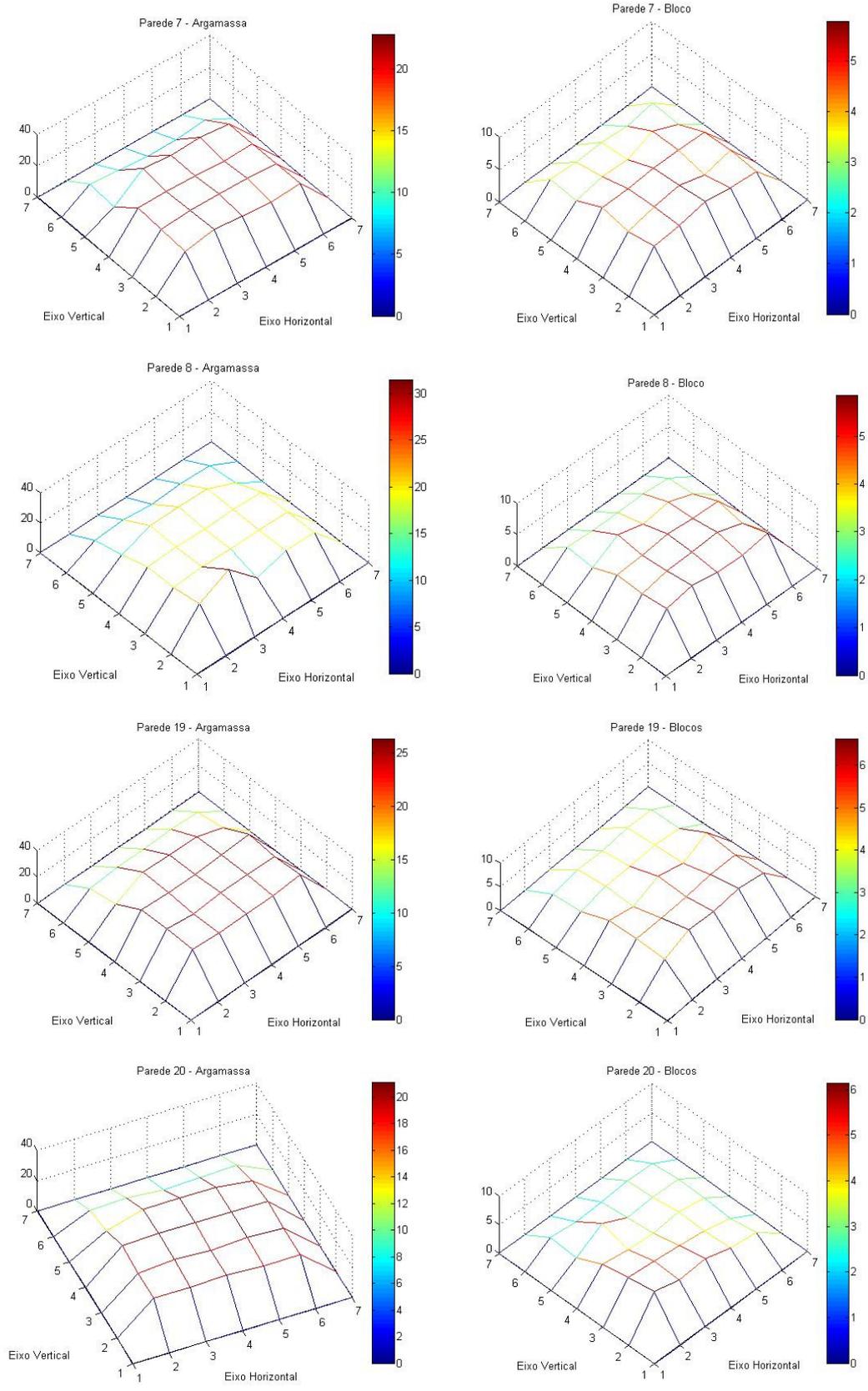
**Figura 4.63: Percentagem de umidade dos pontos extraídos das argamassas e dos blocos na fase oposta das paredes fabricadas com a argamassa 0% CZP\_D1-D2.**



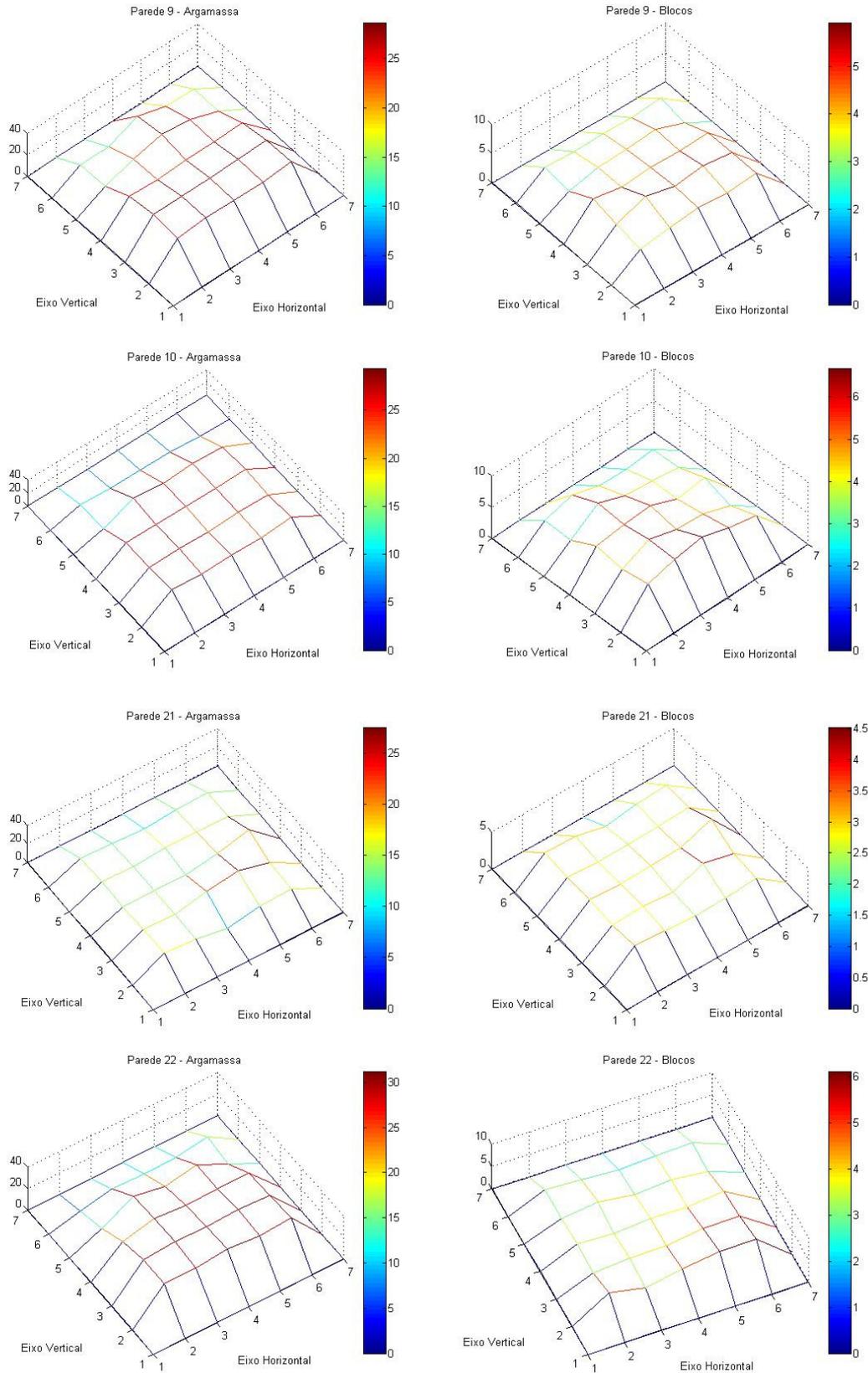
**Figura 4.64: Percentagem de umidade dos pontos extraídos das argamassas e dos blocos na fase oposta das parede fabricadas com a argamassa 0%+IA CZP\_D1-D2.**



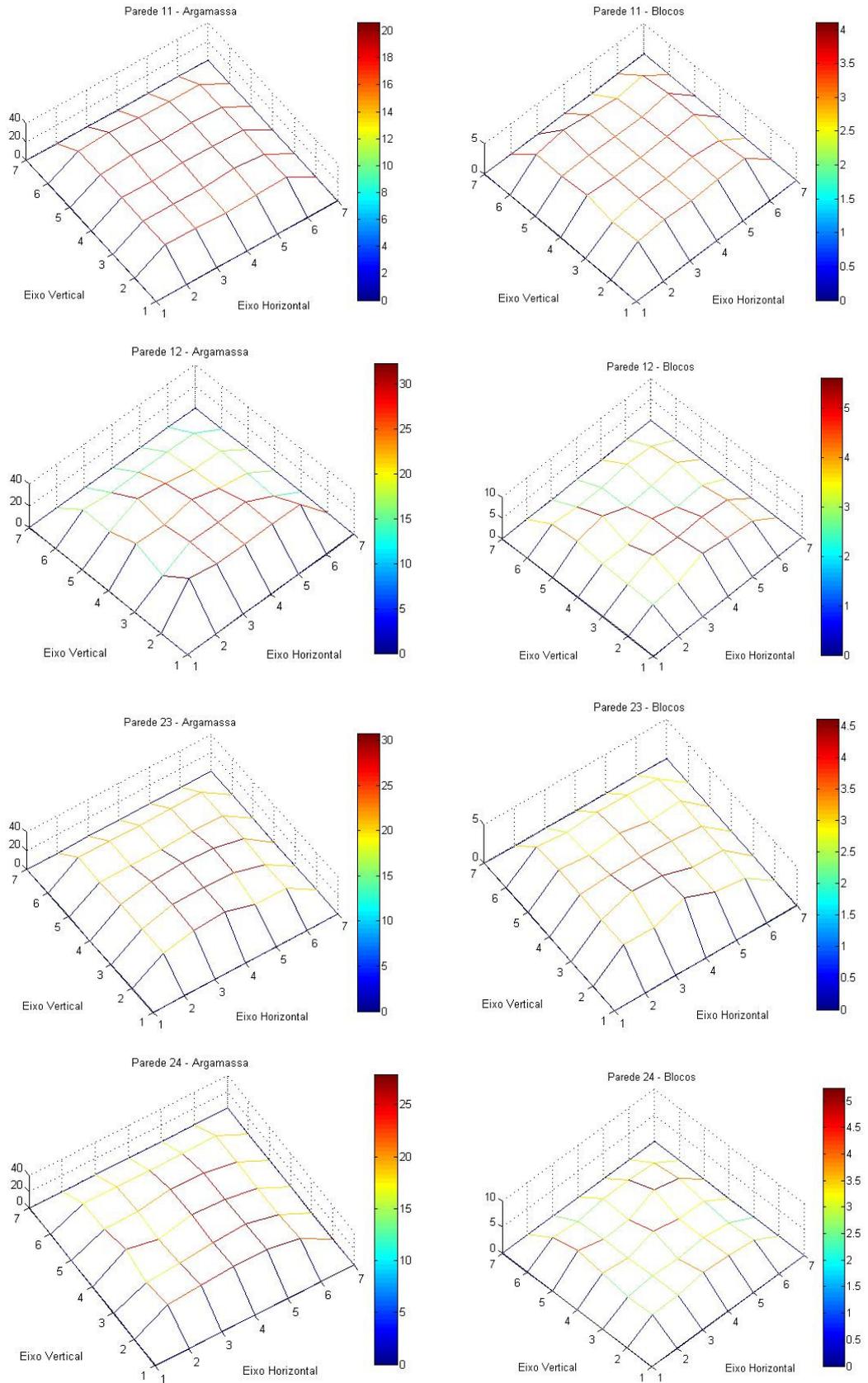
**Figura 4.65: Percentagem de umidade dos pontos extraídos das argamassas e dos blocos na fase oposta das parede fabricadas com a argamassa 50% CZP\_D1-D2.**



**Figura 4.66: Percentagem de umidade dos pontos extraídos das argamassas e dos blocos na fase oposta das parede fabricadas com a argamassa 50%+IA CZP\_D1-D2.**



**Figura 4.67: Percentagem de umidade dos pontos extraídos das argamassas e dos blocos na fase oposta das paredes fabricadas com a argamassa 100% CZP\_D1-D2.**



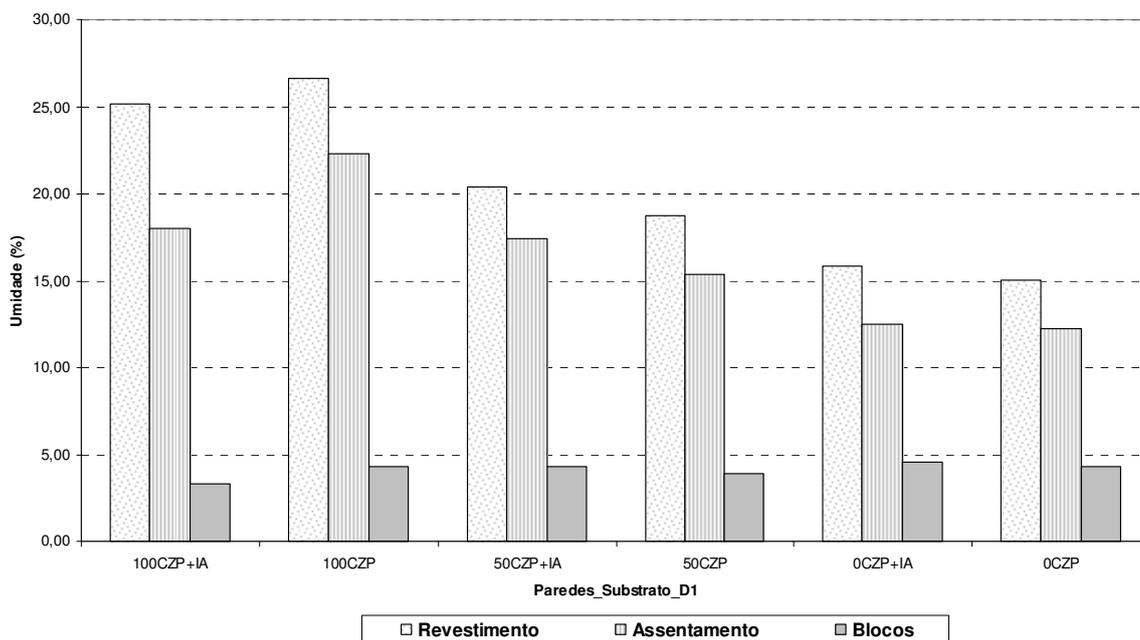
**Figura 4.68: Percentagem de umidade dos pontos extraídos das argamassas e dos blocos na fase oposta das paredes fabricadas com a argamassa 100%+IA CZP\_D1-D2.**

Pode ser visto, através das amostras extraídas que a maior umidade é apresentada a partir da segunda fila de juntas para a parte inferior da parede. Na Tabela 4.25, são apresentados os valores sintetizados da média de umidade por tipo de argamassa e substrato.

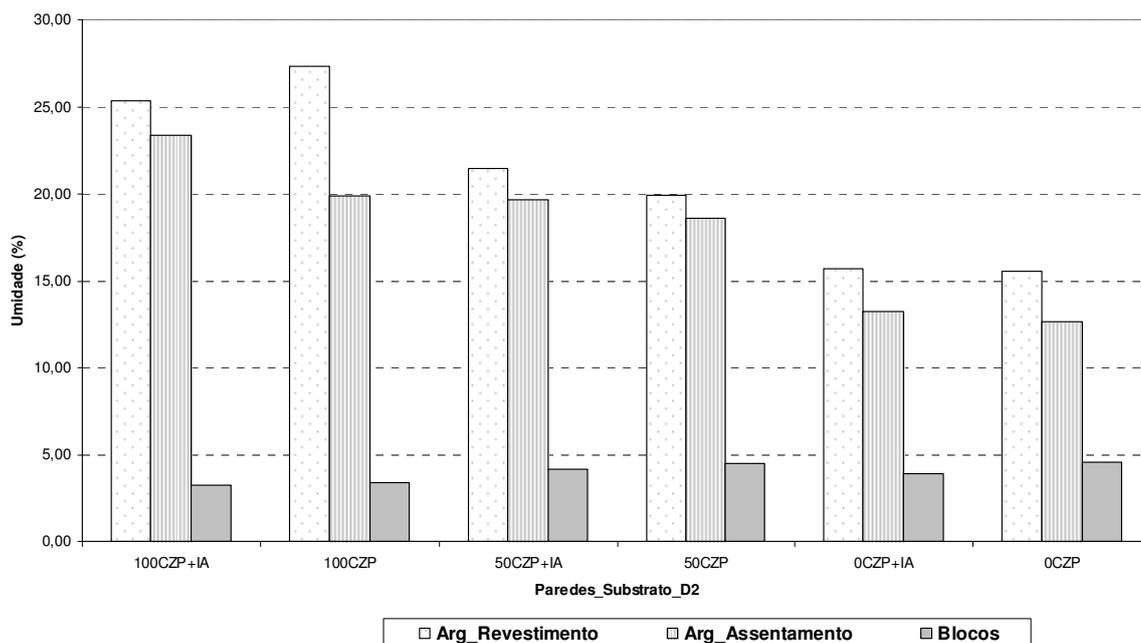
**Tabela 4.25: Conteúdo de umidade das paredes no final do ensaio.**

CONTEÚDO DE UMIDADE NAS PAREDES(%) - 25 AMOSTRAS EXTRAIDAS							
TIPO DE ARG		SUBSTRATO D1			SUBSTRATO D2		
		REVEST	ASSENT	BLOCOS	REVEST	ASSENT	BLOCOS
SEM IA	100	26,645	22,29	4,275	27,325	19,885	3,365
	50	18,725	15,39	3,88	19,94	18,625	4,49
	0	15,015	12,27	4,295	15,565	12,62	4,585
COM IA	100	25,17	17,99	3,31	25,39	23,4	3,24
	50	20,375	17,41	4,32	21,465	19,64	4,205
	0	15,825	12,545	4,54	15,67	13,265	3,9

Dos resultados obtidos, pode ser observado que, tanto nas paredes confeccionadas com o substrato D1 quanto as construídas com o substrato D2; os pontos de maior umidade são as juntas de assentamento, como pode ser conferido nas Figuras 4.69 e 4.70.

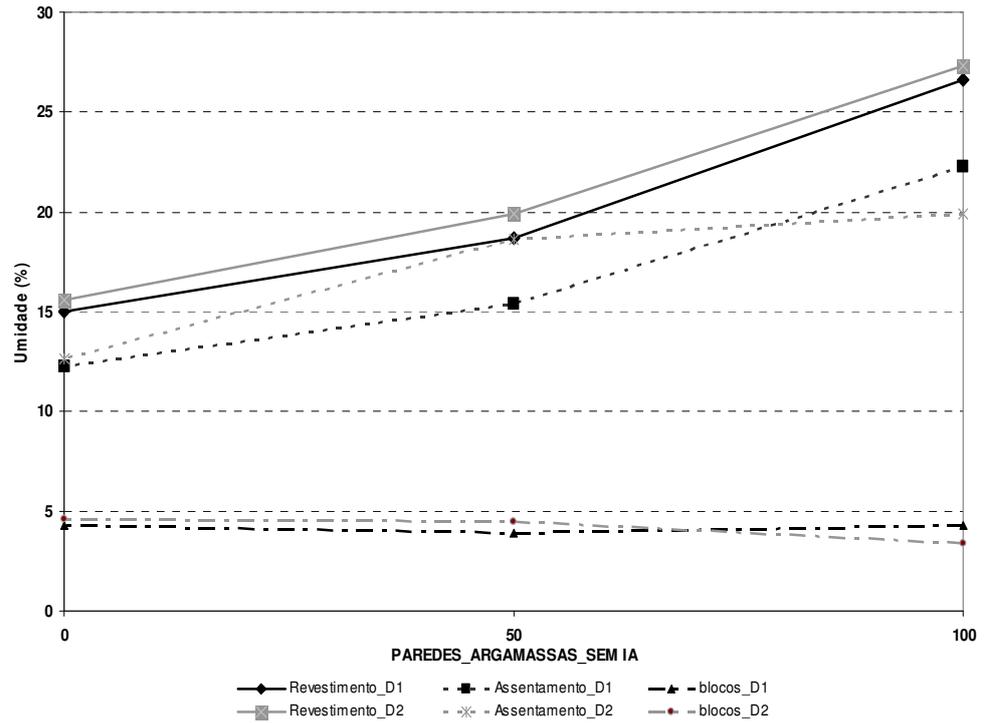


**Figura 4.69: Conteúdo de umidade das paredes fabricadas com o substrato D1 no final do ensaio.**

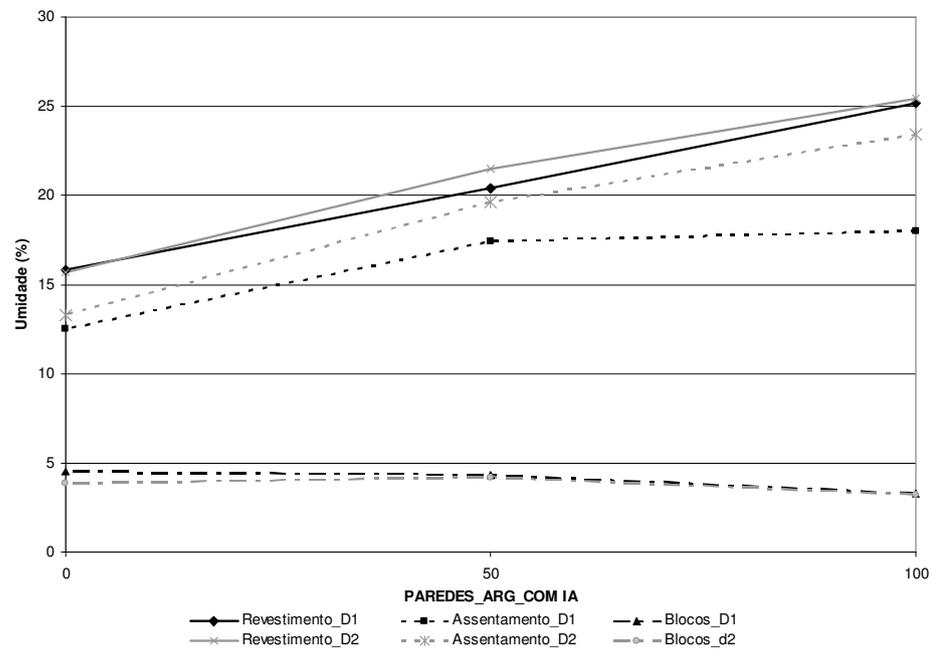


**Figura 4.70: Conteúdo de umidade das paredes fabricadas com o substrato D2 no final do ensaio.**

Pode ser conferido, através das Figuras 4.71 e 4.72, que para todas as paredes, houve um aumento da umidade absorvida à medida que aumentou a percentagem de cinza, no caso da umidade das argamassas de revestimento quanto das argamassas de assentamento. Já a umidade absorvida pelos blocos mais ou menos se manteve igual para as paredes fabricadas com 0 e 50% de cinza e diminuiu para as paredes construídas com 100 % de cinzas, exceto no caso da parede 100 CZP\_D1 que manteve a tendência de aumentar, como as argamassas.



**Figura 4.71:** Teor de umidade nas paredes nas argamassas e nos blocos em função do teor de CZP\_SEM IA



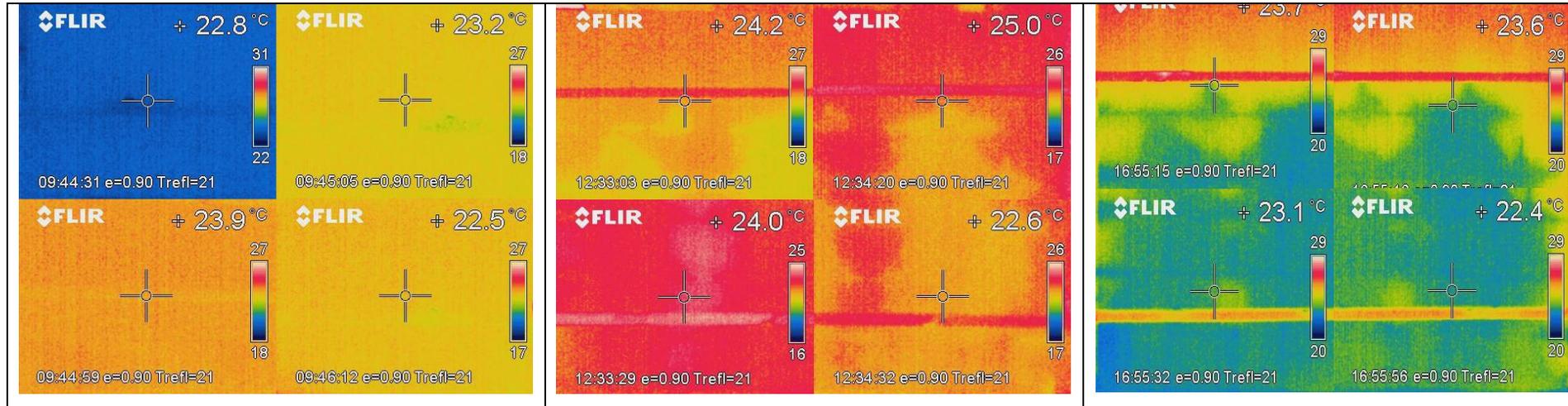
**Figura 4.72:** Teor de umidade nas paredes nas argamassas e nos blocos em função do teor de CZP\_COM IA

### **4.3.2 Resultados obtidos das imagens infravermelho**

Através das fotos obtidas da câmara de termográfica infravermelho, foi possível verificar a temperatura superficial de cada um das paredes, permitindo obter uma imagem térmica da distribuição superficial da umidade, sendo possível visualizar as variações de temperaturas em toda a extensão das paredes, indicando a presença de umidade a partir da segunda fila das paredes como verificado nas fotos digitais. A presença de umidade verificada pelas baixas temperaturas nas imagens de infravermelho se apresentam como resultado do movimento capilar da água. Devido às paredes apresentarem argamassa com valores médios de porosidade e quantidades de poros grandes que permitem a ação capilar e o movimento de água dentro do sistema de revestimento, pode ser observada a presença da umidade, principalmente na parte inferior de todas as paredes.

Nas fotos, são apresentadas as imagens obtidas para cada parede nos intervalos em horas: 0h: 00, 03h: 00 e 07h: 00. A partir de destas imagens, foi possível fazer um mapeamento das temperaturas e determinar a variação de temperatura ( $\Delta t$ ), sendo possível observar os pontos em que houve umidade pela diferença da temperatura, sabendo-se que, à medida que aumentava a umidade na parede, a temperatura diminuía. Nos pontos em que se observam valores positivos houve presença de umidade, e, nos pontos onde os valores são negativos houve aumento da temperatura, considerando-se que não há presença de umidade em relação ao instante inicial.

As imagens obtidas por termografia de infravermelho permitem observar a média de temperatura pelos quadrantes de cada parede, como mostrado nas Figuras 4.73 - 4.96, e, na Tabela 4.26, são sintetizados os resultados para cada tipo de argamassa e seus respectivos substratos.



23,3	23,7	23,8	24	24	24
23,5	23,6	23,8	24,3	24,1	24
23,5	23,7	23,6	24,2	23,9	24
23,4	23,7	23,6	23,9	23,9	23,8
23,4	23,3	23,6	23,6	23,2	23,1
23,4	23,5	23,3	23,3	23,2	22,7
23,1	23,3	23,3	23	22,7	23,3
23,3	23,3	23,2	23,6	22,9	22,7

0h:00

24,4	24,3	24,7	24,3	24,2	24,3
24,6	24	24,2	24,2	23,9	23,9
23,9	24,2	23,6	23,5	23	23,7
23,4	23,3	23,4	23,7	22,9	24,9
23,3	55	23,2	23,5	23,3	23,9
23,2	23,9	23,4	23,3	23,2	23,8
22,9	23,2	23,4	23,4	23,5	23,4
23	23,3	23,1	23,2	23,1	23,6

3h:00

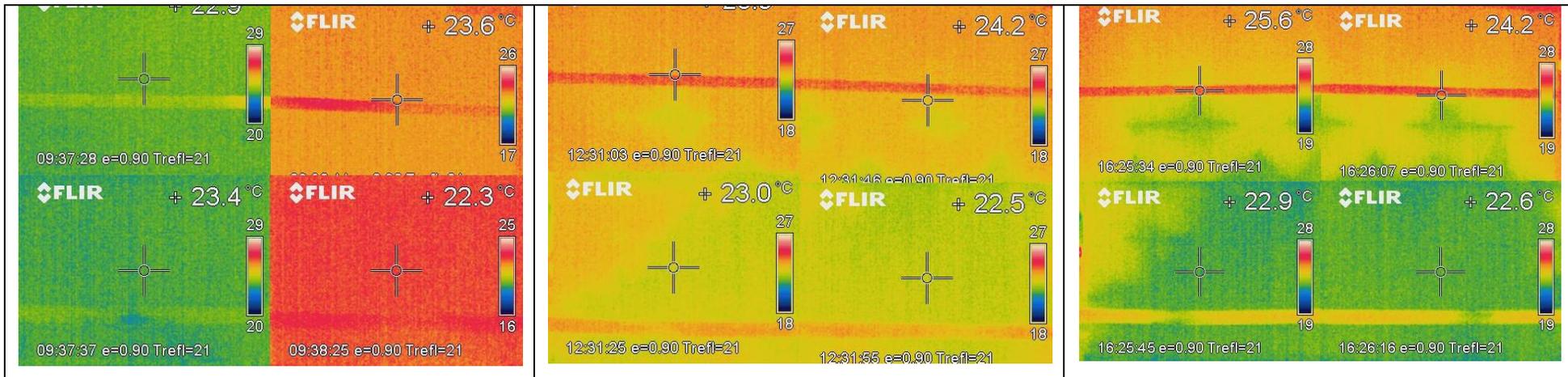
26,3	26	26,1	26,5	25,9	26,2
25,7	25,3	25,1	24,8	25,4	25,7
24,6	23,3	23,8	24,6	23,8	25,5
22,9	22,8	22,4	23,2	22,9	24,8
23	23	22,9	23	22,5	24,4
23,1	23,4	22,7	22,9	22,5	24,4
22,6	22,8	22,8	23	22,8	23,3
22,4	22,8	23,2	23,1	22,9	23,4

7h:00

-1,1	-0,6	-0,9	-0,3	-0,2	-0,3
-1,1	-0,4	-0,4	0,1	0,2	0,1
-0,4	-0,5	0	0,7	0,9	0,3
0	0,4	0,2	0,2	1	-1,1
0,1	-31,7	0,4	0,1	-0,1	-0,8
0,2	-0,4	-0,1	0	0	-1,1
0,2	0,1	-0,1	-0,4	-0,8	-0,1
0,3	0	0,1	0,4	-0,2	-0,9

-3	-2,3	-2,3	-2,5	-1,9	-2,2
-2,2	-1,7	-1,3	-0,5	-1,3	-1,7
-1,1	0,4	-0,2	-0,4	0,1	-1,5
0,5	0,9	1,2	0,7	1	-1
0,4	0,3	0,7	0,6	0,7	-1,3
0,3	0,1	0,6	0,4	0,7	-1,7
0,5	0,5	0,5	0	-0,1	0
0,9	0,5	0	0,5	0	-0,7

Figura 4.73: PAREDE 1: Imagens infravermelho, mapeamento das temperaturas e variação da temperatura



23,8	24,3	24,7	24,3	24,1	24,2
23,9	24,3	24,4	23,9	24,2	24,1
23,8	24	24,1	23,9	24,1	23,9
24,6	23,8	24,2	24	24	24,1
23,2	23,4	23,2	23,6	23,9	23,9
23,3	23,9	23,6	23,5	23,6	23,7
23,2	23,4	23,3	23,7	23,8	23,6
23,2	23,4	23,4	24	23,6	23,6

0:00

24,1	24	24,2	23,7	24,1	24,1
24	23,9	23,9	23,5	23,4	23,9
23,8	23,4	23,6	23,4	23,4	23,6
23,8	23,6	23,5	22,9	23,1	23,2
23,4	22,9	22,3	22,7	22,3	22,5
23,5	22,6	22,7	22,4	22,1	22,6
23,3	22,9	22,8	23	22,5	22,5
22,9	22,9	22,8	23	22,6	22,8

3h:00

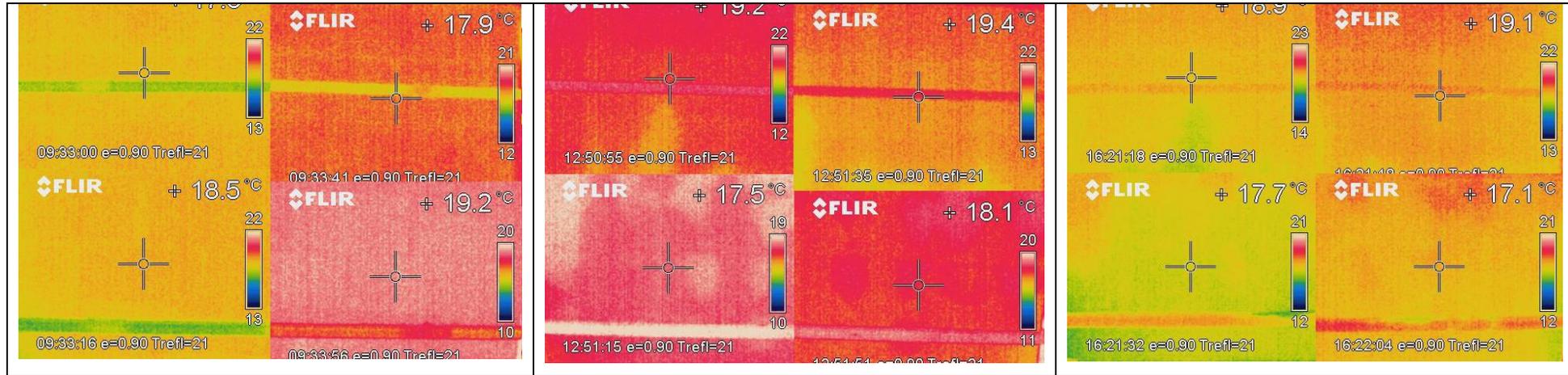
25,1	24,9	25,1	24,7	24,9	25,1
24,9	24,3	24,1	24,8	24,2	24,7
24,3	23,3	23,6	23,6	23	24,6
24,3	23,4	23,1	23,6	23	24,1
23,8	22,6	22,3	22,4	22,1	22,3
22,6	22,8	22,9	23	22,6	22,2
23	22,7	22,9	22,7	22,8	22,7
22,5	22,6	22,7	22,6	22,5	22,2

7h:00

-0,3	0,3	0,5	0,6	0	0,1
-0,1	0,4	0,5	0,4	0,8	0,2
0	0,6	0,5	0,5	0,7	0,3
0,8	0,2	0,7	1,1	0,9	0,9
-0,2	0,5	0,9	0,9	1,6	1,4
-0,2	1,3	0,9	1,1	1,5	1,1
-0,1	0,5	0,5	0,7	1,3	1,1
0,3	0,5	0,6	1	1	0,8

-1,3	-0,6	-0,4	-0,4	-0,8	-0,9
-1	0	0,3	-0,9	0	-0,6
-0,5	0,7	0,5	0,3	1,1	-0,7
0,3	0,4	1,1	0,4	1	0
-0,6	0,8	0,9	1,2	1,8	1,6
0,7	1,1	0,7	0,5	1	1,5
0,2	0,7	0,4	1	1	0,9
0,7	0,8	0,7	1,4	1,1	1,4

Figura 4.74: PAREDE 2: Imagens infravermelho, mapeamento das temperaturas e variação da temperatura



18,1	18,4	18,2	18,5	18,3	18,4
18,3	18,1	18,4	17,8	18,1	18,4
18,3	18,2	18,4	18,2	18,4	18
18,4	18,3	18,4	18,4	18,5	18,2
18,2	18,4	18,6	18,8	19	19
18,3	18,7	18,2	18,7	19	19,2
18,2	18,9	18,2	18,7	18,8	18,8
17,8	18,5	18,5	18,7	18,8	19,3

0:00

19,9	19,6	19,7	19,8	19,5	19,6
19,5	19,1	19,4	19,1	19,1	19,2
19,4	18,7	19,3	18,9	19,2	19,4
19,1	18,3	19,5	18,8	18,8	19
18,8	17,9	18,6	17,9	18,1	18,6
18,6	18,1	18,6	18,3	18	18,3
17,6	17,9	17,6	17,8	17,8	17,7
16,8	17,7	17,5	17,7	17,6	16,9

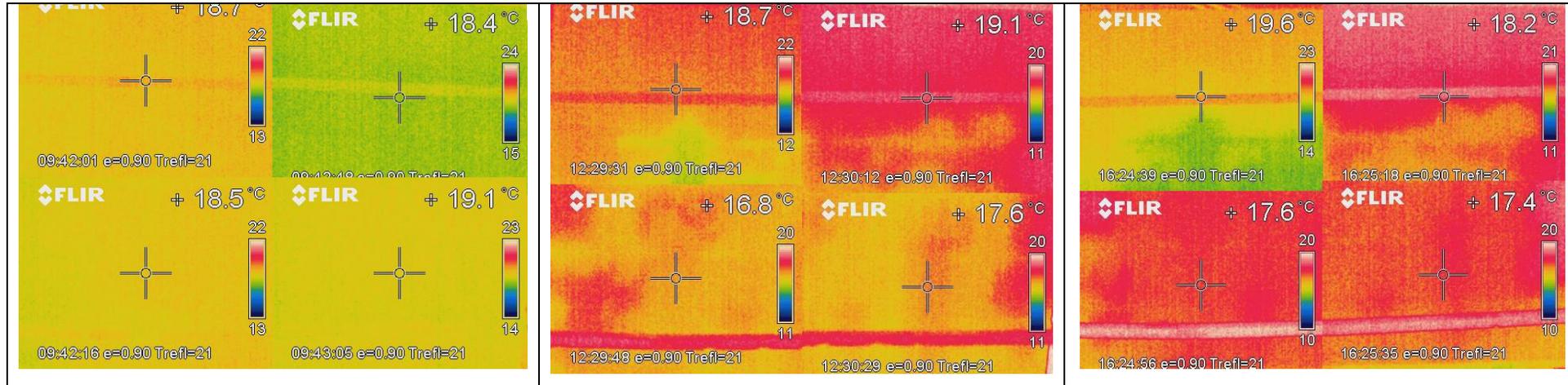
3h:00

19,5	19,1	19,6	19,4	19,7	18,6
19,6	19	19,2	19,4	18,9	18,1
19	18,4	19,4	18,9	19,1	18,5
19,1	18,1	19,2	18,7	18,5	18,2
18	17	17,4	17,9	18,2	17,4
17,4	17,1	16,9	17,3	17,7	16,9
16,4	17,3	16,6	17,2	17,2	16,7
16,5	17,3	16,6	17,5	17,5	17,1

7h:00

-1,8	-1,2	-1,5	-1,3	-1,2	-1,2
-1,2	-1	-1	-1,3	-1	-0,8
-1,1	-0,5	-0,9	-0,7	-0,8	-1,4
-0,7	0	-1,1	-0,4	-0,3	-0,8
-0,6	0,5	0	0,9	0,9	0,4
-0,3	0,6	-0,4	0,4	1	0,9
0,6	1	0,6	0,9	1	1,1
1	0,8	1	1	1,2	2,4
-1,4	-0,7	-1,4	-0,9	-1,4	-0,2
-1,3	-0,9	-0,8	-1,6	-0,8	0,3
-0,7	-0,2	-1	-0,7	-0,7	-0,5
-0,7	0,2	-0,8	-0,3	0	0
0,2	1,4	1,2	0,9	0,8	1,6
0,9	1,6	1,3	1,4	1,3	2,3
1,8	1,6	1,6	1,5	1,6	2,1
1,3	1,2	1,9	1,2	1,3	2,2

Figura 4.75: PAREDE 3: Imagens infravermelho, mapeamento das temperaturas e variação da temperatura



19,1	19	19,1	19,1	19,2	18,6
18,2	18,7	18,8	18,7	18,5	18,9
18,6	18,7	19,1	18,8	18,7	19
18,6	18,6	18,7	19,1	19	19
18,2	18,8	18,6	19,2	19,4	19,1
18,3	18,3	18,4	19,1	19,8	19,2
17,8	18,4	18,9	19	19,1	19,2
18,1	18,5	18,6	19,3	19,1	19,3

0:00

18,9	19,1	20	19,1	19	19,1
18,7	18,8	19,1	18,7	18,7	18,9
18,8	18,6	18,8	18,7	18,2	18,7
18,7	17,1	18	17,6	17,4	19,3
17,8	16,9	16,8	17,6	17	18,4
16,5	16,9	16,1	17,1	17,9	18,4
17,2	16,7	16,6	17,1	17,5	18
17,1	16,5	16,5	16,6	17,4	17,1

3h:00

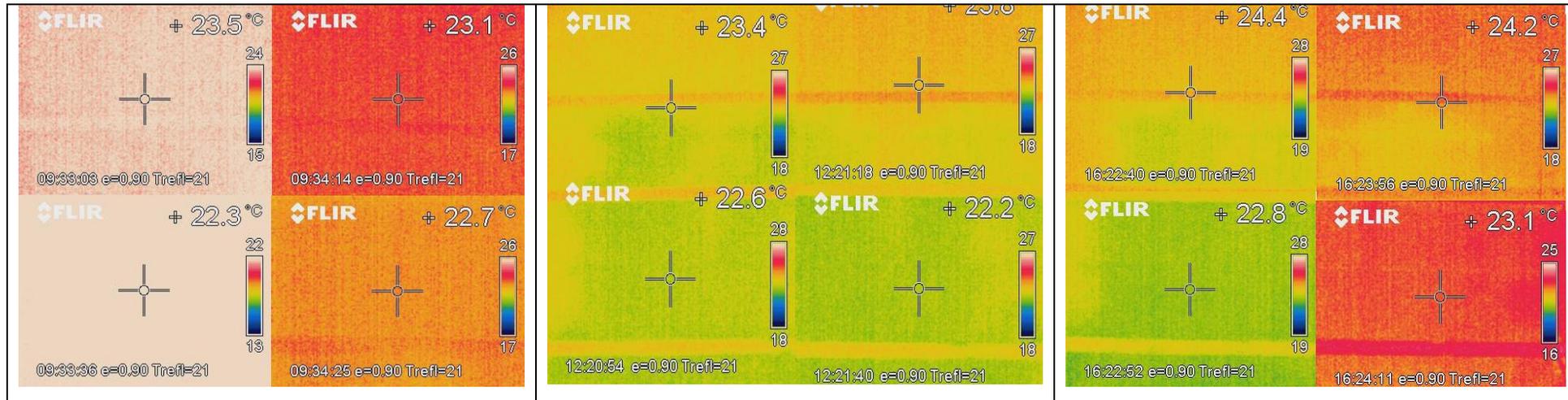
19,6	16,3	19,6	19,4	19,2	19,6
18,9	19,1	19	18,9	18,9	18,9
19	17,9	18,5	18,7	18,2	19
18,6	17,8	17,5	17,9	17,1	18,6
18,3	17,7	17,7	17,4	17,1	18,1
17	17,6	17,7	17,3	17,4	18,3
17,5	17,4	17,8	17,1	17,3	17,2
16,8	17,6	17,4	17,1	17	16,1

7h:00

0,2	-0,1	-0,9	0	0,2	-0,5
-0,5	-0,1	-0,3	0	-0,2	0
-0,2	0,1	0,3	0,1	0,5	0,3
-0,1	1,5	0,7	1,5	1,6	-0,3
0,4	1,9	1,8	1,6	2,4	0,7
1,8	1,4	2,3	2	1,9	0,8
0,6	1,7	2,3	1,9	1,6	1,2
1	2	2,1	2,7	1,7	2,2

-0,5	2,7	-0,5	-0,3	0	-1
-0,7	-0,4	-0,2	-0,2	-0,4	0
-0,4	0,8	0,6	0,1	0,5	0
0	0,8	1,2	1,2	1,9	0,4
-0,1	1,1	0,9	1,8	2,3	1
1,3	0,7	0,7	1,8	2,4	0,9
0,3	1	1,1	1,9	1,8	2
1,3	0,9	1,2	2,2	2,1	3,2

Figura 4.76: PAREDE 4: Imagens infravermelho, mapeamento das temperaturas e variação da temperatura



23,7	23,4	23,5	23,4	23,8	23,5
23,8	23,8	24,1	23,5	23,7	23,4
23,7	23,9	23,7	23,5	23	23,5
23,8	23,9	23,4	23,1	23,2	23,5
22,8	22,6	23,7	23	22,8	23
22,4	22,7	23,6	23,3	23	23
22,2	22,8	22,6	23,1	22,9	22,6
22,4	22,8	22,6	22,8	23	23

0:00

23,7	23,9	23,6	23,8	23,9	24
23,8	23,4	23,7	23,4	23,7	23,4
23,3	23	22,7	23,2	23,4	23,2
23,4	23,1	22,8	22,9	23,2	23,2
23,3	22,9	22,9	22,5	22,7	22,6
23,5	22,7	22,9	22,3	22,5	22,8
23,3	23	23,2	22,4	22,6	22,8
22,7	22,7	22,3	22,2	22,4	22,5

3h:00

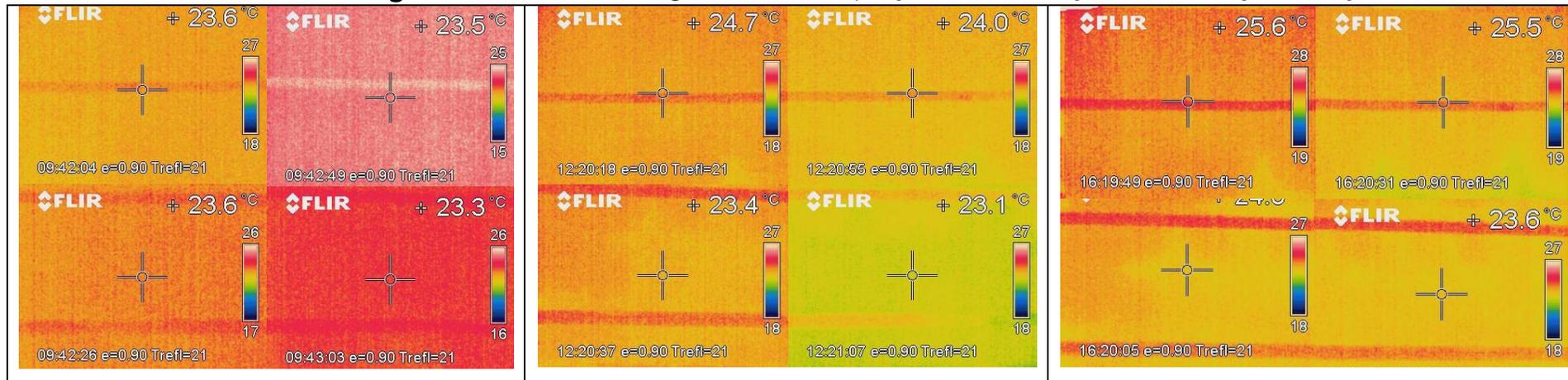
24,8	24,3	24,3	24,2	24,2	24,3
24,2	24,5	24,4	23,7	23,9	24,1
24,7	23,5	23,7	23,6	23,5	23,9
23,6	23,6	23,5	23,1	23,2	24,3
24	22,7	23,4	22,7	22,7	22,6
23,6	23	23,3	22,7	22,7	23,2
23,4	22,8	23	22,4	22,8	23
23,2	22,7	22,8	22,4	22,6	22,9

7h:00

0	-0,5	-0,1	-0,4	-0,1	-0,5
0	0,4	0,4	0,1	0	0
0,4	0,9	1	0,3	-0,4	0,3
0,4	0,8	0,6	0,2	0	0,3
-0,5	-0,3	0,8	0,5	0,1	0,4
-1,1	0	0,7	1	0,5	0,2
-1,1	-0,2	-0,6	0,7	0,3	-0,2
-0,3	0,1	0,3	0,6	0,6	0,5

-1,1	-0,9	-0,8	-0,8	-0,4	-0,8
-0,4	-0,7	-0,3	-0,2	-0,2	-0,7
-1	0,4	0	-0,1	-0,5	-0,4
0,2	0,3	-0,1	0	0	-0,8
-1,2	-0,1	0,3	0,3	0,1	0,4
-1,2	-0,3	0,3	0,6	0,3	-0,2
-1,2	0	-0,4	0,7	0,1	-0,4
-0,8	0,1	-0,2	0,4	0,4	0,1

**Figura 4.77: PAREDE 5: Imagens infravermelho, mapeamento das temperaturas e variação da temperatura**



23,3	23,5	23,8	24,2	23,8	24	24,6	24,5	24,5	23,9	24,2	24,1	25,6	25,4	25,4	24,7	25	24,7
23,1	23,3	23,5	23,8	24,1	23,9	24	24,2	24,5	23,9	23,9	23,9	25,7	25,4	25,1	24,6	24,4	24,6
23,1	23,3	23,3	23,8	23,9	24,1	23,9	24,2	24,1	23,8	23,7	23,7	25,3	24,8	25	24,3	24,4	24,3
23,2	23,4	25	23,9	24,4	23,7	24,2	24,1	24,1	23,3	23,5	23,2	25,2	25	24,9	24,3	24,2	24,2
23,4	23,3	24,9	23,2	23,9	23,3	24,5	23,8	24	22,7	23	22,9	24,2	23,6	23,1	23,7	23,8	23,7
22,8	23,1	24,5	23,8	23,7	23,3	24,5	23,8	24	22,7	23	22,9	24,2	23,4	23,4	23,7	23,6	23,5
22,8	23,7	24	23,9	23,8	23,3	24	23,8	24	23,2	23,2	22,8	23,6	23,6	24	23,8	23,7	23,4
23	23,6	24,2	23,7	24	23,3	24	23,6	24,1	23	22,9	23	23,2	23,5	23,7	23,5	23,9	23,3

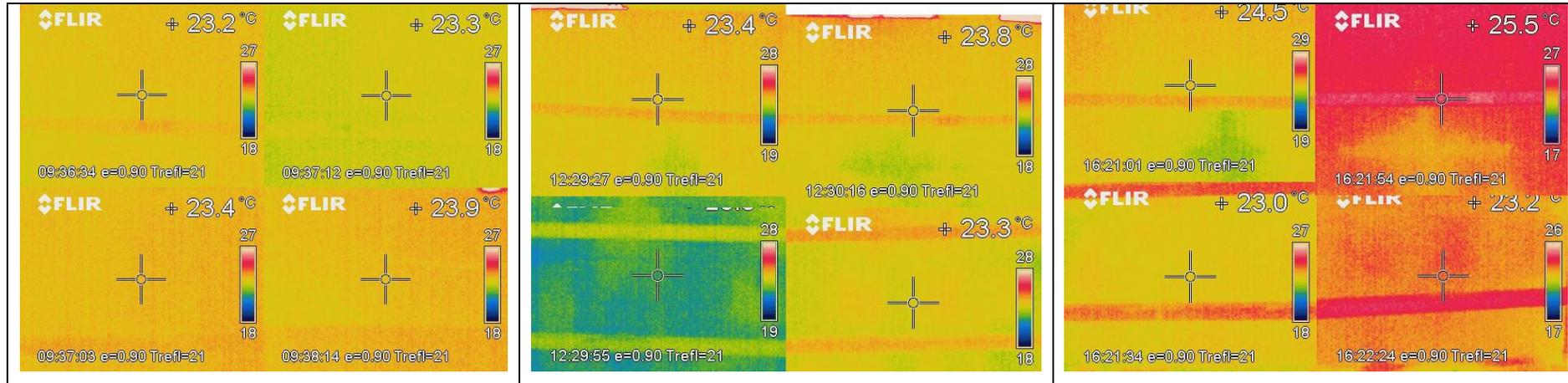
0:00

3h:00

7h:00

-1,3	-1	-0,7	0,3	-0,4	-0,1	-2,3	-1,9	-1,6	-0,5	-1,2	-0,7
-0,9	-0,9	-1	-0,1	0,2	0	-2,6	-2,1	-1,6	-0,8	-0,3	-0,7
-0,8	-0,9	-0,8	0	0,2	0,4	-2,2	-1,5	-1,7	-0,5	-0,5	-0,2
-1	-0,7	0,9	0,6	0,9	0,5	-2	-1,6	0,1	-0,4	0,2	-0,5
-1,1	-0,5	0,9	0,5	0,9	0,4	-0,8	-0,3	1,8	-0,5	0,1	-0,4
-1,7	-0,7	0,5	1,1	0,7	0,4	-1,4	-0,3	1,1	0,1	0,1	-0,2
-1,2	-0,1	0	0,7	0,6	0,5	-0,8	0,1	0	0,1	0,1	-0,1
-1	0	0,1	0,7	1,1	0,3	-0,2	0,1	0,5	0,2	0,1	0

**Figura 4.78: PAREDE 6: Imagens infravermelho, mapeamento das temperaturas e variação da temperatura**



23,2	23,7	23,3	23,2	23,8	23,6
22,9	23,3	23,5	23,3	23,5	23,4
23,1	23	23,2	23,2	23,4	23,4
23	22,9	23,3	23,4	23,3	23,4
23,2	23,8	23,8	22,8	23,4	23,5
23,5	24	24,1	23,7	23,6	23,3
23,7	24	23,4	23,3	23,3	23,3
23,7	23,7	24,1	23,1	23,2	23,3

23,7	24,3	24,2	24,1	24,2	24
23,8	23,9	23,9	23,7	23,9	23,2
23,4	23,9	23,9	23,6	23,3	23,4
23,4	23,4	23,8	23,6	23,1	23,5
24	23,8	24	22,4	23,1	22,3
23,8	23,5	23,9	22,9	23,3	23,3
23,4	23,2	24	23	22,7	22,9
21,8	22	22,2	23,5	23,3	23,2

25,6	25,1	25,4	24,6	25,1	25,1
24,8	24,4	24,7	24,7	24,5	24,5
25,2	24,4	24,5	24	23,8	24,4
24,9	24,3	24,4	24,2	23,2	24,3
23,8	23,5	23,4	23	23,5	22,7
23,4	23,3	23,2	23,1	23,5	23
23,2	23,3	22,6	23,4	23,4	22,4
22,4	23,1	22,8	23,1	23	22,4

0:00

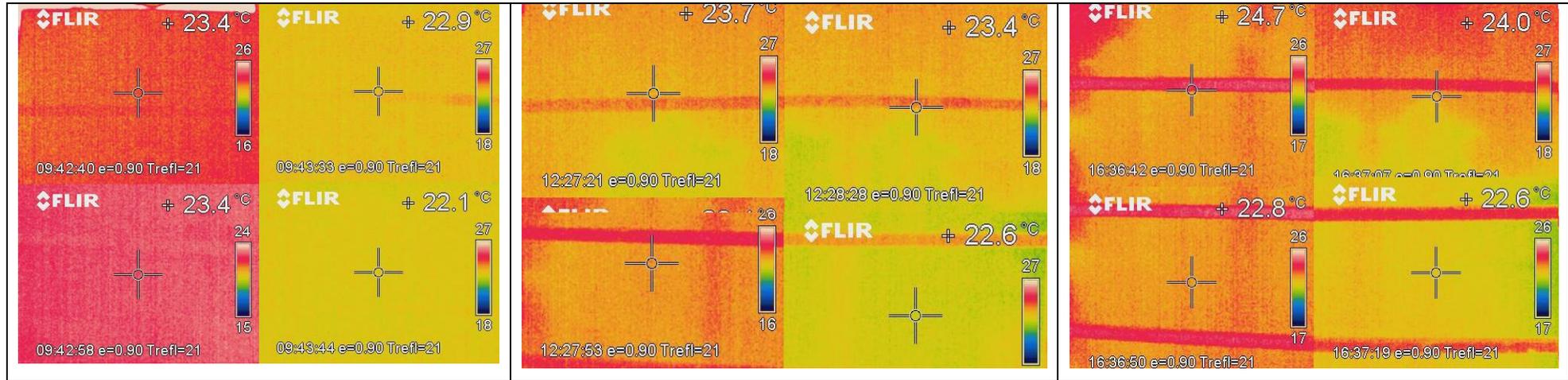
3h:00

7h:00

-0,5	-0,6	-0,9	-0,9	-0,4	-0,4
-0,9	-0,6	-0,4	-0,4	-0,4	0,2
-0,3	-0,9	-0,7	-0,4	0,1	0
-0,4	-0,5	-0,5	-0,2	0,2	-0,1
-0,8	0	-0,2	0,4	0,3	1,2
-0,3	0,5	0,2	0,8	0,3	0
0,3	0,8	-0,6	0,3	0,6	0,4
1,9	1,7	1,9	-0,4	-0,1	0,1

-2,4	-1,4	-2,1	-1,4	-1,3	-1,5
-1,9	-1,1	-1,2	-1,4	-1	-1,1
-2,1	-1,4	-1,3	-0,8	-0,4	-1
-1,9	-1,4	-1,1	-0,8	0,1	-0,9
-0,6	0,3	0,4	-0,2	-0,1	0,8
0,1	0,7	0,9	0,6	0,1	0,3
0,5	0,7	0,8	-0,1	-0,1	0,9
1,3	0,6	1,3	0	0,2	0,9

Figura 4.79: PAREDE 7: Imagens infravermelho, mapeamento das temperaturas e variação da temperatura



23,7	23,5	23,2	22,8	22,9	22,9	24	23,7	23,9	23,9	23,7	23,8	24,3	23,9	24,7	24,5	25	24,7
23,1	23,2	23,3	22,9	23,1	23,5	23,5	23,4	23,8	23,6	23,6	24	24,3	23,7	24,3	24,4	24,2	24,1
23	23,4	23,4	22,8	23,1	22,8	23,6	23,5	23,7	23	23	23,6	24,4	22,9	24,3	24,2	23,6	24,2
23,4	23,9	23,6	22,9	23	22,8	23,9	22,8	23,5	22,7	23	22,7	24,1	22,4	22,8	23,2	22,9	22,9
23	23,4	23,4	22,5	22,3	22,5	22,4	22,9	22,8	22,4	22,6	22,6	23,6	23	22,9	22,5	22,8	21,9
22,9	23,1	23,2	22,7	22,6	22,7	22,3	22,5	22,3	22,6	22,6	22,5	22,8	23,1	23,1	22,7	22,3	21,7
22,9	23,2	23,3	22,7	22,5	22,9	23	22,6	22,7	22,9	22,6	22,8	23,4	23,3	23,3	23	22,8	22,1
22,4	23,2	23,2	22,8	22,6	22,8	22,6	22,9	22,6	22,6	22,9	23,1	23,2	23,2	23,1	22,7	22,6	21,9

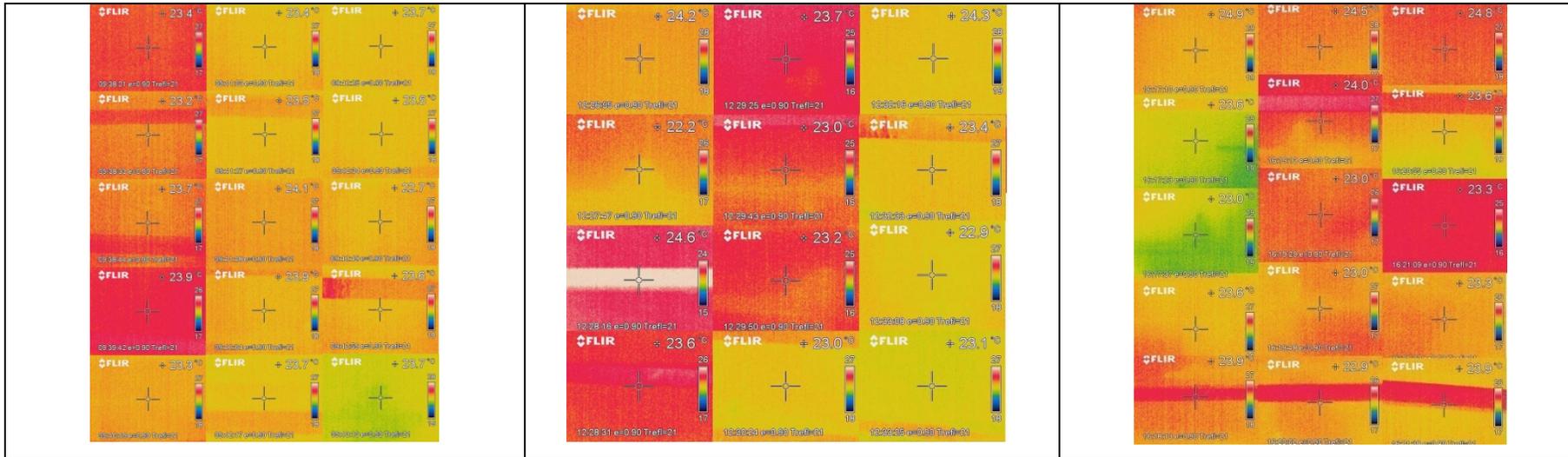
0:00

3h:00

7h:00

-0,3	-0,2	-0,7	-1,1	-0,8	-0,9	-0,6	-0,4	-1,5	-1,7	-2,1	-1,8
-0,4	-0,2	-0,5	-0,7	-0,5	-0,5	-1,2	-0,5	-1	-1,5	-1,1	-0,6
-0,6	-0,1	-0,3	-0,2	0,1	-0,8	-1,4	0,5	-0,9	-1,4	-0,5	-1,4
-0,5	1,1	0,1	0,2	0	0,1	-0,7	1,5	0,8	-0,3	0,1	-0,1
0,6	0,5	0,6	0,1	-0,3	-0,1	-0,6	0,4	0,5	0	-0,5	0,6
0,6	0,6	0,9	0,1	0	0,2	0,1	0	0,1	0	0,3	1
-0,1	0,6	0,6	-0,2	-0,1	0,1	-0,5	-0,1	0	-0,3	-0,3	0,8
-0,2	0,3	0,6	0,2	-0,3	-0,3	-0,8	0	0,1	0,1	0	0,9

Figura 4.80: PAREDE 8: Imagens infravermelho, mapeamento das temperaturas e variação da temperatura



24,4	24	24	24	24	24,3
24,1	24,1	24,3	24,3	24,2	24,5
23,6	23,7	23,8	23,6	23,6	24
24,2	23,8	23,8	23,9	24	24,1
23,3	23,9	24	23,9	23,4	24,2
23,8	23,6	24,2	24,2	23,9	24,6
24,1	23,7	24,2	23,8	23,5	24
24	24,3	24,1	23,8	23,6	24,1

0:00

23,2	23,1	23	24	24,2	24,1
23,2	23	23,1	23,7	23,8	23,8
23,4	23,2	22,7	23,3	23,9	23,1
23,4	22,9	23,1	23,2	23,1	23,1
23,7	23,9	23,8	23,8	23,3	23,6
23,3	23,9	23,2	23	23,3	23,5
23,3	23,8	23,3	23,2	23,4	23
23,4	23,6	23,6	23,5	23,2	23,1

3h:00

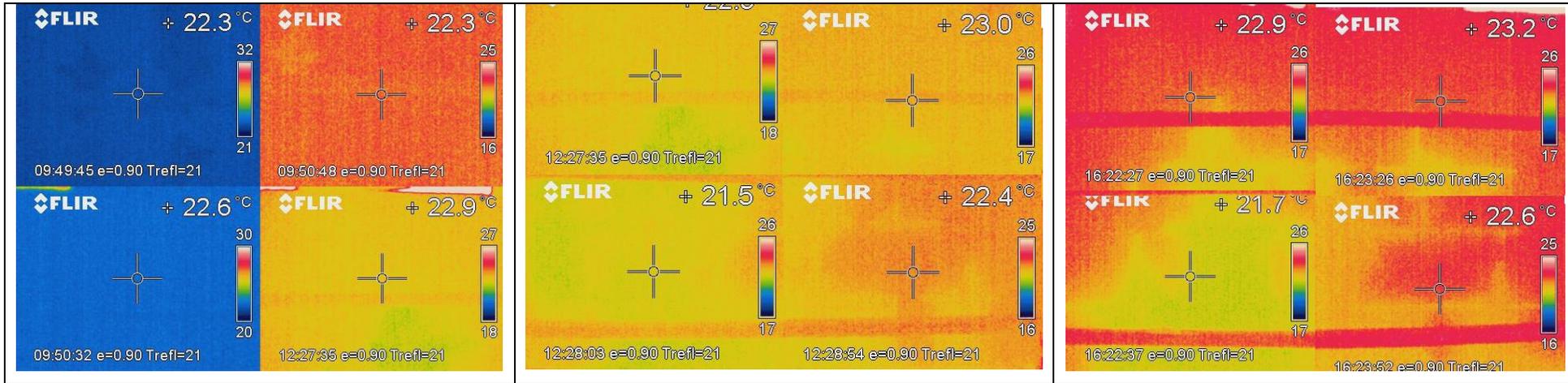
26	25,4	25,3	24,1	23,5	23,5
25,1	24,9	25	24,2	23,6	23,6
24,1	24,3	23,6	23,9	23,6	23,2
23,9	23,7	23,2	23,4	23,6	23,4
24,9	24,4	23,7	24	24,3	23,9
23,8	23,4	23,5	23,7	23,5	23,5
23,2	23,1	23,1	23,9	23,2	23,3
24,1	23,7	23,4	23,4	23,6	23,1

7h:00

1,2	0,9	1	0	-0,2	0,2
0,9	1,1	1,2	0,6	0,4	0,7
0,2	0,5	1,1	0,3	-0,3	0,9
0,8	0,9	0,7	0,7	0,9	1
-0,4	0	0,2	0,1	0,1	0,6
0,5	-0,3	1	1,2	0,6	1,1
0,8	-0,1	0,9	0,6	0,1	1
0,6	0,7	0,5	0,3	0,4	1

-1,6	-1,4	-1,3	-0,1	0,5	0,8
-1	-0,8	-0,7	0,1	0,6	0,9
-0,5	-0,6	0,2	-0,3	0	0,8
0,3	0,1	0,6	0,5	0,4	0,7
-1,6	-0,5	0,3	-0,1	-0,9	0,3
0	0,2	0,7	0,5	0,4	1,1
0,9	0,6	1,1	-0,1	0,3	0,7
-0,1	0,6	0,7	0,4	0	1

Figura 4.81: PAREDE 9: Imagens infravermelho, mapeamento das temperaturas e variação da temperatura



23	22,8	23	23,5	23,1	23,7
22,9	22,9	22,7	23,5	22,7	23,1
22,5	22,9	22,7	23,4	23,1	23
22,9	22,5	22,8	23,5	22,4	23,3
22,5	22,5	22,3	22,2	22,3	22,4
22,5	22,3	22,3	22,4	22,3	22,4
22,2	22,6	22,3	22,7	22,5	22,2
22,5	22,5	22,3	22,3	22,5	22,1

22,4	21,9	22,1	22,3	22,5	22,5
21,6	21,8	22	21,8	22,5	22,1
21,6	21,3	21,7	21,8	22,5	22,4
21,5	21,5	21,8	21,4	22	22,6
21,7	21,8	22,3	21,3	22,6	22,3
22,3	21,4	21,7	21,3	22,2	22,4
22,2	21,8	21,8	21,1	22,3	21,9
21,8	21,7	21,7	21,6	21,6	21,6

24	23,6	23,8	23,3	23,7	24,2
23,9	23,2	23,3	23,3	23,3	23,7
23,8	22,2	23,2	22,9	23,1	23,7
23,8	22,1	22,1	22,4	22,4	23,4
23,4	21,8	23,1	23	22,9	23,4
23,5	21,8	22,2	22	22,6	23
22,1	21,6	21,8	21,8	22,5	23,1
22,8	21,8	22,2	22,1	22	23

0:00

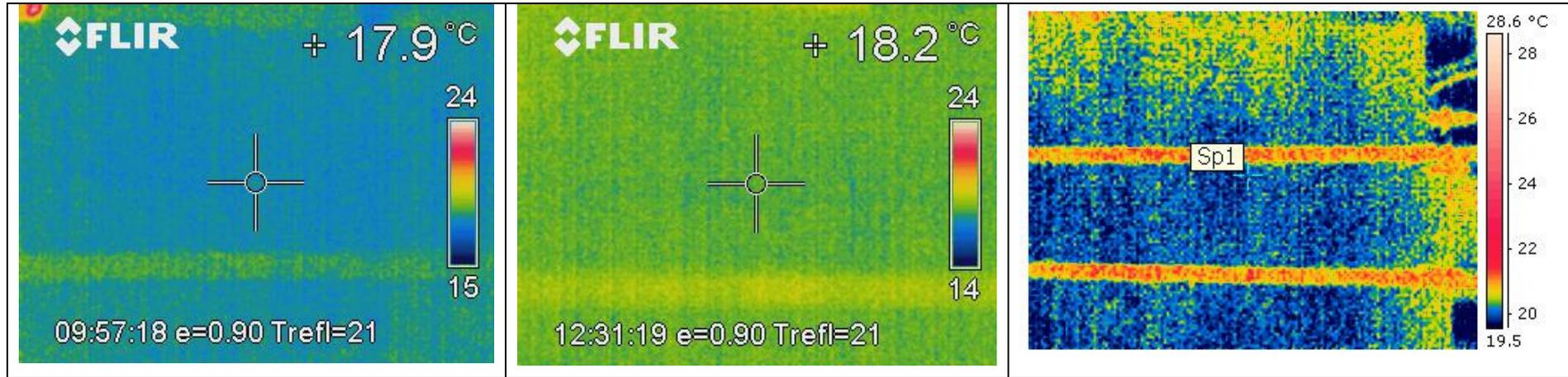
3h:00

7h:00

0,6	0,9	0,9	-0,1	-0,2	-0,1
1,3	1,1	0,7	0,6	-0,2	0,3
0,9	1,6	1	0,9	0	-0,2
1,4	1	1	0,9	0,5	-0,5
0,8	0,7	0	2,2	0,5	1,4
0,2	0,9	0,6	2,2	0,5	0,7
0	0,8	0,5	2,3	0,8	1,1
0,7	0,8	0,6	1,9	0,8	1,7

0,6	0,9	0,9	-0,1	-0,2	-0,1
1,3	1,1	0,7	0,6	-0,2	0,3
0,9	1,6	1	0,9	0	-0,2
1,4	1	1	0,9	0,5	-0,5
0,8	0,7	0	2,2	0,5	1,4
0,2	0,9	0,6	2,2	0,5	0,7
0	0,8	0,5	2,3	0,8	1,1
0,7	0,8	0,6	1,9	0,8	1,7

Figura 4.82: PAREDE 10: Imagens infravermelho, mapeamento das temperaturas e variação da temperatura



18,2	18,6	18,3	18,3	18,7	18,4
18,2	18,3	18,5	18,2	18,3	18,2
18,3	18,2	18	18,5	18,2	18,3
18,2	18,3	18,1	18,5	18	18,5
18,4	18,7	18,3	17,9	18,2	18,1
18,3	18,4	18,4	17,9	17,9	18
18	18	17,9	17,9	17,9	18
17,7	18	17,8	17,2	17,7	18

0:00

18,3	17,7	18,2	17,9	17,5	17,7
18	17,8	18,2	17,2	17,9	17,6
17,5	17,9	17,8	17,5	17,4	17,6
17,6	17,5	17,8	17,5	17,6	17,5
17,8	17,8	17,9	17,5	17,8	17,3
17,7	17,6	17,9	17,4	17,6	17,3
17,9	17,6	18,1	17,1	17,3	17,4
17,5	17,8	17,9	17,5	17,5	17,6

3h:00

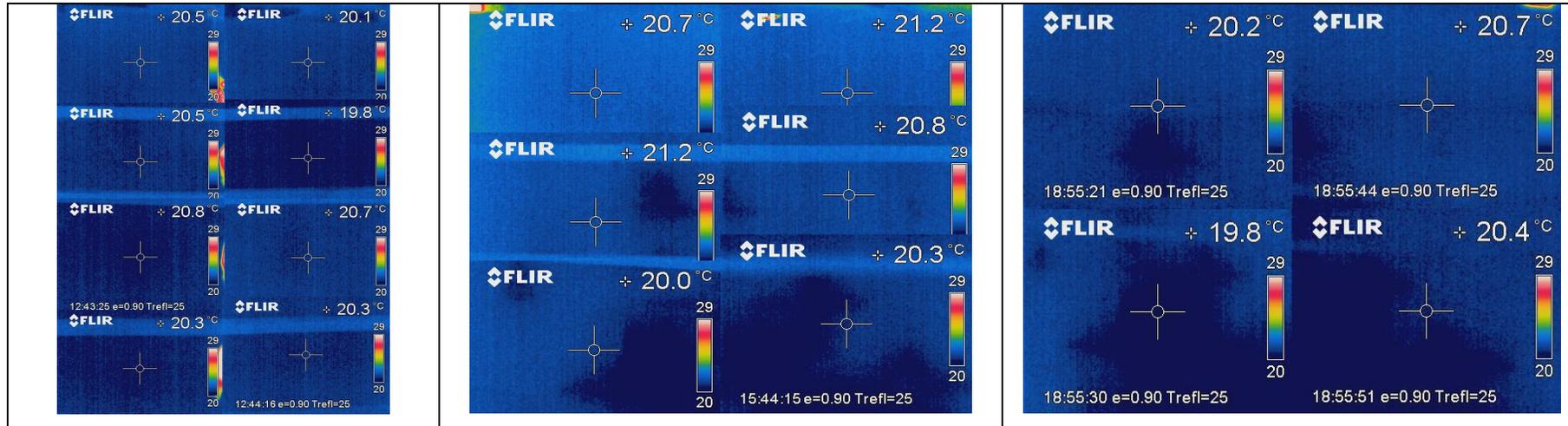
20,6	20,5	20,4	20,5	20,5	20,6
20,6	20,5	20,4	20,5	20,5	20,6
19,8	19,7	19,6	19,9	19,8	20,1
19,7	19,6	19,5	19,9	19,7	20
19,9	19,6	19,5	20,2	20,1	20,3
19,8	19,6	19,5	20,2	20,1	20,3
19,9	19,7	15,6	20,3	20,2	20,4
20,1	20,1	20,2	20,3	20,3	20,3

7h:00

-0,1	0,9	0,1	0,4	1,2	0,7
0,7	0,4	0,7	0,7	0,9	0,6
0,7	0,7	0,2	1	0,6	0,8
0,4	0,5	0,2	1	0,2	1,2
0,7	1,1	0,4	0,5	0,6	0,8
0,4	0,8	0,3	0,8	0,6	0,6
0,5	0,2	0	0,4	0,4	0,4
17,7	18	17,8	17,2	17,7	18

-2,4	-1,9	-2,1	-2,2	-1,8	-2,2
-2,4	-2,2	-1,9	-2,3	-2,2	-2,4
-1,5	-1,5	-1,6	-1,4	-1,6	-1,8
-1,5	-1,3	-1,4	-1,4	-1,7	-1,5
-1,5	-0,9	-1,2	-2,3	-1,9	-2,2
-1,5	-1,2	-1,1	-2,3	-2,2	-2,3
-1,9	-1,7	2,3	-2,4	-2,3	-2,4
-2,4	-2,1	-2,4	-3,1	-2,6	-2,3

Figura 4.83: PAREDE 11: Imagens infravermelho, mapeamento das temperaturas e variação da temperatura



19,9	19,8	19,9	19,9	20,1	20,6
19,7	19,9	19,9	19,8	19,8	20,5
19,8	19,7	20,3	20,4	20,3	20,7
20,6	20	20,5	20,2	20,2	20,5
20,8	20,2	20,6	19,9	20,1	20,3
20,5	20,2	20,6	20,4	20,7	20,9
19,6	19	20	20,6	20,5	20,6
19,8	19,2	19,8	20,9	21,2	20,8

0:00

22,1	21,4	21,8	21,8	22	21,9
21,6	20,9	21	21,2	21,3	21,8
20,1	19,9	20,7	20,8	21,3	21,4
20,7	19,6	21,2	20,8	21,2	21,4
20,7	19,4	20	20,8	21,3	21,6
20,5	20,1	20,5	20,5	21,3	21,1
20,3	19,1	20,5	19,5	20	21,5
20,5	19,3	19,8	19,8	19,9	21,5

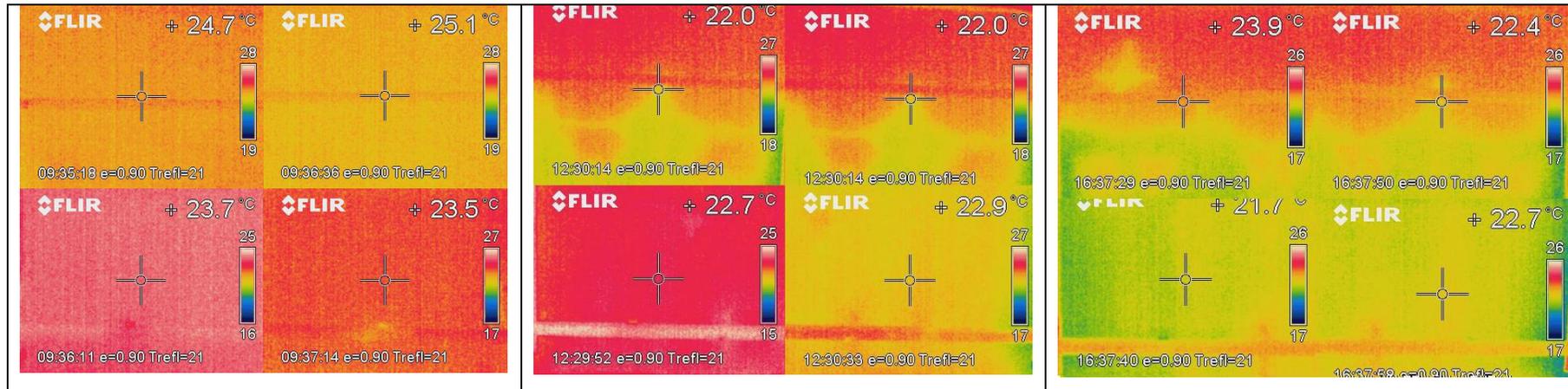
3h:00

21,2	21	21,1	20,9	20,7	21,1
20,7	21	20,9	20,6	20,5	20,8
20,6	19,6	20,6	19,9	20,4	20,2
20,1	20	20,5	20	20,6	20,6
21	20,7	21	19,7	20,6	20,6
20,8	19,5	20	19,4	20,3	20,6
20,7	19,6	20,2	19,5	19,5	21
20,9	19,5	19,6	20,6	19,5	19,6

7h:00

-2,2	-1,6	-1,9	-1,9	-1,9	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1	-0,6	-0,5
-1,9	-1	-1,1	-1,4	-1,5	-1,3	-1	-1,1	-1	-0,8	-0,7	-0,3
-0,3	-0,2	-0,4	-0,4	-1	-0,7	-0,8	0,1	-0,3	0,5	-0,1	0,5
-0,1	0,4	-0,7	-0,6	-1	-0,9	0,5	0	0	0,2	-0,4	-0,1
0,1	0,8	0,6	-0,9	-1,2	-1,3	-0,2	-0,5	-0,4	0,2	-0,5	-0,3
0	0,1	0,1	-0,1	-0,6	-0,2	-0,3	0,7	0,6	1	0,4	0,3
-0,7	-0,1	-0,5	1,1	0,5	-0,9	-1,1	-0,6	-0,2	1,1	1	-0,4
-0,7	-0,1	0	1,1	1,3	-0,7	-1,1	-0,3	0,2	0,3	1,7	1,2

Figura 4.84: PAREDE 12: Imagens infravermelho, mapeamento das temperaturas e variação da temperatura



24,9	24,8	24,9	24,8	25	24,8
24,3	24,8	24,9	24,5	24,6	24,6
24,3	24,4	24,9	24,3	24,7	24,4
24,6	24,4	25,3	24,5	24,6	24,6
23,8	24,1	24,2	24,2	23,9	24,4
24,3	24,1	24,2	24	23,9	24,4
23,7	23,9	24,1	24,3	24,1	23,7
23,9	24	23,8	24,4	24	24

0:00

25,1	25,2	25,2	24,6	24,5	24,2
25,1	24,8	25	24,1	24,3	24,1
24,5	24,5	24,5	23,5	22,6	23,5
23,2	23	23,5	22,5	22,2	22,2
22,6	22,6	22,6	22,8	22,8	22,1
21,8	22,8	22,9	23,1	22,8	21,9
22,4	22,9	22,8	23	23,4	21,8
22,8	22,9	23,2	23,5	23,1	21,8

3h:00

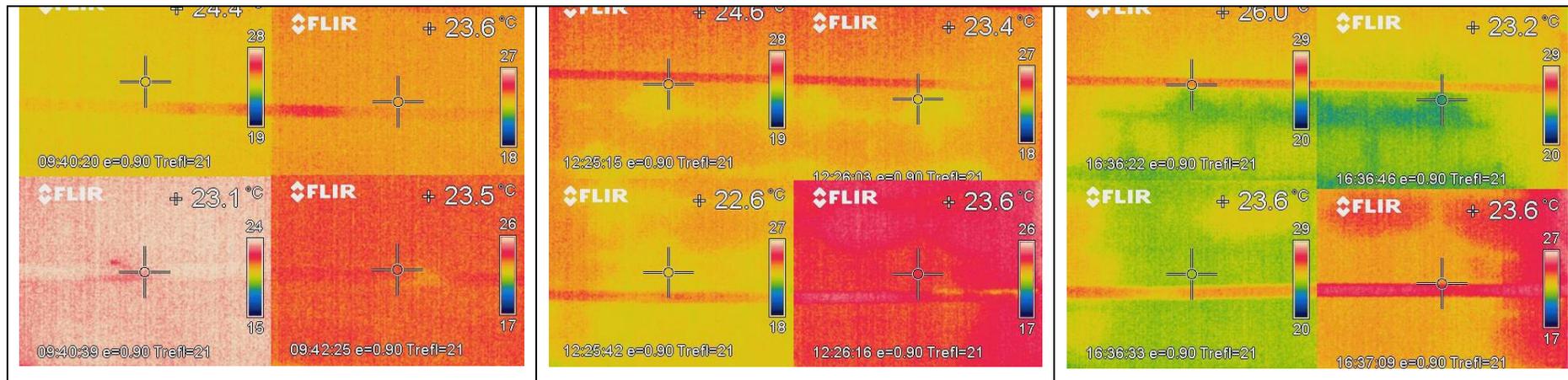
24,1	24,2	24,1	23,9	23,8	23,9
23,6	23,6	24,1	23,9	23,7	23
22,7	23,2	23,6	22,9	22,6	22,6
21,7	21,8	22,1	22,3	22	20,9
21,6	22,1	22,1	21,8	22	21,5
21,3	22,4	22,1	22,2	22,3	21,4
21,3	22,2	22,8	22,2	22,5	20,7
21,6	22,4	22,4	22,6	22,5	21,1

7h:00

-0,2	-0,4	-0,3	0,2	0,5	0,6
-0,8	0	-0,1	0,4	0,3	0,5
-0,2	-0,1	0,4	0,8	2,1	0,9
1,4	1,4	1,8	2	2,4	2,4
1,2	1,5	1,6	1,4	1,1	2,3
2,5	1,3	1,3	0,9	1,1	2,5
1,3	1	1,3	1,3	0,7	1,9
1,1	1,1	0,6	0,9	0,9	2,2

0,8	0,6	0,8	0,9	1,2	0,9
0,7	1,2	0,8	0,6	0,9	1,6
1,6	1,2	1,3	1,4	2,1	1,8
2,9	2,6	3,2	2,2	2,6	3,7
2,2	2	2,1	2,4	1,9	2,9
3	1,7	2,1	1,8	1,6	3
2,4	1,7	1,3	2,1	1,6	3
2,3	1,6	1,4	1,8	1,5	2,9

Figura 4.85: PAREDE 13: Imagens infravermelho, mapeamento das temperaturas e variação da temperatura



23,8	24,3	24,7	24,3	24,1	24,2
23,9	24,3	24,4	23,9	24,2	24,1
23,8	24	24,1	23,9	24,1	23,9
24,6	23,8	24,2	24	24	24,1
23,2	23,4	23,2	23,6	23,9	23,9
23,3	23,9	23,6	23,5	23,6	23,7
23,2	23,4	23,3	23,7	23,8	23,6
23,2	23,4	23,4	24	23,6	23,6

0:00

25,4	25,2	24,9	24,2	24,2	23,8
24,6	24,9	24,4	23,6	24	23,9
24,8	23,8	23,6	22,9	23,4	23,5
24	24,1	23,9	23,4	22,8	23,8
23,5	23,6	23,2	23,9	24,2	24,7
23,7	23,3	23	23,5	24	24,3
23,5	23,2	23	23,7	23,2	23,8
23,3	22,9	22,9	23,6	23,3	24,4

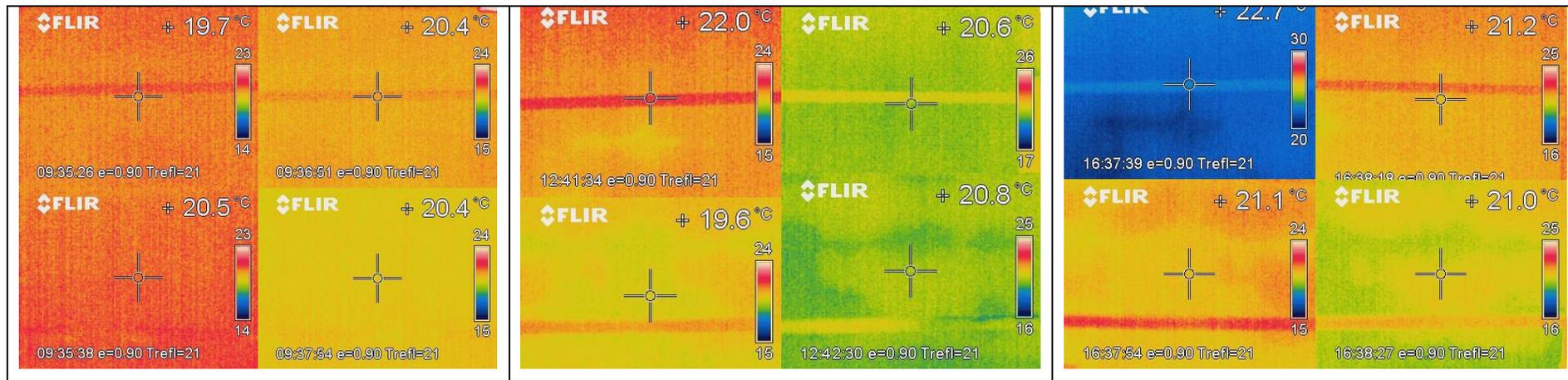
3h:00

26	25,7	25,9	24,9	25	25,4
25,4	25	25,2	24,2	24,5	24,9
25	23,6	23,9	23,4	22,9	24,9
24,4	24,5	24,4	23,6	23,7	24,6
24,7	24	24	23,7	23,5	25,2
25,2	24,2	24,1	23,6	23,8	25,3
24,3	23,9	24,2	23,3	23,5	24,3
24,2	23,9	24,2	23,1	23,1	23

7h:00

-1,6	-0,9	-0,2	0,1	-0,1	0,4	-2,2	-1,4	-1,2	-0,6	-0,9	-1,2
-0,7	-0,6	0	0,3	0,2	0,2	-1,5	-0,7	-0,8	-0,3	-0,3	-0,8
-1	0,2	0,5	1	0,7	0,4	-1,2	0,4	0,2	0,5	1,2	-1
0,6	-0,3	0,3	0,6	1,2	0,3	0,2	-0,7	-0,2	0,4	0,3	-0,5
-0,3	-0,2	0	-0,3	-0,3	-0,8	-1,5	-0,6	-0,8	-0,1	0,4	-1,3
-0,4	0,6	0,6	0	-0,4	-0,6	-1,9	-0,3	-0,5	-0,1	-0,2	-1,6
-0,3	0,2	0,3	0	0,6	-0,2	-1,1	-0,5	-0,9	0,4	0,3	-0,7
-0,1	0,5	0,5	0,4	0,3	-0,8	-1	-0,5	-0,8	0,9	0,5	0,6

Figura 4.86: PAREDE 14: Imagens infravermelho, mapeamento das temperaturas e variação da temperatura



20,5	20	20,3	20,9	20,5	21,1
19,8	20,3	20	20,5	20,3	20,7
20,2	20,1	20,1	20,3	20,8	20,3
19,8	20	19,9	21	20,6	21,1
20	20,1	20,3	20,4	20,6	20,3
20,2	20,1	20,1	20,3	20,5	20,4
20,4	20,4	20,3	20,6	20,5	20,5
20,6	20,2	20,5	20,5	20,7	20,4

21,4	21,5	21,5	21,1	21,2	21,2
21,5	21,3	21	21,2	20,8	21
21,7	20,9	21,1	20,7	20,8	21,2
21	21	21	20,9	20,4	21,1
20,5	20,8	21	19,7	19,8	20,4
20,4	20,3	20,7	19,6	19,6	19,9
20,5	20,1	21	19,6	20,1	20,1
19,9	20	20,4	19,8	19,7	20,3

22,8	22,6	22,6	22,5	22	22,1
22,6	22,2	22	21,5	21,5	22,1
21,7	21,3	21,9	21,5	21,5	21,5
21,1	21,8	21,9	21,3	21,3	21,7
20,6	20,8	21,3	20,7	21,1	21,3
20,4	20,6	20,7	20,5	20,7	21
21	20,4	21,2	20,2	21,1	20,8
20,4	20,7	20,7	20,2	20	20,1

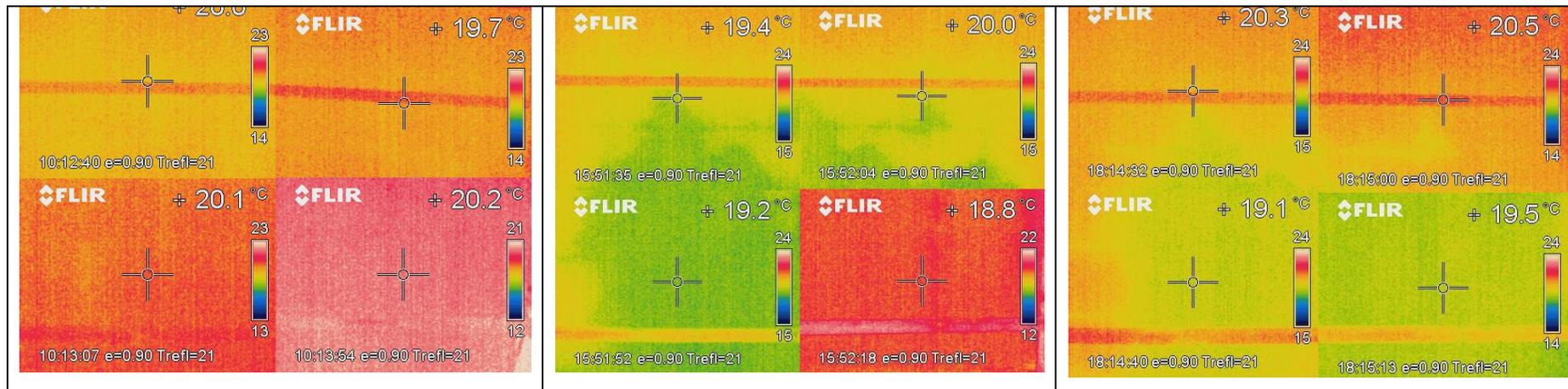
0:00

3h:00

7h:00

-0,9	-1,5	-1,2	-0,2	-0,7	-0,1	-2,3	-2,6	-2,3	-1,6	-1,5	-1
-1,7	-1	-1	-0,7	-0,5	-0,3	-2,8	-1,9	-2	-1	-1,2	-1,4
-1,5	-0,8	-1	-0,4	0	-0,9	-1,5	-1,2	-1,8	-1,2	-0,7	-1,2
-1,2	-1	-1,1	0,1	0,2	0	-1,3	-1,8	-2	-0,3	-0,7	-0,6
-0,5	-0,7	-0,7	0,7	0,8	-0,1	-0,6	-0,7	-1	-0,3	-0,5	-1
-0,2	-0,2	-0,6	0,7	0,9	0,5	-0,2	-0,5	-0,6	-0,2	-0,2	-0,6
-0,1	0,3	-0,7	1	0,4	0,4	-0,6	0	-0,9	0,4	-0,6	-0,3
0,7	0,2	0,1	0,7	1	0,1	0,2	-0,5	-0,2	0,3	0,7	0,3

Figura 4.87: PAREDE 15: Imagens infravermelho, mapeamento das temperaturas e variação da temperatura



20,2	20,1	20,6	20	20,1	20
19,8	19,6	19,8	19,7	19,9	20,2
19,8	19,4	20	19,7	20	19,8
20,1	20,5	20,2	20,1	19,8	20,2
20	20,1	20	19,6	20	20,1
19,9	20,2	20,3	20	20,1	19,8
19,6	20,7	19,9	20,3	20,2	20,3
20,6	20,3	20,4	20,2	20,3	20,4

0:00

21	20,8	20,8	21	20,8	20,9
20,7	20,6	20,7	20,4	20	20,3
20,5	19,7	20	19,7	19,8	20,1
20,2	19,3	19,7	19,4	19,6	20,4
19,3	19,2	18,9	19,2	19,4	19,5
18,9	19	19,2	18,9	19,1	19,2
20	18,9	19,1	19,1	19,2	19,1
19,6	19	19,2	19,3	19,2	19

3h:00

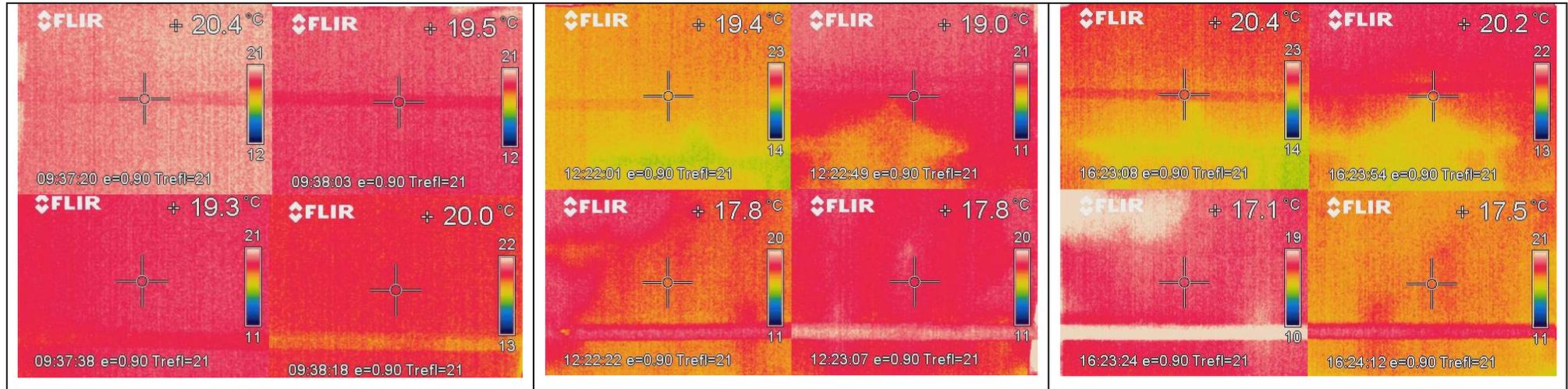
20,8	21	20,8	21	21	21
20,7	20,1	20,8	20,8	20,6	20,6
20,4	20,1	20,3	20,7	20,5	20,9
20,7	19,7	20,2	19,9	20,3	20,5
20,6	19,5	19,5	18,7	18,7	19,2
20,4	19,4	19,4	19,3	19,4	19
20,3	19,4	19,6	19,1	19,1	19,1
20,5	19,6	19,5	18,5	18,9	18,7

7h:00

-0,8	-0,7	-0,2	-1	-0,7	-0,9
-0,9	-1	-0,9	-0,7	-0,1	-0,1
-0,7	-0,3	0	0	0,2	-0,3
-0,1	1,2	0,5	0,7	0,2	-0,2
0,7	0,9	1,1	0,4	0,6	0,6
1	1,2	1,1	1,1	1	0,6
-0,4	1,8	0,8	1,2	1	1,2
1	1,3	1,2	0,9	1,1	1,4

-0,6	-0,9	-0,2	-1	-0,9	-1
-0,9	-0,5	-1	-1,1	-0,7	-0,4
-0,6	-0,7	-0,3	-1	-0,5	-1,1
-0,6	0,8	0	0,2	-0,5	-0,3
-0,6	0,6	0,5	0,9	1,3	0,9
-0,5	0,8	0,9	0,7	0,7	0,8
-0,7	1,3	0,3	1,2	1,1	1,2
0,1	0,7	0,9	1,7	1,4	1,7

Figura 4.88: PAREDE 16: Imagens infravermelho, mapeamento das temperaturas e variação da temperatura



20	20,1	20,3	20	20,4	20,5
19,9	20,2	20,3	19,7	20,1	20,3
19,9	20,1	20,4	20,1	20	20,3
20,1	20,2	20,4	20	20,1	20,2
18,9	19,2	19,4	20,5	20,6	20,1
19,1	19,3	19,2	20,1	20,2	20,1
19,1	19,6	19,5	20	20,2	19,9
19,1	19,7	19	19,8	20,1	19,8

0:00

19,9	20	20,1	20,1	19,7	19,6
19,8	20	19,7	19,8	19,8	19,3
19,5	19,6	19,5	18,8	18,8	19,1
19,5	19,5	18,1	18,5	18	18,1
19	18,5	17,8	18,1	18,3	18,9
18,5	18	17,9	18	18,4	18,5
18,9	17,5	17,6	18,2	18,5	18,5
18,1	17,5	17,4	18,1	18,2	17,9

3h:00

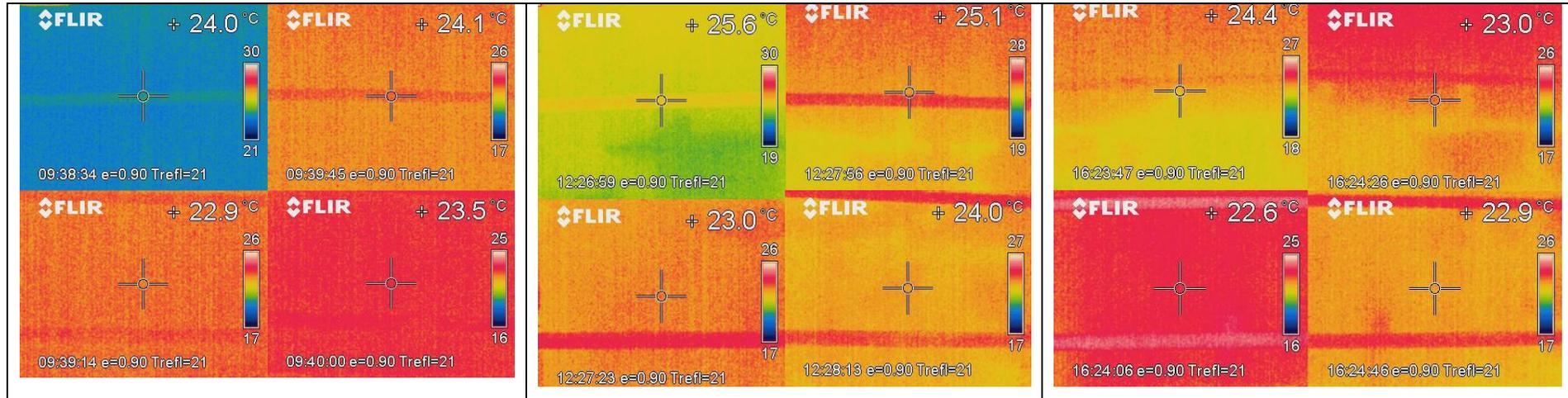
20,8	20,9	20,5	20,7	20,4	19,9
20,6	20,3	20,6	20,4	20	20,2
20,5	19,3	20,1	19,6	18,8	20
20,3	19,5	18,6	18,4	18,1	19,4
19,2	18,3	17,3	17,9	17,5	18,2
17,5	17,6	17,4	18	18	17,4
17,1	17,2	17,4	17,6	17,9	17,3
16,9	17,4	17,6	17,6	17,7	17,4

7h:00

0,1	0,1	0,2	-0,1	0,7	0,9
0,1	0,2	0,6	-0,1	0,3	1
0,4	0,5	0,9	1,3	1,2	1,2
0,6	0,7	2,3	1,5	2,1	2,1
-0,1	0,7	1,6	2,4	2,3	1,2
0,6	1,3	1,3	2,1	1,8	1,6
0,2	2,1	1,9	1,8	1,7	1,4
1	2,2	1,6	1,7	1,9	1,9

-0,8	-0,8	-0,2	-0,7	0	0,6
-0,7	-0,1	-0,3	-0,7	0,1	0,1
-0,6	0,8	0,3	0,5	1,2	0,3
-0,2	0,7	1,8	1,6	2	0,8
-0,3	0,9	2,1	2,6	3,1	1,9
1,6	1,7	1,8	2,1	2,2	2,7
2	2,4	2,1	2,4	2,3	2,6
2,2	2,3	1,4	2,2	2,4	2,4

Figura 4.89: PAREDE 17: Imagens infravermelho, mapeamento das temperaturas e variação da temperatura



24,3	24	24,4	24,3	23,6	24
23,8	24,1	24	23,4	23,4	23,2
24	24	24,1	23,5	22,9	23,5
23,8	24	24,1	23,6	23,5	23,1
23,7	23,3	23,8	23,2	22,9	23,3
23,7	23,3	23,9	23,3	23	23,1
23,6	23,6	23,9	23,3	23,4	23,3
24,1	23,9	23,8	23,2	23,4	23,2

0:00

25,4	24,9	24,9	25,2	24,8	25
24,9	24,7	25,1	25,1	25,1	25
24,6	24,4	24,4	24,2	23,9	24,5
24,3	23,8	23,7	23,6	24,7	24,8
22,9	22,8	23,2	23,4	23,2	23,8
23,2	23,2	23,3	23,6	23,5	23,5
23,1	23,4	23,7	23,2	24	23,8
22,9	23,5	23,4	23,7	23,3	23,2

3h:00

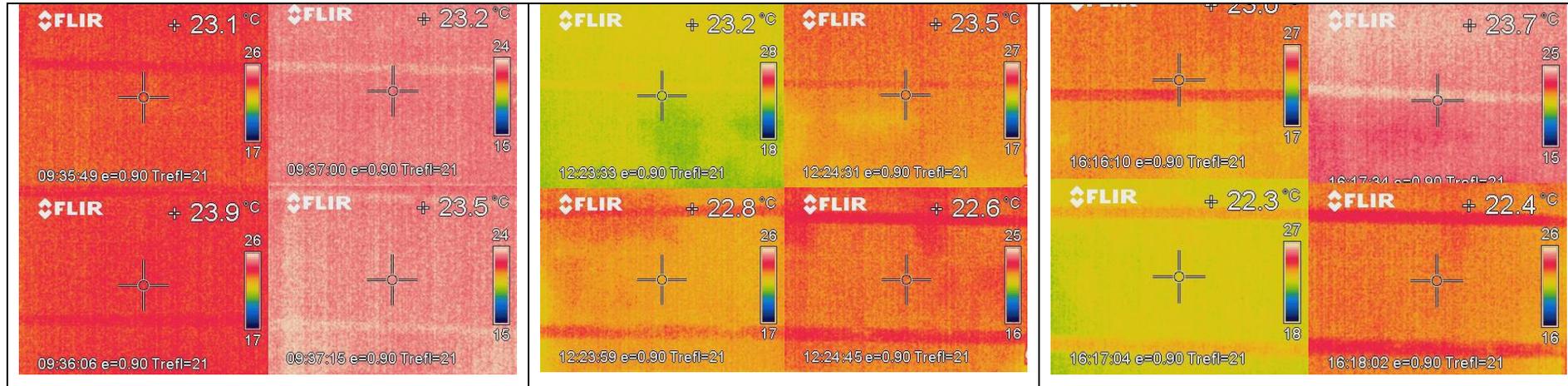
25,1	24,8	25	24,4	24,4	24,1
25	24,7	24,2	24	23,8	23,9
24,3	23,3	24,1	23,2	23,7	23,6
23,4	23,4	23,6	22,8	22,8	22,5
22,9	23,1	23	23,2	23,3	22,9
22,8	23,4	22,9	23,1	22,9	22,7
22,6	23	23,2	22,8	23	23,2
22,8	23,1	23,2	22,9	22,7	22,6

7h:00

-1,1	-0,9	-0,5	-0,9	-1,2	-1
-1,1	-0,6	-1,1	-1,7	-1,7	-1,8
-0,6	-0,4	-0,3	-0,7	-1	-1
-0,5	0,2	0,4	0	-1,2	-1,7
0,8	0,5	0,6	-0,2	-0,3	-0,5
0,5	0,1	0,6	-0,3	-0,5	-0,4
0,5	0,2	0,2	0,1	-0,6	-0,5
1,2	0,4	0,4	-0,5	0,1	0

-0,8	-0,8	-0,6	-0,1	-0,8	-0,1
-1,2	-0,6	-0,2	-0,6	-0,4	-0,7
-0,3	0,7	0	0,3	-0,8	-0,1
0,4	0,6	0,5	0,8	0,7	0,6
0,8	0,2	0,8	0	-0,4	0,4
0,9	-0,1	1	0,2	0,1	0,4
1	0,6	0,7	0,5	0,4	0,1
1,3	0,8	0,6	0,3	0,7	0,6

Figura 4.90: PAREDE 18: Imagens infravermelho, mapeamento das temperaturas e variação da temperatura



23,3	23,8	24	23,7	23,4	23,7
23,6	23,7	23,5	23,7	23,7	23,7
23,3	23,4	23,3	23,5	23,5	23,3
23,6	23,6	23,4	23,7	23,6	23,5
23,3	23,4	23,4	23,9	23,7	23,7
23,3	23,3	23,6	23,8	23,4	23,7
23,4	23,7	23,5	24,2	23,6	23,8
22,9	24	23,9	23,8	23,9	24

0:00

23,4	23,4	23,6	23,7	24	23,9
23,3	23,3	23,3	23,8	24	23,6
23	23,4	23,1	23,8	23,1	23,6
22,6	22,8	23,1	23,5	23,4	23,4
23,1	22,9	22,8	22,8	22,3	22,7
23,1	22,9	22,9	22,5	22,5	22,6
22,6	22,8	22,7	22,4	22,5	22,7
22,2	22,9	22,8	22,9	22,6	22,6

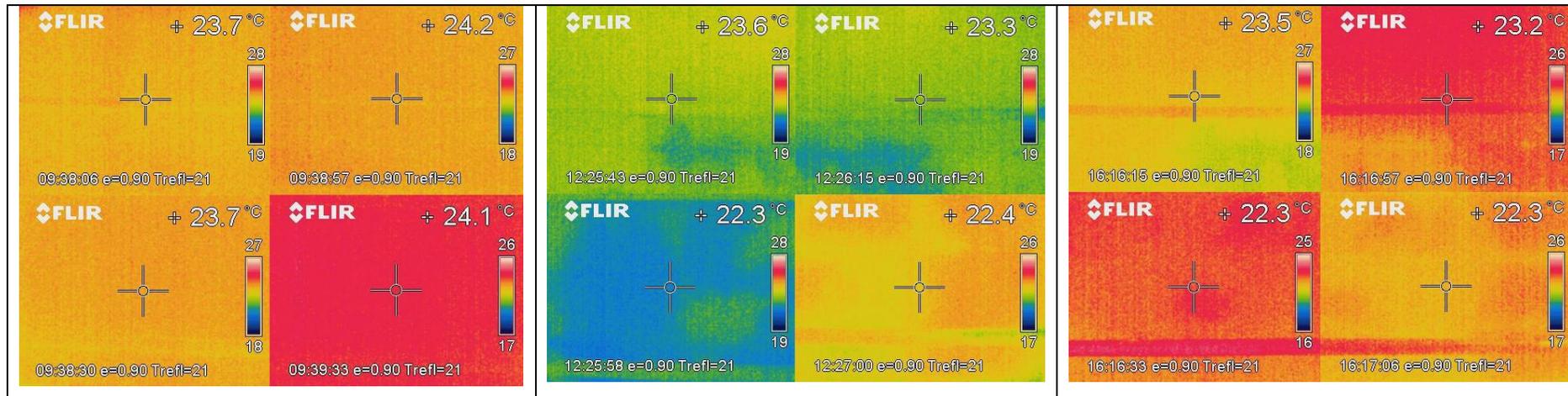
3h:00

23,7	23,8	23,7	24,6	24,2	24,1
23,6	23,9	23,8	24,1	24	23,8
23,3	23,1	23,2	23,8	23,6	23,8
23,7	23,3	23,3	23,5	23,5	23,4
22,4	22,9	22,5	23,2	22,5	22,3
22,2	22,7	22,8	23,2	23	22,8
22	22,6	22,3	23,2	22,6	22,4
22	22,6	22,4	23,1	22,9	21,9

7h:00

-0,1	0,4	0,4	0	-0,6	-0,2
0,3	0,4	0,2	-0,1	-0,3	0,1
0,3	0	0,2	-0,3	0,4	-0,3
1	0,8	0,3	0,2	0,2	0,1
0,2	0,5	0,6	1,1	1,4	1
0,2	0,4	0,7	1,3	0,9	1,1
0,8	0,9	0,8	1,8	1,1	1,1
0,7	1,1	1,1	0,9	1,3	1,4
-0,4	0	0,3	-0,9	-0,8	-0,4
0	-0,2	-0,3	-0,4	-0,3	-0,1
0	0,3	0,1	-0,3	-0,1	-0,5
-0,1	0,3	0,1	0,2	0,1	0,1
0,9	0,5	0,9	0,7	1,2	1,4
1,1	0,6	0,8	0,6	0,4	0,9
1,4	1,1	1,2	1	1	1,4
0,9	1,4	1,5	0,7	1	2,1

Figura 4.91: PAREDE 19: Imagens infravermelho, mapeamento das temperaturas e variação da temperatura



24,1	24,6	24,2	24,4	23,8	23,8
24,1	24,5	24,4	24,2	23,9	24
24,1	24,4	24,2	24,2	24	23,9
24,4	24,8	24,3	24,3	24,2	24
24	24,3	24,3	24,4	23,9	23,9
23,9	24,3	23,6	24,2	24,4	24,2
23,6	23,9	24	24,1	24,2	23,8
23,8	24	23,7	23,5	23,9	23,9

23,8	23,9	24,1	23,9	23,8	23,5
23,6	23,5	24,1	23,5	23,4	23,5
23,8	23,2	23,6	23	23,2	23,1
23,9	23,3	23	22,9	22,9	23,5
23,2	22,7	22,6	22,5	22,4	22,9
22,1	22,3	22,4	22,3	22,5	22,9
22,1	22	22,4	22,2	22,4	22,5
22,6	22,1	22,3	22,2	22,3	22,3

23,9	23,8	23,7	23,8	23,8	23,4
23,5	23,8	23,7	23,5	23,4	23,2
23,6	22,9	23,4	23,4	23,4	22,9
23,5	23,1	22,3	22,5	23,3	23,3
22,8	22,6	23,1	22,6	22,4	22,9
22,6	22,6	22,5	22,4	22,3	22,4
22,1	22,8	22,6	22,5	22,5	22,6
22,1	22,7	22,3	22,8	22,1	23

0:00

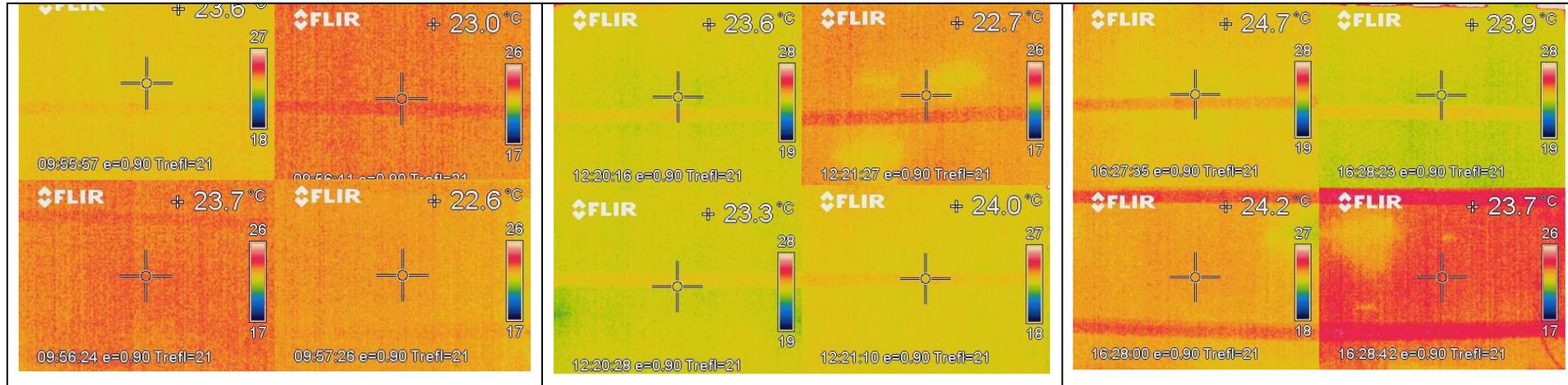
3h:00

7h:00

0,3	0,7	0,1	0,5	0	0,3
0,5	1	0,3	0,7	0,5	0,5
0,3	1,2	0,6	1,2	0,8	0,8
0,5	1,5	1,3	1,4	1,3	0,5
0,8	1,6	1,7	1,9	1,5	1
1,8	2	1,2	1,9	1,9	1,3
1,5	1,9	1,6	1,9	1,8	1,3
1,2	1,9	1,4	1,3	1,6	1,6

0,2	0,8	0,5	0,6	0	0,4
0,6	0,7	0,7	0,7	0,5	0,8
0,5	1,5	0,8	0,8	0,6	1
0,9	1,7	2	1,8	0,9	0,7
1,2	1,7	1,2	1,8	1,5	1
1,3	1,7	1,1	1,8	2,1	1,8
1,5	1,1	1,4	1,6	1,7	1,2
1,7	1,3	1,4	0,7	1,8	0,9

Figura 4.92: PAREDE 20: Imagens infravermelho, mapeamento das temperaturas e variação da temperatura



23,6	23,8	23,8	23,2	23	23
23,7	23,9	23,5	22,9	23,2	23,1
23,7	23,2	23,8	23,1	23,1	22,9
23,9	23,9	23,4	23,3	23	22,9
23,3	23,7	23,5	23,3	23,1	23
23,4	24,2	23,7	23,3	23,2	22,7
23,4	23,5	23,8	23,1	23,3	23,3
23,5	23,7	23,4	23,3	23,1	22,8

0:00

23,4	24	23,5	23,8	23,6	23,3
23,5	23,2	23,7	23,6	23,5	23,4
23,6	23,4	23,5	23,8	23,4	23,4
23,6	23,6	23,2	23,6	23,1	23,5
23,1	23,3	23,6	22,6	22,5	22,9
23,4	23,3	23,3	23,5	22,5	23
23,6	23,6	23,1	23,2	22,7	23
24,1	23,5	23,7	23	23	22,5

3h:00

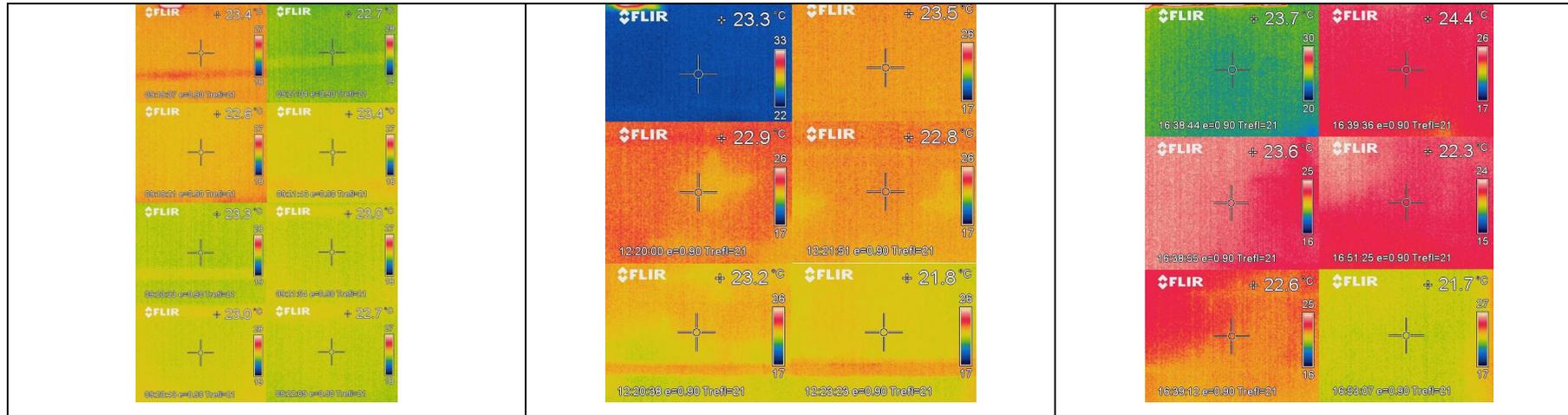
24,7	24,6	24,5	24,2	24,5	24,1
24,9	23,9	24,7	24,2	24,2	23,8
25,4	24,5	24,1	23,9	24	23,9
24,9	24,3	24,3	23,8	23,9	23,8
23,7	23,9	23	23,9	23,6	23,8
23,5	24,2	23,3	23,8	23,2	23,7
23,7	24	23,5	23,9	23,7	23,3
23,7	23,6	23,6	23,6	22,9	23,2

7h:00

0,2	-0,2	0,3	-0,6	-0,6	-0,3
0,2	0,7	-0,2	-0,7	-0,3	-0,3
0,1	-0,2	0,3	-0,7	-0,3	-0,5
0,3	0,3	0,2	-0,3	-0,1	-0,6
0,2	0,4	-0,1	0,7	0,6	0,1
0	0,9	0,4	-0,2	0,7	-0,3
-0,2	-0,1	0,7	-0,1	0,6	0,3
-0,6	0,2	-0,3	0,3	0,1	0,3

-1,1	-0,8	-0,7	-1	-1,5	-1,1
-1,2	0	-1,2	-1,3	-1	-0,7
-1,7	-1,3	-0,3	-0,8	-0,9	-1
-1	-0,4	-0,9	-0,5	-0,9	-0,9
-0,4	-0,2	0,5	-0,6	-0,5	-0,8
-0,1	0	0,4	-0,5	0	-1
-0,3	-0,5	0,3	-0,8	-0,4	0
-0,2	0,1	-0,2	-0,3	0,2	-0,4

Figura 4.93: PAREDE 21: Imagens infravermelho, mapeamento das temperaturas e variação da temperatura



23,5	23,8	23,7	22,8	22,5	22,8
23,2	23	24	22,6	22,6	23,2
23,6	23,7	23,5	23	22,5	23
23,4	23,3	23,6	23,5	23	23,2
23,2	23,1	23,2	23,2	23,2	23,3
23,1	23,4	22,9	23,4	23,4	23,4
23,1	23,4	23,2	23,6	22,8	23,4
23,3	23,1	23,2	23,2	22,7	23,5

0:00

23,5	23,4	23,9	23,2	23,2	23,2
23,3	23,5	23,3	23,4	23	23,2
23,2	23,5	23,3	23,2	23,1	23
23,4	23,4	23	23	23	23
23,5	22,8	23,5	22,9	23,2	23,2
23,4	23,2	22,7	22,6	22,7	22,5
22,3	22,1	22,2	21,9	21,6	21,9

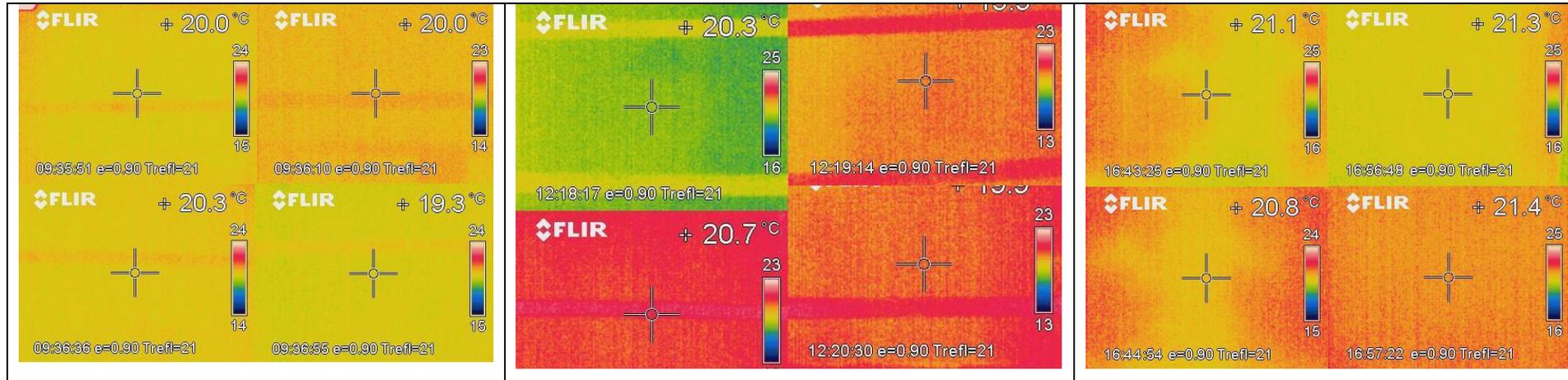
3h:00

24,5	24,2	24,1	24,2	24,3	24,2
24,1	23,9	23,7	23,4	23,8	23,6
23,9	24,1	23,3	22,5	22,3	22,3
24	23,5	23,1	22	21,8	22,5
23,6	22,8	23	22,5	22,5	22,1
22	22,4	22	22,6	22,5	22,5
22,5	22,7	22,6	22,5	22,5	22,7
22,4	22,2	22,3	22,3	22,2	22,4

7h:00

0	0,4	-0,2	-0,4	-0,7	-0,4	-1	-0,4	-0,4	-1,4	-1,8	-1,4
-0,1	-0,5	0,7	-0,8	-0,4	0	-0,9	-0,9	0,3	-0,8	-1,2	-0,4
0,4	0,2	0,2	-0,2	-0,6	0	-0,3	-0,4	0,2	0,5	0,2	0,7
0	-0,1	0,6	0,5	0	0,2	-0,6	-0,2	0,5	1,5	1,2	0,7
-0,3	0,3	-0,3	0,3	0	0,1	-0,4	0,3	0,2	0,7	0,7	1,2
-0,3	0,2	0,2	0,8	0,7	0,9	1,1	1	0,9	0,8	0,9	0,9
0,8	1,3	1	1,7	1,2	1,5	0,6	0,7	0,6	1,1	0,3	0,7
23,3	23,1	23,2	23,2	22,7	23,5	0,9	0,9	0,9	0,9	0,5	1,1

Figura 4.94: PAREDE 22: Imagens infravermelho, mapeamento das temperaturas e variação da temperatura



21,4	21	21,2	19,6	19,8	19,6
21,1	20,5	20,7	19,8	19,4	19,7
20,9	20,5	20,6	19,7	19,4	19,8
20,7	20,5	20,9	19,5	19,3	19,8
20,7	20,5	20,9	19,6	19,8	19,8
19,8	20	20,1	19,5	19,7	19,5
19,6	19,6	19,5	19,3	19,6	19,6
19,9	19,7	20	19,9	19,7	19,7

0:00

20,7	20,6	20,4	20,5	20,8	21,1
20,3	20	19,9	20,7	20,9	20,9
20,4	20,1	19,8	19,3	20	20,8
20,4	20	19,6	20,3	20,5	20,5
20,6	20,2	19,7	19,5	20	20,2
20,7	20,4	19,9	19,5	20,1	20,4
20,6	20,1	19,9	19,8	20,6	19,9

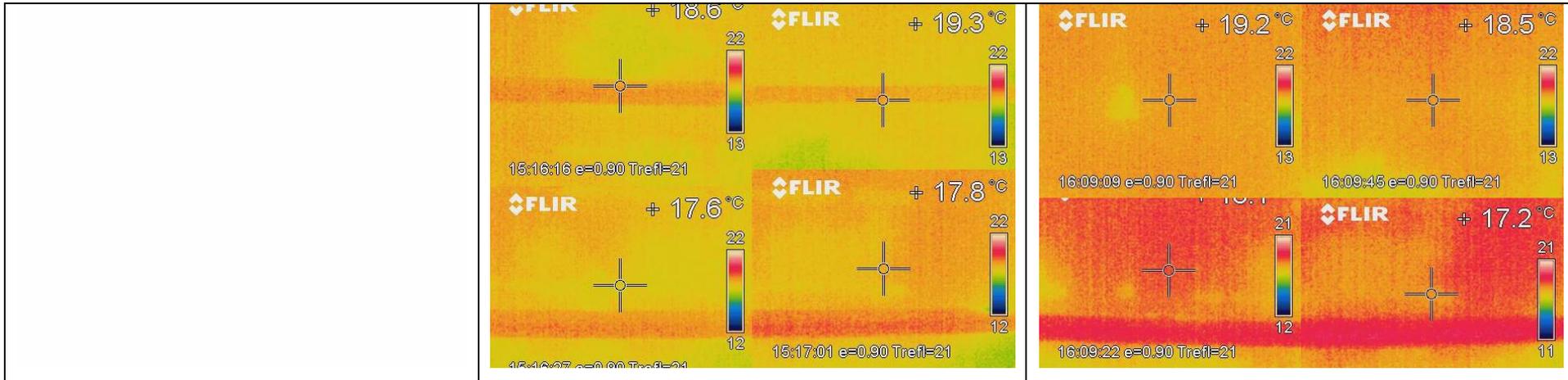
3h:00

24	23,1	23,1	22,5	22,5	22,5
23,2	22,7	22,7	21,7	21,9	22,1
22,1	21,2	21,2	21,1	21,1	21,9
21,8	21	22	20,6	21,5	21,8
21,9	20,8	20,7	19,4	20,9	21,8
22,1	21,9	20	19,3	20,4	22
21,4	20,6	19,3	19,2	21,1	21,7
21,6	22,2	19,7	19,7	21,2	21,5

7h:00

0,7	0,4	0,8	-0,9	-1	-1,5	-2,6	-2,1	-1,9	-2,9	-2,7	-2,9
0,8	0,5	0,8	-0,9	-1,5	-1,2	-2,1	-2,2	-2	-1,9	-2,5	-2,4
0,5	0,4	0,8	0,4	-0,6	-1	-1,2	-0,7	-0,6	-1,4	-1,7	-2,1
0,3	0,5	1,3	-0,8	-1,2	-0,7	-1,1	-0,5	-1,1	-1,1	-2,2	-2
0,1	0,3	1,2	0,1	-0,2	-0,4	-1,2	-0,3	0,2	0,2	-1,1	-2
-0,9	-0,4	0,2	0	-0,4	-0,9	-2,3	-1,9	0,1	0,2	-0,7	-2,5
-1	-0,5	-0,4	-0,5	-1	-0,3	-1,8	-1	0,2	0,1	-1,5	-2,1
						-1,7	-2,5	0,3	0,2	-1,5	-1,8

Figura 4.95: PAREDE 23: Imagens infravermelho, mapeamento das temperaturas e variação da temperatura



19,1	19	19,3	19,4	19,1	19,3	19,3	19,4	19,4	18	17,3	18,4
19	19,1	18,9	18	18,7	18,4	19,5	19,1	19,3	17,7	17,8	18
19,1	19,1	19,5	18,5	18,4	18,3	19	18,8	18,8	17,4	17,7	16,9
18,6	18,4	18,1	18,4	18	17,9	19	18,8	18,5	18	17,2	16,4
19	18,9	18,7	18,4	17,9	18,4	18,4	18,8	18,5	18,3	18,1	17,8
18,5	18,7	17,9	18,1	17,7	18,3	17,4	18,2	17,8	18,3	17,7	17,8
17,9	17,9	17,3	17,5	17,3	16,6	17,5	17,8	17,9	17,9	17,9	17,8
						17,5	17,5	17,2	17,2	17,7	17,1

0:00

7h:00

-0,2	-0,4	-0,1	1,4	1,8	0,9
-0,5	0	-0,4	0,3	0,9	0,4
0,1	0,3	0,7	1,1	0,7	1,4
-0,4	-0,4	-0,4	0,4	0,8	1,5
0,6	0,1	0,2	0,1	-0,2	0,6
1,1	0,5	0,1	-0,2	0	0,5
0,4	0,1	-0,6	-0,4	-0,6	-1,2

**Figura 4.96: PAREDE 24: Imagens infravermelho, mapeamento das temperaturas e variação da temperatura**

**Tabela 4.26: Resultados médios da variação de temperatura obtidos pela imagem por infravermelho**

Substratos	Argamassas	Varição da temperatura ( $\Delta t$ )
D1	0%	0,651
	50%	1,321
	100%	0,540
	0 % + IA	1,321
	50 %+ IA	0,486
	100 % +IA	0,294
D2	0%	1,158
	50%	1,088
	100%	0,445
	0 % + IA	0,590
	50 %+ IA	0,886
	100 % +IA	0,304

Com estes resultados, pode ser constatado que as paredes fabricadas 100% CZP SEM e COM IA aplicadas nos dois substratos foram as que maior resistência à presença da água tiveram durante a realização do ensaio, verificado, neste caso, pela menor variação da temperatura. Este resultado confirma os resultados obtidos para as anteriores avaliações.

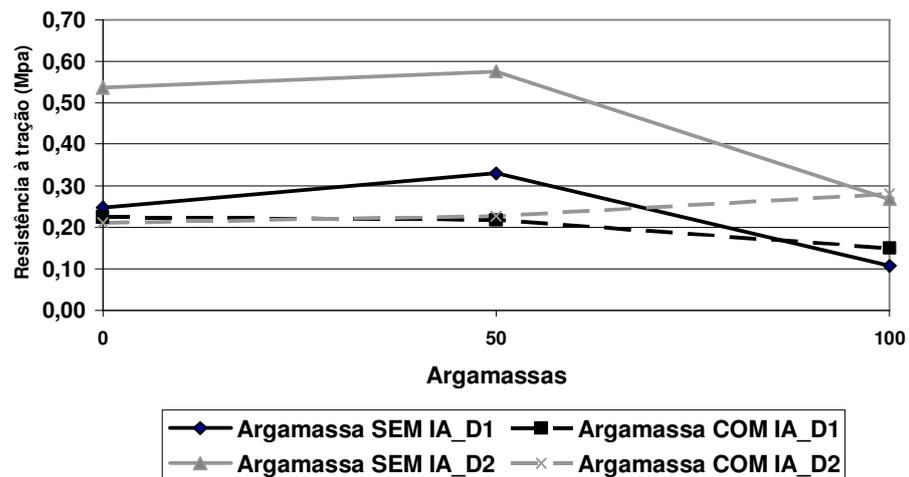
### 4.3.3 Resultados obtidos da resistência de aderência à tração

A Tabela 4.27 apresenta os resultados médios obtidos na determinação da resistência de aderência à tração das argamassas de revestimento, com 30mm de espessura, aplicadas sobre blocos de concreto para a fabricação das paredes. O ensaio foi realizado após terminado o ensaio de avaliação da estanqueidade, em que foram separados aleatoriamente 3 blocos de cada parede. Os resultados individuais desta propriedade, bem como seus desvios padrões e coeficientes de variações são mostrados no ANEXO M.

**Tabela 4.27: Resultados médios da resistência de aderência à tração das argamassas aplicadas sobre blocos de concreto, aos 9 meses de idade.**

Argamassas	Amostras	Resistência à tração	Forma de Ruptura Predominante (%)				
			Interface revestimento/s substrato	Argamassa	Substrato	Interface revestimento/cola	Interface cola/pastilha
<b>Substrato D1</b>							
0% CZP	10	0,25	100	-	-	-	-
50% CZP	17	0,33	82	-	-	12	6
100% CZP	11	0,11	90	-	-	-	10
0% CZP+IA	17	0,22	70	-	-	6	24
50% CZP+IA	14	0,22	86	-	-	14	-
100% CZP+IA	3	0,15	100	-	-	-	-
<b>Substrato D2</b>							
0% CZP	16	0,54	81	-	-	18	-
50% CZP	12	0,57	50	17	17	-	17
100% CZP	14	0,27	86	-	-	-	14
0% CZP+IA	16	0,21	69	-	-	13	19
50% CZP+IA	13	0,23	92	-	-	-	8
100% CZP+IA	4	0,28	92	-	-	-	8

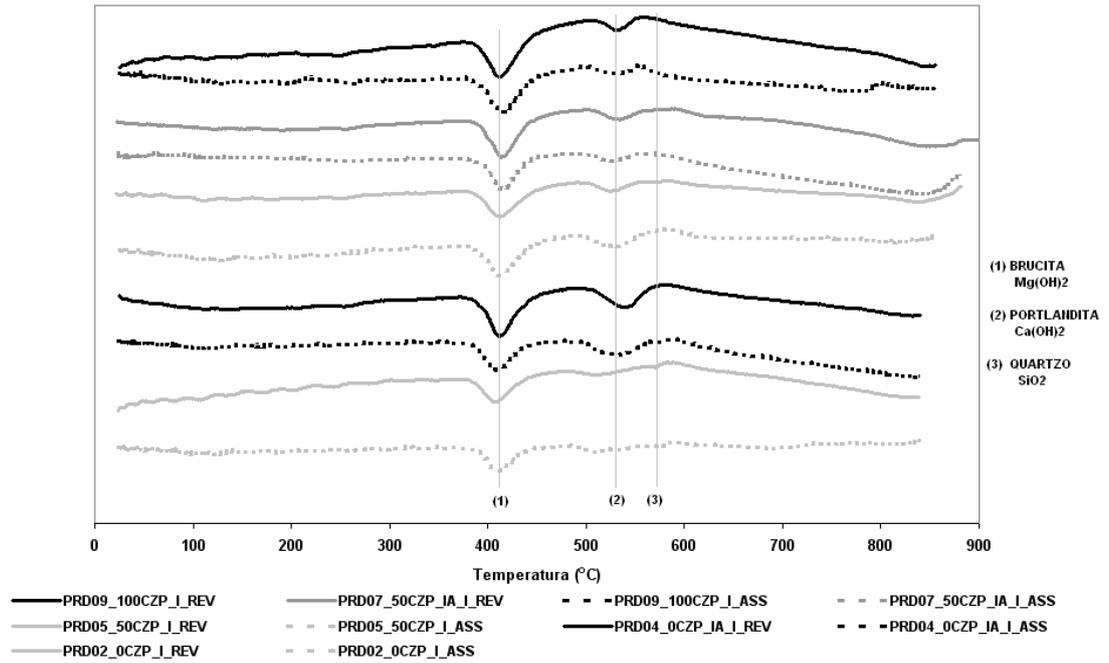
Os resultados de resistência de aderência mostram que as argamassas aplicadas sobre substrato de concreto das séries analisadas somente apresentaram valores iguais ou acima de 0,30 MPa, que é o mínimo prescrito por norma (NBR 13528/1995) para revestimento externo, nas argamassas 50% CZP D1 e D2 e 0% CZP D2. Fazendo uma comparação entre as argamassas das duas séries, foram obtidos os maiores valores com as argamassas aplicadas nos blocos de concreto da série D2, como ilustrado na Figura 4.97.



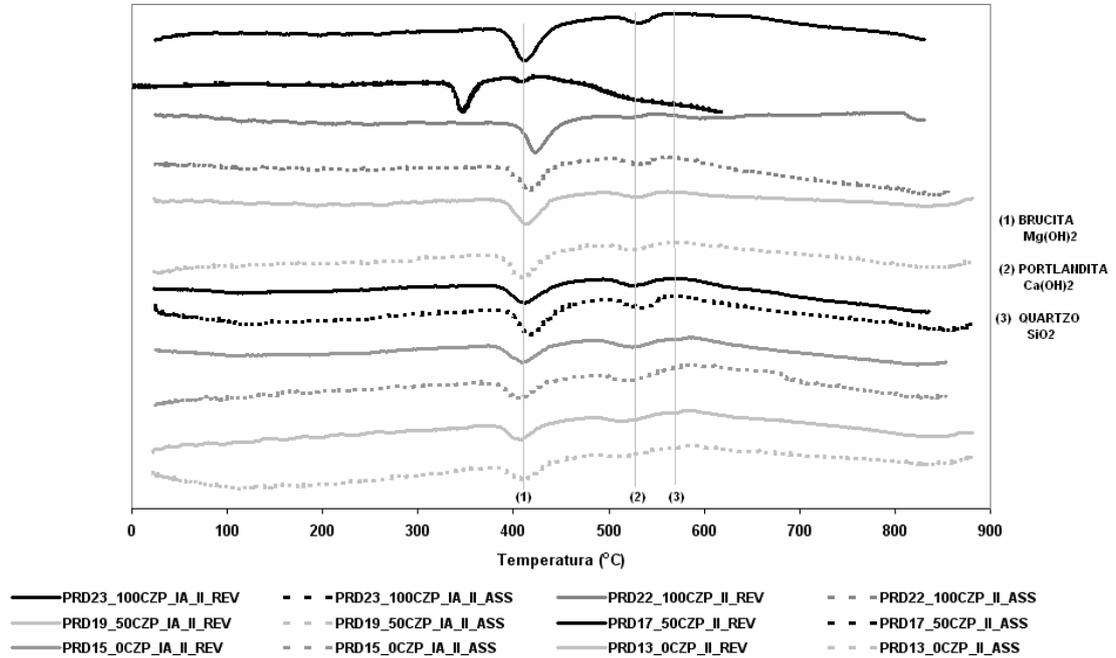
**Figura 4.97: Resistência de aderência à tração das paredes avaliadas na estanqueidade.**

### 4.3.4 Resultados obtidos do Grau de hidratação das argamassas constituintes das paredes

Nas Figuras 4.98 e 4.99, são apresentados os resultados obtidos dos termogramas da análise térmica diferencial das argamassas.



**Figura 4.98:** Análise térmica diferencial das argamassas colocadas no substrato D1



**Figura 4.99:** Análise térmica diferencial das argamassas colocadas no substrato D2

Na análise térmica diferencial das argamassas, foram identificados os picos correspondentes a brucita, à portlandita e ao quartzo. Em relação a estes compostos, tem-se que:

- A brucita é formada pela hidratação do óxido de magnésio, que compõe 22% da cal utilizada nesta pesquisa;
- A área do pico de hidróxido de cálcio é maior quanto maior o teor de CZP presente nas argamassas;

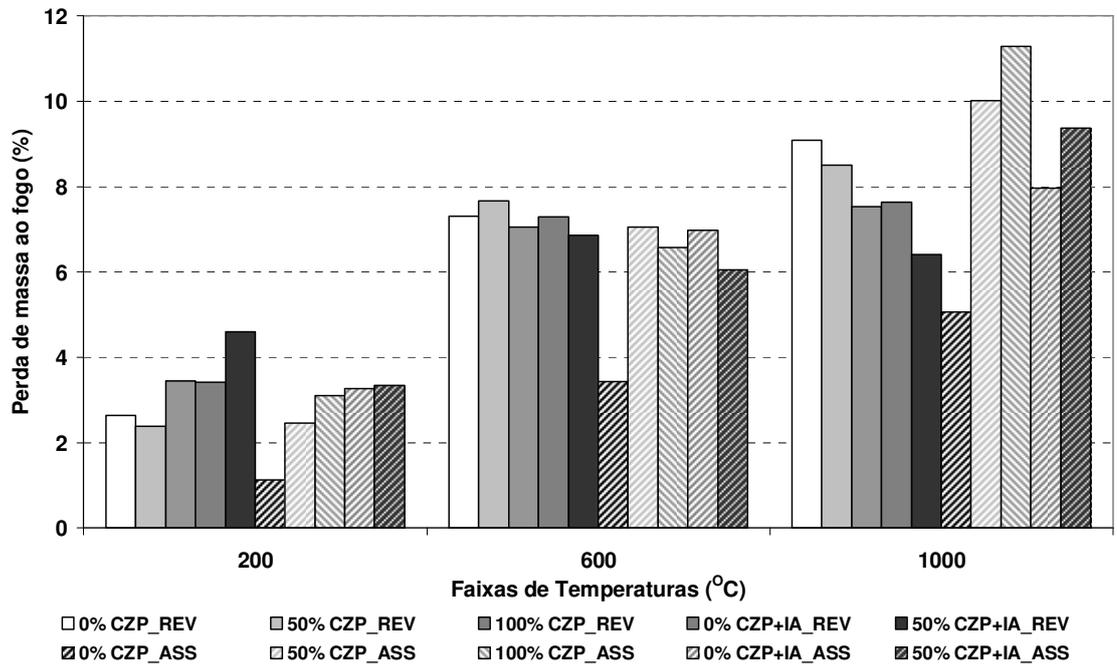
O quartzo que apresenta uma mudança de fase ( $\alpha$  para  $\beta$ ) a cerca de 573°C foi identificado apenas nas argamassas sem CZP. Assim, pode-se afirmar que a sílica existente na cinza pesada não possui essa estrutura cristalina hexagonal.

Na Tabela 4.28, são apresentados os valores médios de perda de massa ao fogo total obtidos na calcinação de duas amostras de cada argamassa, bem como de seus constituintes.

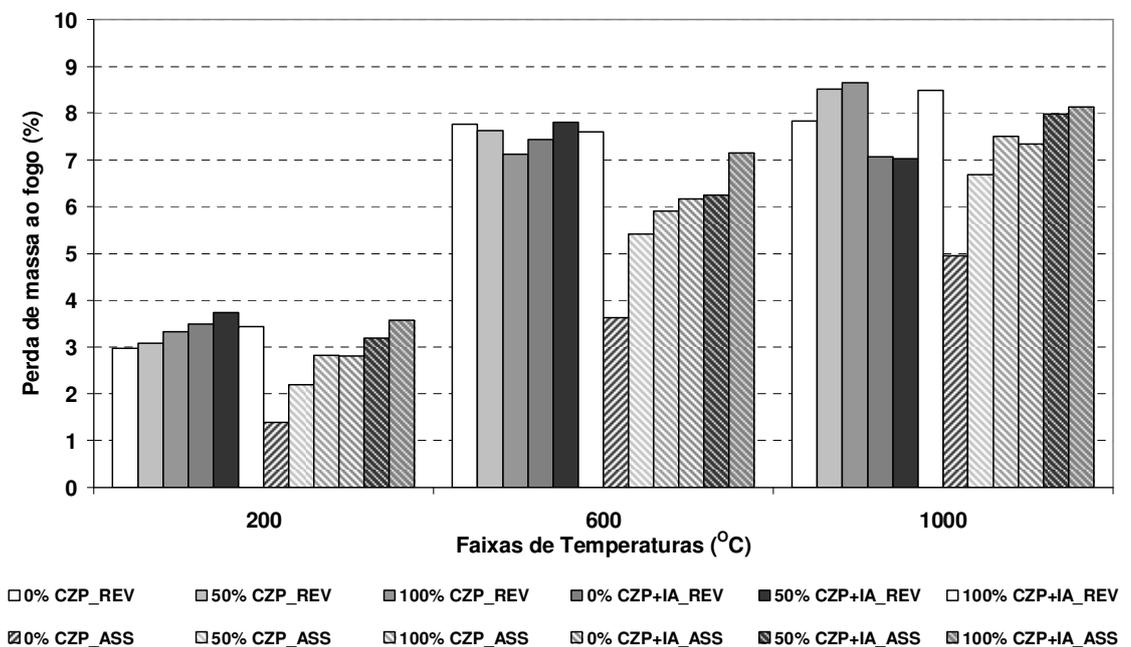
Tabela 4.28: Perda de massa ao fogo total

Argamassa		200°C	600°C	1000°C		
		PF total	PF total	PF total	PF ATD	
SUSTRATO D1	0% CZP	REVESTIMENTO	2,64	7,30	9,07	9,02
		ASSENTAMENTO	1,12	3,43	5,06	9,43
	50% CZP	REVESTIMENTO	2,38	7,66	8,50	13,77
		ASSENTAMENTO	2,45	7,05	10,01	10,47
	100% CZP	REVESTIMENTO	3,45	7,05	7,52	12,72
		ASSENTAMENTO	3,10	6,58	11,28	11,44
	0% CZP + IA	REVESTIMENTO	3,41	7,28	7,64	12,95
		ASSENTAMENTO	3,27	6,97	7,97	11,25
	50% CZP + IA	REVESTIMENTO	4,59	6,86	6,40	14,48
		ASSENTAMENTO	3,34	6,05	9,37	16,37
	100% CZP + IA	REVESTIMENTO	Não foi possível registrar falta de amostras			
		ASSENTAMENTO				
SUSTRATO D2	0% CZP	REVESTIMENTO	2,96	7,76	7,84	9,65
		ASSENTAMENTO	1,40	3,63	4,95	10,42
	50% CZP	REVESTIMENTO	3,08	7,62	8,52	10,67
		ASSENTAMENTO	2,19	5,41	6,68	11,72
	100% CZP	REVESTIMENTO	3,33	7,12	8,65	10,78
		ASSENTAMENTO	2,82	5,90	7,50	15,72
	0% CZP + IA	REVESTIMENTO	3,49	7,43	7,06	12,93
		ASSENTAMENTO	2,81	6,17	7,34	11,65
	50% CZP + IA	REVESTIMENTO	3,74	7,80	7,03	13,12
		ASSENTAMENTO	3,19	6,25	7,98	14,35
	100% CZP + IA	REVESTIMENTO	3,43	7,60	8,49	13,20
		ASSENTAMENTO	3,57	7,15	8,14	12,68

Na Figura 4.100 e 4.101, são apresentadas as percentagens da perda de massa ao fogo para as diferentes faixas de temperatura. Através desta, é possível observar que quanto maior o teor de CZP, maior é a quantidade de hidratos de silicatos e aluminatos e na descarbonatação da calcita, e menor é a quantidade de cal hidratada presente.

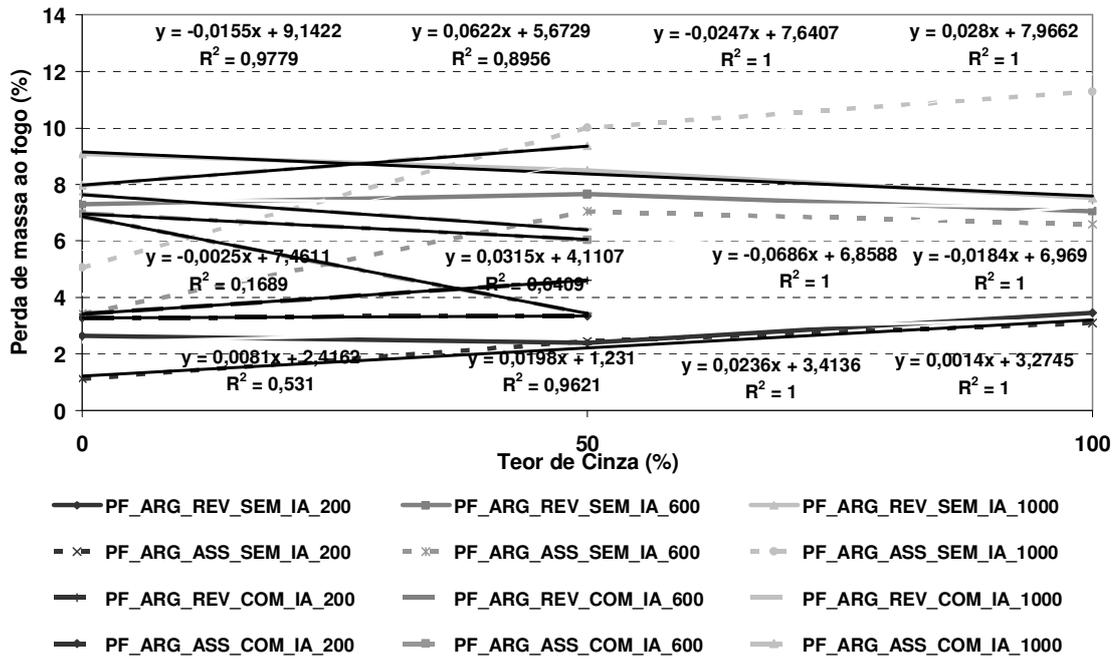


**Figura 4.100: Perda de massa ao fogo argamassas\_ substrato D1**

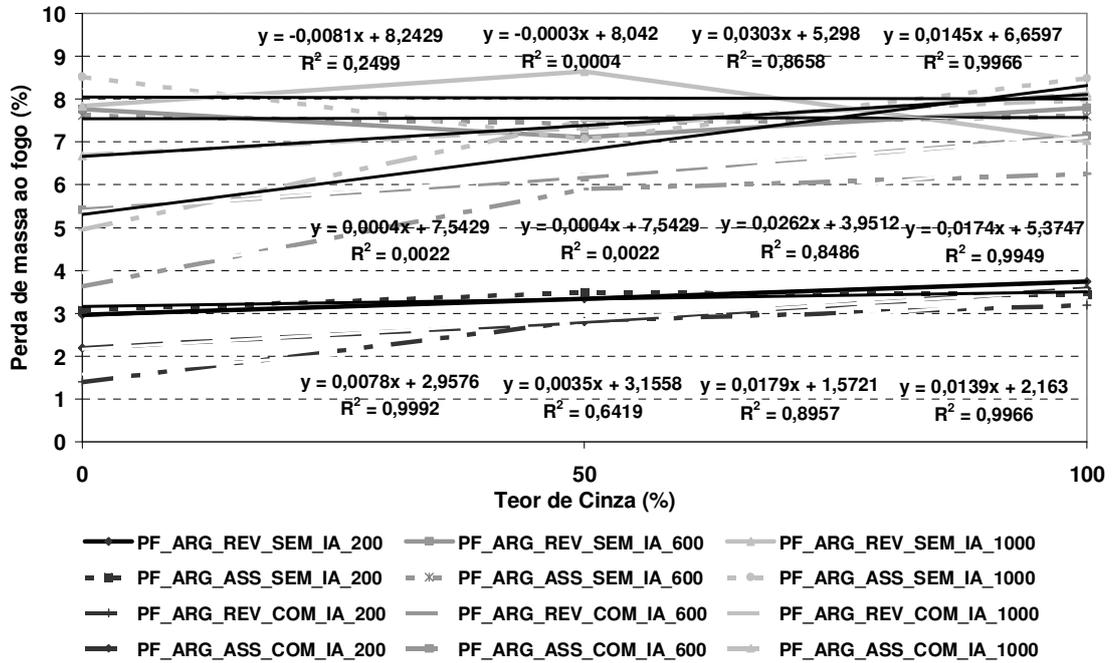


**Figura 4.101: Perda de massa ao fogo argamassas\_ substrato D2**

A partir das Figuras 4.102 e 4.103, é possível observar que quanto maior o teor de CZP, maior é a quantidade total de água quimicamente ligada no caso das argamassas sem aditivo. No entanto, isto não é verificado para as argamassas com IA, pois, para estas, a quantidade de água quimicamente ligada praticamente não difere.



**Figura 4.102: Perda de massa ao fogo em função do teor de CZP das ARGAMASSAS SUBSTRATO D1**



**Figura 4.103: Perda de massa ao fogo em função do teor de CZP das ARGAMASSAS SUBSTRATO\_D1.**

---

## **CAPÍTULO 5**

### **DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

#### **5.1 DISCUSSÕES GERAIS**

Este capítulo apresenta a discussão da inter-relação entre as propriedades avaliadas a partir dos resultados obtidos na pesquisa analisando as diferentes argamassas e a densidade dos substratos de concreto na transferência e fixação de água com vistas ao entendimento de como estas influenciam no ensaio de penetração de água. A seguir na tabela 5.1, é exposto um resumo dos resultados, todas as características avaliadas, tanto dos materiais constituintes quanto das paredes, para assim ter um levantamento total dos resultados e, a partir destes, fazer os comentários finais e definir as correlações entre elas.

Analisando a taxa inicial de absorção foi verificada a influência da variação de substrato, assim como dos grupos das séries evidenciados pela grande variabilidade de resultados de um substrato para outro, assim como dos grupos das séries, assunto polêmico, pois foram fabricados 300 blocos de cada série com as mesmas condições de fabricação, os mesmos materiais, no mesmo dia. Isto evidencia que a interconectividade e a distribuição de sistema de poros em cada bloco comanda o processo de absorção no interior dos mesmos, permitindo uma movimentação hídrica de maneira particular para cada um, diferenciando pelo menor e o maior potencial de transporte de umidade.

**Tabela 5.1 – Resumo dos resultados obtidos para os materiais constituintes das paredes e das paredes**

SUBSTRATOS	ARGAMASSAS	Massa Específica (kg/dm <sup>3</sup> )		Porosidade Aberta (%)		Ângulo de molhamento (°)		Vw tubo (cm <sup>3</sup> )	IRA (g/cm <sup>2</sup> /min)	S' (mm/min <sup>1/2</sup> )x10 <sup>-3</sup>		S (cm <sup>3</sup> /cm <sup>2</sup> xmin <sup>1/2</sup> )x10 <sup>-2</sup>		Superfície Específica (m <sup>2</sup> /g)		% MANCHA	Resistência de aderência à tração
		B	A	B	A	B	A			B	A	B	A				
D1	0%	1,74	1,84	13,63	28,52	81,10	62	19,48	31,07	211	6,48	39,04	45,99	50	0,25		
	50% CZP		1,64		29,70		86	15,55	41,27	164	3,64		39,88	46	0,33		
	100% CZP		1,31		42,85		87,7	12,11	8,60	217	2,7		33,65	44	0,11		
	0% CZP+IA		1,76		31,78		84,5	17,19	17,51	255	9,03		37,62	49	0,22		
	50% CZP+IA		1,55		36,85		78,5	22,91	26,82	227	6,92		31,69	50	0,22		
	100% CZP+IA		1,36		38,04		69	23,57	13,98	244	5,39		30,58	26	0,15		
D2	0% CZP	2,12	1,75	19,14	32,16	73,67	82,5	19,31	63,92	55	11,77	60,18	42,19	53	0,54		
	50% CZP		1,53		34,57		83,5	17,19	64,64	110	2,51		36,70	56	0,57		
	100% CZP		1,33		41,41		87	12,44	36,11	129	2,59		33,08	42	0,27		
	0% CZP+IA		1,73		30,04		81	18,17	52,67	82	14,06		26,38	39	0,21		
	50% CZP+IA		1,61		30,93		82	20,79	42,98	104	5,46		23,40	46	0,23		
	100% CZP+IA		1,36		35,00		81	21,60	46,00	97	6,15		21,01	13	0,28		

\* B – blocos

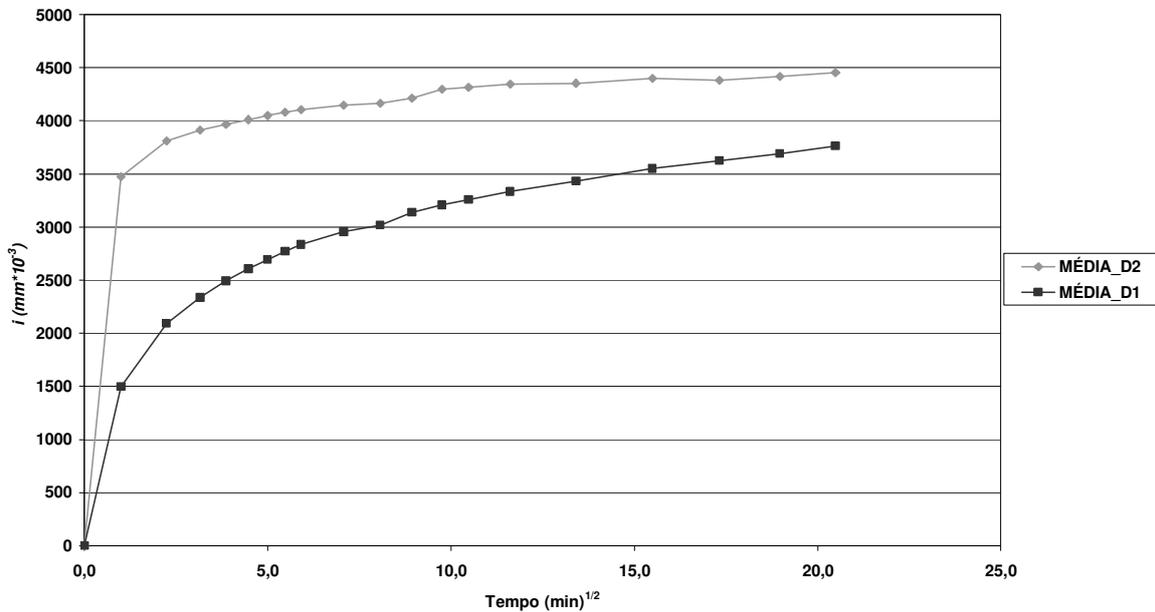
A - Argamassas

Vw -Volume de água absorvido pelas argamassas por capilaridade

IRA – Taxa Inicial de absorção dos blocos

S - Sorptividade

Fazendo um estudo comparativo entres os dois tipos de blocos, podem ser constatadas claramente as diferenças entre estes na curva média de volume acumulado de água absorvida por unidade de volume em função da raiz do tempo, apresentada na Figura 5.1.



**Figura 5.1 - Curva de comportamento dos tipos de blocos de concreto**

Nota-se que os blocos de concreto da série D<sub>1</sub> apresentam um comportamento, mais uniforme ao longo do tempo, resultando numa taxa inicial de absorção (IRA) e porosidade aberta menor, mas uma sorptividade maior, sendo o contrário para os blocos da série D<sub>2</sub>, em que se vê uma absorção excessiva de água no instante inicial devido a uma porosidade aberta maior e uma tendência, mas rápida de estabilização nos minutos seguintes, chegando a uma saturação, obtendo-se uma sorptividade menor, e com coeficientes de correlação que não permitem considerar este resultado como parâmetro de avaliação.

Pelas características dos blocos, as paredes construídas com os blocos de concreto com o substrato D<sub>1</sub>, definidos como os menos porosos pelos resultados obtidos da porosidade aberta, seriam as paredes que absorveriam menos água por apresentarem menores poros acessíveis. Isto somente foi verificado nos resultados obtidos de taxa inicial de absorção em que a sucção inicial foi menor, permitindo que este substrato absorva a água da argamassa em tempos mais prolongados e em menor quantidade.

Na Tabela 5.2 é apresentado, o total de água movimentado durante a ascensão capilar dos blocos no ensaio de absorção ao longo do tempo.

**Tabela 5.2 – Resumo do total de água absorvido e teor de umidade no ensaio de absorção capilar dos blocos**

SUBSTRATOS	ARGAMASSAS	Massa de H <sub>2</sub> O (g)	Teor de umidade (%)
D1	0% CZP	2,625	0,305
	50% CZP	2,835	0,335
	100% CZP	2,460	0,285
	0% CZP+IA	2,840	0,330
	50% CZP+IA	2,275	0,265
	100% CZP+IA	2,100	0,250
D2	0% CZP	3,330	0,365
	50% CZP	2,530	0,290
	100% CZP	2,685	0,305
	0% CZP+IA	3,340	0,370
	50% CZP+IA	3,000	0,335
	100% CZP+IA	2,745	0,310

Os resultados apresentados mostram que nos blocos de concreto, mesmo apresentando um comportamento diferenciado com relação à taxa inicial de absorção e na absorção ao longo do tempo ao final de 7 horas de ensaio, o valor de água total absorvida por ascensão capilar e o teor de umidade se mantiveram próximos para cada parede. Isso permite mostrar o papel determinante da interação entre os poros da argamassa e os poros do substrato na quantidade de água transportada que contribuem substancialmente na retirada de água da argamassa.

Em relação às argamassas, constatou-se que as argamassas com cinza de carvão mineral foram as que menos absorveram água, tendo em consideração que a cinza de carvão mineral possui uma rede de poros mais finos, o que faz com que o raio médio dos capilares da argamassa fresca diminua e, conseqüentemente, ocorre uma redução da capacidade de absorção dos substratos, contribuindo para a formação de uma rede capilar mais refinada destas argamassas. Desta forma, as cinzas podem dificultar o transporte de água da argamassa em direção ao substrato. No caso das argamassas com cinza de carvão e com aditivo foi invertido este resultado, o que confirma que o aditivo incorporador de ar contribui ao aumento dos poros acessíveis pela água. Estes resultados permitem considerar que o proporcionamento dos materiais e a interação destes na estrutura porosa das argamassas influenciam diretamente no comportamento hídrico dos elementos construtivos.

A seguir, são mostrados, nas Figuras 5.2, 5.3 e 5.4, os perfis de evolução da absorção de água ao longo do tempo das paredes, considerando somente a absorção dos blocos, a absorção das argamassas e a percentagem de mancha obtida ao final do ensaio da estanqueidade.

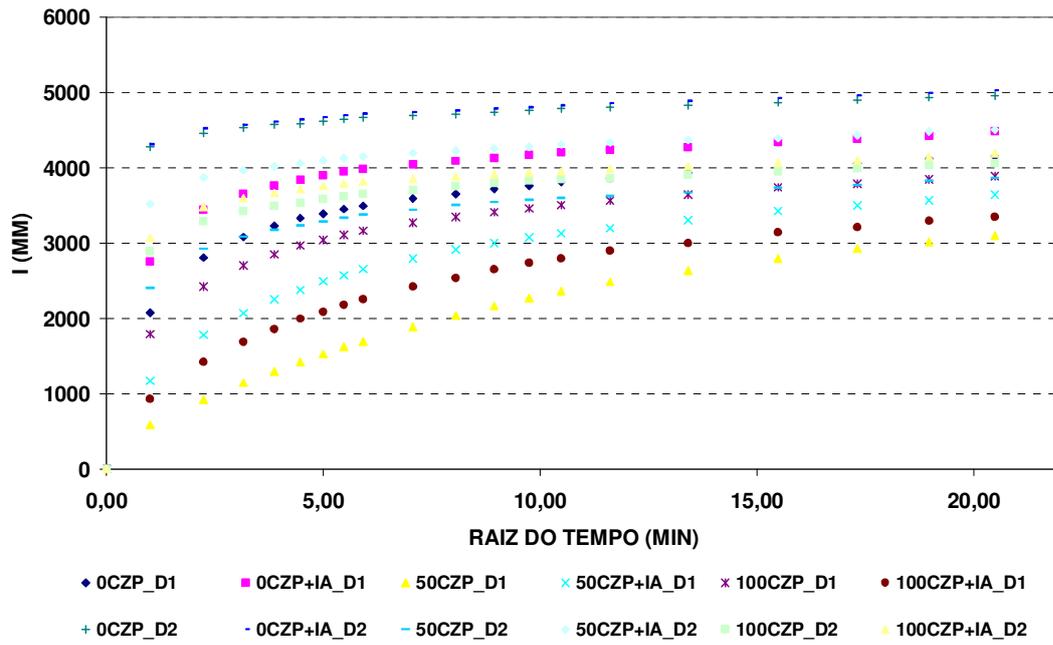


Figura 5.2 - Curva de absorção capilar ao longo do tempo dos blocos

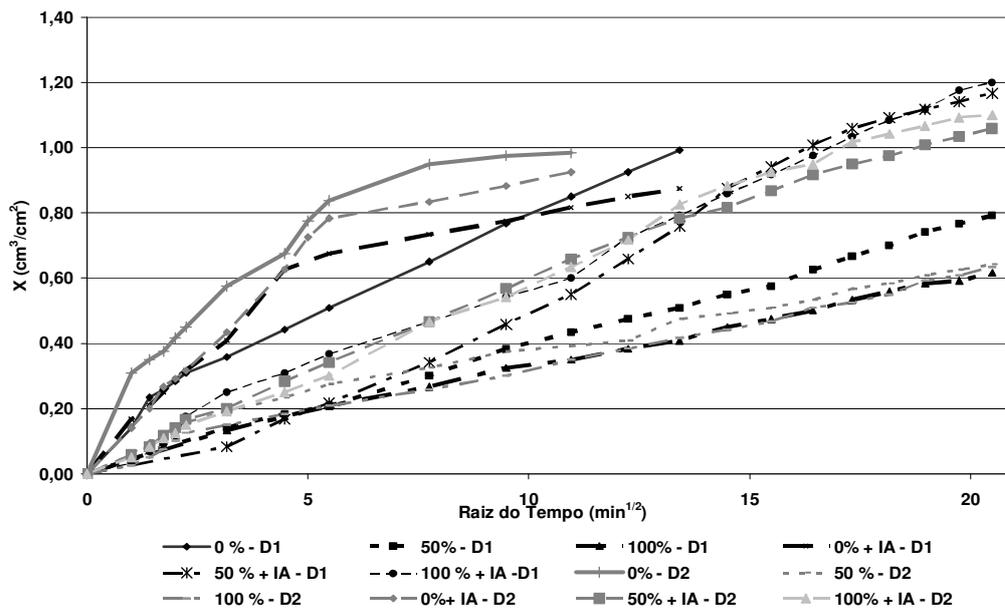
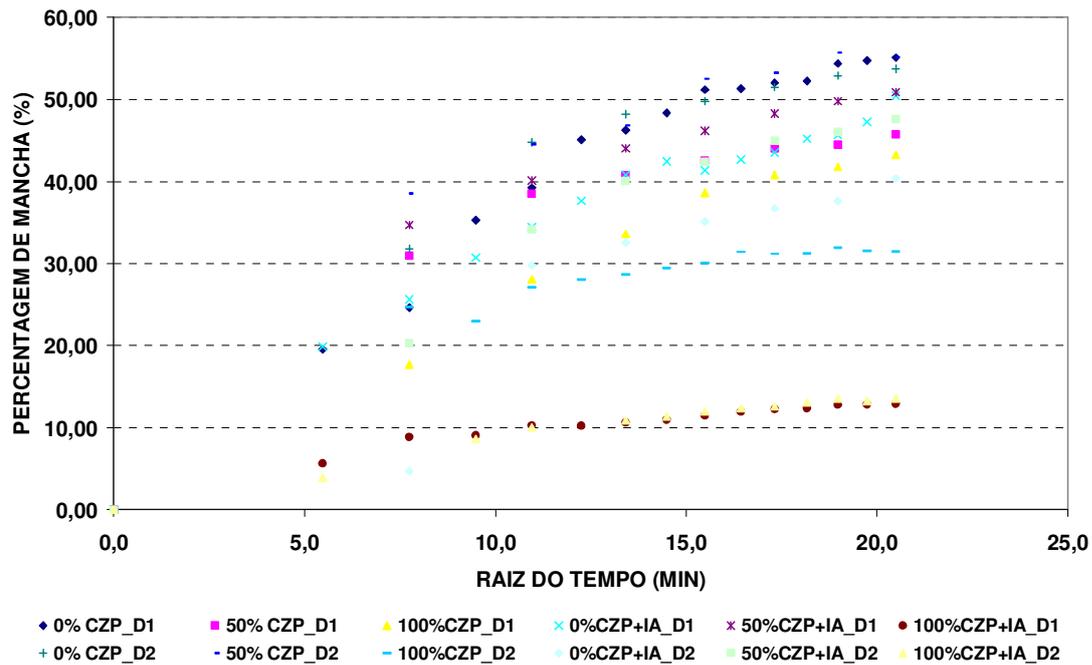


Figura 5.3 Curva de absorção capilar ao longo do tempo das argamassas.



**Figura 5.4 - Curva de evolução da percentagem da mancha ao final do ensaio de estanqueidade**

Na evolução da absorção de água das argamassas, foram constatadas curvas de menor valor de absorção no caso das argamassas com 100 % de adição de cinza, tendo ou não aditivo incorporador, evidenciado pelos valores menores de sorptividade e evidenciado em valores menores de percentagem de mancha durante o ensaio de estanqueidade.

Na tabela 5.3, são apresentados os resultados dos coeficientes da sorptividade das argamassas e dos blocos, obtidos dos perfis de absorção de água ao longo do tempo e do coeficiente angular obtido dos perfis de evolução da mancha das paredes. Nenhuma correlação foi verificada com a percentagem de mancha ao final do ensaio de estanqueidade e a absorção de água dos blocos por paredes. Isso foi verificado pelos valores de massa de água absorvida, que manteve valores próximos ao final do ensaio de estanqueidade, mesmo tendo densidades diferentes os substratos empregados para a construção das paredes.

**Tabela 5.3 – Correlação da sorptividade obtidas dos blocos, das argamassas e coeficiente angular da evolução da mancha ao longo do tempo.**

SUBSTRATOS	ARGAMASSAS	Sorptividade		Coefficiente angular
		Paredes_blocos_SEM_REV (mm/min <sup>1/2</sup> )x10 <sup>-3</sup>	Argamassa (cm <sup>3</sup> /cm <sup>2</sup> xmin <sup>1/2</sup> )x10 <sup>-2</sup>	Porcentagem de mancha (%xmin <sup>1/2</sup> )
D1	0% CZP	64,928	6,48	2,661
	50% CZP	134,84	3,64	2,0966
	100% CZP	71,401	2,7	2,1979
	0% CZP+IA	44,578	9,03	2,1879
	50% CZP+IA	97,442	6,92	2,3321
	100% CZP+IA	110,61	5,39	0,5562
D2	0% CZP	24,808	11,77	2,5501
	50% CZP	45,354	2,51	2,5672
	100% CZP	38,625	2,59	1,3214
	0% CZP+IA	24,845	14,06	2,1741
	50% CZP+IA	32,778	5,46	2,3875
	100% CZP+IA	30,666	6,15	0,6631

Também, a partir dos resultados de absorção por capilaridade das argamassas e dos blocos, foi conferido que, em 7 horas de ensaios, para todas as argamassas e paredes confeccionadas com os blocos da cada série de substrato, a água não atingiria a outra face das paredes, como pode ser conferido na Tabela 5.4, onde são ilustrados os valores da posição da frente úmida por ascensão capilar e a infiltração. Estes resultados foram obtidos a partir das seguintes relações obtidas de WASHBURN (1921) *apud* BARBARE *et al.* (2003):

$$\text{Posição da frente úmida por ascensão capilar } X_1(t) = \frac{\Delta m(t)}{\rho \cdot A}$$

Infiltração ou profundidade de penetração:

$$X_2(t) = \frac{\Delta m(t)}{2 \rho \cdot A \cdot n}$$

Sendo que:

m(t): Massa da amostra no instante (t)

A: Área da seção transversal

$\rho$ : Densidade da água

$n$ : porosidade aberta do material

**Tabela 5. 4– Resumo dos resultados obtidos da posição da frente de umidade e infiltração.**

Substratos	Paredes	7 horas de ensaio			
		Blocos (mmx10-3)		Argamassas (cm)	
		$X_1$	$X_2$	$X_1$	$X_2$
D1	0%	4148,81	31913,93	0,99	3,47
	50%	4477,81	34444,68	0,79	2,66
	100%	3099,94	23845,73	0,62	1,95
	0 % + IA	3638,54	27988,79	0,88	2,39
	50 %+ IA	3888,77	29913,62	1,17	3,08
	100 % +IA	3346,83	25744,84	1,2	3,73
D2	0%	4957,64	26092,84	0,98	2,84
	50%	5023,24	26438,12	0,66	2,20
	100%	3861,90	20325,78	0,63	2,04
	0 % + IA	4502,17	23695,65	0,93	2,17
	50 %+ IA	4056,83	21351,74	1,06	3,03
	100 % +IA	4191,22	22059,06	1,1	2,66

Utilizando as equações das retas obtidas a partir dos pontos de interseção do gráfico  $i \times t^{1/2}$  da curva de absorção de água livre ao longo do tempo, foi calculado o tempo que levaria a água atravessar a parede, considerando dos caminhos a serem tomados como ilustrado na Figura 5.5. Sendo obtidos os seguintes resultados, como mostrado na Tabela 5.3.

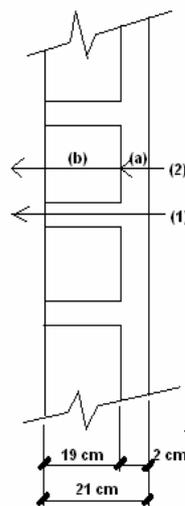


Figura 5.5 Caminhos estimados para calculo de avanço da água

Tabela 5.5 – Previsão do tempo e velocidade de infiltração da água pelas paredes

SUBSTRATOS	ARGAMASSAS	TEMPO (DIAS)			VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO (CM/MIN)		
		ARG (22 cm)	BLOCOS (20 cm)	ARG+BLOCOS(2cm +20 cm)	ARG (22 cm)	BLOCOS (20 cm)	ARG+BLOCOS (2cm +20 cm)
D1	0% CZP	80	6259,35	6260	1,93E-04	2,20E-02	2,45089E-06
	50% CZP	255	1484,20	1486	5,95E-05	9,27E-02	1,02308E-05
	100% CZP	41	5195,55	5198	3,33E-05	2,65E-02	2,96168E-06
	0% CZP+IA	72	13196,44	13197	3,72E-04	1,04E-02	1,15902E-06
	50% CZP+IA	116	2808,56	2809	2,10E-04	4,90E-02	5,36694E-06
	100% CZP+IA	24	2190,10	2191	1,29E-04	6,28E-02	6,83228E-06
D2	0% CZP	532	42261,05	42261	6,28E-04	3,26E-03	3,57656E-07
	50% CZP	17	12828,56	12831	2,83E-05	1,07E-02	1,1743E-06
	100% CZP	113	17630,12	17633	3,00E-05	7,82E-03	8,55925E-07
	0% CZP+IA	463	42114,50	42115	8,77E-04	3,27E-03	3,56782E-07
	50% CZP+IA	90	24348,20	24349	1,33E-04	5,66E-03	6,1773E-07
	100% CZP+IA	502	27907,17	27908	1,68E-04	4,94E-03	5,4027E-07

Foi estimado, pelas propriedades de absorção de água ao longo do tempo e pela sorptividade dos blocos e das argamassas, que a água não conseguiria atravessar o outro lado da face oposta durante o desenvolvimento do ensaio de estanqueidade para todas as paredes construídas, pois levaria dias e até anos para que a água estivesse presente em dita face, isto desprezando as forças gravitacionais, assim como outros fenômenos presentes na interface, considerando que existe continuidade hidráulica entre as argamassas de revestimento e de assentamento.

Foi possível verificar, através dos resultados dos perfis de absorção de água ao longo do tempo, que a movimentação de água no interior das argamassas é mais intensa que através dos blocos, explicando porque foram obtidos valores de teores de umidade superiores através das amostras extraídas das paredes ao final do ensaio.

A quantidade de água transportada pelas argamassas é superior que nos blocos, evidenciado na posição de penetração da frente úmida, que foi maior no caso das argamassas. Este transporte é diferente com o uso das cinzas e do aditivo, que contribuem para um refinamento dos poros porque foi verificado que, à medida que aumentou o teor de cinza, o transporte de água diminuiu e, quando foi incorporado o aditivo continuou tendo valores menores à medida que aumentou o teor de cinza, mas apresentou valores superiores com relação às argamassas sem incorporador de ar.

A velocidade como a água movimenta-se através das argamassas e dos blocos apresenta valores menores no caso das argamassas com cinza de carvão e com aditivo incorporador de ar, o que evidencia que estes constituem barreiras físicas que dificultam a transferência de água das argamassas ao longo de tempo.

Através do ângulo de molhamento, não foi possível encontrar uma forte relação ou poder determinar o grau de molhabilidade dos elementos construtivos devido ao fato que os resultados foram dispersos e considerando que esta propriedade é fortemente ligada à eventual presença de camadas absorvidas. Verificou-se um comportamento diferenciado nas curvas de absorção e diferenças na distribuição de poros e superfície específica dos materiais.

Dos dados experimentais do ensaio de adsorção foi verificado o ajuste melhor das curvas para o modelo GAB e que, à medida que aumenta o teor de CZP, a quantidade de água adsorvida nas paredes dos poros das argamassas aumenta para os teores de umidades relativas elevadas.

A condutividade térmica confirmou que é fortemente influenciada pelo conteúdo de umidade e os elementos construtivos com quantidades de poros acessíveis superiores implica a presença maior de umidade.

Através do ensaio de resistência de aderência à tração dos revestimentos, foi possível verificar que é uma das propriedades que mais permite ser correlacionada com a taxa inicial de absorção, visto que valores maiores de resistência de aderência são atribuídos à maior penetração de pasta aglomerante na estrutura porosa do substrato. As paredes construídas com blocos de concreto definidos como D<sub>2</sub> com valores superiores da porosidade aberta e da taxas iniciais de absorção foram as que apresentaram valores de resistência de aderência superior.

Devido ao efeito de sucção ou absorção capilar causado pelo substrato mais poroso, íons em solução pela mistura do cimento Portland com água, como a gipsita, empregada como reguladora de pega do cimento dissolve e libera íons sulfato e cálcio, seguidos dos íons aluminato e cálcio provenientes da dissolução do C3A (aluminato tricálcico) do cimento são transportados para regiões mais internas do substrato formando no interior dos poros, o trissulfoaluminato de cálcio hidratado, também denominado de etringita.

Em virtude do processo mais rápido de dissolução dos  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{AlO}^4$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e de precipitação de etringita, este produto preenche prioritariamente os poros capilares (CARASEK *et al.*, 2001).

Através da análise do grau de hidratação, é possível observar que quanto maior o teor de CZP, maior é a quantidade de hidratos de silicatos e aluminatos na descarbonatação da calcita, e menor é a quantidade de cal hidratada presente, observar que, quanto maior o teor de CZP, maior é a quantidade total de água quimicamente ligada no caso das argamassas sem aditivo. No entanto, isto não é verificado para as argamassas com IA, pois para estas a quantidade de água quimicamente ligada praticamente não difere.

---

## 5.2 DISCUSSÕES ESTATÍSTICAS

Tendo estes resultados, também foram determinados estatisticamente, através de análise de variância (teste de ANOVA), os parâmetros e propriedades que influenciam, com 95 % de confiabilidade, nas propriedades dos materiais, assim como no ensaio de estanqueidade. Na tabelas 5.2, 5.3 e 5.4, são apresentados os resultados obtidos de maneira sintetizada e os detalhes específicos de cada um no ANEXO Ñ. As conclusões e comentários obtidos da presente pesquisa são realizados a seguir.

**Tabela 5.6– Resumo dos parâmetros que influenciam nas propriedades de caracterização inicial dos materiais constituintes das paredes**

PROPRIEDADES CARACTERIZAÇÃO		PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM SIGNIFICATIVAMENTE E O EFEITO		PARAMETRO QUE INFLUENCIA	EFEITO DO PARÂMETRO QUE MAIS INFLUENCIA
		Substrato			
BLOCOS	Absorção de água	—		—	—
	Resistência à compressão	—		—	—
		CZP	IA		
ARGAMASSAS	Consistência	↓	—	CZP	DIMINUI
	Retenção de água	—	—	—	—
	Resistência à compressão	↑	—	CZP	AUMENTA

No caso das características dos blocos, nenhuma influência houve nas propriedades de caracterização inicial com os diferentes tipos de substratos. Já no caso das argamassas, houve uma diminuição significativa da consistência das argamassas quando maior foi o teor de cinza pesada e não teve um efeito significativo nesta propriedade a adição de IA. No caso da retenção de água nenhuma influência foi comprovada com a adição de CZP ou de IA.

Na tabela 5.7, são apresentadas as propriedades individuais de cada componente das paredes e a influência, em cada um deles, do teor de cinza, do aditivo, da inter-relação entre eles, dos substratos, assim como dos grupos das séries dos substratos.

Analisando os resultados estatísticos, pode-se verificar, no caso dos blocos que, dos parâmetros analisados como variação de substrato ou de grupos dentro dos substratos, não se conseguiu comprovar que influem nas propriedades físicas avaliadas: massa específica e porosidade aberta.

O coeficiente de sorptividade é influenciado pela variação de substrato, sendo menor para o substrato D2, que apresenta uma característica mais porosa na sua composição.

Isto também foi verificado com a curva de absorção ao longo do tempo, em que este tipo de bloco absorveu inicialmente grande quantidade de água, ficando os poros saturados rapidamente nos primeiros minutos e absorvendo lentamente até final do ensaio.

**Tabela 5.7 – Resumo dos parâmetros que influenciam nas propriedades higró-físicas dos materiais constituintes das paredes**

PROPRIEDADES CARACTERIZAÇÃO		PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM SIGNIFICATIVAMENTE E O EFEITO				PARAMETRO QUE INFLUENCIA	EFEITO DO PARÂMETRO QUE MAIS INFLUENCIA
		SUBSTRATO		SUBGRUPOS			
BLOCOS	Massa específica no estado endurecido	-		-		-	-
	Porosidade Aberta	-		-			
	Taxa Inicial de absorção	↑		↑		SUBSTRATO	AUMENTA
	Sorptividade	↓		↓		SUBSTRATO	DIMINUI
	Ângulo de molhamento	-		-		-	-
	Adsorção p/ UR=20%	-		-		-	-
	Adsorção p/ UR=65%	-		-		-	-
	Adsorção p/ UR=96%	-		-		-	-
Superfície Específica	-		-		-	-	
		CZP	IA	CZPxIA	SUBSTRATO		
ARGAMASSAS	Massa específica no estado endurecido	↓	-	↓	-	CZP	DIMINUI
	Porosidade Aberta	↓	-	-	-	CZP	DIMINUI
	Ângulo de molhamento	-		-		-	-
	Volume de água absorvido por capilaridade	-	-	↓	-	-	-
	Sorptividade	↓	-	↓	-	CZP	DIMINUI
	Adsorção p/ UR=20%_D1	↑	-	X		CZP	AUMENTA
	Adsorção p/ UR=65%_D1	↑	-	X		CZP	AUMENTA
	Adsorção p/ UR=96%_D1	↑	-	X		CZP	AUMENTA
	Adsorção p/ UR=20%_D2	-	-	X		-	-
	Adsorção p/ UR=65%_D2	-	-	X		-	-
	Adsorção p/ UR=96%_D2	-	-	X		-	-
	Adsorção p/ UR=20%	X		-	-		
	Adsorção p/ UR=65%	X		-	-		
	Adsorção p/ UR=96%	X		-	-		
Superfície Específica	CZP	IA	↓	↓	IA	DIMINUI	
PAREDES	Porcentagem de mancha	-	-	↓	-	-	-
	Resistência à aderência	-	↓	-	↑	IA	DIMINUI

**Notas:** CZP (cinza pesada), CZPxIA (inter-relação cinza com o aditivo), IA (aditivo incorporador de ar) ↑ (aumenta) ↓ (diminui), x (não se aplica), - (casos nos quais a inter-relação entre os parâmetros não se verifica através da análise de variância)

Em relação ao ângulo de molhamento, nenhuma influência foi possível ser comprovada estatisticamente de um substrato para outro e de um grupo de cada série, mas, pelos resultados foi observado que o ângulo de molhamento do substrato D1 é maior que do D2 provocando uma menor molhabilidade, o que confirma o comportamento de maior absorção ao longo do tempo e maior sorptividade.

Na adsorção de vapor de água para as umidades relativas de 20%, 65% e 96% , não foi verificada influência de nenhum parâmetro, e o mesmo comportamento foi verificado com a superfície específica dos substratos.

Com estas propriedades individuais avaliadas, o substrato D1 teria uma menor absorção inicial e uma maior molhabilidade ao longo do tempo no ensaio de estanqueidade.

Analisando as propriedades higo-físicas individuais das argamassas, foram levantadas as seguintes que se seguem. Verificou-se que, em relação à massa específica no estado endurecido, os parâmetros são o teor de CZP e a inter-relação entre o teor de CZP e o emprego de aditivo. O parâmetro mais significativo foi o teor de cinza, o qual provoca uma redução da massa específica. Devido as características físicas da CZP, que apresenta uma massa específica menor do que a da areia, e a combinação da CZP e do aditivo produz uma redução da massa específica das argamassas.

Na porosidade aberta das argamassas, o teor de cinza influencia este parâmetro físico, sendo observado que, à medida que aumentava o teor de cinza pesada, aumentou a porosidade. Em função disto, tem-se que o emprego das CZP implicaria, na argamassa, uma maior quantidade de vazios, que provocam maior penetração da água nos poros acessíveis.

Através dos resultados obtidos para o ângulo de molhamento aparente com 95 % de confiabilidade, não se pode afirmar que o aditivo, o teor de CZP, o substrato e a inter-relação entre o teor de CZP e o aditivo são parâmetros que influenciam esta propriedade.

Em relação ao volume de água absorvido por capilaridade, o parâmetro que influencia nesta propriedade foi a inter-relação entre o teor de CZP e o emprego de aditivo. Isso pode ser explicado pela combinação dos dois parâmetros, o que contribui para aumento da estrutura porosa das argamassas e, junto à alta capacidade de absorção da cinza aciona ainda mais o potencial de transferência de umidade.

O coeficiente de sorptividade é influenciado pelo teor de cinza e pela inter-relação entre a CZP e o aditivo, promovendo a redução da sorptividade. Esta redução é mais significativa pelo teor de cinza incorporado na argamassa. Isto pode ser justificado pelo fato de que a cinza produz por sua finura, um refinamento dos poros, que promove um efeito *filler* em virtude de seu potencial pozolânico.

Na adsorção de água, para as umidades relativas de 20%, 65% e 96%, foi verificado para as argamassas aplicadas no substrato D1, que a CZP influencia significativamente nesta propriedade. Os dados experimentais do ensaio de adsorção se ajustaram melhor ao modelo GAB.

Já no caso das argamassas aplicadas no substrato D2, nenhuma influência foi possível verificar quanto ao teor de CZP ou do emprego do aditivo para as umidades relativas analisadas. Comparando os dois substratos na adsorção de água, também não foi verificada nenhuma influência.

Na superfície específica das argamassas, foi possível verificar, com 95 % de confiabilidade, que os parâmetros que influem na superfície específica das argamassas são o aditivo, o teor de CZP, a inter-relação entre o teor de CZP e o emprego de aditivo e a variação de substrato. Destes parâmetros, o que tem maior influencia é o aditivo.

Analisando a percentagem de mancha, nem a CZP, nem o emprego de aditivo como parâmetros independentes influenciam neste comportamento de avaliação do desempenho das paredes. Já a inter-relação entre eles contribui para a diminuição do avanço da mancha ao longo do tempo.

Na resistência à aderência, somente a variação do substrato contribui para o aumento da resistência.

Na tabela 5.4, são apresentadas as correlações entre as propriedades higro-físicas dos materiais constituintes da parede e o ensaio de estanqueidade. Verifica-se que, com 95% de confiabilidade em relação às propriedades dos blocos à massa específica, a porosidade aberta, o ângulo de molhamento e a sorptividade exercem uma influência maior no ensaio de estanqueidade do que a variação de substrato, o teor de CZP e o emprego de aditivo, sendo o que mais influencia a massa específica dos blocos.

**Tabela 5.8 – Resumo das propriedades higro-físicas dos materiais constituintes das paredes que influenciam no ensaio de estanqueidade**

PROPRIEDADES HIGRO-FÍSICAS		ENSAIO DE ESTANQUEIDADE		ORDEM DE INFLUENCIA DOS PARÂMETROS
		% DE MANCHA		
BLOCOS	Massa específica no estado endurecido	INFLUENCIA	↓	1
	Porosidade Aberta	INFLUENCIA	↓	4
	Taxa Inicial de absorção	NÃO INFLUENCIA	–	–
	Sorptividade	INFLUENCIA	↓	3
	Ângulo de molhamento	INFLUENCIA		2
	Superfície Específica	NÃO INFLUENCIA	–	–
ARGAMASSAS	Massa específica no estado endurecido	INFLUENCIA	↓	2
	Porosidade Aberta	NÃO INFLUENCIA	–	–
	Ângulo de molhamento	INFLUENCIA		1
	Volume de água absorvido por capilaridade	INFLUENCIA	↓	4
	Sorptividade	INFLUENCIA	↓	3
	Superfície Específica	NÃO INFLUENCIA	–	–
PAREDES	Resistência à aderência	INFLUENCIA	↓	

Em relação às propriedades das argamassas que afetam o ensaio de estanqueidade, encontram-se por ordem de influência: a massa específica, o ângulo de molhamento, a sorptividade e juntamente o volume de água absorvido.

A massa específica, segundo os resultados, deveria ter uma influencia inter-relacionada porque, na medida em que diminui a massa específica o material é mais leve e teria uma porosidade aberta superior, e com isto mais poros acessíveis para que ocorresse a transferência de água para dentro do material. Analisando dita característica, foi verificado o contrário, porque a percentagem de mancha foi menor na medida em que diminuiu a massa específica e aumentou a porosidade aberta, caso das paredes fabricadas com argamassas com 100 CZP, sendo mais acentuado para as argamassas com 100CZP+IA.

Em relação ao ângulo de molhamento, foram encontradas, influências que, na medida em que aumentou o ângulo, os valores da percentagem da mancha foram menores. Esta propriedade foi verificada para os dois substratos à medida que aumentou o teor de CZP nas argamassas.

Foi verificado, com o volume de água absorvido e a sorptividade, que, à medida que aumentou o teor de CZP para os dois substratos, diminuiu a absorção de água ao longo do tempo e conseqüentemente a sorptividade, sendo verificado igual comportamento na avaliação global de percentual da mancha das paredes.

---

**CAPÍ**

## **TULO 6**

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS**

#### **6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Com o conhecimento das propriedades físicas e higrotérmicas das argamassas e dos blocos, podem ser identificados os principais fatores que influenciam no ensaio de estanqueidade, além que tais propriedades se apresentam como ponto de partida de grande relevância para a compreensão do comportamento nos novos materiais de construção quanto ao seu desempenho em condições de uso.

O procedimento experimental utilizado nesta pesquisa foi capaz de verificar a variabilidade de resultados das propriedades físicas e higrotérmicas dos blocos e das argamassas em função do tipo de substrato (mais ou menos poroso), do teor de cinza pesada e o emprego de aditivo incorporador de ar juntamente com a possibilidade de verificar as influências destes no ensaio de estanqueidade. As diferenças do comportamento hídrico entre os materiais empregados no revestimento foram explicadas com base na sua estrutura porosa.

A contribuição da tese foi no sentido de avaliar as propriedades físico-higrotérmicas dos materiais constituintes de paredes na transferência de água durante o ensaio de penetração de água de chuva. Até o momento, a análise deste comportamento era vinculada às propriedades mecânicas dos materiais constituintes das paredes. Os dados obtidos nesta pesquisa, como, por exemplo, a quantidade de água transportada para o substrato e, conseqüentemente, a concentração de água contida no interior da argamassa, a cinética de evolução da umidade e da temperatura ao longo do ensaio.

Uma previsão através das propriedades físicas e higro-térmicas e distribuição de umidade nos materiais permitiu entender como se correlacionam os fenômenos no final do ensaio. Com isto, seria possível utilizar somente o ensaio de estanqueidade como uma ferramenta de auxílio no caso de da presença de vários elementos construtivos com iguais comportamentos físicos e higrotérmicos.

A percentagem de adição de cinzas de carvão mineral, assim como do aditivo utilizado na execução das argamassas, influenciou a transferência de água desta para o substrato poroso. As argamassas executadas com cinzas foram as que apresentaram maior resistência ao fluxo de água durante o ensaio de estanqueidade, indistintamente do substrato onde foi colocada. Isto foi evidenciado pela menor quantidade de água transportada para o interior do substrato e pela percentagem de mancha ao final do ensaio, ainda que nos resultados do conteúdo de umidade obtidos por pesagens das amostras extraídas nas paredes foram obtidos valores superiores no caso das argamassas com cinzas pesadas.

A porosidade das argamassas, aliada à interação com o tipo de substrato sobre os quais estas são aplicadas, em virtude do maior ou menor poder de sucção destes, influe diretamente sobre propriedades fundamentais do sistema de revestimento. A sucção elevada do substrato parece afetar de forma mais homogênea a formação da estrutura porosa das argamassas.

Pelas propriedades analisadas, as paredes que apresentariam um comportamento de absorção de água e transferência de umidade mais favorável seriam construídas com os blocos de concreto da serie \_D2 e revestidas com argamassas com 100% de CZP+IA.

Além disso, considerando que não existem diferenças de pressão, desprezando a gravidade, que existe continuidade hidráulica entre as argamassas de revestimento e de assentamento segundo as propriedades hídricas dos elementos construtivos empregados da fabricação das paredes, a água não atravessaria as paredes durante as 7 horas de ensaio, e que as paredes não apresentariam mancha na outra face. E, estas passagens ocorreram pela presença de diferenças de pressão presentes durante a realização do ensaio, por ser aplicada uma pressão de vento que simula uma chuva incidente, pelas forças capilares.

A velocidade de transferência de água é mais elevada dentro da argamassa do que nos blocos, permitindo justificar o surgimento da mancha através das juntas espalhando-se para os blocos.

Através do uso de Hobbos (sensores de umidade e temperatura) foi possível acompanhar o comportamento ao longo do tempo da cinética de evolução da umidade relativa e da temperatura no interior das paredes, podendo ser definidas curvas acentuadas nas paredes mais úmidas e a detecção de pontos mais ou menos úmidos nas paredes que permitiam o avanço acelerado da água através das mesmas.

Através das imagens obtidas da câmara de termografia infravermelho foi possível determinar temperatura superficial de cada uma das paredes, permitindo obter uma imagem da sua distribuição superficial da umidade, sendo possível visualizar as variações de temperaturas em toda a extensão das paredes, indicando a presença de umidade a partir da segunda fila das paredes como verificado nas fotos digitais. A presença de umidade verificada pelas baixas temperaturas nas imagens de infravermelho apresenta-se como resultado do movimento capilar da água.

De todas as propriedades avaliadas, a absorção de água por capilaridade ao longo do tempo, que permite a determinação da sorptividade, pode ser considerada a que melhor permite caracterizar e prever melhor o comportamento da transferência de umidade.

Outra conclusão que foi possível levantar é que, em todos os ensaios de avaliação realizados através das curvas de evolução de absorção por capilaridade, cinética de avanço da umidade no interior das paredes (Hobbos), evolução da mancha ao longo do tempo, foi possível observar as teorias capilares típicas de absorção em que, nos tempos iniciais a absorção de água, aumenta em função da raiz do tempo e ao longo do tempo verifica-se uma lenta mudança do comportamento hídrico, definindo taxa de absorção mais lenta, gerenciado pelas forças capilares.

Através do ensaio de resistência de aderência à tração dos revestimentos foi possível verificar a possível correlação com a taxa inicial de absorção, visto que valores maiores de resistência de aderência são atribuídos à maior penetração de pasta aglomerante na estrutura porosa do substrato. As paredes construídas com blocos de concreto definidos como D<sub>2</sub>, com valores superiores da porosidade aberta e das taxas iniciais de absorção, foram as que apresentaram valores de resistência de aderência superior.

## 6.2 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Com os resultados obtidos nesta pesquisa e visando aprimorar questões tecnológicas e científicas, as seguintes sugestões são propostas para o desenvolvimento de trabalhos futuros:

- Utilizar estas propriedades estudadas como dados de entrada de modelos computacionais de transferência de umidade para a predição do comportamento;
- Desenvolver programas computacionais que permitam a simulação em determinadas condições de exposição do ensaio de estanqueidade e que permitam acompanhar a evolução da chuva incidente a partir das propriedades físicas e higrótérmicas dos elementos constituintes;
- Desenvolvimento de sensores que permitam, nas condições de pesquisas do ensaio de estanqueidade, como, por exemplo, em revestimentos já endurecidos, acompanhar o processo de infiltração de água ou outros agentes.

---

## REFERÊNCIAS:

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **E 514**: *Standards test method for water penetration and leakage through masonry*, ASTM, Baltimore, 1990 (1996).

\_\_\_\_\_. **C 67**: *Standards test methods of sampling and testing brick and structural clay tile*, ASTM. In: Annual Book of ASTM standards, Section 4, p. 37-67. Philadelphia. 1991

\_\_\_\_\_. **C 90**: *Standard specification for hollow load-bearing concrete masonry units*, ASTM. In: Annual Book of ASTM standards, Section 4, p. 68-70. Philadelphia. 1991

\_\_\_\_\_. **C 270. 1982** ASTM C 270-\_\_\_\_\_, [UBC Standard No. 24-20] - Mortar for Unit Masonry. C 270 Standard Specification for Mortar for Unit Masonry

\_\_\_\_\_. **C 1498-01**, **Standard test method for hygroscopic sorption isotherms of building materials**. 2001.

\_\_\_\_\_. **C 618**, Standard specification for coal fly ash and raw of calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in Portland cement concrete. Philadelphia, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7217**: Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) 1984. NBR6474/84. Determinação da massa específica.

\_\_\_\_\_. **NBR 7175**. **Cal hidratada para argamassas – Especificações**. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR 7251**: Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211/2005**: Agregados de concretos. Especificações. Rio de Janeiro. 2005

\_\_\_\_\_. **NBR 9779**: Argamassa e concretos endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. **NBR 12118**: Bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural - Determinação da absorção de água, teor de umidade e da área líquida. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação do teor de água para obtenção do índice de consistência-padrão. Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_\_. **NBR 13277**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_\_. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_\_. **NBR 6136**: Bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural. Rio de Janeiro, 1994.

NBR-13528/95 - Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração - Método de Ensaio (MB).

ANAND, K.B. VASUDEVAN, V. RAMAMURTHY, K. Water permeability assessment of alternative masonry systems. **Building and Environment**. V 38, p. 947-957, march. 2003.

ANDERSSON. Verification calculation on methods for moisture transport in porous building materials, Swedish Council for Building Research (Document D6:1985), Stockholm.

ANDRADE, B. L. **Metodologia de Avaliação para uso de cinzas pesada de termelétrica como agregado natural para concreto**. Florianópolis, SC. UFSC. 2004. 268 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina.

BARBARE, N.; SHUKLA, A.; BOSE, A. Uptake and loss of water in a cenosphere – concrete composite material. **Cement and Concrete Research**. V 33, p.1681-1686, October 2003.

BASHEER L.; KROPP J.; CLELAND D. J. Assessment of the durability of concrete from its permeation properties: a review. **Construction and Building Materials**. V.15, p. 93-103, March. 2001

BAUER. E.; **Resistência à penetração da chuva em fachadas de alvenaria de materiais cerâmicos-uma análise de desempenho**. Porto Alegre,RS. UFRGS. 1987. 168p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia. Universidade Federal do rio Grande do Sul.

BEAR, J. BENSABAT, J. Heat and mass transfer in unsaturated porous media at a hot boundary: I. One-dimensional analytical model. **Transport in Porous Media**. V. 6, p. 281–298, April. 1991.

F. BLANCO, P. GARCIA, P. MATEOS, J. AYALA. Characteristics and properties of lightweight concrete manufactured with cenospheres. **Cement and Concrete Research** V. 30, p. 1715-1722. 2000

BROCKEN, P, J. **A Moisture transport in brick masonry: they area between bricks**. 1998. 151p, Thesis (Dothor), Technische universiteit Eindhoven

BROWN, RUSSELL H., Effect of Mortar on Water Permeance of Masonry, In: North American Masonry Conference (NAMC), University of Colorado. **Proceedings**. Colorado, August. 1978. 26 p.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **ABNT/CB-02 Projeto 02: 136.01.004**– Desempenho de edifícios habitacionais de até 4 pavimentos – Parte 4: Fachadas. São Paulo. 2001. 60p.

CALÇADA, L.M.L. **Avaliação do comportamento de prismas grauteados e não grauteados de blocos de concreto**. 1998. Dissertação (Mestrado de Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

CAVALCANTE, R. J; CHERIAF, M; POZZOBON, C. MAIA, S. M; MAGRI, L; TAPPARO, S. M. Reaproveitamento das cinzas pesadas do complexo Jorge Lacerda na elaboração de materiais de construção: Aspectos tecnológicos e ambientais. IN: XV SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. 1999. Paraná. **Anais**. Paraná. 1999. p.1-5.

CARASEK, H. **Aderência de argamassas a base de cimento Portland a substratos porosos – Avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação.** São Paulo, 1996. 285p. Tese (doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

CHEN, Z. Q.; SHI M.H. Study of heat and moisture migration properties in porous building materials. **Applied Thermal Engineering**. V. 25, p. 61–71, August 2004.

CHENA, T.Y. ATHIENITISB, A.K. Investigation of practical issues in building thermal parameter estimation. **Building and Environment**. V. 38, p. 1027–1038, Dec. 2003.

CHERIAF, M.; PÉRA, J., ROCHA, J. C. Pozzolanic Properties of Pulverized Coal Combustion Bottom Ash. **Cement and Concrete Research**, V. 29, p 1387–1391, 1999.

CHEW. M. Y. L. A modified on-site water chamber tester for masonry walls. **Construction and Building Materials**. V. 15., p. 329 –337, Jan. 2001.

COMITÊ BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO CIVIL. **ABNT/CB-02/Projeto 02: 136.01.004.**

**Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos– Parte 4: Fachadas e paredes internas.** atualizados em 27/07/2004. <<http://www.cobracon.org.br/desempenho/parte4.pdf>>. Acesso em: 09 set. 2004.

DUBOVOY, V. S., RIBAR, J. W. Masonry Cement Mortars - A Laboratory Investigation. Research and Development. **Bulletin RD095.01T**, Portland Cement Association, Skokie, IL. 1990. 26p.

**ENBRI** - Development of a framework for environment assessment of building materials and components. (ENBRI - Proposal to European Community BRITE EURAM Program). Março,1994. Mimeografado.

FERNÁNDES, P. C. **Estudo dos processos de condensação e migração de umidade em meios porosos consolidados. Análise Experimental de uma argamassa de cal e cimento.** 1990. 135p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

FERNANDES, C. P.; PHILIPPI, P. C.; PEDRINI, A. A influência do conteúdo de umidade sobre a condutividade térmica aparente de materiais porosos consolidados : análise experimental para uma argamassa de cal e cimento. Porto Alegre, RS. 1991. p. 79-86. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 1º, Gramado, 1990.

FISHBURN, C. C., WATSTEIN, D., PARSONS, D. E. Water Permeability of Masonry Walls. **BMS\_7**. National Bureau of Standards. Washington, D. C. 1938. 35p.

\_\_\_\_\_. Water Permeability of Walls Built of Masonry Units. **BMS\_82**. National Bureau of Standards. Washington, D.C. 1942. 37p.

FREITAS, V. P. **TRANSFERÊNCIA DE HUMIDADE EM PAREDES DE EDIFÍCIOS - ANÁLISE DO FENÔMENO DE INTERFACE.** 1992. 200P. TESE (DOUTORADO EM ENGENHARIA CIVIL) – FACULDADE DE ENGENHARIA. UNIVERSIDADE DO PORTO, PORTUGAL.

FREITAS, V.P.; ABRANTES, V.; CRAUSSE, P. Moisture migration in building walls -analysis of the interface phenomena. **Building and Environment**. V.31, p. 99-108, March. 1996.

GATES, R. E., NELSON, R. L., PISTILLI, M. F. The Development of Ready Mixed Mortar in the United States, Masonry: Components to Assemblages. **American Society for Testing and Materials**. Philadelphia. 1990. p. 123-146.

GARDEN, G. K. Pénétration de la pluie et moyens de l'empêcher. **Digeste de la construction N° 40**. Conseil National de Recherches du Canada, Division des recherches en bâtiment, 1963. Disponível em : <<http://www.nrc.ca/irc/cbd/cbd040f.html>>. Acesso em 15, maio, 2003

GHOSH, S. K.; MELANDER, J. M. Air Content of Mortar and Water Penetration of Masonry Walls. **Publication IS191.01 M**. Portland Cement Association. Skokie, IL. 1991. 12p.

GILLAM, K., Effect of Sand on Water Permeance of Masonry. In. North American Masonry Conference, the Masonry Society. **Proceedings**. Denver. 1978. 15p

GUMMERSON, R. J., HALL, C. HOFF, W. D. Water Movement in Porous Building Materials - II. Hydraulic Suction and Sorptivity of Brick and Other Masonry Materials. **Building and Environment**. V.15, n. 2, p. 101-108, 1980.

\_\_\_\_\_. Water movement in porous building materials-I: unsaturated flow theory and its applications. **Building and Environment**. V.12, p. 117-125, 1977.

\_\_\_\_\_. Water movement in porous materials—IV. The initial surface absorption and the sorptivity. **Building and Environment**. V. 16, p. 201–207, 1981.

HALL, C.; HOFF, W. D.; NIXON, M. R. Water movement in porous building materials - VI. Evaporation and drying in brick and block materials. **Building and Environment**, V. 19, p 13 -20, 1984.

HANEHARA S.; TOMOSAWA F.; KOBAYAKAWA M.; HWANG K. Effects of water/powder ratio, mixing ratio of fly ash, and curing temperature on pozzolanic reaction of fly ash in cement paste. **Cement and concrete research**, V. 31, issue 1, p. 31-39, January 2001.

ISBERNER, A. W. Water Permeance of Masonry. **Publication LT 11 1 M**, Portland Cement Association. Skokie. IL. 1979. 70p.

JOHN, M.V. Pesquisa e desenvolvimento de mercado para resíduos. Workshop - Reciclagem e reutilização de resíduos como material de construção civil. 1996. São Paulo. **Anais**. São Paulo: PCC-USP, 1996. p. 21-29.

KAZMIERCZAK, C. S. Desempenho de alvenarias com relação á estanqueidade á água. In: **Simpósio de desempenho de materiais e componentes de Construção Civil**, Florianópolis, 1º 1988, Florianópolis. Anais. Florianópolis UFSC. 1988. p. 97-105. Artigo técnico: Disponível em [www.infohab.org.br](http://www.infohab.org.br).

KREUZ, A. L. **Utilização de cinzas pesadas de termelétricas na substituição de cimento e areia na confecção de concretos**. Florianópolis, SC. UFSC. 2002. 195 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina.

KROPP, J. H. H. K. Performance criteria for concrete durability. **RILEM REPORT 12**. 1995. p. 225-226.

KULA, A. OLGUN, V. SEVINC AND Y. ERDOGAN An investigation on the use of tincal ore waste, fly ash, and coal bottom ash as Portland cement replacement materials. **Cement and concrete research**, V. 32, issue 2, p. 227-232, January 2002.

KUMAR S. K. Pressure equalization of rainscreen walls: a critical review. **Building and Environment**. Amsterdam. V. 35, n. 2, p. 161-179, Feb. 2000.

KUMARAN, K.; LACKEY, J.; NORMANDIN, N.; VAN REENEN, D.; TARIKU, F, **Summary Report from Task 3 of MEWS Project** Institute for Research in Construction, National Research Council, Ottawa, Canada, (NRCC-45369), 2002, pp. 1-68.

KUMARAN, K.; LACKEY, J.; NORMANDIN, N.; VAN REENEN, D.; TARIKU, F, **Heat, Air and Moisture Transport Properties of Several North American Bricks and Mortar Mixes**. Journal of Testing and Evaluation, JTEVA, Vol. 32, No. 5, 2004, pp. 383-389.

KVANDE, T.; WALDUM, A.M. Rain Penetration Resistance of Renders. In: BRITISH MASONRY SOCIETY. 9., 2002, **Proceedings**. Nov. 2002, p. 260-266

LACASSE, M.A. Recent studies on the control of rain penetration in exterior wood-frame walls. BSI 2003. **Proceeding**. Oct. 2003. p 1-6. NRCC-46889. Disponível em: <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/fulltext/nrcc46889>

LENZI, E.J. **Influencia do uso de cinzas da combustão de carvão mineral em argamassa de revestimento**. 2001. Dissertação (Mestrado de Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

LUIKOV, A.V., System of differential equation of heat and mass transfer in capillary-porous bodies. **International Journal of Heat Mass Transfer**. V. 18. p. 1-14. 1975.

MALHOTRA, V. M.; VALIMBE, P. S.; WRIGHT, M. A. Effects of fly ash and bottom ash on the frictional behavior of composites . **Fuel**. V. 81, n. 2, p.235-244, January. 2002.

MAREF, W.; BOOTH, D.G.; LACASSE, M. A.; NICHOLLS, M. Drying Experiment Of Wood-Frame Wall Assemblies Performed In The Climatic Chamber EEEF: Specification of Equipment used in EEEF - Environmental Exposure Envelope Facility, **IRC Research Report**, October 18, 2002. p 42.

MARGON, P. V. **Influência do uso das cinzas de carvão mineral de termelétricas em argamassas de revestimento: dosagem por curvas granulométricas**. Florianópolis, SC. UFSC. 2002. 100 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina.

MATTHYS, J. H. Conventional Masonry Mortar Investigation. **Report for the National Lime Association**, 200 N. Glebe Rd. Suite 800, Arlington, Virginia, August 1987. 15p.

MATTHYS, J. H., Water Penetration Investigation of Concrete Block Assemblages Using Conventional Masonry Mortars. IN: FIFTH NORTH AMERICAN MASONRY CONFERENCE. **Proceedings**. the Masonry Society, Denver, p. 990-997.1990

McCARTER, W.J. Assessing the protective qualities of treated and untreated concrete surfaces under cyclic wetting and drying. **Building and Environment**. V. 31, p. 551-556, Nov. 1996.

MELANDER; J.M.; GHOSH; S.K.. Factors Affecting Water Penetration of Masonry Walls. IN: CANADIAN MASONRY SYMPOSIUM. 6. 1992. Saskatchewan **Proceedings**. Saskatchewan, University of Saskatoon, Saskatchewan, Canada. 1992. 6p.

MENDES, N. **Modelos para Previsão da Transferência de Calor e de Umidade em Elementos Porosos de Edificações**. 1997. 225p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) –Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

MEROUANI, L. **Phénomènes de sorption et de transfert d'humidité dans des matériaux du bâtiment. Etude expérimentale comparative d'un mortier de ciment et d'un enduit de façade.** Thèse Docteur 3e Cycle. Institut National Polytechnique de Grenoble. 1987. 127p

MORRISON HERSHFIELD Limited, Rain Penetration Control: Applying Current Knowledge. **Report No. 2972033/2**, Draft 2, Presented to CMHC, Canada, 1998.

MUSTELIER, N. L. **Avaliação do desempenho de blocos e argamassas com cinzas de carvão mineral incorporada para aproveitamento em conjuntos habitacionais.** Florianópolis, SC. UFSC. 2002. 127 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina.

MUSTELIER, N. L.; ROCHA, J. C. A Testing Procedure to Assess Water Penetration and Leakage of Masonry Walls. In: ALEXANDRIA INTERNATIONAL CONFERENCE ON STRUCTURAL & GEOTECHNICAL ENGINEERING. 5. 2003. Alexandria. **Proceedings**. Alexandria. Alexandria University. Egypt. 2003.

NATIONAL LIME ASSOCIATION, "Lime-Based Mortars Create Water Tight Walls", Masonry Mortar Technical Notes #5, October. 2000. Disponível em: <<http://www.lime.org/Walls.pdf>>. Acesso em: julho, 2002.

\_\_\_\_\_. **Effect of Mortar Composition on Wall Leakage**, Masonry Mortar Technical Notes #5, February, 1979. Disponível em: <http://www.lime.org/>. Acesso em: julho, 2002.

PAES L. I. N. **Avaliação do transporte de água em revestimentos de argamassa nos momentos iniciais pós-aplicação.** 2004. 242p. Tese de Doutorado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

PANDEY, S. P.; SHARMA R. L. The influence of mineral additives on the strength and porosity of OPC mortar. **Cement and concrete research**, V. 30, issue I, 19-23p. January 2000.

PHILIP J.R., D. DE VRIES A. Moisture movement in porous materials under temperature gradients. **Transactions of American Geophysical Union**. V.38, p 222–232, 1957.

[PIAZZA, J. L.](#); RUI, V. Comportamento das cinzas pesadas de carvão mineral como substituto da areia quartzosa em argamassas. Vitória, ES. 1999. p. 389-401. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Vitória, **Anais**. 1999. Artigo técnico.

POLISENI, A E. **Método de campo para avaliar a capacidade impermeabilizante de revestimentos de parede – Método do cachimbo.** 1986. 140p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. **Masonry Cement: Product Data Sheet** – EUA - 2002. 12p.

\_\_\_\_\_. **Water Penetration Test of Masonry Walls** – EUA – 1991.5p.

\_\_\_\_\_. **Laboratory Research on water permeance of masonry** – EUA - 1980. 12p.

POZZOBON, C. E. **Aplicações Tecnológicas para a Cinza do Carvão Mineral Produzido no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda.** 1999. 122p. Dissertação (Mestrado de Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

PROGRAMA IMAGE TOOL 3.0. The University of Texas Health Science Center at San Antonio. Disponível na internet: < <http://ddsdx.uthscsa.edu/dig/itdesc.html>> 11 de agosto de 2006.

RANGANATH, R. V.; BHATTACHARJEE, P.; KRISHNAMOORTHY, S. **Influence of Size Fraction of Pondered Ash on its Pozzolanic Activity**. Cement and Concrete Research, Volume 28, Issue 5, May 1998, Pages 749-761.

TAHA REDA et al.. Sorptivity: A Surface Absorption Criterion for Brick Units: A Proposal for the Canadian Masonry Standard. .In: CANADIAN MASONRY SYMPOSIUM. 9<sup>th</sup>. 2001. Fredericton. **Proceedings**. Fredericton University of New Brunswick. Canadá. 2001. Disponível em: [www.reda-taha.com/Publications/Fredericton-1-2001.PDF](http://www.reda-taha.com/Publications/Fredericton-1-2001.PDF). Acesso em: agosto, 2004.

RESENDE, Z de Sá.; DEMARZO, M. <sup>a</sup> Processo de fluxo eletrocinético na secagem de paredes com umidade. In: Congresso Internacional sobre o comportamento de estruturas danificadas. 2<sup>o</sup>. 1996. Niterói. **Anais**. Niterói.2000. 8p.

RIBAR, J. W. Water Permeance of Masonry: A Laboratory Study. **Masonry: Materials, Properties and Performance, ASTM STP 778**. J. G. Borchelt, Ed: American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1982. p. 200-220.

RICHARDS, L.A. Capillary conduction of liquids through porous media. **Physics 1**. V. 3, p. 318–333, 1931.

RICHARDS, R.F. Steady-flux measurements of moisture diffusivity in unsaturated porous media. **Building and Environment**. V 29, p. 531–535, oct.1994.

RITCHIE, T., A Small-Panel Method for Investigating Moisture Penetration and Bond Strength of Brick Masonry. Materials Research and Standards. **ASTM**. Vol.1. No. 5. May, 1961 p. 360-364.

RITCHIE, T., DAVISON, J. I., Factors Affecting Bond Strength and Resistance to Moisture Penetration of Brick Masonry Symposium on Masonry Testing, **ASTM STP 320**, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, pp. 16-30. 1963.

ROBINSON, G. C., BROWN, R. H. Inadequacy of Property Specifications in ASTM C270”, Masonry: Materials, Design, Construction, & Maintenance, **ASTM STP 992**, H. A. Harris, Ed., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1988, pp.7-17.

ROGBECK J., KNUTZ A. Coal Bottom Ash as Light Fill Material in Construction. **Waste Management**. V.16, p. 125–128, 1996.

SAFIUDDIN, M.; HEARN, N. **Comparison of ASTM saturation techniques for measuring the permeable porosity of concrete**. Cement and Concrete Research, In Press, Corrected Proof, Available online 23 Dezembro 2004.

SANTOS, F. I. G. Avaliação das propriedades higrotérmicas das argamassas: estudo de caso com as cinzas pesadas. Florianópolis, SC. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina.

SANTOS, F.I.G., ROCHA, J.C., CHERIAF, M., LENZI, E. J. Avaliação de resíduos para o uso em argamassas – estudo com cinza pesada. In: I CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL/X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. 2004. São Paulo. **Anais**. São Paulo. 2004

SELVARAJAH, S.; JOHNSTON A. J. Water permeation through cracked single skin masonry. **Building and Environment**. V.30, n 1, p. 19-28, jan.1995.

SILVEIRA, J. P.; ROCHA, J. C.; CHERIAF, M. Desenvolvimento de blocos de concreto com uso das cinzas de termelétricas. In: I CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL/ X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. 2004. São Paulo. **Anais**. São Paulo. 2004.

SKEEN, J. W., Experiments on the Rain Penetration of Brickwork: The Effect of Mortar Type, **Transactions of the British Ceramic Society**, V.70, p. 27-30, January, 1971.

SHAH, D.J. An experimental determination of the heat and mass coefficients in moist, unsaturated soils. **International Journal of Heat Mass Transfer**. V 27, n. 7, p.1075–1085, July. 1984.

STRAUBE, J. F. [Moisture, materials, & buildings](#). **ASHRAE Journal**. V. 18, n. 6. Jan, 2002. 8p.

TAYLOR, B.J. CAWTHORNE, D.A. IMBABI, M.S. Analytical investigation of the steady-state behaviour of dynamic and diffusive building envelopes. **Building and Environment** V. 31, n.6, p.519–525, nov. 1996.

THOMAZ, E.; RANIERI C. G. **Crítérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social**. São Paulo, IPT, 1998.12p.

VALEN, M.S. **Moisture transfer in organic coatings on porous materials--the influence of varying environmental conditions**. 1998.

WHITAKER, S. Simultaneous heat, mass and momentum transfer in porous media: A theory of dry, in: J.P. Hartnett, T.F. Irvine (Eds.), **Advances in Heat Transfer**, Vol. 13, Academic Press, New York, 1977.

WYRWAL, J. MARYNOWICZ, A. Vapor condensation and moisture accumulation in porous building wall. **Building and Environment**. V. 37, n.3, p. 313–318, march. 2002.

WILSON, M.A. HOFF., W.D. Water movement in porous building materials—XII. Absorption from a drilled hole with a hemispherical. **Building and Environment**. V. 29 n. 4. p. 537–544, Oct. 1994.

YORKDALE, A.H., Initial Rate of Absorption and Mortar Bond, Masonry: Materials, Properties and Performance, **ASTM STP 778**, J. G. Borchelt, Ed., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1982. p. 91 -98.

## ANEXOS

### **Blocos**

**ANEXO A: DADOS DA ORGANIZAÇÃO DOS BLOCOS EM GRUPOS E SUBGRUPOS**

**ANEXO B: DADOS DO ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE DOS BLOCOS E A SORPTIVIDADE – Painéis de Caracterização**

**ANEXO C: DADOS DO ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE DOS BLOCOS E A SORPTIVIDADE – Paredes Estanqueidade**

**ANEXO D: MAPEAMENTO DOS BLOCOS EM CADA PAREDE**

**ANEXO E: DADOS DOS ENSAIOS DE MASSA ESPECIFICA E POROSIDADE ABERTA**

**ANEXO F: DADOS DO ENSAIO DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA**

### **Argamassas**

**ANEXO G: DADOS DOS ENSAIOS DE MASSA ESPECIFICA E POROSIDADE ABERTA**

**ANEXO H: DADOS ÂNGULO DE MOLHAMENTO APARENTE**

**ANEXO I: DADOS DO ENSAIO DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA**

### **Paredes**

**ANEXO J: DADOS DOS SENSORES DE UMIDADE E TEMPERATURA**

**ANEXO K: DADOS DO TEOR DE UMIDADE DAS AMOSTRAS EXTRAÍDAS DAS PAREDES DEPOIS DE 7 HORAS DE ENSAIO DE ESTANQUEIDADE**

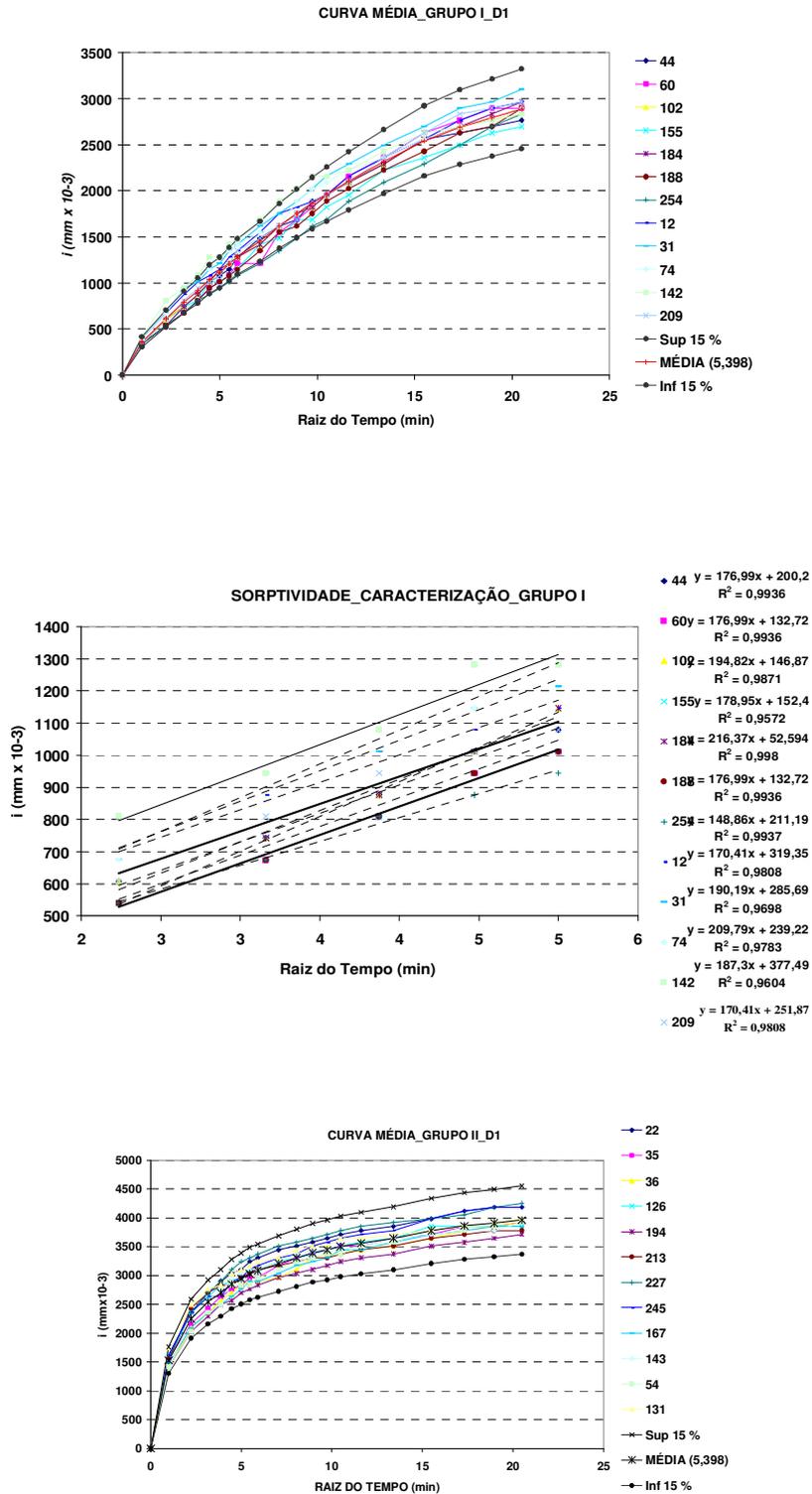
**ANEXO L: DADOS INDIVIDUAIS DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO APLICADAS SOBRE SUBSTRATOS**

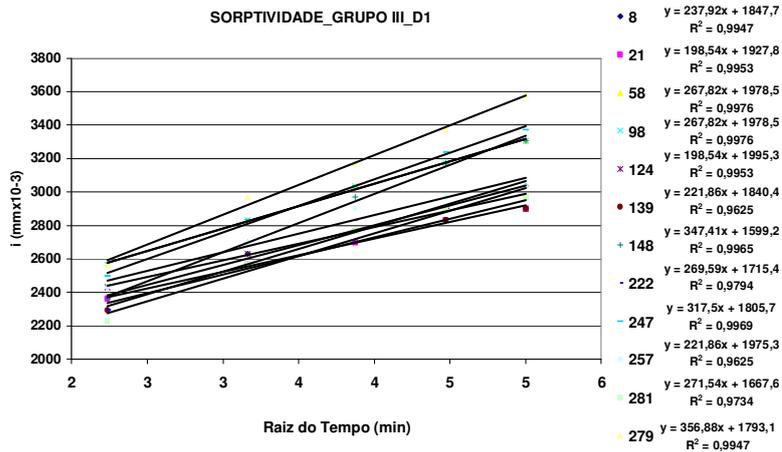
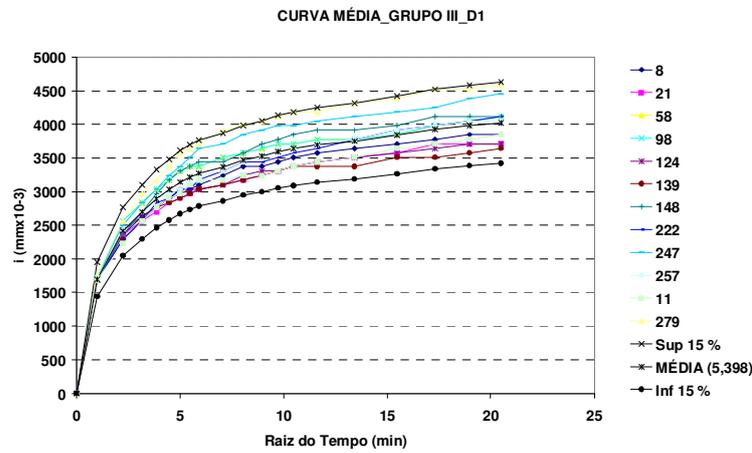
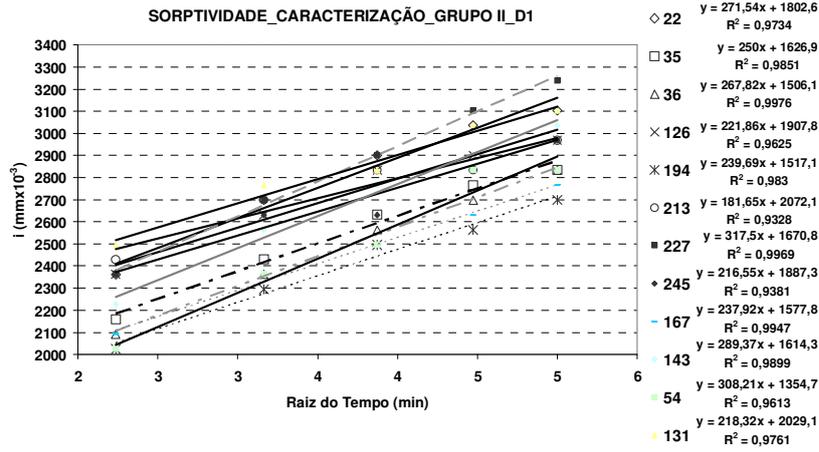
**ANEXO M - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS RESULTADOS**

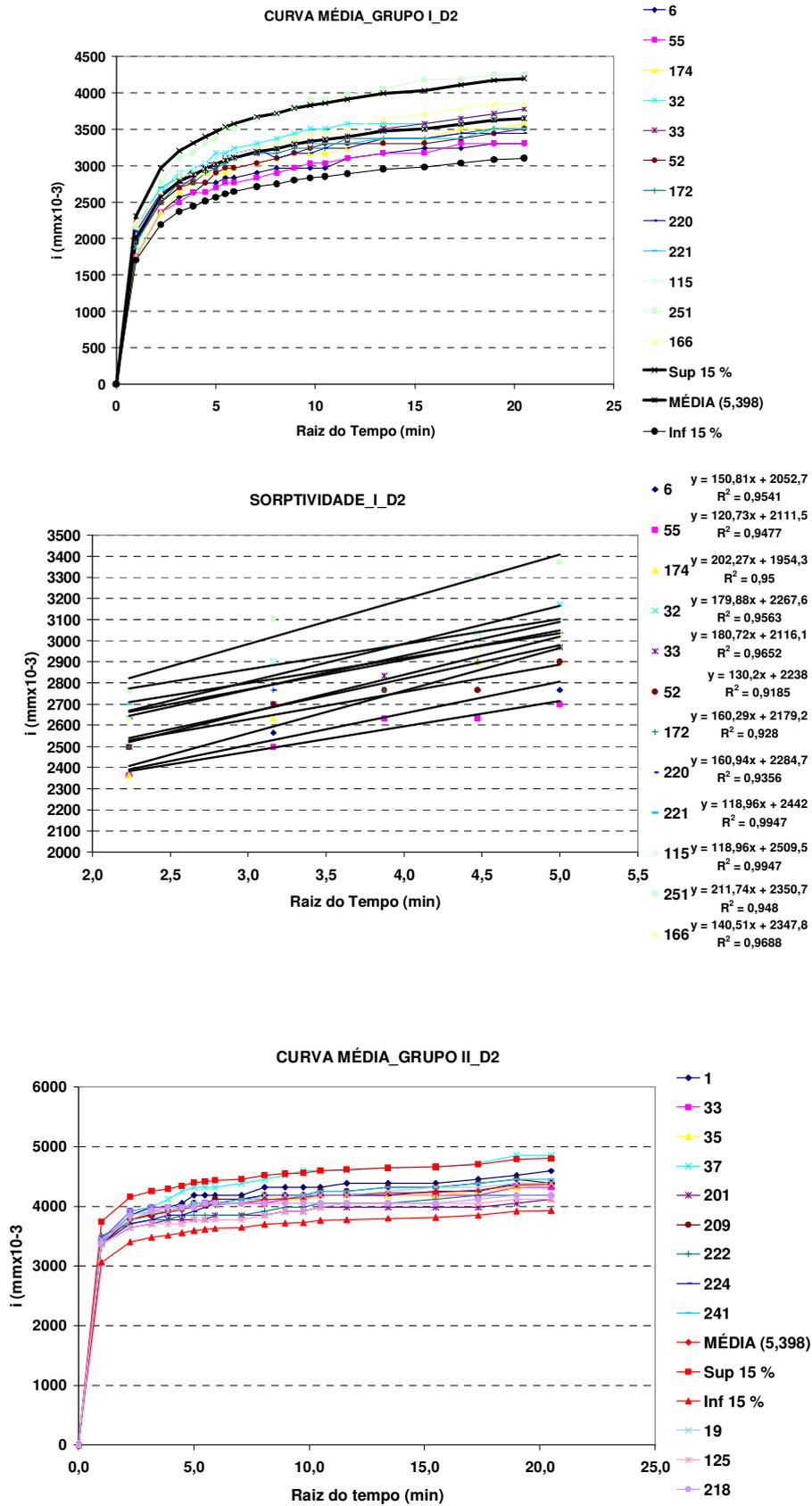
**ANEXO A: DADOS DA ORGANIZAÇÃO DOS BLOCOS EM GRUPOS E SUBGRUPOS**

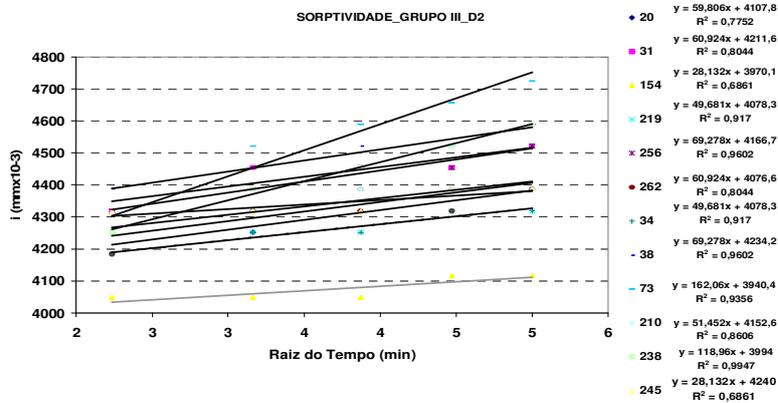
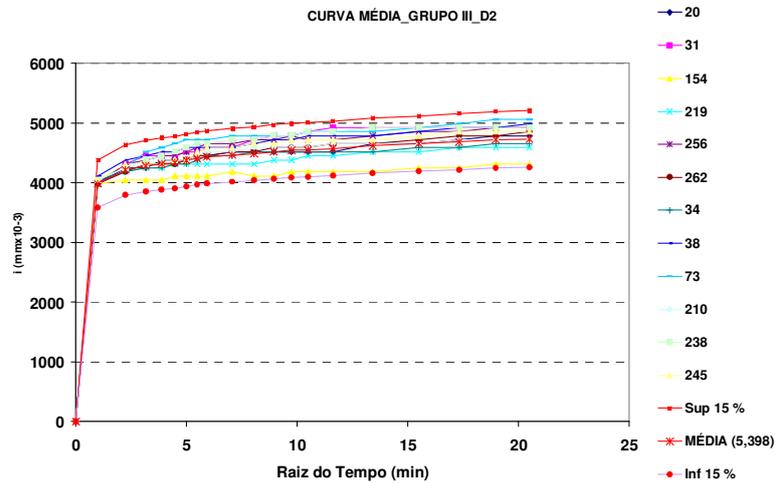
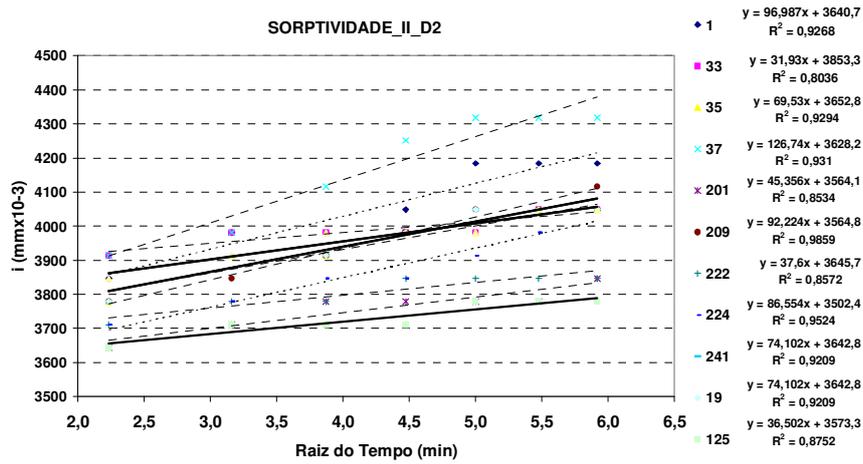


## ANEXO B: DADOS DO ENSAIO DABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE DOS BLOCOS – Painéis de Caracterização

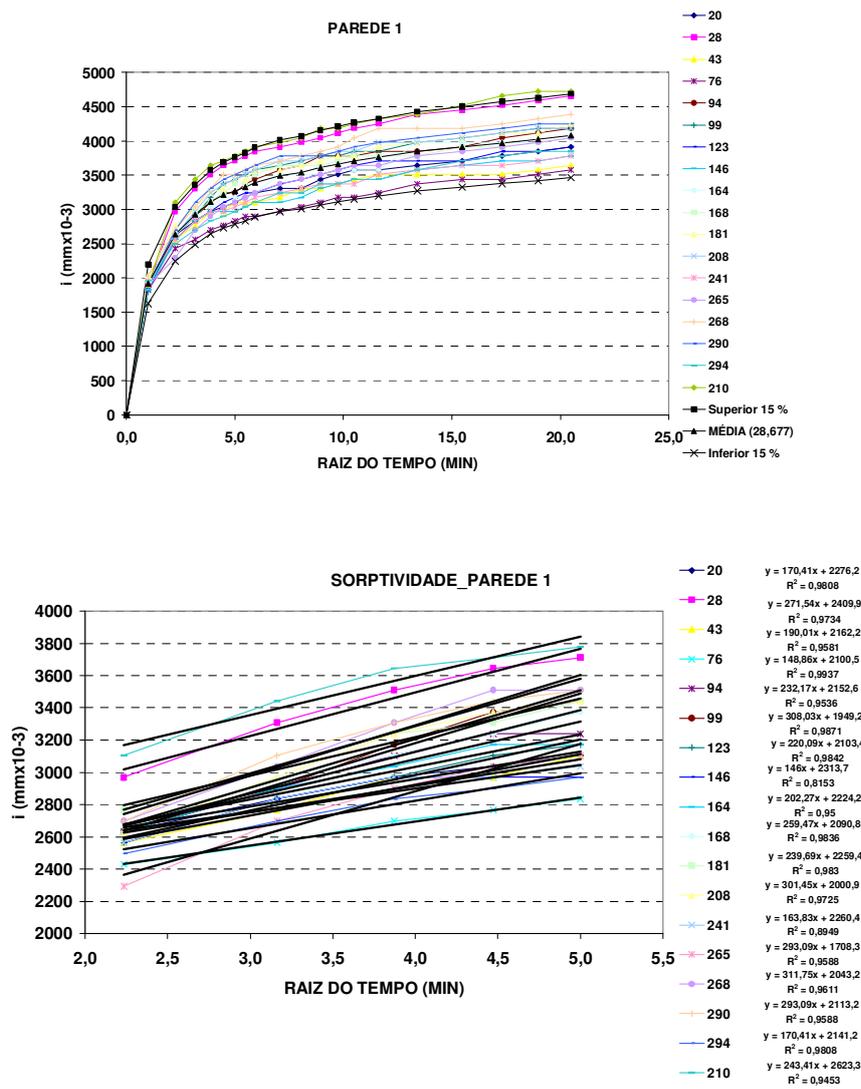


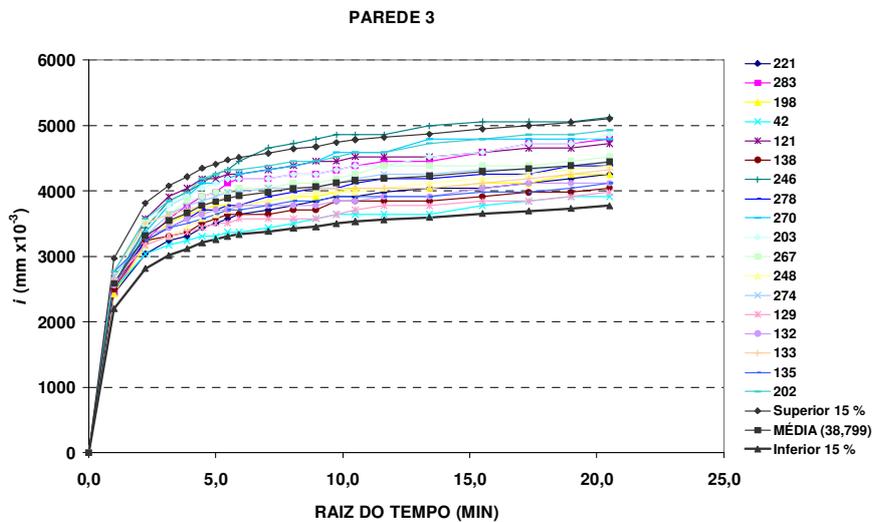
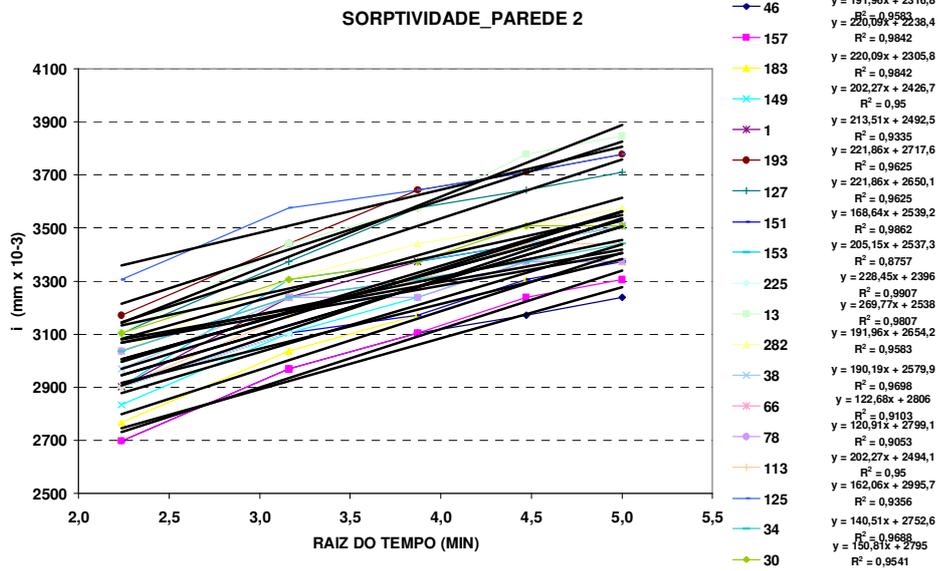
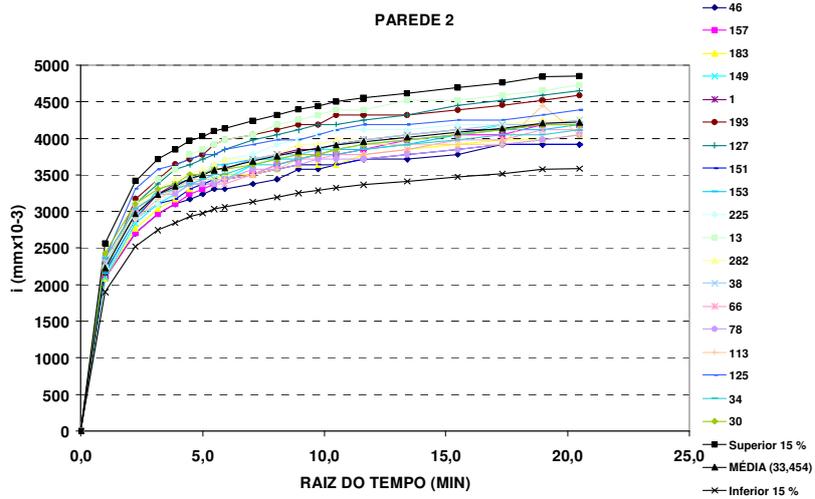


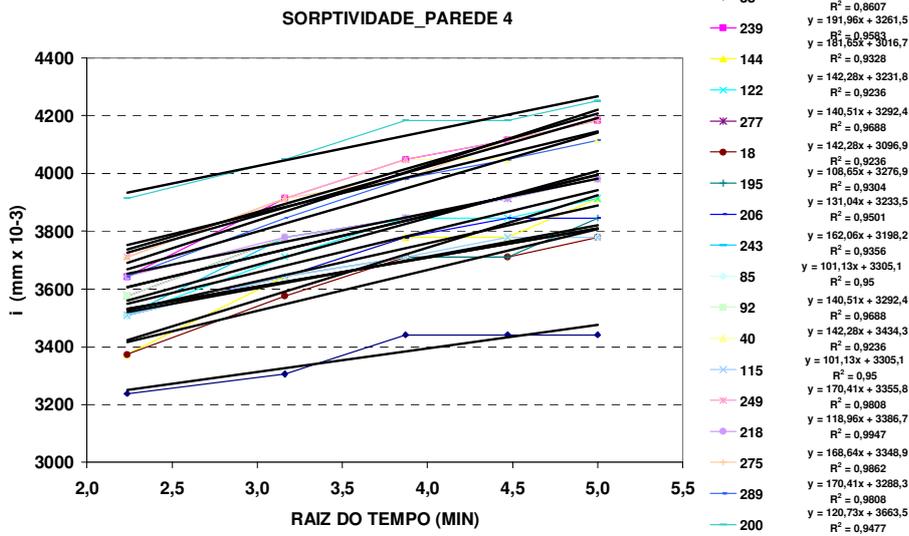
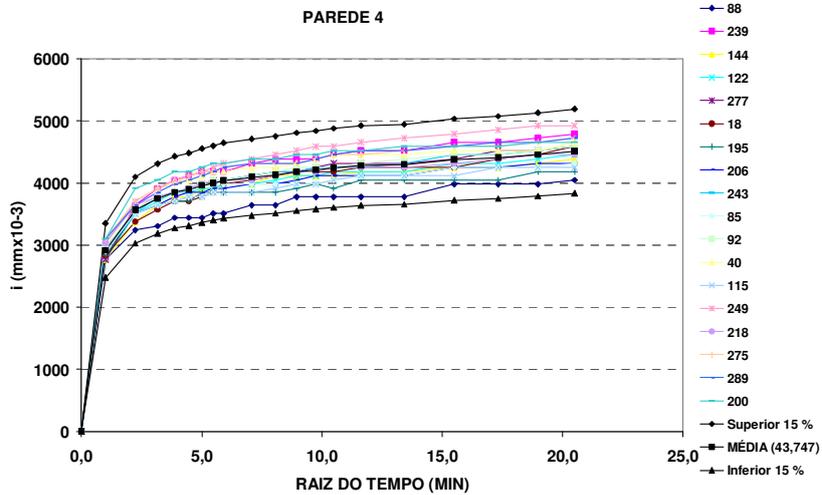
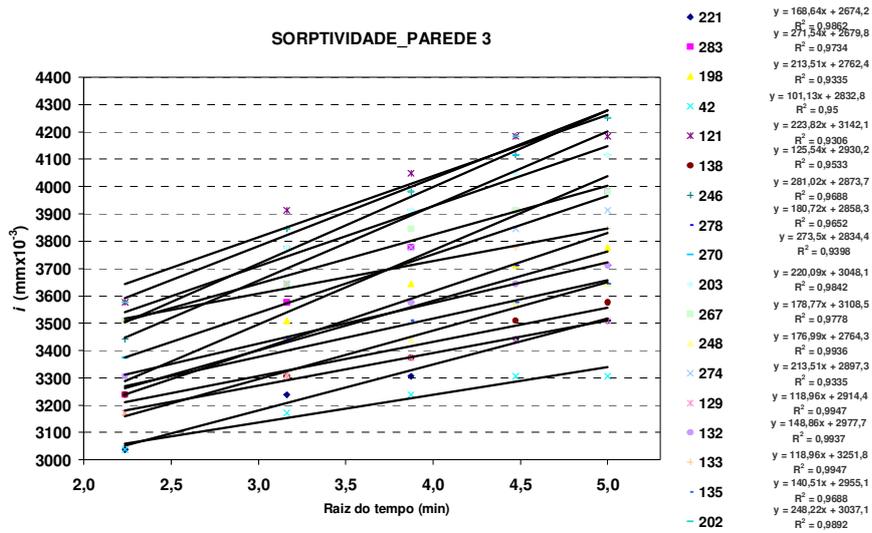


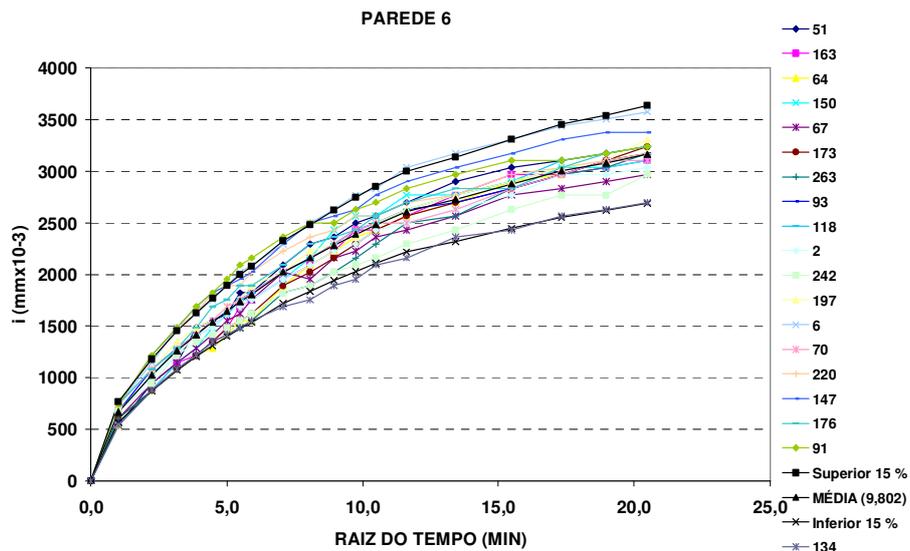
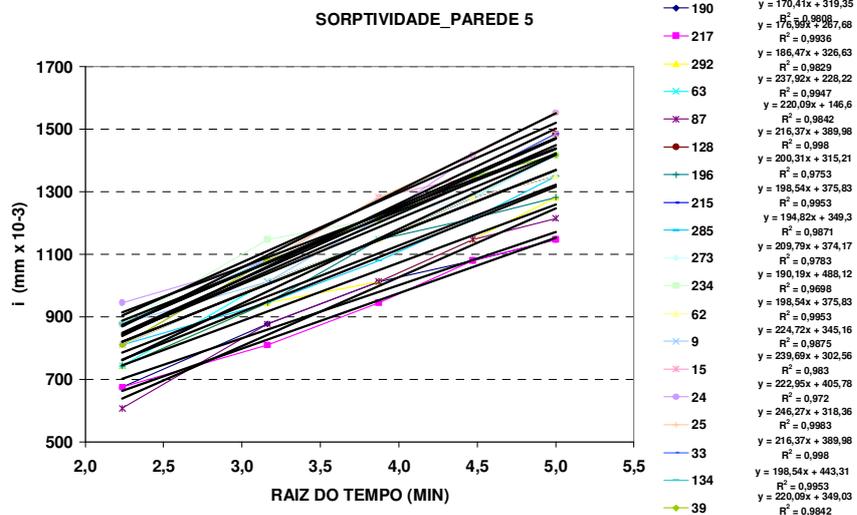
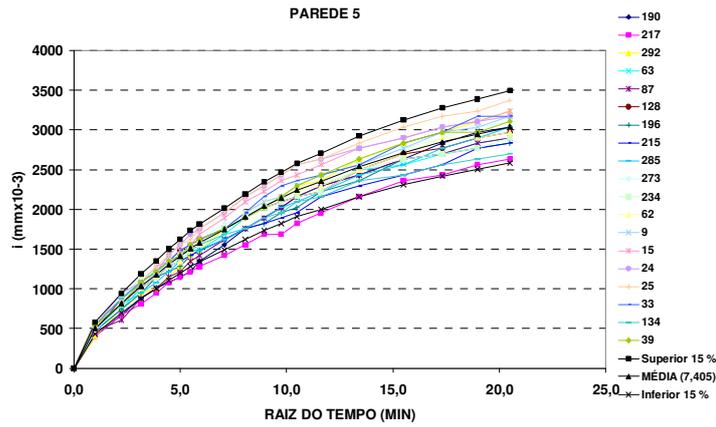


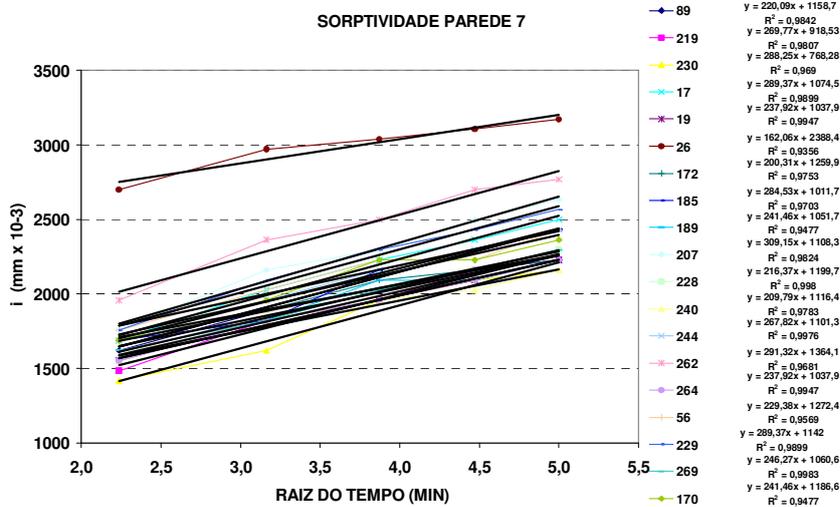
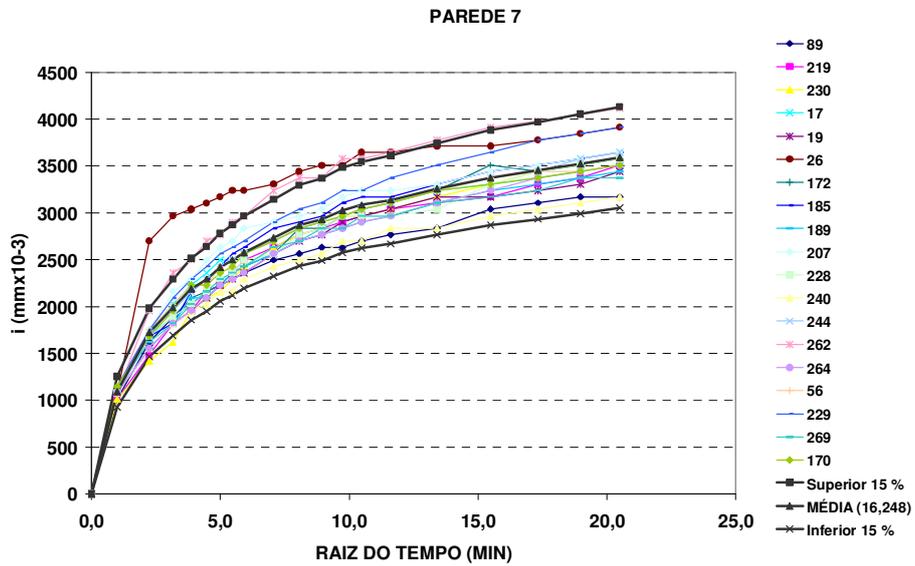
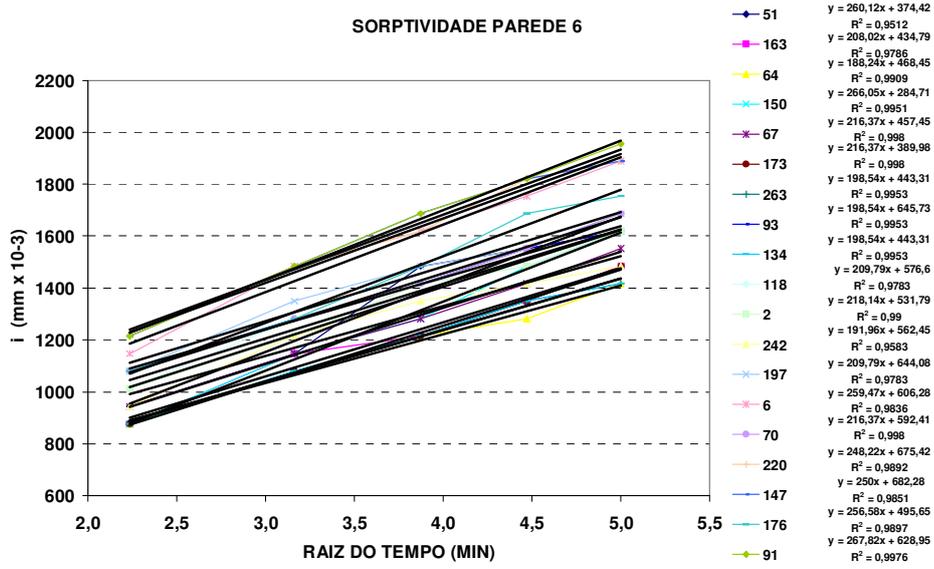
### ANEXO C: DADOS DO ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE DOS BLOCOS – Paredes Estanqueidade

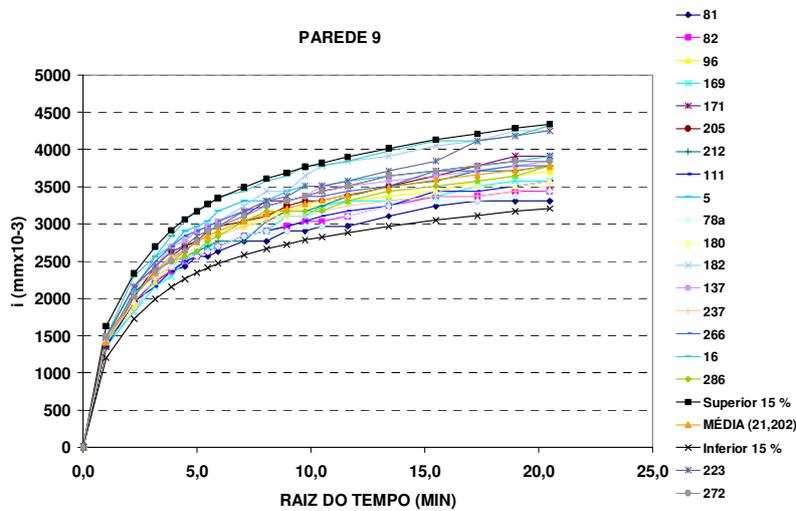
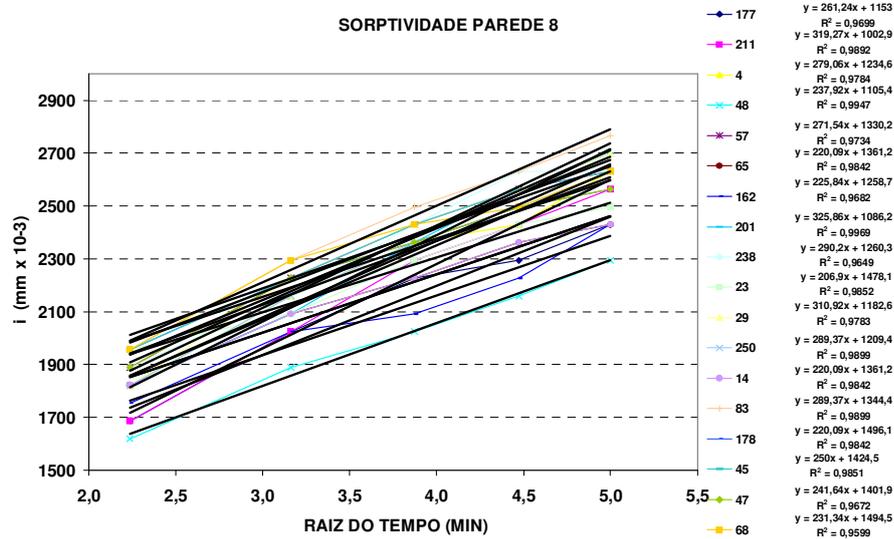
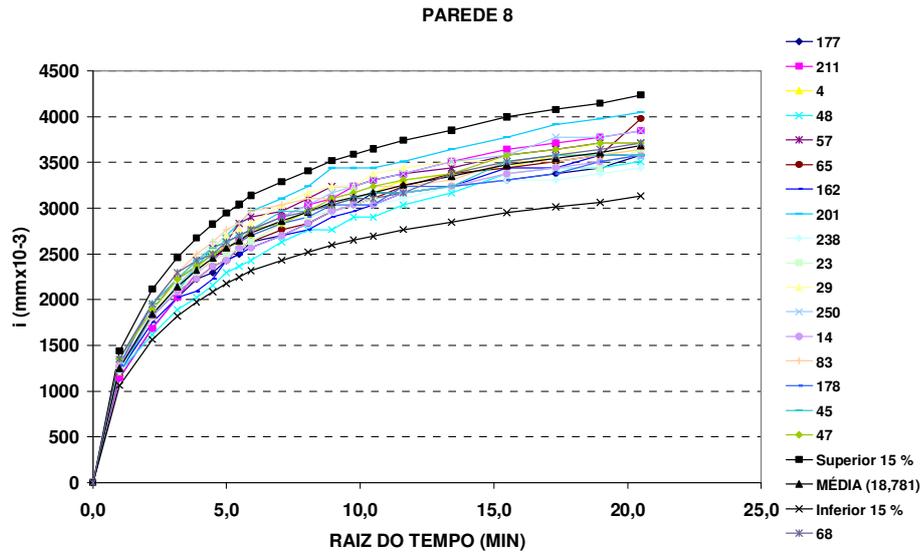


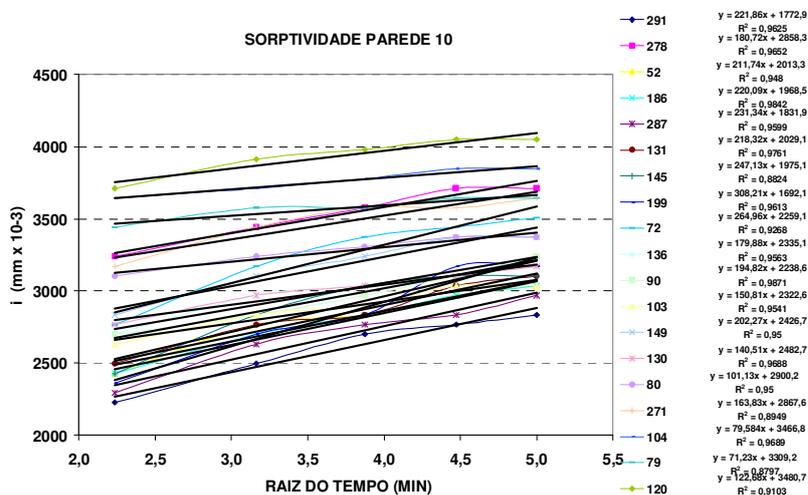
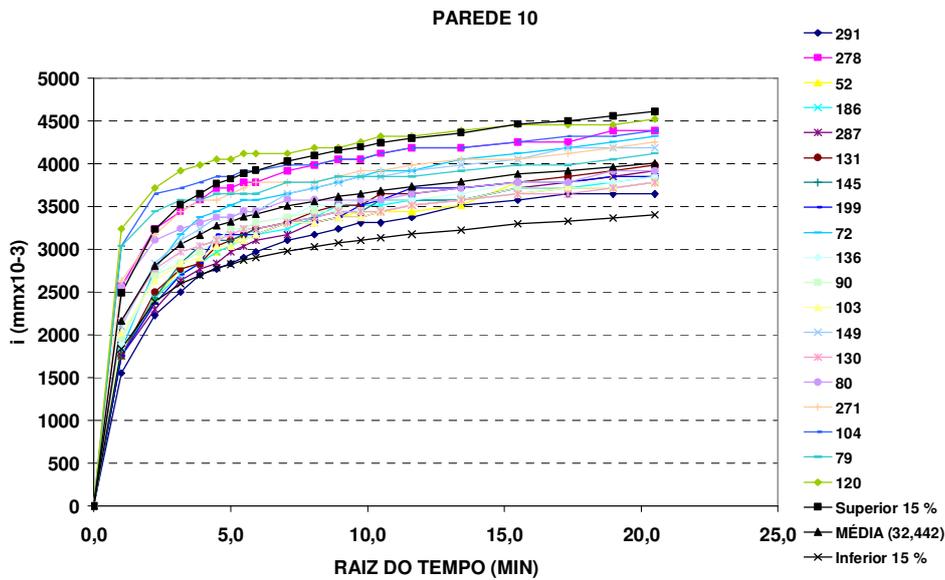
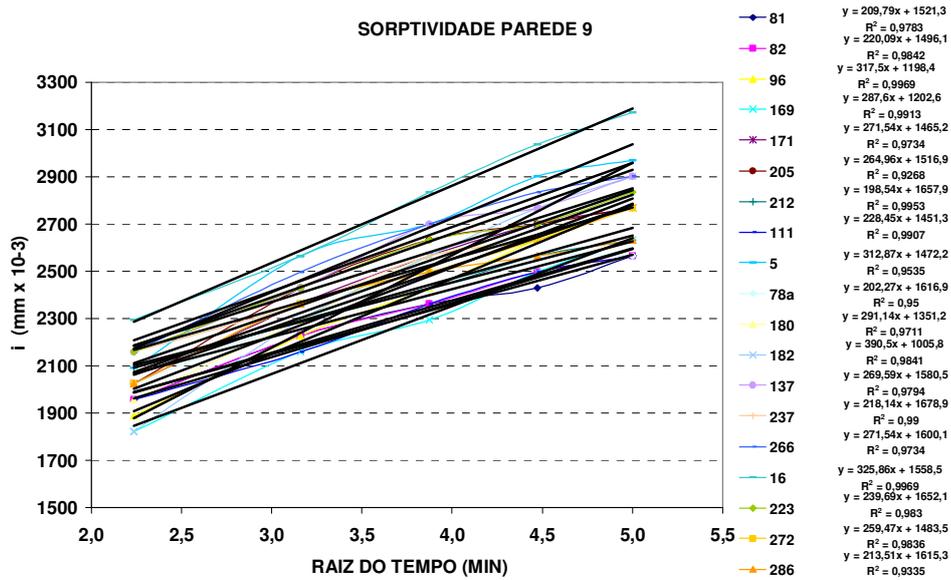


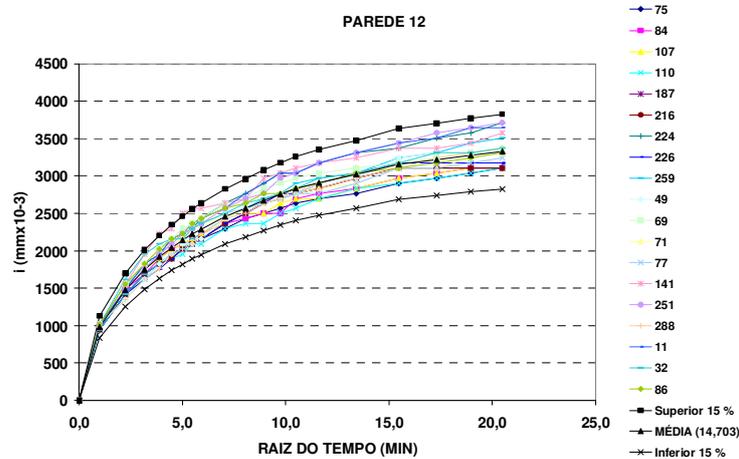
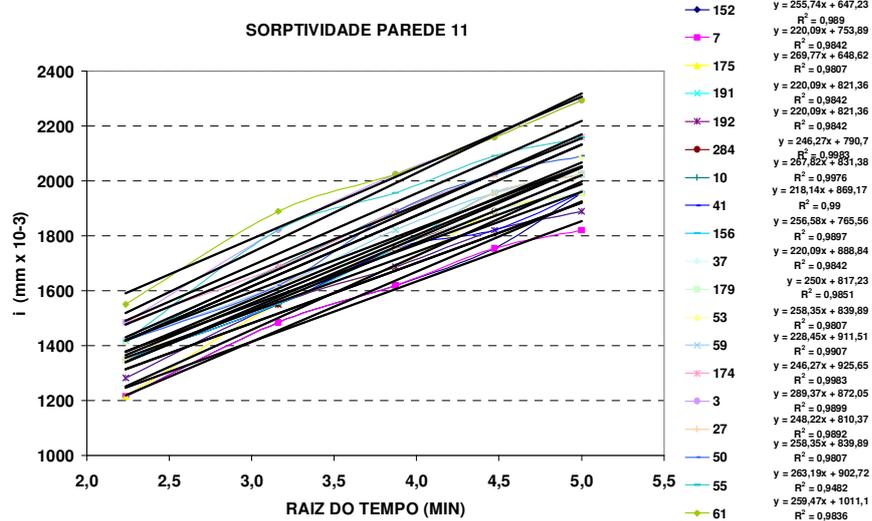
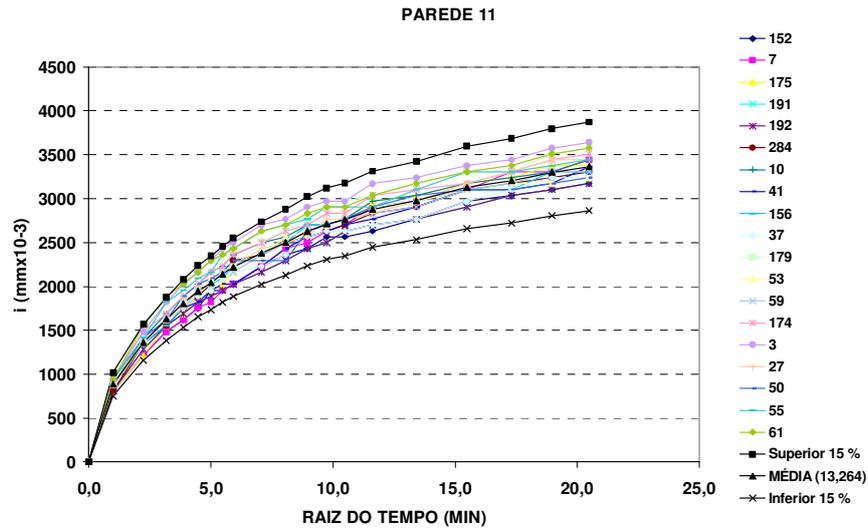


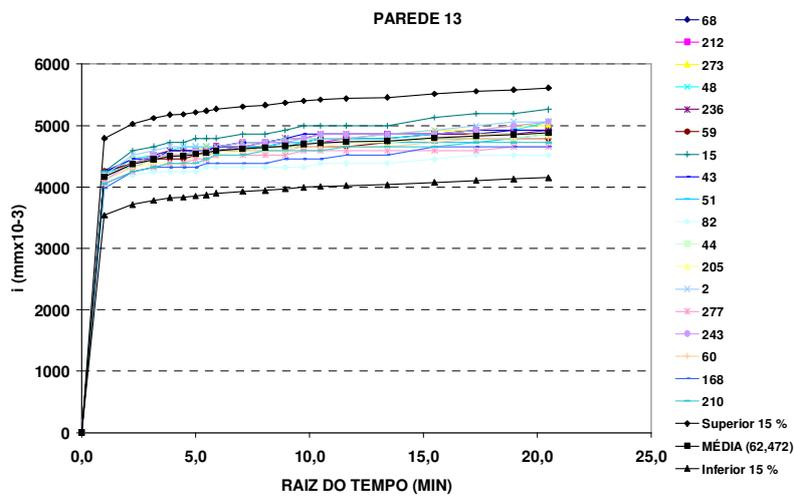
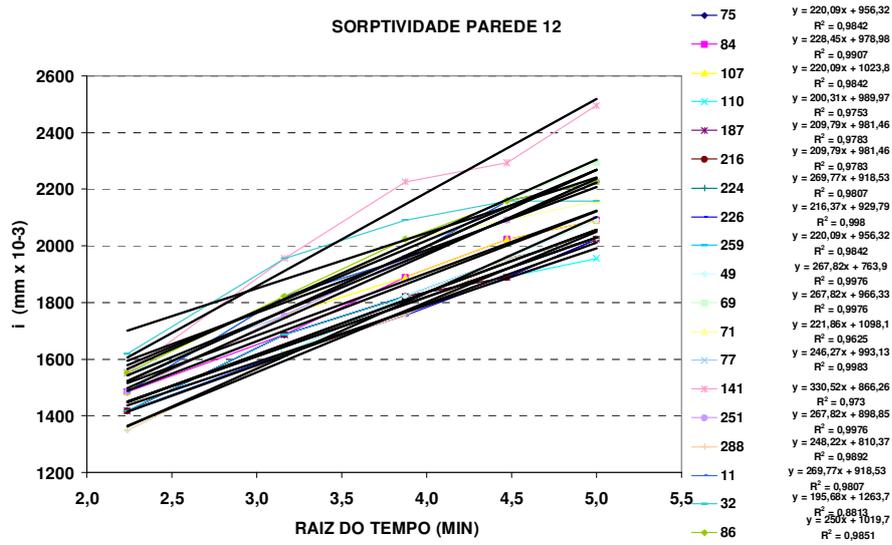


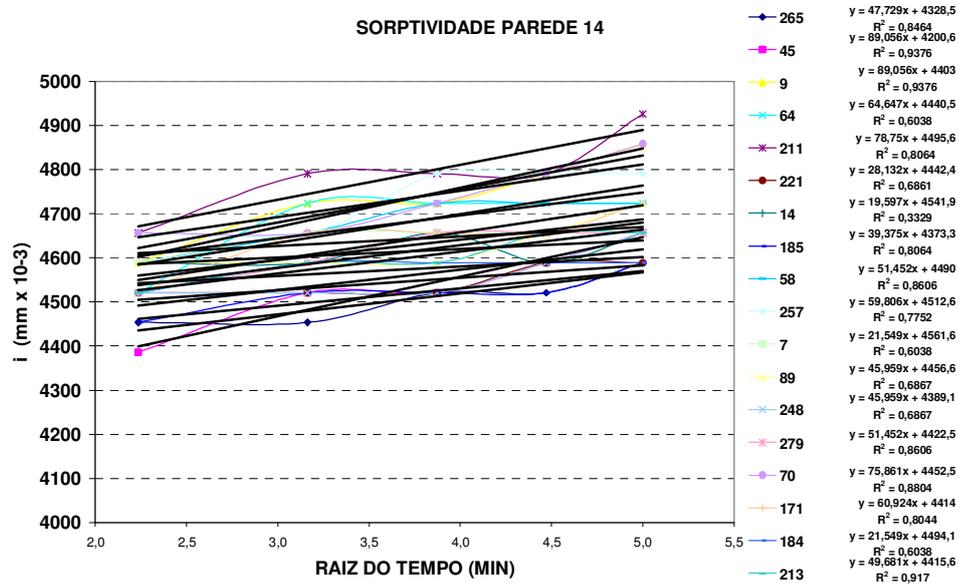
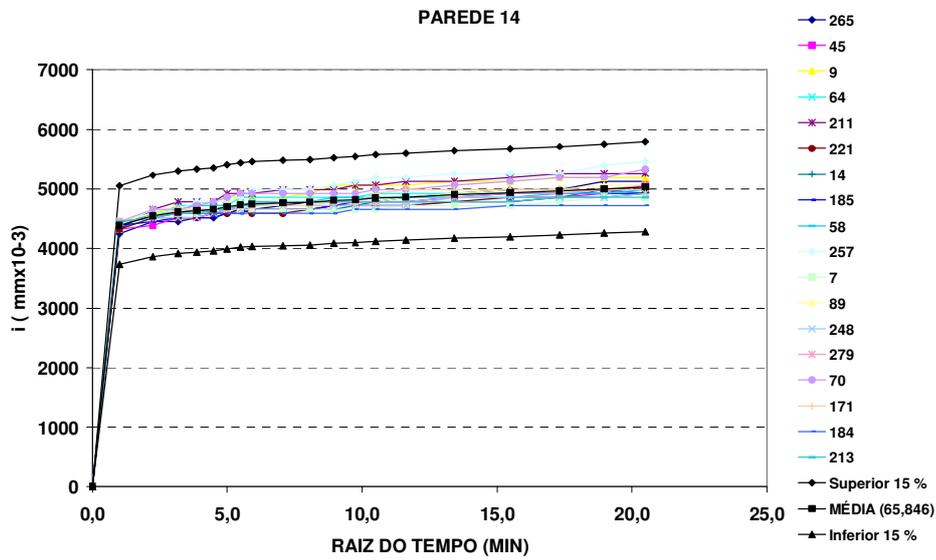
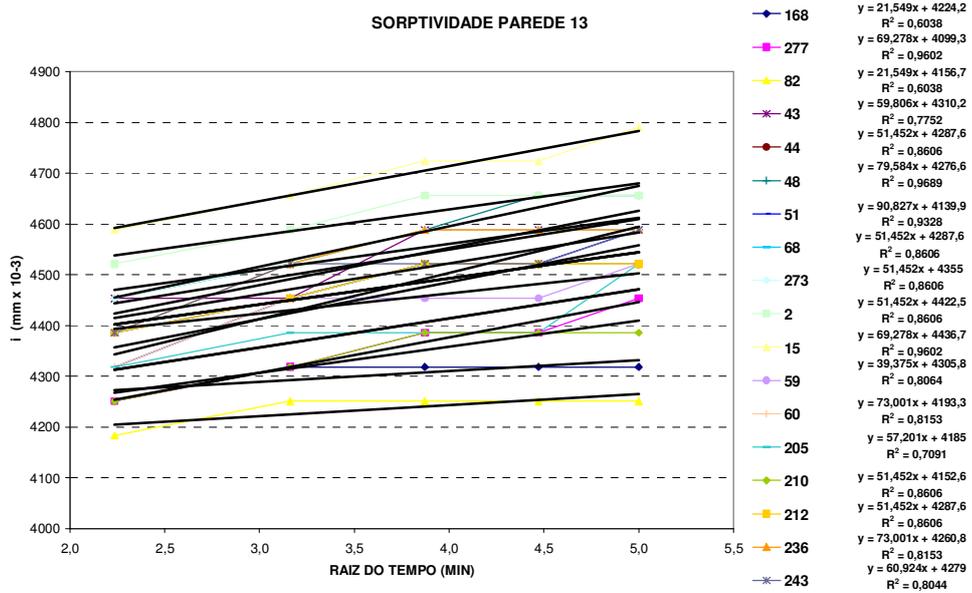


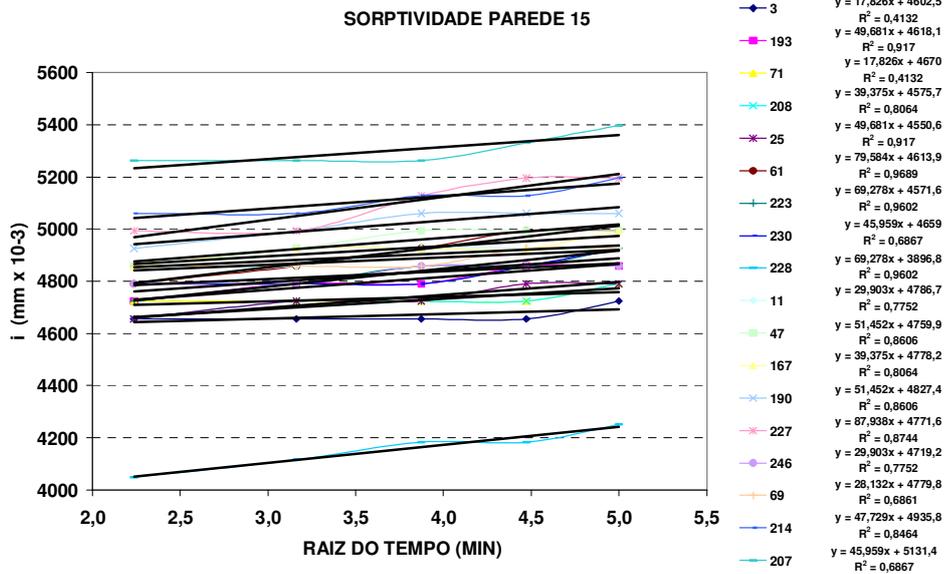
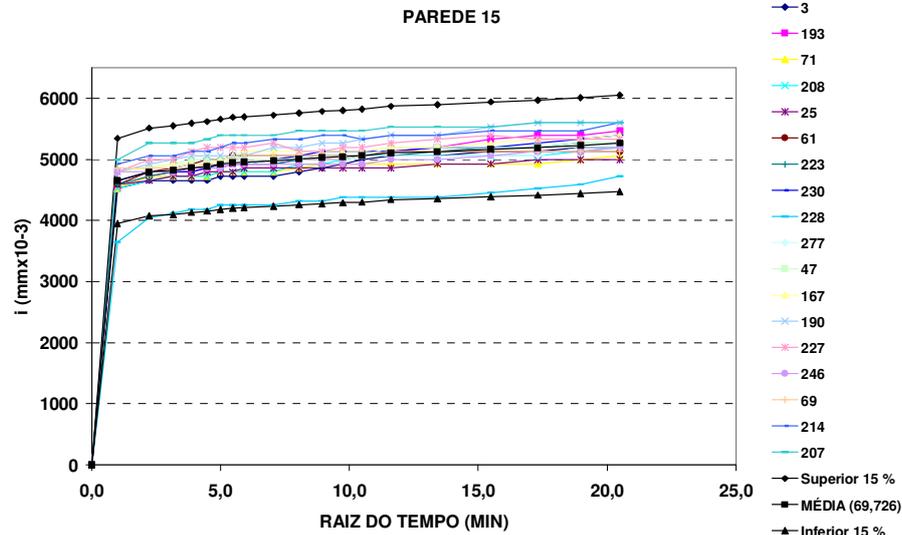


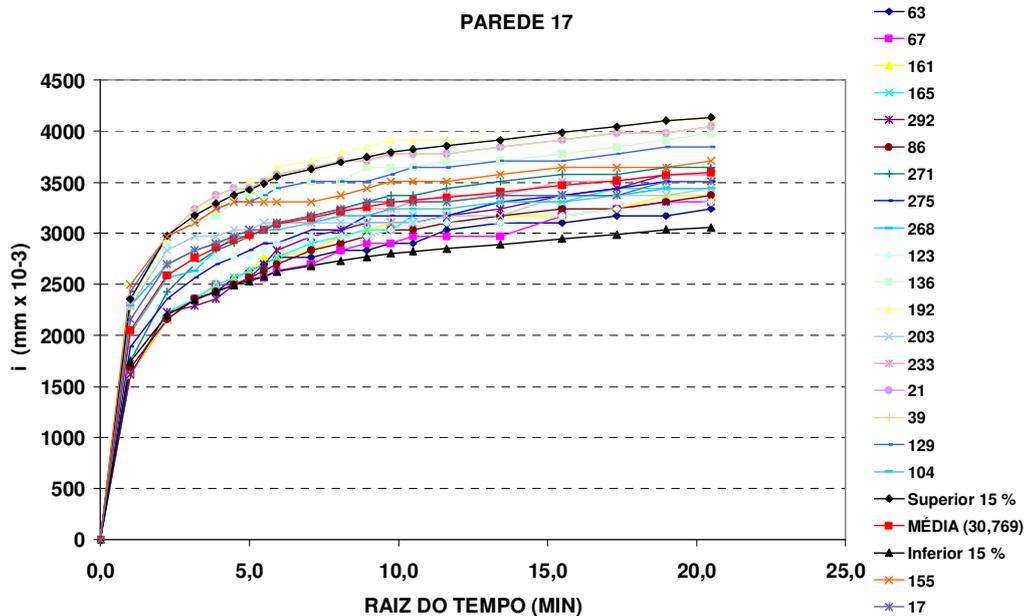
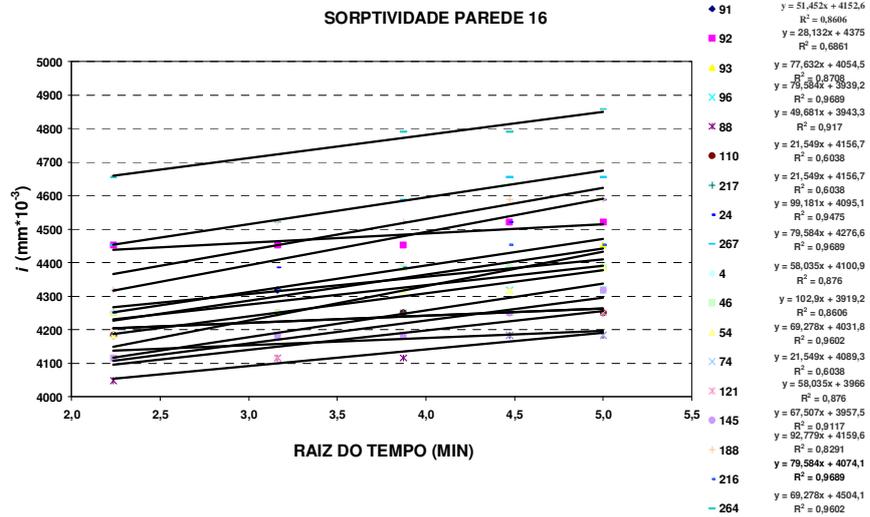
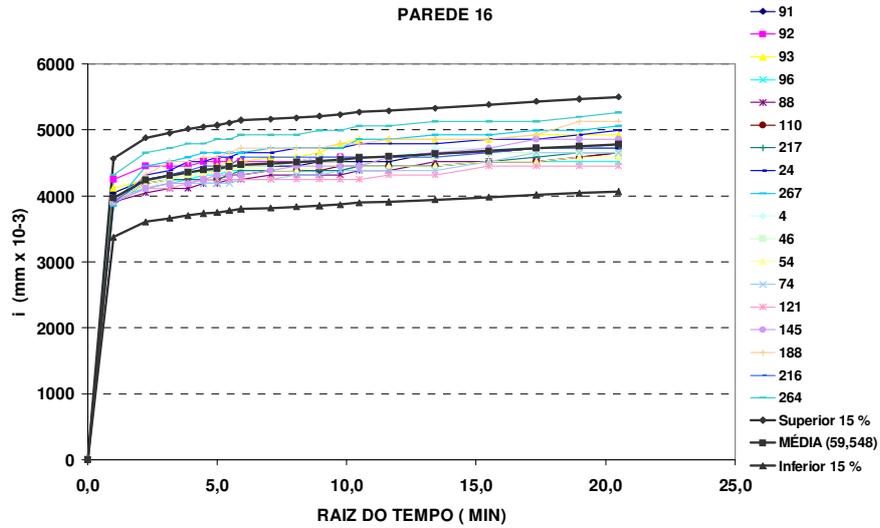




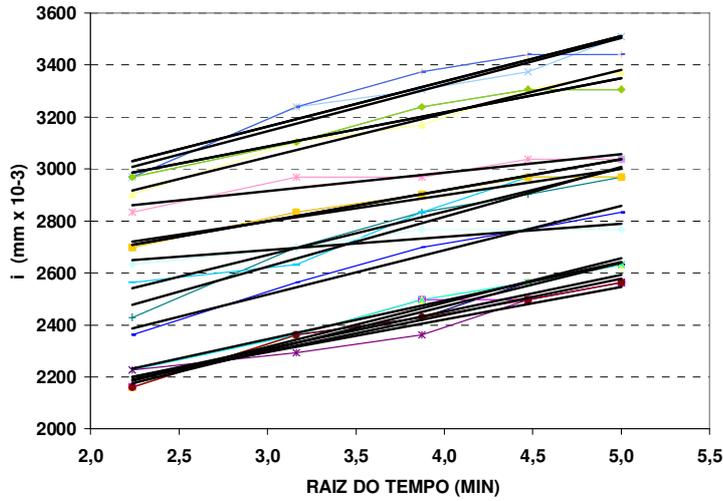






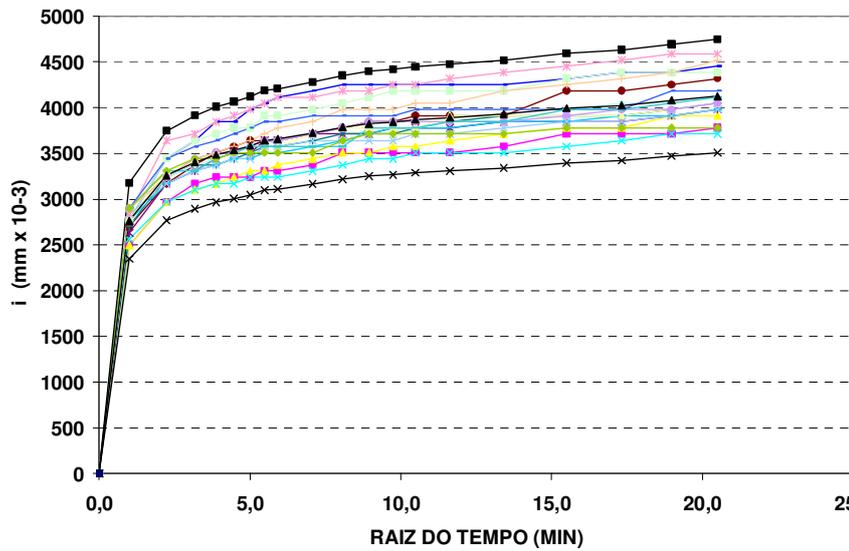


SORPTIVIDADE PAREDE 17



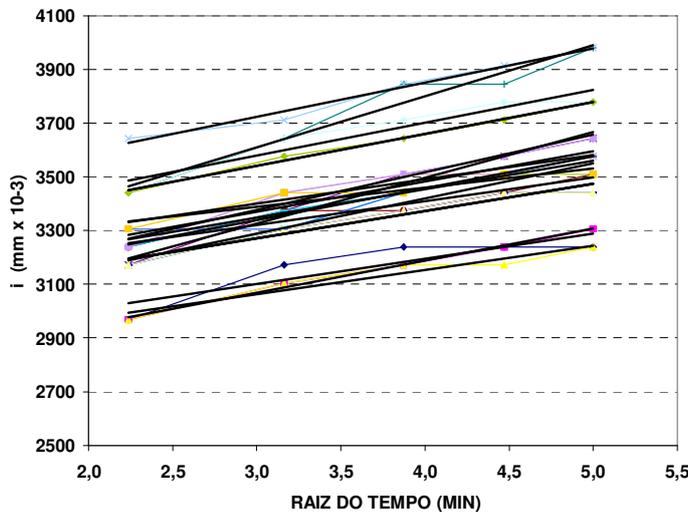
- 63  $y = 168,64x + 1797$   
 $R^2 = 0,9862$
- 67  $y = 142,28x + 1882,3$   
 $R^2 = 0,9236$
- 161  $y = 170,41x + 1803,8$   
 $R^2 = 0,9808$
- 165  $y = 148,86x + 1898,1$   
 $R^2 = 0,9937$
- 292  $y = 125,54x + 1918$   
 $R^2 = 0,9533$
- 86  $y = 140,51x + 1875,4$   
 $R^2 = 0,9688$
- 271  $y = 191,99x + 2046,9$   
 $R^2 = 0,9583$
- 275  $y = 170,41x + 2006,3$   
 $R^2 = 0,9808$
- 268  $y = 167,52x + 2165,5$   
 $R^2 = 0,9357$
- 123  $y = 51,452x + 2533,2$   
 $R^2 = 0,8606$
- 17  $y = 118,96x + 2442$   
 $R^2 = 0,9947$
- 136  $y = 168,64x + 2539,2$   
 $R^2 = 0,9862$
- 192  $y = 179,88x + 2605$   
 $R^2 = 0,9553$
- 203  $y = 71,23x + 2701,9$   
 $R^2 = 0,8797$
- 233  $y = 118,96x + 2442$   
 $R^2 = 0,9947$
- 21  $y = 174,13x + 2640,1$   
 $R^2 = 0,9064$
- 39  $y = 131,04x + 2693,7$   
 $R^2 = 0,9501$
- 129  $y = 131,04x + 2693,7$   
 $R^2 = 0,9501$
- 155  $y = 101,13x + 2495,4$   
 $R^2 = 0,95$
- 104  $y = 101,13x + 2495,4$   
 $R^2 = 0,95$

PAREDE 18

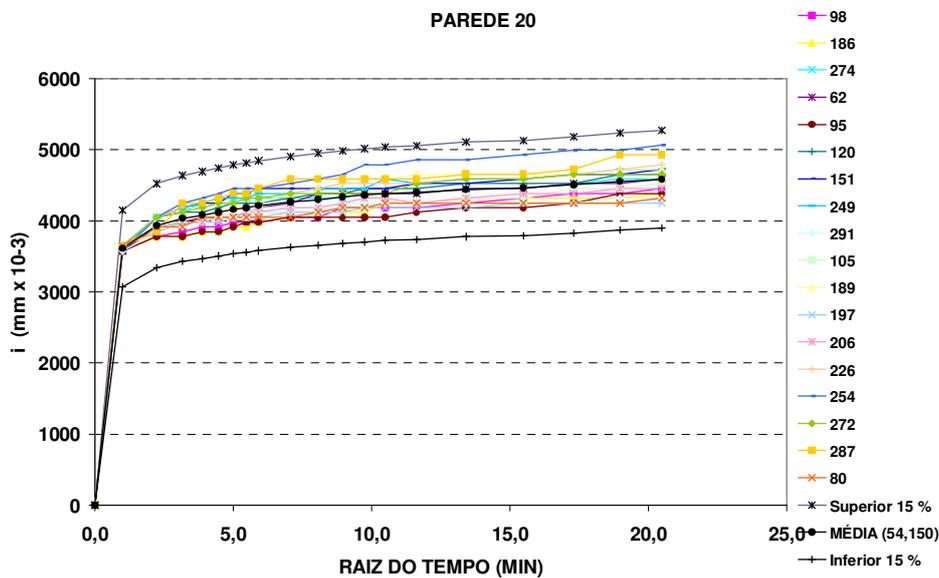
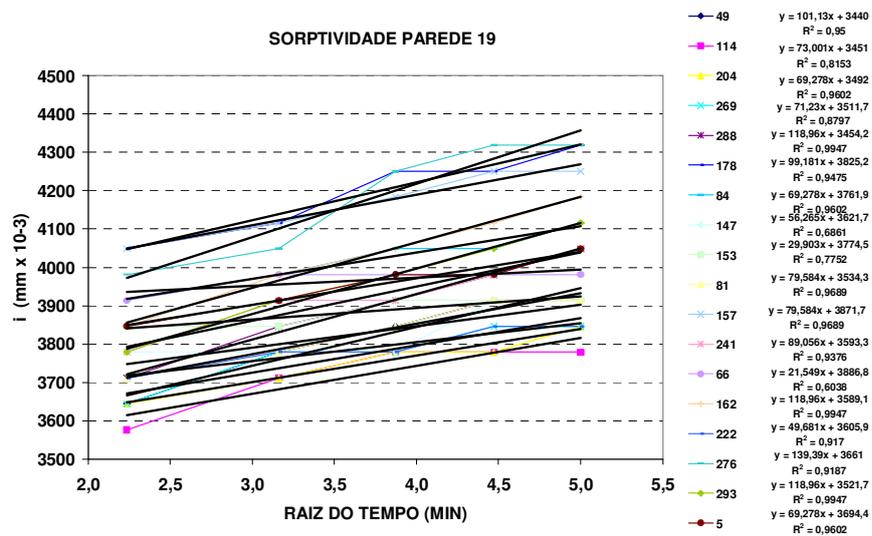
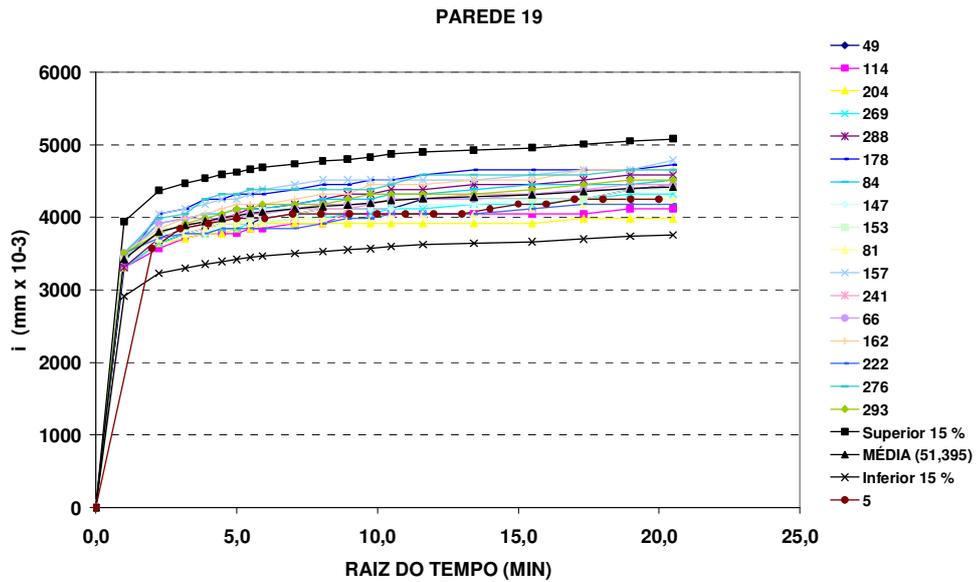


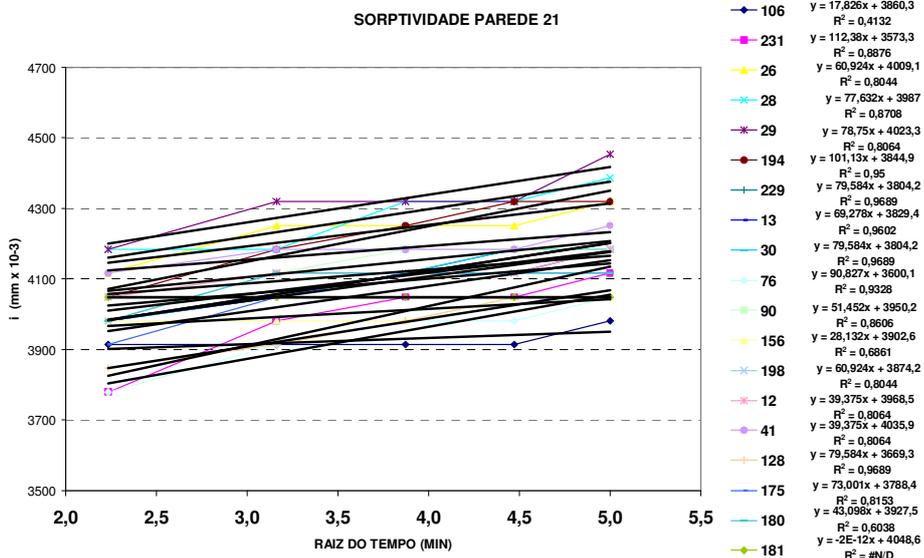
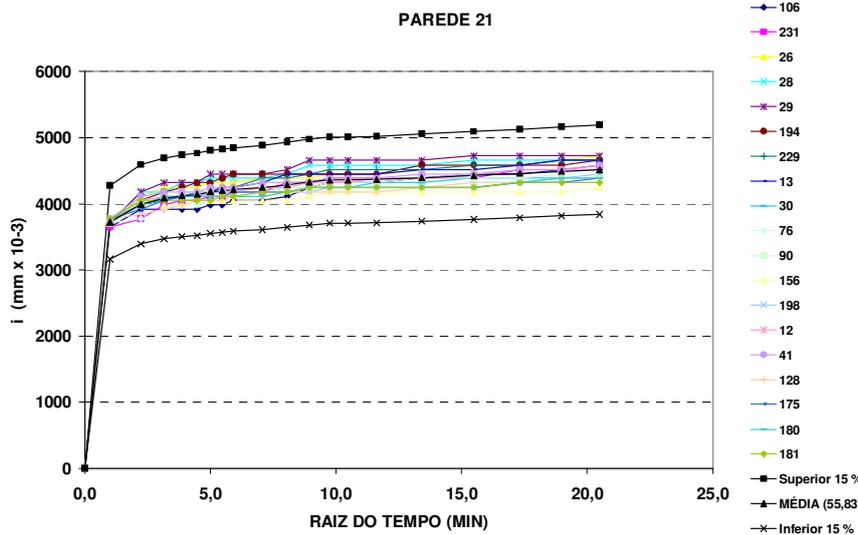
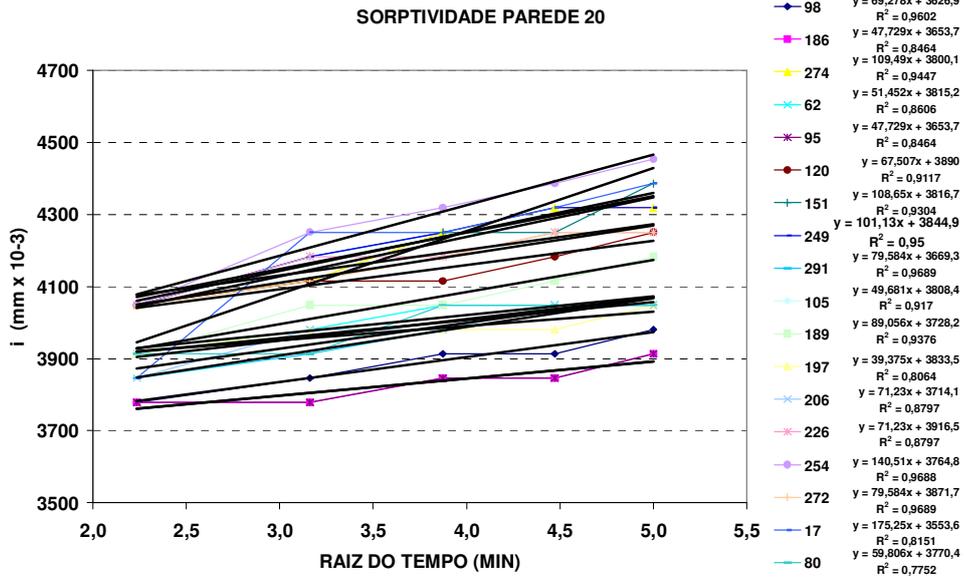
- 177
- 237
- 234
- 286
- 42
- 53
- 22
- 130
- 135
- 258
- 281
- 131
- 294
- 126
- 109
- 134
- 150
- 202
- Superior 15 %
- MÉDIA (41,442)
- Inferior 15 %

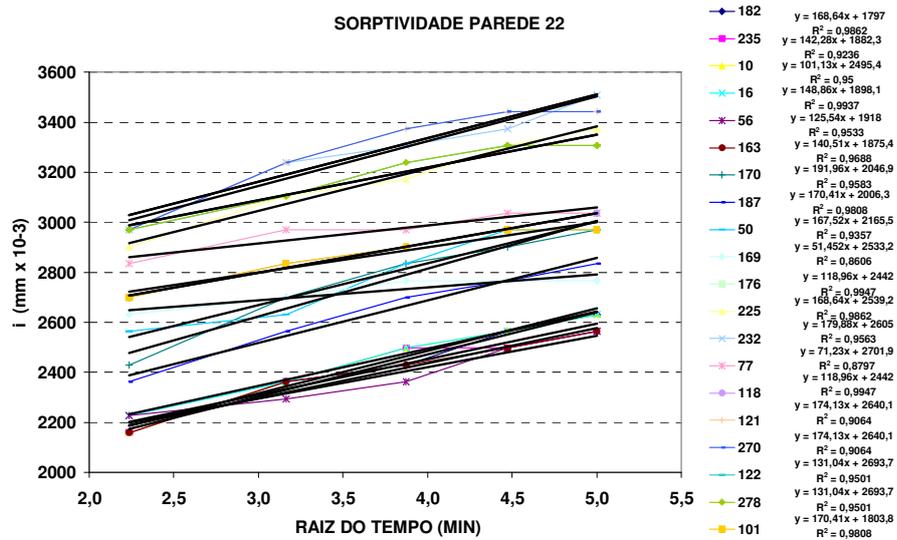
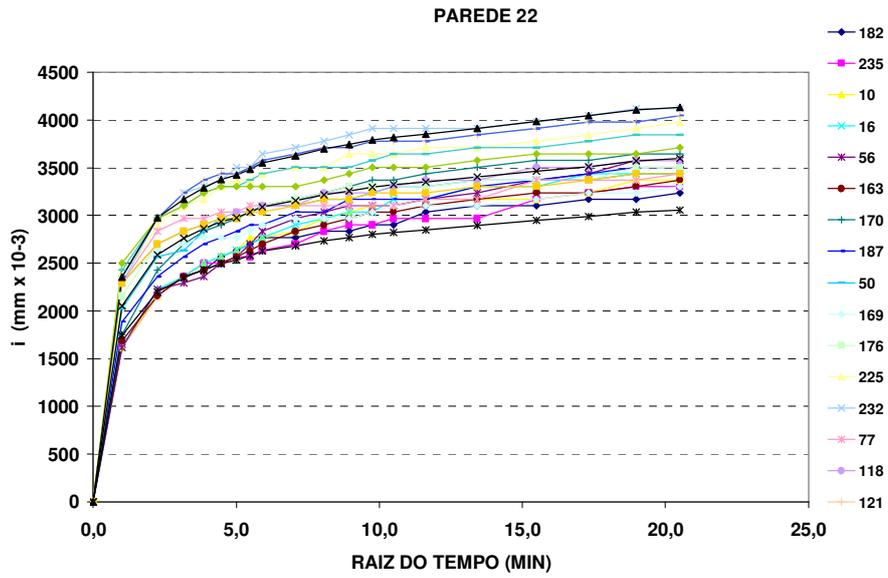
SORPTIVIDADE PAREDE 18

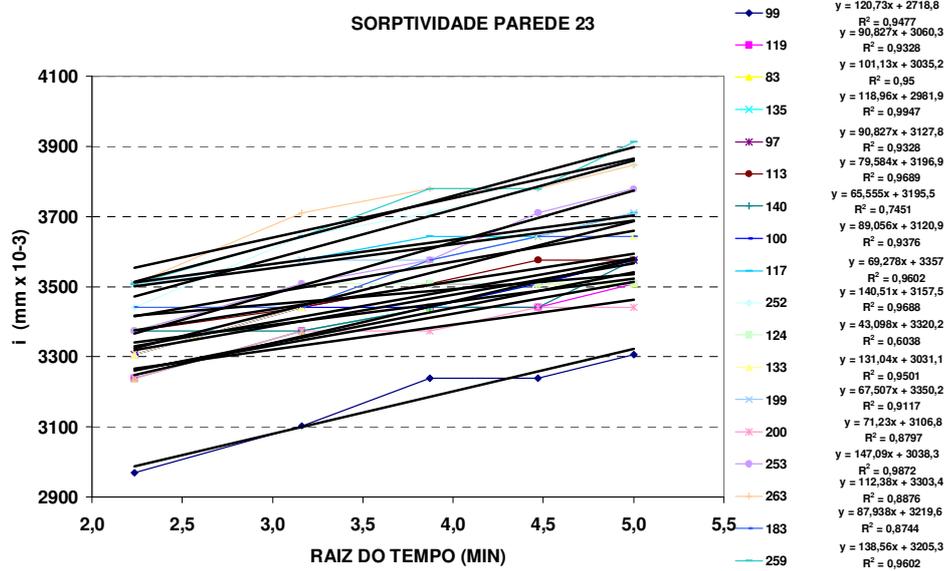
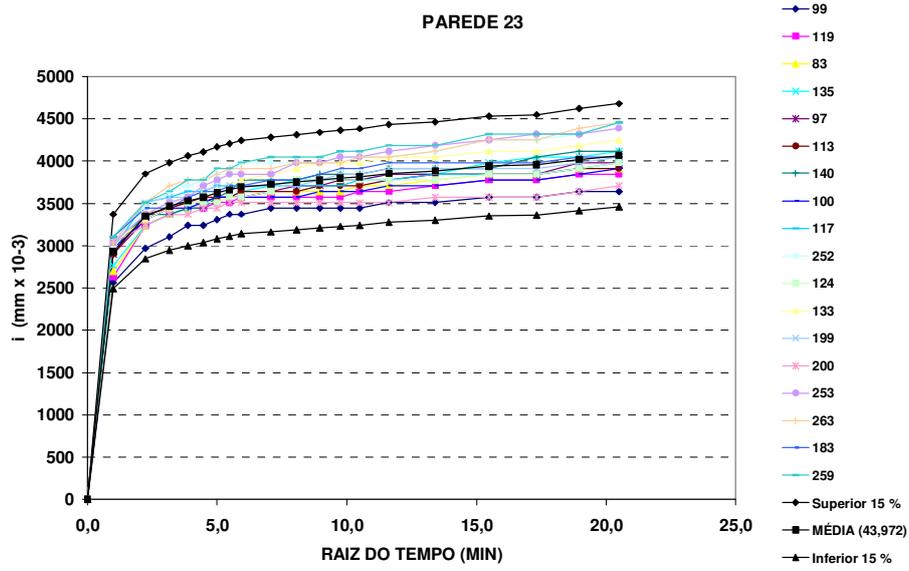


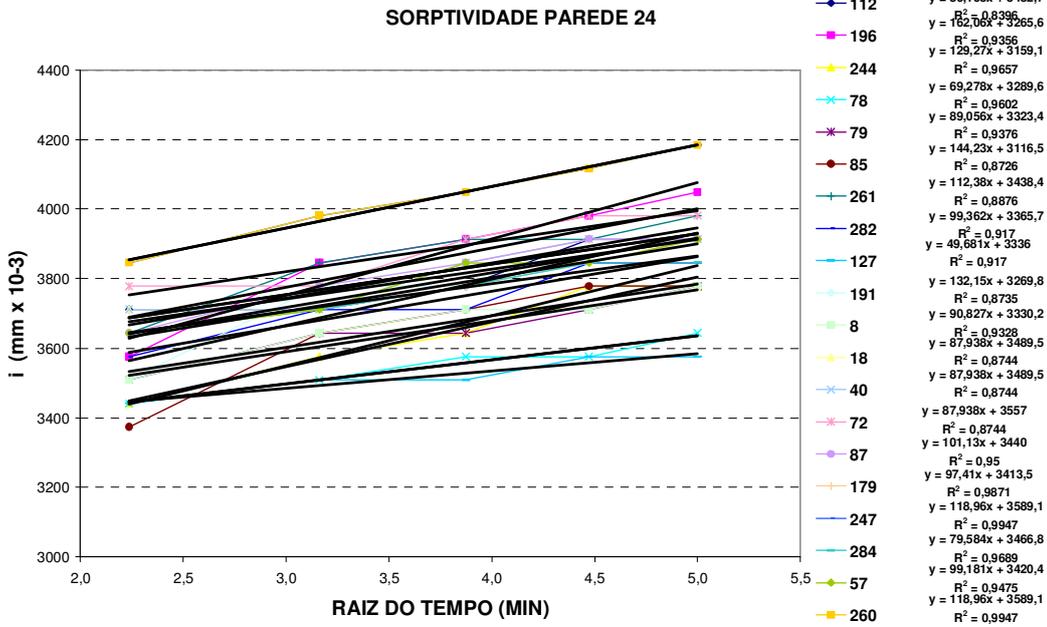
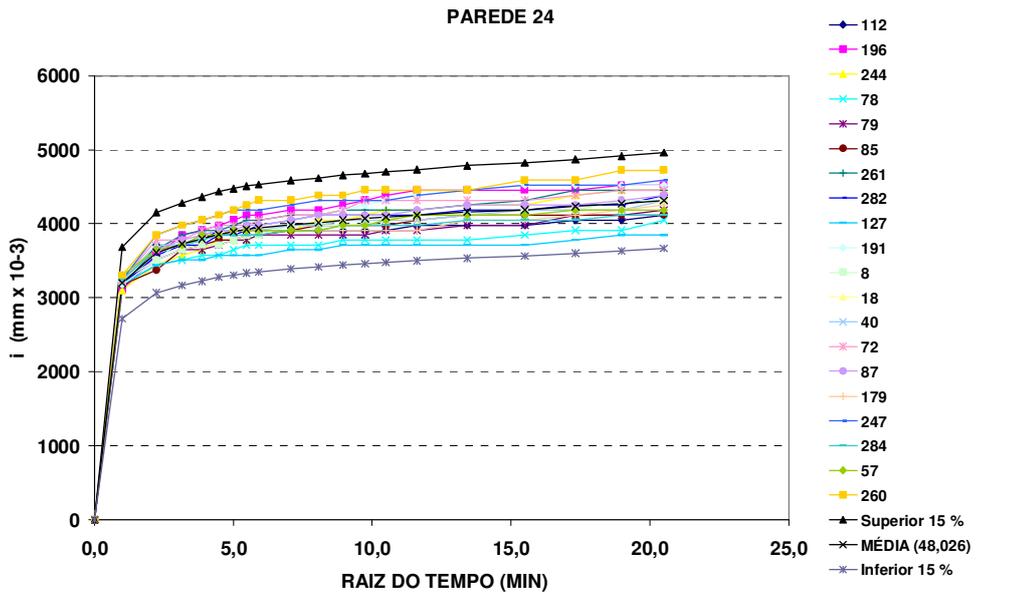
- 177  $y = 94,55x + 2817$   
 $R^2 = 0,775$
- 237  $y = 118,96x + 2712$   
 $R^2 = 0,9947$
- 234  $y = 90,827x + 2790,4$   
 $R^2 = 0,9328$
- 286  $y = 131,04x + 2896,1$   
 $R^2 = 0,9501$
- 42  $y = 170,41x + 2816$   
 $R^2 = 0,9808$
- 53  $y = 89,056x + 3053,5$   
 $R^2 = 0,9376$
- 22  $y = 190,01x + 3039,4$   
 $R^2 = 0,9581$
- 130  $y = 101,13x + 2967,7$   
 $R^2 = 0,95$
- 135  $y = 122,68x + 3210,8$   
 $R^2 = 0,9103$
- 258  $y = 90,827x + 3127,8$   
 $R^2 = 0,9328$
- 281  $y = 101,13x + 2967,7$   
 $R^2 = 0,95$
- 131  $y = 127,31x + 3341,9$   
 $R^2 = 0,9803$
- 294  $y = 112,38x + 3033,5$   
 $R^2 = 0,8876$
- 126  $y = 140,51x + 2955,1$   
 $R^2 = 0,9688$
- 109  $y = 118,96x + 3184,3$   
 $R^2 = 0,9947$
- 134  $y = 105,76x + 3031,3$   
 $R^2 = 0,9091$
- 150  $y = 118,96x + 3184,3$   
 $R^2 = 0,9947$
- 250  $y = 71,23x + 3174,3$   
 $R^2 = 0,8797$
- 202  $y = 71,23x + 3174,3$   
 $R^2 = 0,8797$











**ANEXO D: MAPEAMENTO DOS BLOCOS EM CADA PAREDE**

PAREDE 1	146	99	76	146	PAREDE 7	230	219	89	230
	123		210	28		17		172	19
	43	290	208	43		207	185	189	207
	94		164	265		244		228	240
	20	168	294	20		56	262	264	56
	241		181	268		269		170	229
PAREDE 2	46	30	34	46	PAREDE 8	250	68	47	250
	113		78	125		14		83	178
	282	38	66	282		65	48	57	65
	225		153	13		291		238	201
	193	127	151	193		45	23	29	45
	157		1	183		211		4	177
PAREDE 3	42	129	198	42	PAREDE 9	96	82	81	96
	221		121	283		169		171	205
	203	138	246	203		78	111	212	78
	278		132	270		182		137	180
	202	248	267	202		286	266	237	286
	135		274	133		272		16	223
PAREDE 4	122	239	144	122	PAREDE 10	52	287	191	52
	88		18	277		131		145	186
	243	195	206	243		136	199	72	136
	40		85	92		149		103	90
	218	249	115	218		271	80	130	271
	200		275	289		278		104	79
PAREDE 5	39	25	33	25	PAREDE 11	175	152	7	175
	15		9	24		284		191	192
	62	234	273	62		156	41	10	156
	196		215	285		179		53	37
	87	63	128	87		3	174	59	3
	217		190	292		50		55	27
PAREDE 6	91	147	176	91	PAREDE 12	107	226	224	107
	6		220	70		49		69	71
	197	242	2	197		251	77	141	251
	118		263	173		288		11	32
	163	150	67	163		251	84	75	251
	64		51	134		110		187	216

Paredes fabricadas com os blocos de concreto - serie D1

PAREDE 13	60	210	168	60	PAREDE 19	49	204	114	49		
	243		277	2		288		269	178		
	82	44		205		82	153	84		147	153
	51		43			15	81		157		241
	48	59		236		48	162	66		222	162
	273		212			68	5		293		276
PAREDE 14	89	184		213	89	PAREDE 20	274	98		186	274
	279		70		171		120		95		62
	248	257		7	248		291	151		249	291
	14		58		185		105		189		197
	221	64		211	221		272	226		206	272
	45		9		265		287		254		80
PAREDE 15	71	61		193	71	PAREDE 21	26	106		231	26
	25		75		208		29		28		194
	223	228		230	223		30	13		229	30
	47		167		11		76		156		90
	190	227		246	190		41	198		12	41
	214		207		69		128		180		175
PAREDE 16	3	93		92	3	PAREDE 22	16	182		10	16
	91		110		88		170		56		163
	96	24		267	96		169	50		187	169
	217		54		46		176		225		232
	4	145		188	4		122	77		121	122
	216		264		74		278		101		118
PAREDE 17	155	104		129	155	PAREDE 23	83	119		99	83
	39		233		21		113		97		135
	192	17		203	192		117	140		100	117
	275		268		271		252		133		124
	292	86		165	292		253	199		200	253
	63		161		67		259		183		263
PAREDE 18	202	250		150	202	PAREDE 24	196	244		78	196
	134		109		126		85		261		79
	294	131		281	294		127	282		191	127
	22		258		130		18		8		40
	53	286		42	53		72	179		87	72
	234		177		237		260		57		284

Paredes fabricadas com os blocos de concreto - serie D2

**ANEXO E: DADOS DO ENSAIO DE POROSIDADE ABERTA E MASSA ESPECÍFICA DOS  
BLOCOS**

Porosidade Aberta - Massa Especifica						
Blocos Substrato D1						
No de amostras	Grupo I		Grupo II		Grupo III	
1	0,198	2,13	0,176	2,96	0,059	0,94
2	0,190	2,14	0,175	1,78	0,063	0,94
3	0,174	2,18	0,149	2,18	0,082	0,92
4	0,179	2,20	0,164	3,37	0,065	0,93
5	0,171	2,20	0,175	1,98	0,056	0,94
6	0,180	2,14	0,151	1,67	0,080	0,92
7	0,158	2,21	0,174	1,76	0,063	0,94
8	0,186	2,16	0,155	1,80	0,070	0,93
9	0,202	2,15	0,143	1,67	0,058	0,94
10	0,158	2,24	0,152	1,67	0,068	0,93
11	0,168	2,14	0,149	1,76	0,081	0,92
12	0,205	2,10	0,160	1,65	0,063	0,94
13	0,172	2,17	0,139	2,93	0,054	0,95
14	0,180	2,18	0,156	1,80	0,058	0,94
15	0,170	2,18	0,164	2,61	0,076	0,92
16	0,177	2,18	0,153	2,80	0,063	0,94
17	0,164	2,18	0,165	2,56	0,060	0,94
18	0,169	2,17	0,162	1,73	0,070	0,93
19	0,187	2,16	0,154	1,76	0,070	0,93
20	0,175	2,19	0,171	1,63	0,058	0,94
21	0,181	2,17	0,172	2,10	0,064	0,94
22	0,202	2,09	0,174	2,59	0,081	0,92
23	0,201	2,17	0,154	2,04	0,058	0,94
24	0,189	2,14	0,170	5,15	0,057	0,94
25	0,168	1,99	0,168	1,91	0,078	0,92
26	0,173	2,19	0,160	2,79	0,073	0,93
27	0,186	2,19	0,145	1,54	0,075	0,92
28	0,167	2,20	0,176	1,43	0,066	0,93
29	0,183	2,14	0,170	1,56	0,072	0,93
30	0,163	2,25	0,172	1,88	0,081	0,92
31	0,174	2,17	0,170	1,79	0,077	0,92
32	0,191	2,11	0,176	1,94	0,071	0,93
33	0,171	2,23	0,132	1,73	0,066	0,93
34	0,169	2,20	0,168	2,18	0,076	0,92
35	0,179	2,17	0,160	1,37	0,057	0,94
36	0,144	2,22	0,174	2,84	0,077	0,92
37	0,185	2,16	0,155	1,78	0,073	0,93
38	0,157	2,21	0,171	1,42	0,066	0,93
39	0,195	2,19	0,170	1,80	0,070	0,93
40	0,189	2,15	0,165	2,58	0,063	0,94
41	0,173	2,20				
42	0,176	2,01				
43	0,205	2,12				
44	0,193	2,20				
45	0,180	2,19				
46	0,194	2,14				
47	0,195	2,13				
48	0,159	2,18				
49	0,180	2,17				
50	0,161	2,24				
<b>Média</b>	<b>0,179</b>	<b>2,17</b>	<b>0,162</b>	<b>2,112</b>	<b>0,068</b>	<b>0,93</b>
<b>Desvio</b>	<b>0,014</b>	<b>0,049</b>	<b>0,011</b>	<b>0,701</b>	<b>0,008</b>	<b>0,01</b>
<b>CV</b>	<b>7,794</b>	<b>2,260</b>	<b>7,051</b>	<b>33,181</b>	<b>12,011</b>	<b>0,88</b>

Porosidade Aberta - Massa Específica						
Blocos_Substrato D2						
No de amostras	Grupo I		Grupo II		Grupo III	
1	0,213	2,19	0,177	2,17	0,160	2,22
2	0,219	2,24	0,178	2,15	0,212	2,21
3	0,216	2,26	0,199	2,07	0,174	1,98
4	0,239	2,27	0,198	2,12	0,134	1,92
5	0,227	2,38	0,186	2,19	0,161	1,87
6	0,252	2,22	0,185	2,17	0,160	2,25
7	0,215	2,29	0,200	2,17	0,121	1,97
8	0,216	2,09	0,197	2,15	0,198	2,19
9	0,243	2,05	0,185	2,18	0,185	2,07
10	0,199	2,12	0,203	2,09	0,166	2,11
11	0,210	2,11	0,180	2,20	0,207	2,24
12	0,218	2,10	0,185	2,10	0,202	2,07
13	0,219	2,08	0,163	2,13	0,163	2,00
14	0,213	2,09	0,176	2,10	0,149	2,10
15	0,233	2,06	0,172	2,11	0,179	2,19
16	0,228	2,07	0,205	2,05	0,160	2,00
17	0,219	2,07	0,164	2,14	0,179	2,09
18	0,200	2,13	0,171	2,06	0,157	2,15
19	0,204	2,12	0,187	2,10	0,191	1,94
20	0,228	2,03	0,160	2,10	0,161	2,27
21	0,231	2,05	0,210	2,09	0,154	2,20
22	0,212	2,13	0,203	2,00	0,171	1,93
23	0,200	2,13	0,203	2,17	0,217	2,06
24	0,214	2,10	0,194	2,10	0,170	1,99
25	0,217	2,10	0,148	2,18	0,134	2,08
26	0,172	2,18	0,186	2,11	0,162	1,91
27	0,205	2,12	0,202	2,09	0,119	2,14
28	0,226	2,07	0,191	2,03	0,180	2,21
29	0,206	2,10	0,196	2,10	0,135	2,04
30	0,209	2,15	0,199	2,10	0,187	1,98
31	0,220	2,09	0,198	2,12	0,215	2,27
32	0,207	2,12	0,195	2,07	0,162	1,87
33	0,204	2,11	0,207	2,13	0,168	2,13
34	0,217	2,08	0,190	2,18	0,146	2,00
35	0,219	2,10	0,189	2,17	0,156	1,83
36	0,227	2,05	0,241	2,68	0,156	2,19
37	0,222	2,11	0,160	2,31	0,110	2,18
38	0,219	2,08	0,197	2,21	0,186	2,10
39	0,236	2,05	0,195	2,22	0,169	2,31
40	0,213	2,14	0,213	2,06	0,167	2,06
41	0,219	2,08				
<b>Média</b>	<b>0,217</b>	<b>2,12</b>	<b>0,190</b>	<b>2,14</b>	<b>0,167</b>	<b>2,08</b>
<b>Desvio</b>	<b>0,014</b>	<b>0,08</b>	<b>0,017</b>	<b>0,11</b>	<b>0,025</b>	<b>0,13</b>
<b>CV</b>	<b>6,337</b>	<b>3,53</b>	<b>9,113</b>	<b>4,91</b>	<b>15,203</b>	<b>6,02</b>



**ANEXO F: DADOS DO ENSAIO DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA DOS BLOCOS**

BLOCOS D1								BLOCOS D2							
W (%)	A	A médio	Désvio	$\lambda$	$\lambda$ médio (W/mK)	Désvio	CV(%)	W (%)	A	A médio	Désvio	$\lambda$	$\lambda$ médio (W/mK)	Désvio	CV(%)
0,15	0,17	0,16	0,01	2,19	2,20	0,11	5,13	0,34	0,87	0,82	0,08	0,42	0,42	0,05	11,58
	0,15			0,50											
	0,16			0,42											
1,85	0,17	0,16	0,01	2,12	2,22	0,09	3,98	1,30	0,43	0,41	0,01	0,85	0,88	0,03	3,10
	0,16			0,89											
	0,16			0,90											
2,77	0,14	0,15	0,02	2,54	2,43	0,31	12,71	1,85	0,21	0,19	0,02	1,71	1,95	0,21	10,68
	0,17			2,06											
	0,14			2,09											
4,72	0,14	0,13	0,01	2,65	2,73	0,14	5,06	2,48	0,16	0,17	0,01	2,27	2,17	0,09	4,13
	0,13			2,14											
	0,14			2,10											
5,24	0,15	0,14	0,01	2,46	2,66	0,17	6,53	3,48	0,16	0,16	0,00	2,30	2,26	0,06	2,75
	0,13			2,30											
	0,13			2,19											
4,51	0,20	0,19	0,01	1,82	1,94	0,15	7,88	4,51	0,17	0,19	0,01	2,11	1,94	0,15	7,88
	0,19			1,88											
	0,16			2,28											
5,28	0,10	0,14	0,03	3,58	2,77	0,71	25,65	5,28	0,16	0,14	0,03	2,28	2,77	0,71	25,65
	0,10			3,58											
	0,15			2,44											
6,32	0,14	0,13	0,01	2,60	2,72	0,19	6,86	6,32	0,14	0,13	0,01	2,60	2,72	0,19	6,86
	0,14			2,62											
	0,12			2,94											
6,68	0,12	0,12	0,00	3,13	3,12	0,09	2,89	6,68	0,12	0,12	0,00	3,13	3,12	0,09	2,89
	0,12			3,03											
	0,11			3,21											

**ANEXO G: DADOS DO ENSAIO DE MASSA ESPECIFICA E POROSIDADE ABERTA**

Substrato D1						
Arg 0%			Arg 50%		Arg 100%	
Amostras	Porosidade aberta (%)	Massa Especifica (kg/dm3)	Porosidade aberta (%)	Massa Especifica (kg/dm3)	Porosidade aberta (%)	Massa Especifica (kg/dm3)
1	24,57	1,59	32,50	1,61	43,81	1,29
2	31,45	1,84	26,89	1,65	42,93	1,32
3	28,61	1,87	29,90	1,63	41,59	1,28
4	29,17	1,84	30,59	1,67	42,36	1,28
5	28,87	1,88	30,86	1,63	41,96	1,28
6	29,78	1,91	27,94	1,64	43,59	1,32
7	29,43	1,88	31,93	1,63	41,73	1,31
8	29,29	1,93	26,17	1,67	41,07	1,32
9	29,36	1,82	28,78	1,66	41,01	1,32
10	29,28	1,88	29,05	1,63	43,40	1,35
11	29,08	1,90	27,85	1,64	43,57	1,28
12	31,19	2,05	29,19	1,64	44,93	1,26
13	30,27	1,95	28,86	1,62	44,60	1,32
14	29,93	1,89	28,68	1,63	41,51	1,31
15	30,95	1,90	27,20	1,67	41,11	1,30
16	15,31	2,03	30,84	1,61	42,96	1,31
17	30,18	1,92	31,49	1,59	44,51	1,29
18	28,80	1,92	29,32	1,65	41,51	1,31
19	29,54	1,88	32,13	1,62	42,29	1,33
20	29,15	1,92	31,86	1,62	45,76	1,32
21	29,01	1,80	30,55	1,62	41,30	1,32
22	27,63	1,81	33,44	1,62	42,41	1,30
23	28,00	1,84	28,67	1,63	43,69	1,34
24	27,74	1,78	30,16	1,61	42,34	1,31
25	28,18	1,79	28,24	1,63	44,66	1,28
26	27,12	1,81	27,65	1,68	43,15	1,30
27	28,90	1,78	29,05	1,63	43,98	1,30
28	28,14	1,81	33,37	1,60	42,53	1,34
29	28,35	1,80	29,18	1,64	45,13	1,33
30	27,87	1,77	27,62	1,65	42,72	1,27
31	28,66	1,80	30,36	1,61	41,04	1,34
32	28,94	1,82	30,69	1,65	43,01	1,31
33	28,25	1,77	28,86	1,66	42,23	1,33
34	29,10	1,76	30,85	1,69	43,25	1,30
35	28,79	1,82	28,97	1,66	42,50	1,33
36	28,14	1,82	31,30	1,62	41,49	1,30
37	27,93	1,82	28,41	1,65	42,61	1,32
38	29,08	1,78	31,12	1,61	43,56	1,34
39	28,24	1,79	30,02	1,68	43,37	1,29
40	28,38	1,81	27,24	1,69		
<b>Média</b>	<b>28,52</b>	<b>1,84</b>	<b>29,70</b>	<b>1,64</b>	<b>42,85</b>	<b>1,31</b>
<b>Desvio</b>	<b>2,44</b>	<b>0,08</b>	<b>1,78</b>	<b>0,03</b>	<b>1,24</b>	<b>0,02</b>
<b>CV</b>	<b>8,56</b>	<b>4,31</b>	<b>6,00</b>	<b>1,54</b>	<b>2,89</b>	<b>1,63</b>

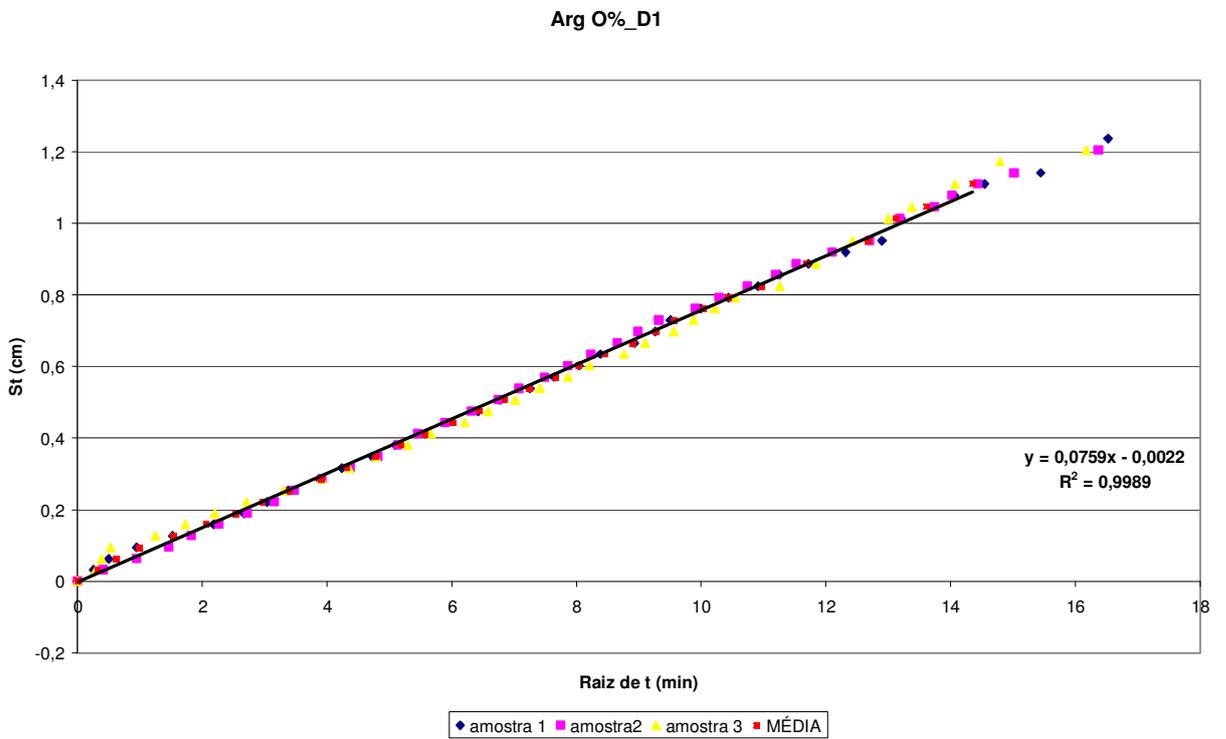
Substrato D1						
Amostras	Arg 0%+IA		Arg 50%+IA		Arg 100%+IA	
	Porosidade aberta (%)	Massa Especifica (kg/dm3)	Porosidade aberta (%)	Massa Especifica (kg/dm3)	Porosidad e aberta (%)	Massa Especifica (kg/dm3)
1	29,83	1,75	35,31	1,53	36,32	1,38
2	31,00	1,75	35,17	1,53	37,46	1,35
3	31,19	1,74	36,62	1,51	36,91	1,38
4	32,65	1,74	36,09	1,56	40,58	1,37
5	32,34	1,74	36,60	1,55	39,77	1,37
6	30,78	1,75	37,87	1,54	37,81	1,37
7	32,59	1,74	36,34	1,53	38,65	1,39
8	30,19	1,79	35,62	1,49	37,35	1,44
9	31,22	1,84	36,86	1,55	38,54	1,38
10	31,41	1,79	36,87	1,53	40,02	1,38
11	31,82	1,82	35,87	1,53	39,35	1,36
12	31,69	1,77	36,01	1,53	39,97	1,36
13	31,19	1,77	36,98	1,56	37,55	1,37
14	31,85	1,76	36,33	1,54	36,42	1,31
15	29,76	1,79	36,61	1,55	35,92	1,35
16	31,47	1,75	38,32	1,59	36,69	1,35
17	32,43	1,76	35,81	1,62	36,20	1,33
18	32,29	1,80	38,45	1,58	35,89	1,33
19	31,06	1,77	36,29	1,58	36,22	1,32
20	29,29	1,79	38,77	1,56	39,71	1,37
21	31,64	1,77	37,19	1,57	37,80	1,36
22	32,17	1,74	37,93	1,59	37,14	1,39
23	30,29	1,76	35,29	1,57	38,06	1,37
24	31,93	1,78	35,62	1,55	38,00	1,38
25	31,07	1,73	36,70	1,53	36,19	1,37
26	31,66	1,75	38,31	1,58	38,50	1,36
27	33,42	1,78	37,58	1,52	38,88	1,33
28	32,37	1,76	36,25	1,53	37,05	1,37
29	31,31	1,81	35,47	1,55	38,81	1,35
30	33,53	1,73	38,95	1,51	40,03	1,35
31	34,24	1,77	36,63	1,53	37,72	1,38
32	32,18	1,76	36,51	1,53	36,37	1,39
33	32,25	1,75	35,93	1,57	37,98	1,34
34	32,52	1,72	38,08	1,55	39,47	1,36
35	31,40	1,77	38,32	1,61	38,58	1,35
36	32,33	1,76	37,70	1,55	39,05	1,38
37	31,64	1,77	37,38	1,52	36,85	1,38
38	33,09	1,76	37,40	1,53	38,59	1,36
39	32,22	1,75	38,62	1,59	38,63	1,39
40	33,95	1,75	35,34	1,54	40,71	1,36
<b>Média</b>	<b>31,78</b>	<b>1,76</b>	<b>36,85</b>	<b>1,55</b>	<b>38,04</b>	<b>1,36</b>
<b>Desvio</b>	<b>1,08</b>	<b>0,02</b>	<b>1,09</b>	<b>0,03</b>	<b>1,38</b>	<b>0,02</b>
<b>CV</b>	<b>3,40</b>	<b>1,41</b>	<b>2,96</b>	<b>1,84</b>	<b>3,62</b>	<b>1,71</b>

Substrato_D2						
Amostras	Arg 0%		Arg 50%		Arg 100%	
	Porosidade aberta (%)	Massa Especifica (kg/dm3)	Porosidade aberta (%)	Massa Especifica (kg/dm3)	Porosidade aberta (%)	Massa Especifica (kg/dm3)
1	31,38	1,79	35,15	1,49	42,11	1,35
2	31,85	1,74	35,73	1,53	40,67	1,29
3	31,73	1,79	35,15	1,52	41,50	1,28
4	32,17	1,78	34,33	1,56	43,00	1,32
5	32,62	1,75	33,84	1,53	39,71	1,33
6	32,09	1,75	34,67	1,52	41,07	1,30
7	33,48	1,78	33,18	1,52	44,09	1,37
8	33,99	1,77	33,68	1,54	41,51	1,27
9	33,04	1,75	34,19	1,53	41,49	1,30
10	32,29	1,70	33,14	1,55	43,34	1,33
11	31,52	1,75	32,51	1,56	42,01	1,40
12	32,64	1,73	34,08	1,57	40,55	1,30
13	33,03	1,74	35,89	1,58	42,08	1,34
14	32,67	1,80	34,67	1,53	40,10	1,34
15	32,74	1,76	34,18	1,57	39,94	1,35
16	31,39	1,71	33,80	1,51	42,34	1,33
17	33,11	1,73	35,25	1,49	40,10	1,38
18	31,09	1,70	34,64	1,52	41,91	1,31
19	31,91	1,72	34,96	1,52	41,27	1,31
20	32,60	1,73	34,14	1,53	41,48	1,40
21	32,13	1,73	33,17	1,54	42,50	1,28
22	31,87	1,74	34,16	1,54	44,51	1,36
23	32,32	1,74	33,69	1,52	41,33	1,34
24	32,93	1,74	34,32	1,50	39,88	1,29
25	31,58	1,73	34,49	1,54	39,43	1,33
26	32,07	1,76	33,33	1,55	39,33	1,29
27	29,77	1,79	35,25	1,56	41,62	1,30
28	33,52	1,70	34,86	1,56	38,73	1,39
29	31,57	1,73	35,45	1,56	40,10	1,34
30	32,72	1,80	35,52	1,54	41,42	1,30
31	32,37	1,77	34,53	1,50	41,30	1,29
32	31,32	1,77	37,31	1,54	42,25	1,28
33	32,65	1,75	35,55	1,53	40,02	1,30
34	32,05	1,75	34,58	1,55	43,18	1,35
35	32,62	1,76	35,30	1,50	40,81	1,30
36	32,69	1,79	34,46	1,52	41,77	1,40
37	32,71	1,76	35,74	1,53	40,24	1,36
38	31,09	1,77	35,06	1,50	41,18	1,39
39	32,86	1,79	35,38	1,52	45,12	1,41
40	28,27	1,57	33,30	1,55	41,4110575	1,3306404
Média	32,16	1,75	34,57	1,53	1,43	0,04
Desvio	1,01	0,04	0,95	0,02	3,45	2,98
CV	3,14	2,26	2,74	1,40	2,89	1,63

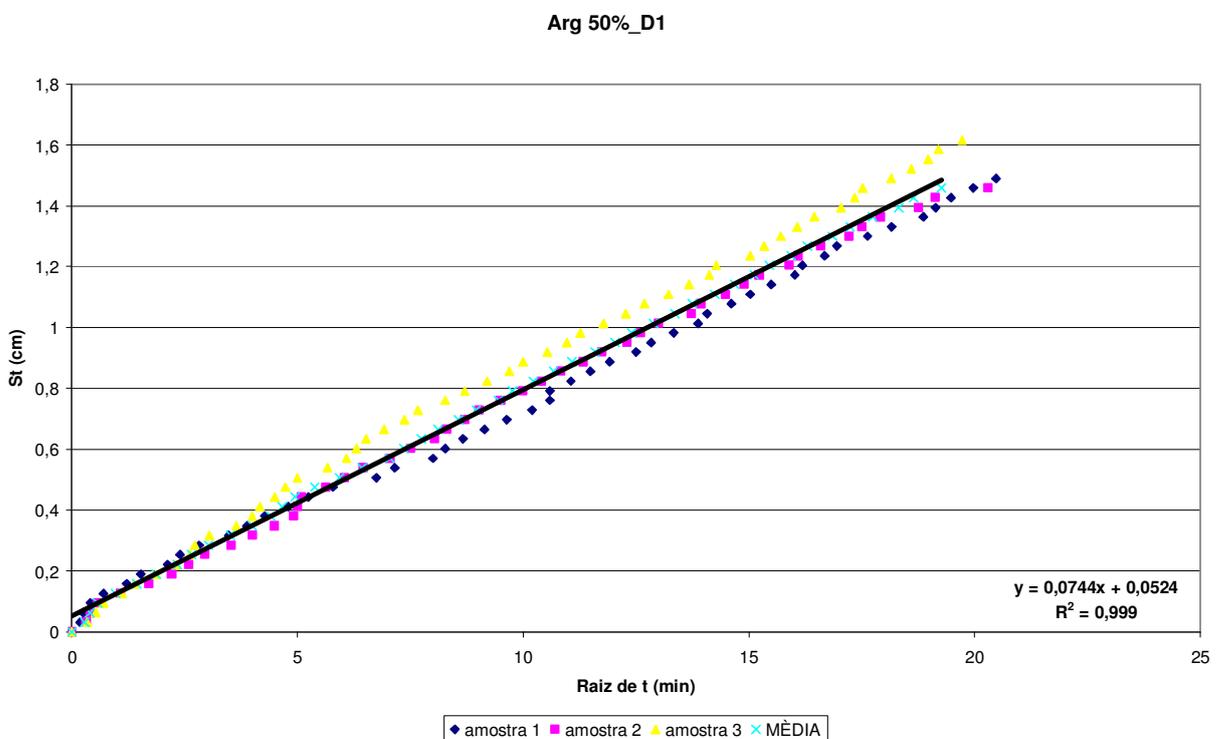


Substrato D2						
Amostras	Arg 0%+IA		Arg 50%+IA		Arg 100%+IA	
	Porosidade aberta (%)	Massa Especifica (kg/dm3)	Porosidade aberta (%)	Massa Especifica (kg/dm3)	Porosidade aberta (%)	Massa Especifica (kg/dm3)
1	31,31	1,73	31,89	1,58	37,95	1,38
2	29,51	1,75	31,79	1,57	35,60	1,39
3	28,79	1,71	27,37	1,60	36,96	1,34
4	28,67	1,74	29,46	1,62	35,02	1,36
5	30,99	1,70	28,69	1,61	35,92	1,36
6	29,74	1,75	31,19	1,62	33,65	1,36
7	30,64	1,73	28,52	1,67	33,66	1,38
8	30,45	1,68	27,38	1,65	37,18	1,36
9	29,19	1,74	32,31	1,58	37,21	1,37
10	29,17	1,71	31,49	1,61	33,62	1,36
11	29,65	1,73	30,30	1,63	36,09	1,35
12	30,30	1,73	31,83	1,60	33,21	1,37
13	29,78	1,68	27,51	1,66	35,41	1,38
14	31,56	1,74	31,66	1,59	34,09	1,37
15	29,54	1,70	29,44	1,60	37,40	1,35
16	29,87	1,73	25,95	1,68	36,49	1,35
17	31,74	1,70	33,17	1,57	33,20	1,36
18	30,56	1,73	31,02	1,59	36,16	1,37
19	31,21	1,75	31,42	1,62	34,32	1,36
20	28,27	1,71	28,23	1,64	34,73	1,37
21	27,16	1,68	32,23	1,60	33,28	1,39
22	28,77	1,73	30,04	1,64	34,30	1,36
23	29,49	1,75	31,52	1,61	34,33	1,35
24	31,53	1,67	28,21	1,64	32,26	1,37
25	30,69	1,72	30,05	1,63	36,88	1,34
26	29,47	1,73	33,73	1,57	34,59	1,37
27	28,76	1,72	30,72	1,65	33,65	1,37
28	31,16	1,74	33,56	1,60	35,75	1,37
29	28,89	1,76	33,56	1,57	33,21	1,36
30	30,46	1,71	32,06	1,62	36,32	1,36
31	30,54	1,75	34,34	1,56	35,75	1,35
32	29,70	1,74	32,60	1,62	36,86	1,37
33	28,48	1,72	29,67	1,63	37,32	1,33
34	31,87	1,71	29,05	1,64	36,06	1,37
35	30,67	1,76	32,38	1,57	33,11	1,37
36	30,86	1,72	33,86	1,61	35,03	1,37
37	30,56	1,78	33,55	1,60	33,32	1,38
38	32,36	1,71	32,20	1,61	33,15	1,36
39	28,69	1,72	32,40	1,58	32,64	1,39
40	30,57	1,72	31,02	1,64	34,4448428	1,372654476
Média	30,04	1,73	30,93	1,61	35,00	1,36
Desvio	1,15	0,02	2,09	0,03	1,57	0,01
CV	3,82	1,35	6,75	1,86	4,48	0,91

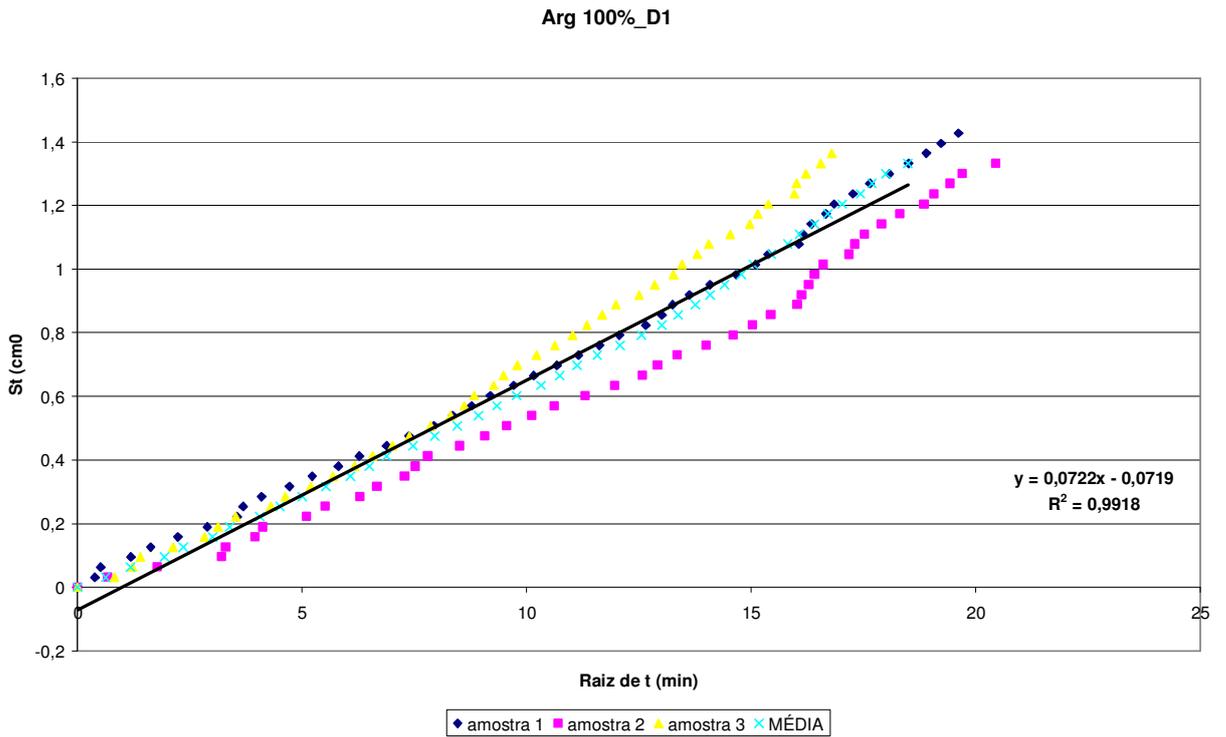
**ANEXO H: DADOS DO ENSAIO DE ÂNGULO DE MOLHAMENTO APARENTE**



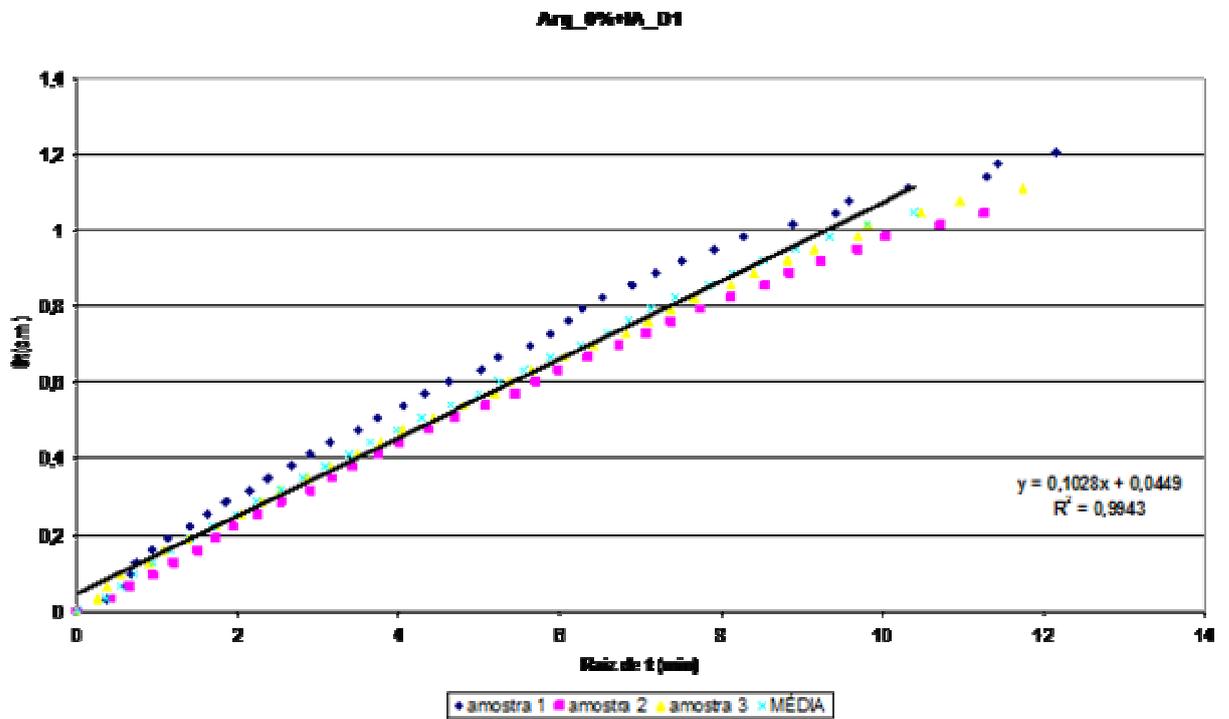
**0%\_D1: Estoque de álcool infiltrado em função da raiz do tempo**



**50%\_D1: Estoque de álcool infiltrado em função da raiz do tempo**

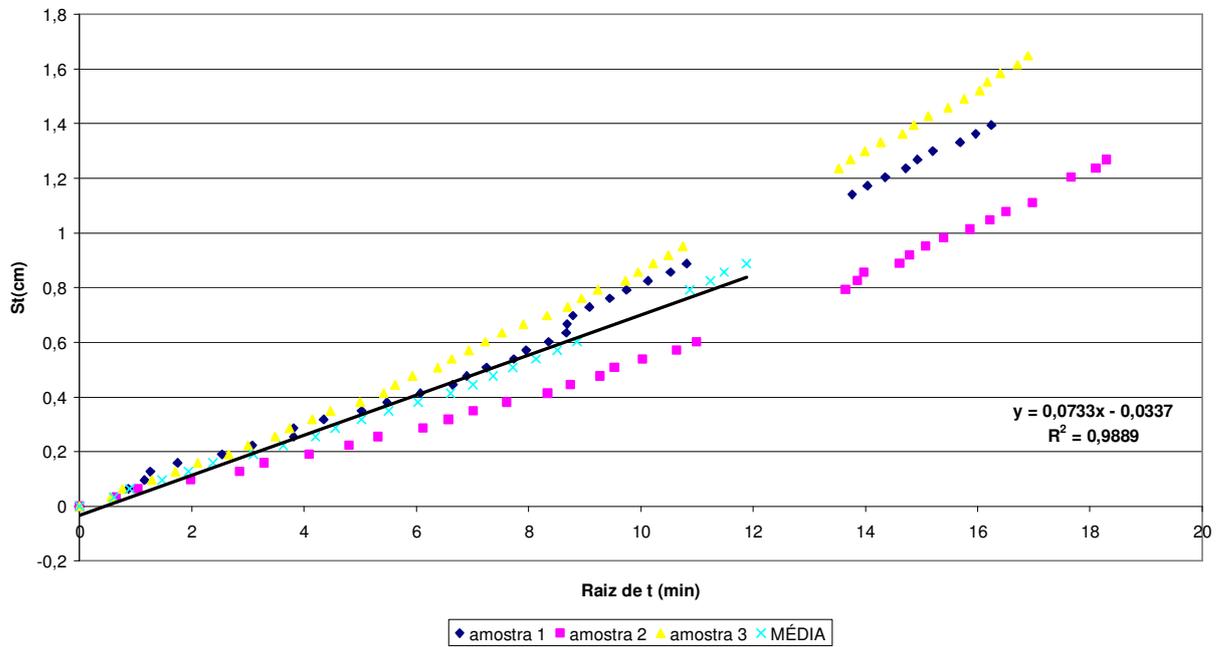


**100%\_D1: Estoque de álcool infiltrado em função da raiz do tempo**

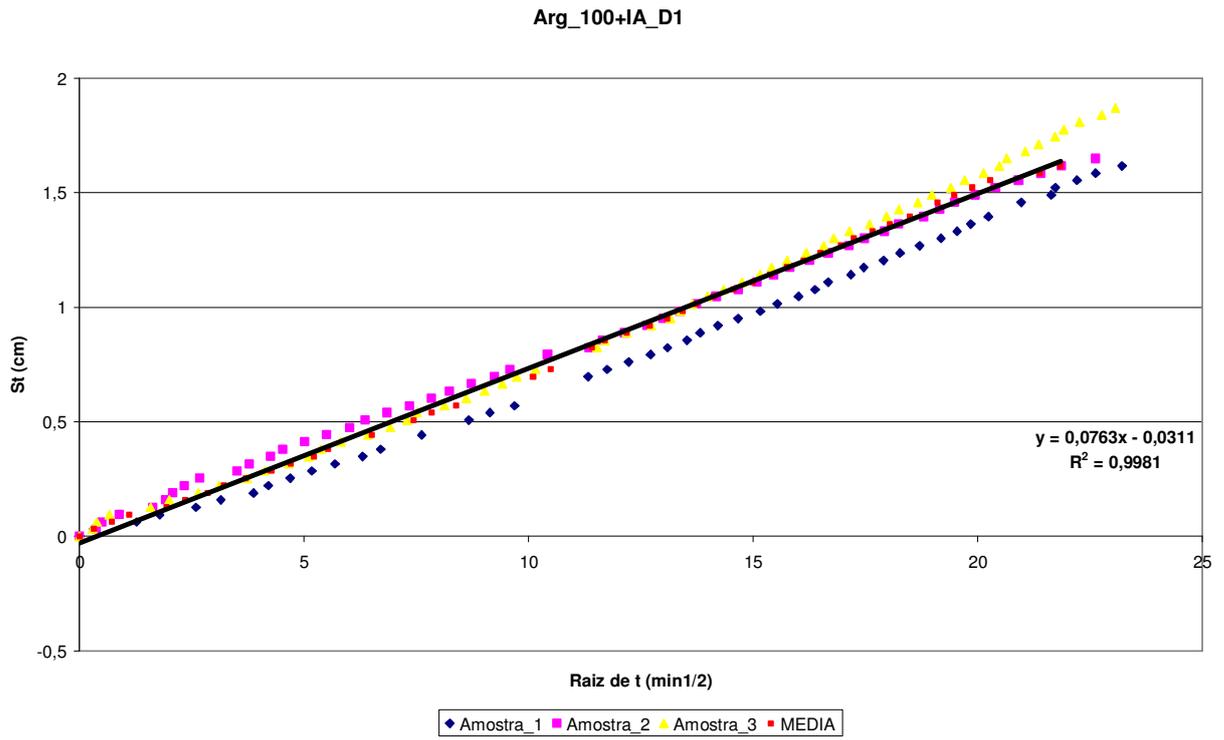


**0%+IA\_D1: Estoque de álcool infiltrado em função da raiz do tempo**

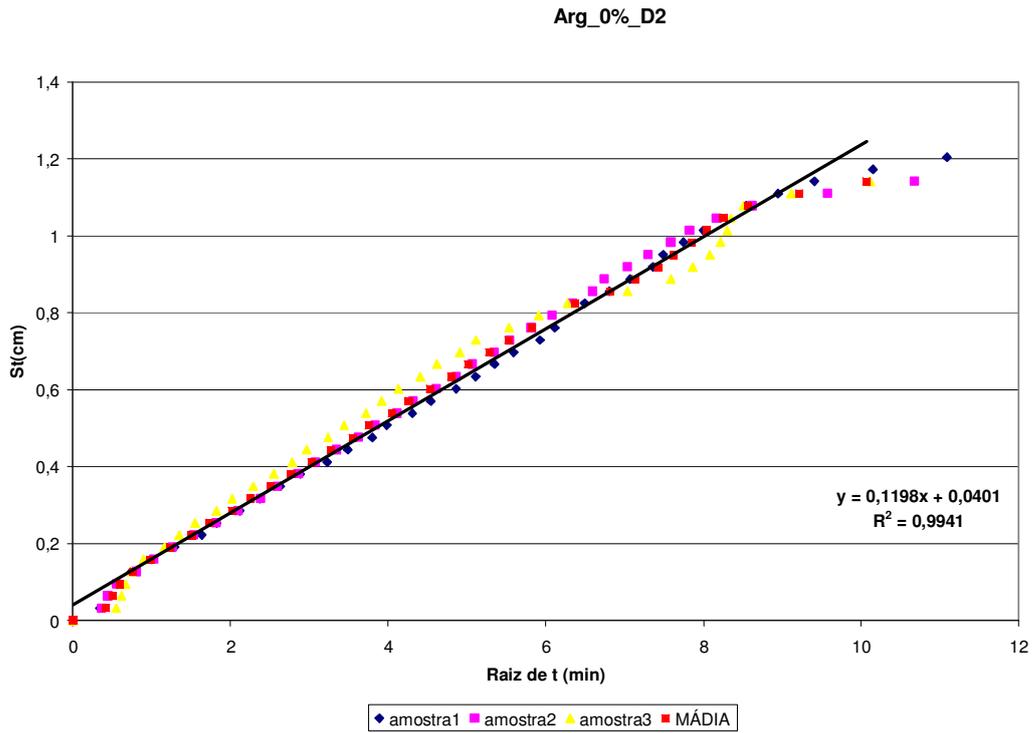
Arg\_50%+IA\_D1



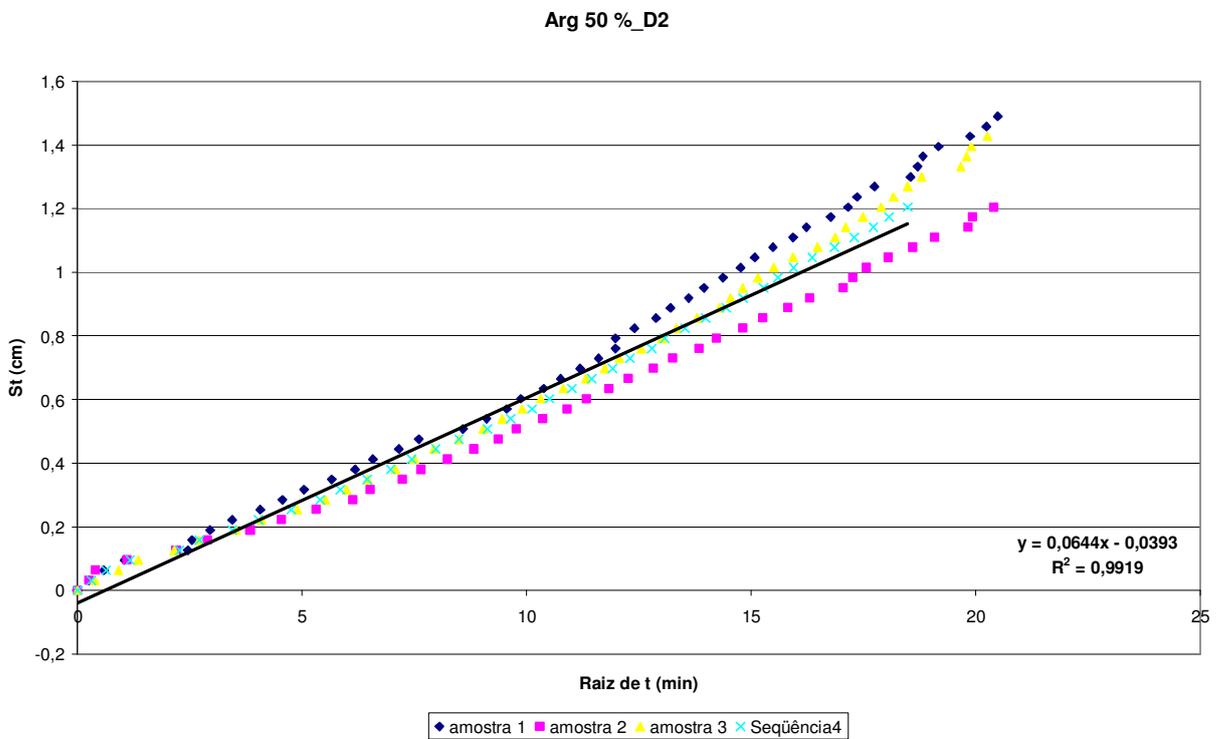
**50%+IA\_D1: Estoque de álcool infiltrado em função da raiz do tempo**



**100%+IA\_D1: Estoque de álcool infiltrado em função da raiz do tempo**

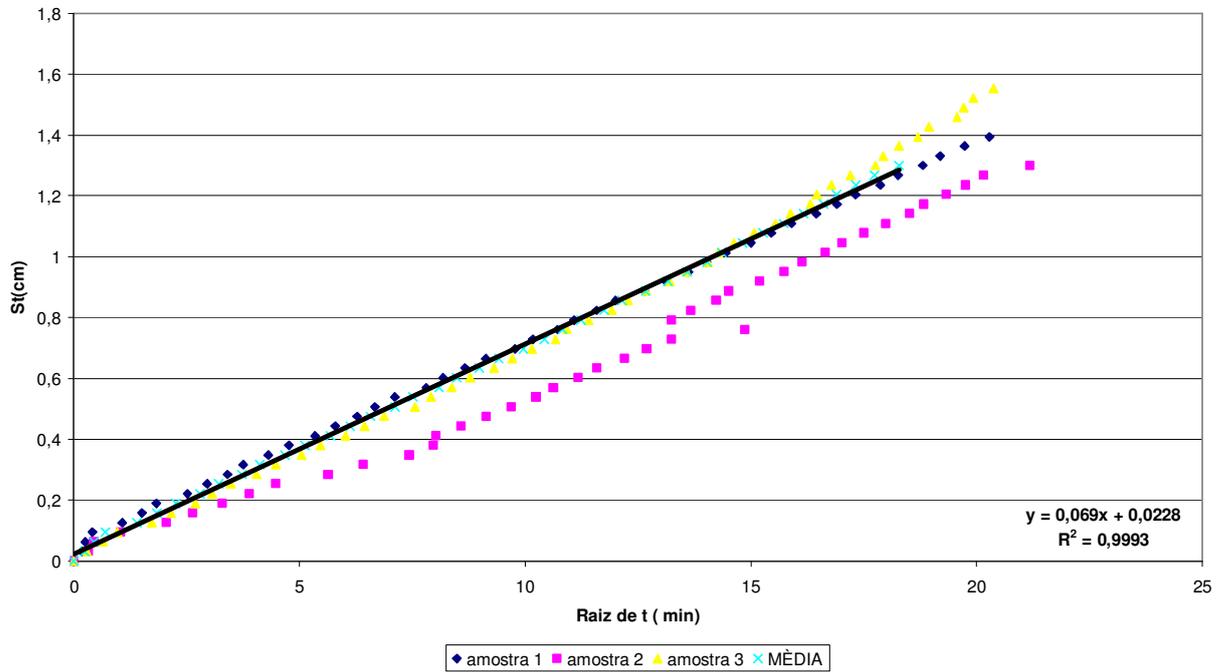


**0%\_D2: Estoque de álcool infiltrado em função da raiz do tempo**



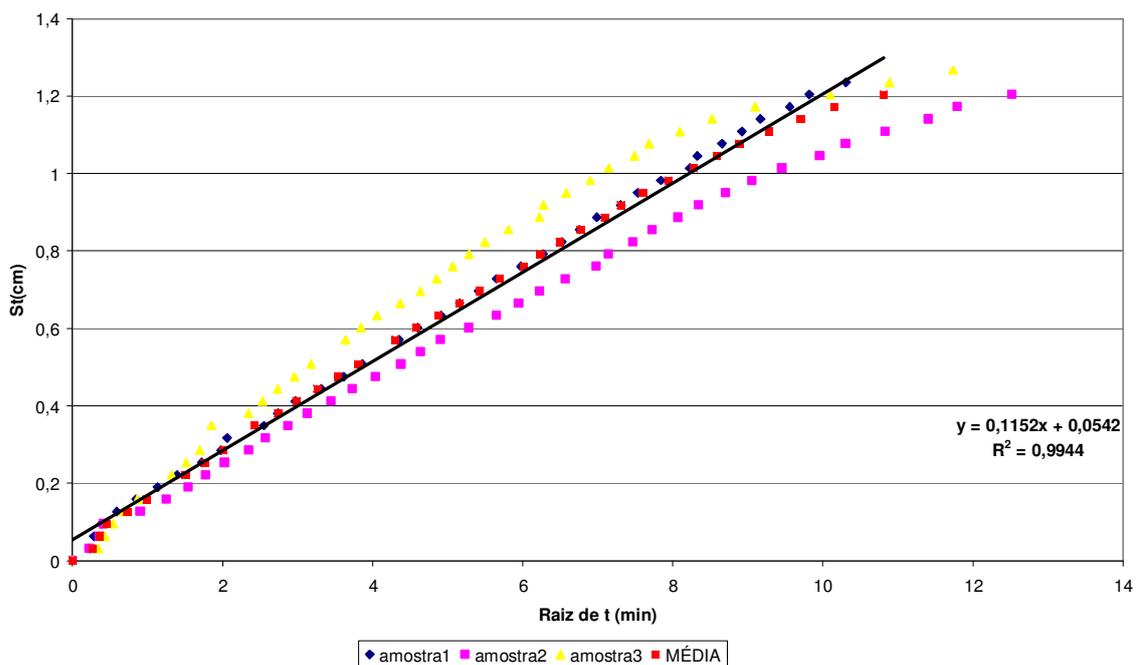
**50%\_D2: Estoque de álcool infiltrado em função da raiz do tempo**

Arg 100%\_D2

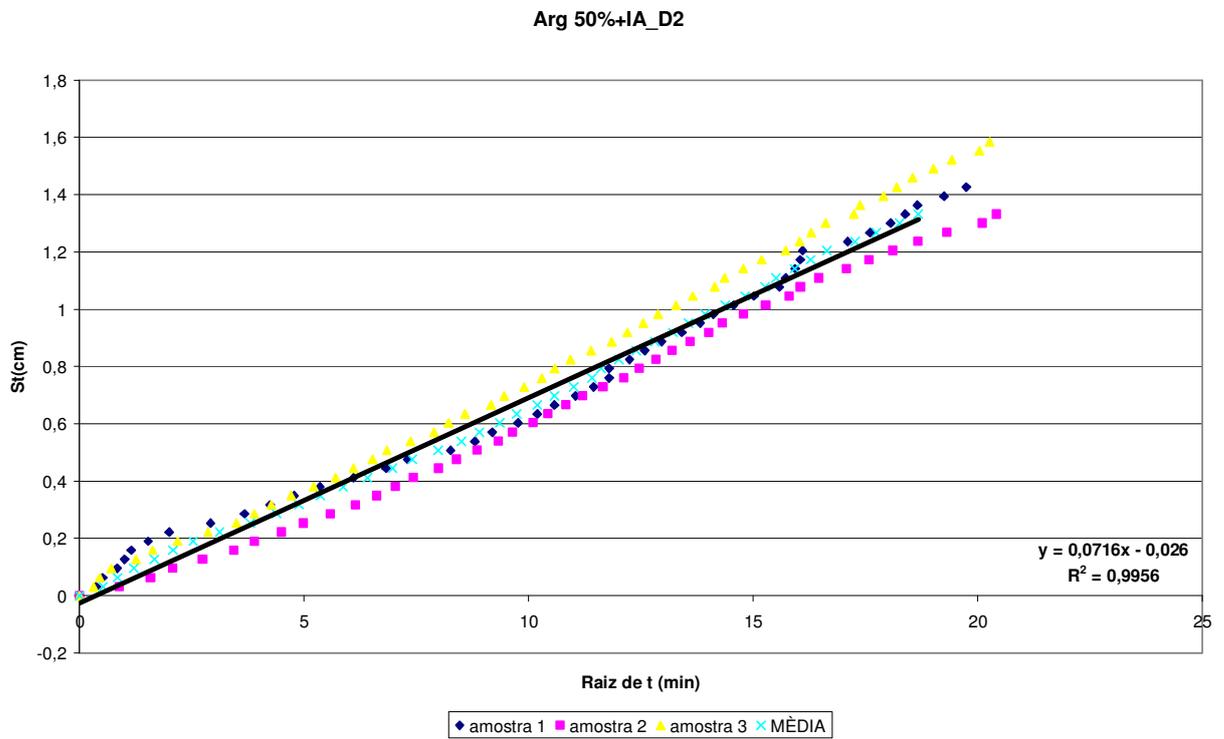


100%\_D2: Estoque de álcool infiltrado em função da raiz do tempo

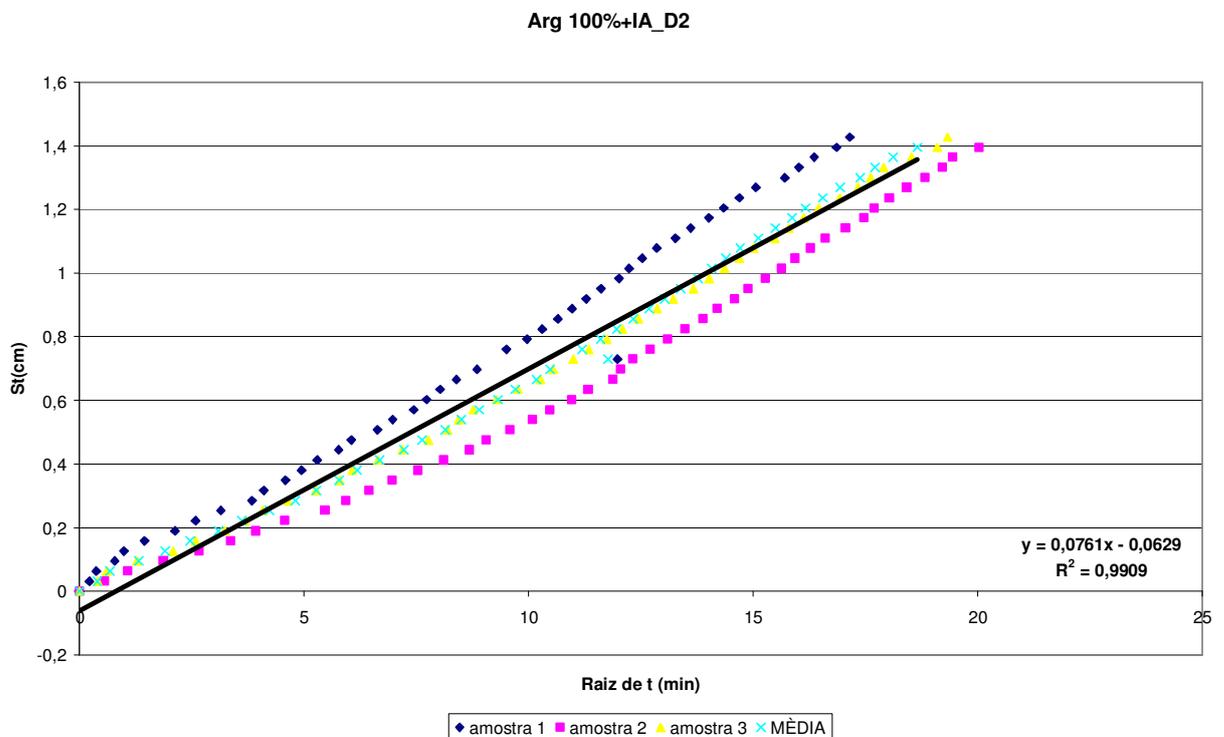
Arg\_0%+IA\_D2



### 0%+IA\_D2: Estoque de álcool infiltrado em função da raiz do tempo



### 50%+IA\_D2: Estoque de álcool infiltrado em função da raiz do tempo



### 100%+IA\_D2: Estoque de álcool infiltrado em função da raiz do tempo

**ANEXO I: DADOS DO ENSAIO DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA DAS  
ARGAMASSAS**

## ECV/NPC/VALORES

0%CZP_D1							
W (%)	A	A médio	Désvio	$\lambda$	$\lambda$ médio (W/mK)	Désvio	CV(%)
1,71	0,79	0,72	0,06	0,46	0,51	0,04	8,83
	0,66			0,55			
	0,70			0,51			
4,28	0,49	0,49	0,01	0,74	0,74	0,01	1,29
	0,50			0,73			
	0,49			0,75			
9,00	0,35	0,30	0,05	1,03	1,23	0,19	15,64
	0,29			1,24			
	0,26			1,42			
9,32	0,37	0,34	0,03	0,97	1,08	0,10	8,97
	0,31			1,16			
	0,33			1,11			
11,75	0,21	0,23	0,03	1,72	1,62	0,19	11,84
	0,21			1,74			
	0,26			1,40			
12,63	0,18	0,16	0,02	2,00	2,26	0,27	12,13
	0,16			2,23			
	0,14			2,54			
15,84	0,21	0,18	0,03	1,74	2,08	0,33	15,99
	0,17			2,10			
	0,15			2,41			
0%CZP+IA_D1							
W (%)	A	A médio	Désvio	$\lambda$	$\lambda$ médio (W/mK)	Désvio	CV(%)
0,61	0,40	0,38	0,02	0,90	0,98	0,02	1,57
	0,36			0,99			
	0,37			0,97			
2,87	0,33	0,32	0,01	1,09	1,14	0,05	4,50
	0,30			1,19			
	0,32			1,14			
6,10	0,31	0,31	0,00	1,17	1,19	0,01	0,91
	0,30			1,19			
	0,30			1,20			
10,26	0,23	0,22	0,01	1,55	1,67	0,10	6,16
	0,21			1,74			
	0,21			1,71			
11,62	0,18	0,17	0,01	2,05	2,08	0,11	5,06
	0,18			1,99			
	0,17			2,19			
13,78	0,21	0,19	0,02	1,69	1,92	0,19	10,12
	0,18			2,04			
	0,18			2,02			
15,23	0,21	0,19	0,02	1,76	1,94	0,16	8,22
	0,17			2,07			
	0,18			1,98			

ECV/NPC/VALORES

100%CZP_D1							
W (%)	A	A médio	Désvio	$\lambda$	$\lambda$ médio (W/mK)	Désvio	CV(%)
8,14	0,95	0,99	0,03	0,38	0,37	0,01	3,22
	0,99			0,37			
	1,02			0,36			
10,01	0,90	0,98	0,09	0,40	0,37	0,03	9,02
	1,07			0,34			
	0,96			0,38			
14,85	1,02	0,93	0,08	0,36	0,39	0,03	7,80
	0,91			0,40			
	0,87			0,42			
17,57	0,72	0,77	0,06	0,50	0,47	0,04	7,46
	0,74			0,49			
	0,83			0,43			
20,04	0,96	0,83	0,11	0,38	0,44	0,06	12,78
	0,75			0,48			
	0,79			0,46			

ECV/NPC/VALORES

100%CZP+IA D1							
W (%)	A	A médio	Désvio	$\lambda$	$\lambda$ médio (W/mK)	Désvio	CV(%)
4,46	0,79	0,72	0,06	0,46	0,51	0,04	8,83
	0,66			0,55			
	0,70			0,51			
5,77	0,49	0,49	0,01	0,74	0,74	0,01	1,29
	0,50			0,73			
	0,49			0,75			
10,64	0,29	0,29	0,01	1,23	1,24	0,06	4,75
	0,31			1,18			
	0,28			1,30			
13,68	0,63	0,63	0,07	0,58	0,58	0,06	11,03
	0,56			0,64			
	0,71			0,51			
15,07	0,35	0,30	0,05	1,03	1,23	0,19	15,64
	0,29			1,24			
	0,26			1,42			
17,67	0,37	0,34	0,03	0,97	1,08	0,10	8,97
	0,31			1,16			
	0,33			1,11			
21,14	0,21	0,23	0,03	1,72	1,62	0,19	11,84
	0,21			1,74			
	0,26			1,40			
23,45	0,18	0,16	0,02	2,00	2,26	0,27	12,13
	0,16			2,23			
	0,14			2,54			
25,40	0,21	0,18	0,03	1,74	2,08	0,33	15,99
	0,17			2,10			
	0,15			2,41			

ECV/NPC/VALORES

50%CZP_D1							
W (%)	A	A médio	Désvio	$\lambda$	$\lambda$ médio (W/mK)	Désvio	CV(%)
0,96	0,44	0,37	0,06	0,83	0,95	0,14	15,16
	0,33			1,09			
	0,34			1,07			
2,50	0,37	0,34	0,02	0,99	1,06	0,06	5,84
	0,33			1,11			
	0,34			1,08			
5,03	0,40	0,39	0,02	0,90	0,93	0,06	6,56
	0,36			1,00			
	0,40			0,90			
7,46	0,49	0,45	0,03	0,73	0,80	0,06	7,32
	0,44			0,83			
	0,43			0,84			
9,76	0,42	0,36	0,05	0,86	1,00	0,12	12,33
	0,34			1,06			
	0,33			1,09			
12,18	0,34	0,28	0,05	1,05	1,30	0,22	16,71
	0,25			1,45			
	0,26			1,40			
14,17	0,32	0,27	0,04	1,15	1,34	0,17	12,77
	0,26			1,39			
	0,25			1,47			
17,01	0,20	0,22	0,01	1,78	1,67	0,11	6,75
	0,22			1,67			
	0,23			1,55			
19,24	0,25	0,21	0,03	1,43	1,72	0,26	14,91
	0,20			1,81			
	0,19			1,92			
21,65	0,23	0,21	0,02	1,56	1,76	0,20	11,61
	0,20			1,77			
	0,18			1,96			

ECV/NPC/VALORES

50+IA D1							
W (%)	A	A médio	Désvio	$\lambda$	$\lambda$ médio (W/mK)	Désvio	CV(%)
0,46	0,40	0,36	0,05	0,90	0,92	0,16	16,89
	0,30			1,19			
	0,38			0,95			
2,91	0,47	0,43	0,04	0,77	0,85	0,08	9,44
	0,42			0,86			
	0,39			0,93			
5,94	0,34	0,34	0,01	1,06	1,08	0,03	3,07
	0,32			1,12			
	0,34			1,06			
8,26	0,29	0,28	0,02	1,25	1,32	0,08	6,25
	0,26			1,41			
	0,28			1,30			
10,47	0,27	0,24	0,03	1,35	1,52	0,16	10,73
	0,22			1,67			
	0,23			1,55			
13,23	0,30	0,26	0,05	1,19	1,43	0,26	17,91
	0,26			1,39			
	0,21			1,70			
15,36	0,20	0,20	0,01	1,78	1,83	0,07	3,86
	0,19			1,91			
	0,20			1,80			
17,79	0,28	0,24	0,03	1,29	1,51	0,19	12,50
	0,22			1,63			
	0,22			1,61			
21,17	0,19	0,17	0,02	1,87	2,12	0,31	14,61
	0,18			2,03			
	0,15			2,47			
21,96	0,18	0,17	0,01	2,06	2,14	0,09	4,07
	0,16			2,24			
	0,17			2,13			

## ECV/NPC/VALORES

0%CZP_D2							
W (%)	A	A médio	Désvio	$\lambda$	$\lambda$ médio (W/mK)	Désvio	CV(%)
0,47	0,54	0,80	0,40	0,67	0,48	0,20	42,37
	0,61			0,60			
	1,26			0,29			
2,10	0,51	0,46	0,05	0,70	0,80	0,08	9,86
	0,43			0,84			
	0,43			0,84			
4,21	0,26	0,23	0,02	1,39	1,56	0,14	9,30
	0,23			1,60			
	0,22			1,67			
5,70	0,25	0,27	0,06	1,46	1,36	0,27	19,91
	0,34			1,06			
	0,23			1,57			
9,57	0,72	0,82	0,11	0,50	0,45	0,06	12,57
	0,93			0,39			
	0,80			0,45			
10,09	0,16	0,15	0,02	2,31	2,50	0,35	14,17
	0,16			2,27			
	0,12			2,90			
12,67	0,14	0,16	0,03	2,56	2,37	0,42	17,69
	0,14			2,65			
	0,19			1,89			
14,61	0,22	0,15	0,07	1,63	2,71	1,22	45,03
	0,15			2,47			
	0,09			4,04			
16,13	0,10	0,11	0,01	3,65	3,45	0,24	7,03
	0,11			3,18			
	0,10			3,53			
16,58	0,22	0,16	0,06	1,62	2,43	0,76	31,13
	0,14			2,56			
	0,12			3,11			

0%CZP+IA_D2							
W (%)	A	A médio	Désvio	$\lambda$	$\lambda$ médio (W/mK)	Désvio	CV(%)
0,38	0,60	0,68	0,06	0,60	0,56	0,05	9,69
	0,72			0,50			
	0,71			0,51			
2,16	0,51	0,46	0,05	0,70	0,80	0,08	9,86
	0,43			0,84			
	0,43			0,84			
3,68	0,26	0,23	0,02	1,39	1,56	0,14	9,30
	0,23			1,60			
	0,22			1,67			
6,29	0,25	0,24	0,01	1,46	1,51	0,06	3,92
	0,24			1,49			
	0,23			1,57			
10,23	0,16	0,16	0,01	2,31	2,25	0,07	3,26
	0,17			2,17			
	0,16			2,27			
11,50	0,16	0,15	0,03	2,27	2,50	0,53	21,21
	0,12			3,10			
	0,17			2,12			
14,00	0,22	0,15	0,07	1,63	2,86	1,20	42,10
	0,12			2,91			
	0,09			4,04			
15,35	0,10	0,10	0,01	3,65	3,75	0,29	7,65
	0,09			4,07			
	0,10			3,53			
16,82	0,10	0,12	0,03	3,65	3,03	0,68	22,59
	0,12			3,13			
	0,16			2,30			

ECV/NPC/VALORES

50% CZP_D2							
W (%)	A	A médio	Désvio	$\lambda$	$\lambda$ médio (W/mK)	Désvio	CV(%)
0,33	0,68	0,66	0,10	0,53	0,27	0,04	14,63
	0,76			0,48			
	0,56						
2,88	0,96	0,92	0,06	0,38	0,38	0,00	0,38
	0,95			0,38			
	0,86						
5,78	1,09	1,16	0,10	0,33	0,31	0,02	7,95
	1,12			0,32			
	1,27			0,28			
8,12	0,75	0,81	0,08	0,48	0,47	0,02	3,88
	0,90						
	0,79			0,46			
16,87	0,60	0,53	0,11	0,61	0,62	0,01	2,38
	0,58			0,63			
	0,40						
17,96	0,68	0,74	0,09	0,53	0,52	0,02	2,94
	0,85						
	0,71			0,51			

ECV/NPC/VALORES

50% CZP+IA D2							
W (%)	A	A médio	Désvio	$\lambda$	$\lambda$ médio (W/mK)	Désvio	CV(%)
0,53	0,33	0,33	0,00	1,09	1,10	0,01	0,89
	0,33			1,10			
	0,33			1,11			
3,05	0,29	0,28	0,02	1,27	1,26	0,01	0,47
	0,29			1,26			
	0,26						
5,36	0,30	0,36	0,08	1,19	1,14	0,07	6,34
	0,46						
	0,33			1,09			
9,05	0,29	0,31	0,05	1,27	1,32	0,08	5,80
	0,26			1,38			
	0,37						
11,88	0,21	0,22	0,00	1,70	1,67	0,03	1,57
	0,22			1,66			
	0,22			1,65			
16,29	0,20	0,18	0,04	1,80	1,83	0,04	2,00
	0,20			1,86			
	0,13						
19,52	0,16	0,21	0,05	2,20	2,20	0,17	7,93
	0,27						
	0,19			1,95			
21,17	0,22	0,18	0,03		2,29	0,14	6,07
	0,15			2,39			
	0,17			2,19			
22,50	0,17	0,19	0,04	2,13	2,12	0,02	1,03
	0,17			2,10			
	0,24						

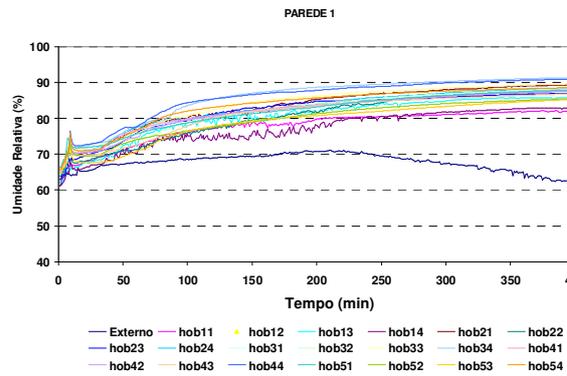
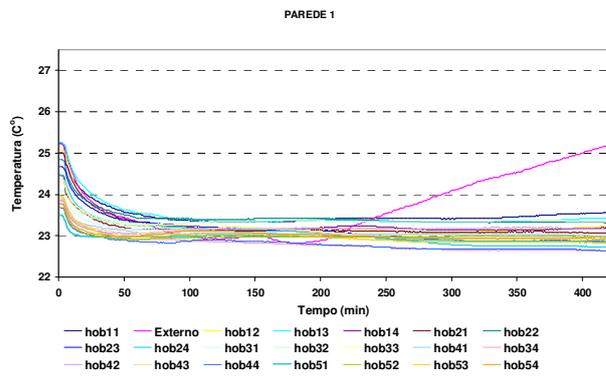
ECV/NPC/VALORES

100% CZP_D2							
W (%)	A	A médio	Désvio	$\lambda$	$\lambda$ médio (W/mK)	Désvio	CV(%)
0,82	0,91	0,90	0,02	0,40	0,40	0,01	2,64
	0,88			0,41			
3,96	0,91	0,90	0,02	0,40	0,40	0,01	2,64
	0,88			0,41			
8,59	1,56	1,55	0,01	0,23	0,23	0,00	0,83
	1,54			0,23			
11,43	1,50	1,53	0,05	0,24	0,24	0,01	3,15
	1,57			0,23			
14,56	0,64	0,61	0,04	0,57	0,59	0,04	6,66
	0,58			0,62			
19,57	0,57	0,58	0,02	0,63	0,63	0,02	3,11
	0,60			0,61			
	0,56			0,65			
25,35	0,31	0,32	0,00	1,15	1,14	0,02	1,54
	0,32			1,13			
29,32	0,30	0,29	0,02	1,20	1,26	0,08	6,07
	0,28			1,31			

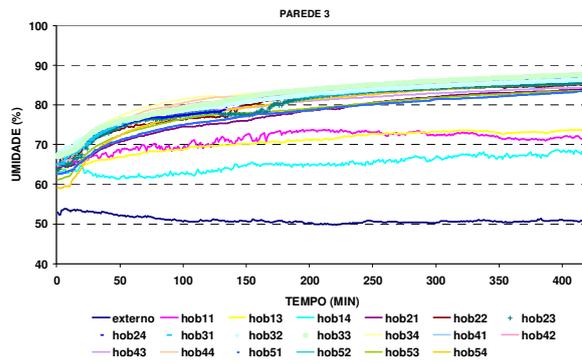
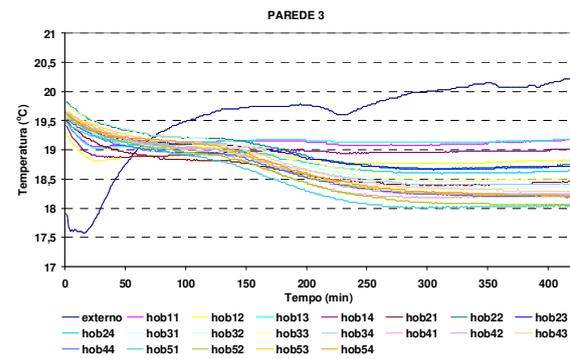
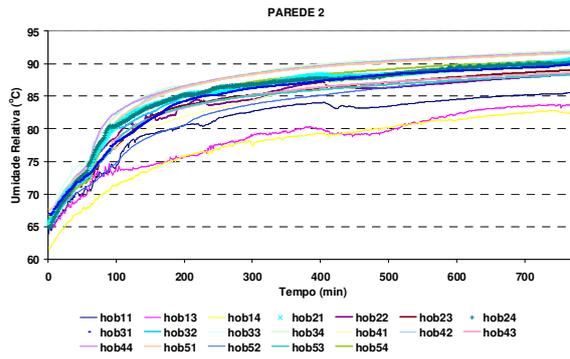
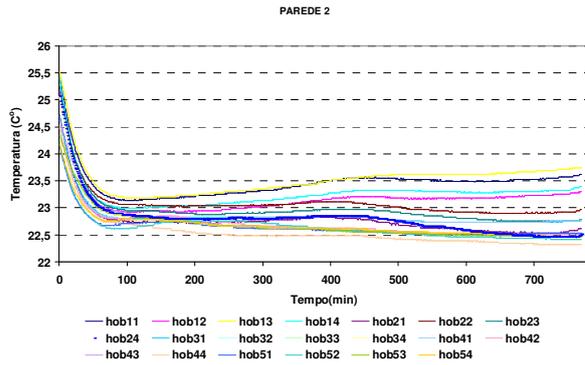
ECV/NPC/VALORES

100% CZP+IA D2							
W (%)	A	A médio	Désvio	$\lambda$	$\lambda$ médio (W/mK)	Désvio	CV(%)
1,08	0,85	0,79	0,07	0,42	0,46	0,04	9,00
	0,72			0,51			
	0,80			0,45			
2,94	1,03	1,02	0,02	0,35	0,35	0,01	2,19
	1,04			0,35			
	1,00			0,36			
5,79	0,55	0,53	0,02	0,66	0,67	0,01	1,17
	0,51						
	0,54			0,67			
8,91	0,65	0,55	0,08		0,72	0,02	2,52
	0,50			0,73			
	0,51			0,71			
11,58	1,03	0,97	0,05	0,35	0,37	0,02	5,38
	0,97			0,37			
	0,92			0,39			
14,55	0,79	0,77	0,06	0,46	0,45	0,01	2,19
	0,81			0,44			
	0,69						
22,90	0,25	0,26	0,01	1,43	1,39	0,04	2,63
	0,27			1,36			
	0,26			1,38			
15,98	0,22	0,29	0,09	1,61	1,51	0,15	10,01
	0,39						
	0,26			1,40			
23,20	0,29	0,26	0,03		1,50	0,01	0,82
	0,24			1,49			
	0,24			1,50			
26,67	0,22	0,22	0,01	1,66	1,66	0,05	3,18
	0,21			1,72			
	0,22			1,61			

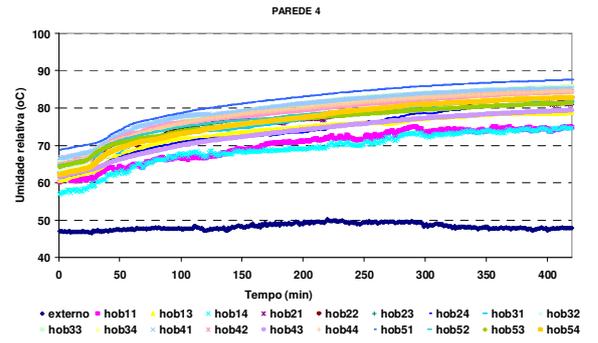
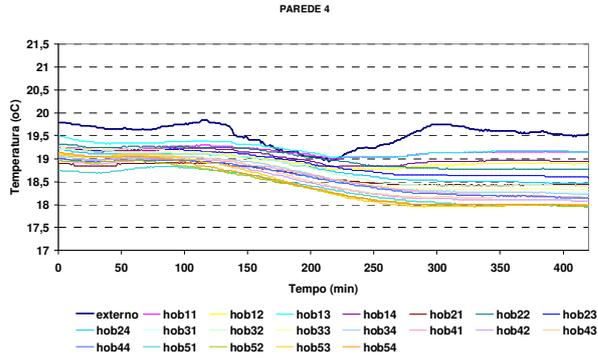
### ANEXO J: DADOS DOS SENSORES DE UMIDADE E TEMPERATURA



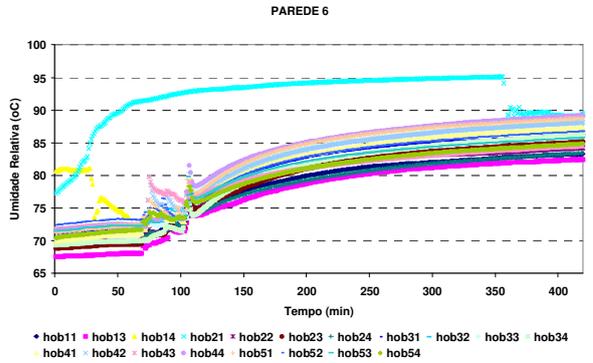
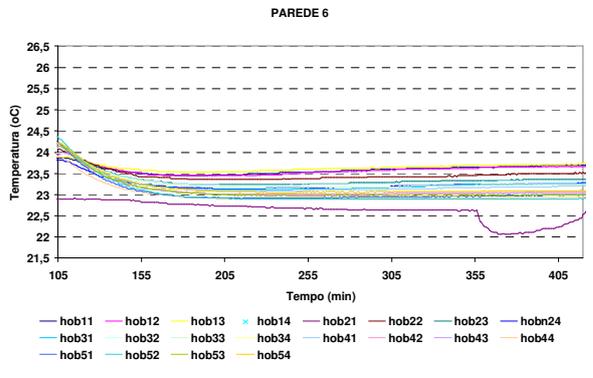
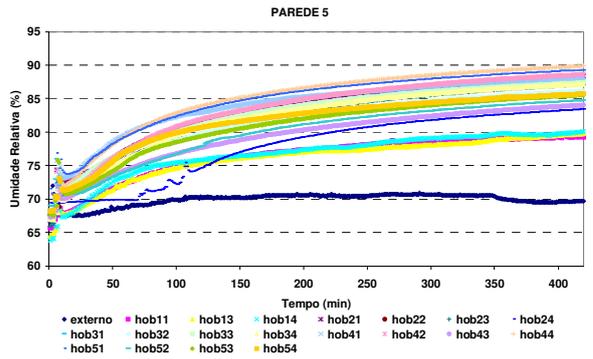
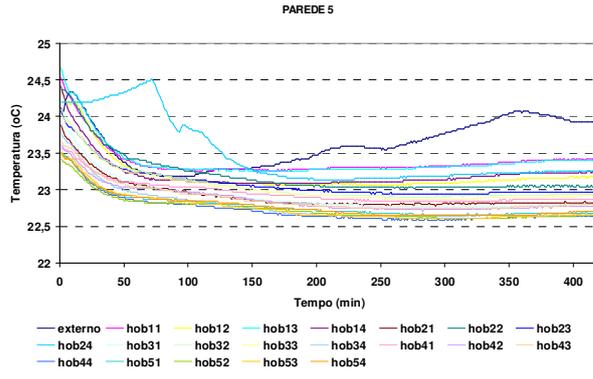
ECV/NPC/VALORES



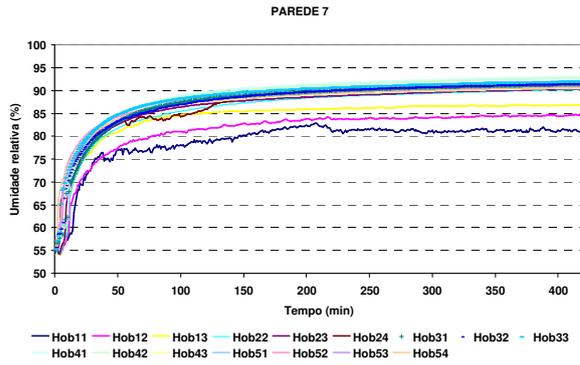
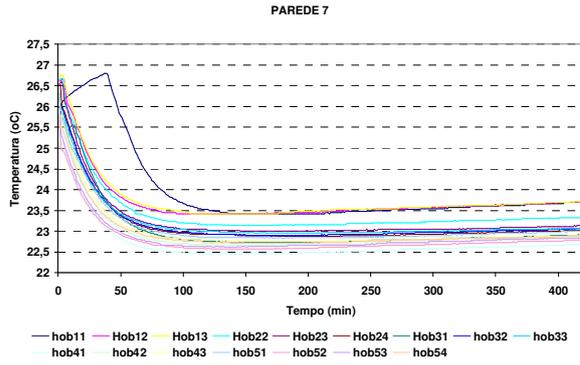
ECV/NPC/VALORES



ECV/NPC/VALORES



ECV/NPC/VALORES



**ANEXO K: DADOS DO TEOR DE UMIDADE NAS AMOSTRAS EXTRAÍDAS DAS PAREDES DEPOIS DE 7 HORAS DE ENSAIO DE ESTANQUEIDADE**

ECV/NPC/VALORES

3,26 2,75	3,87 2,50	2,40 2,25	3,85 2,33	2,55 2,10	2,85 2,53	3,49 2,14	4,56 2,24	3,58 2,37	2,71 1,78
14,12 4,35	14,00 4,40	13,91 4,38	14,89 5,36	9,49 2,40	12,85 2,94	14,08 4,05	3,84 2,50	15,34 4,76	13,20 3,13
14,84 5,27	14,72 4,39	14,93 6,10	15,18 5,19	14,93 4,67	14,71 4,52	14,67 5,00	15,19 5,20	14,51 4,18	14,95 5,48
14,68 4,32	14,94 5,84	14,46 5,16	14,70 7,13	14,54 4,69	15,46 3,75	15,59 5,71	14,39 4,54	15,33 6,87	14,31 4,81
16,21 4,72	15,67 5,01	15,79 4,70	16,42 4,42	17,14 5,62	15,32 3,72	14,17 5,33	15,50 6,63	14,58 5,41	16,92 5,24

VERSO DA PAREDE  
PAREDE 1

VERSO DA PAREDE  
PAREDE 2

ARGAMASSA 0\_CZP\_D1

2,14 3,99	3,88 2,38	2,24 1,55	2,77 2,65	3,39 2,40	7,45 3,23	6,89 2,37	3,09 2,16	4,89 2,38	2,88 2,33
13,69 3,34	14,49 5,07	14,56 2,57	15,92 6,75	13,95 4,55	13,82 3,82	15,29 4,86	15,78 3,31	15,41 5,20	4,97 2,08
16,14 4,90	15,70 5,13	14,58 4,50	15,17 5,13	15,49 5,04	15,87 4,72	16,78 4,27	14,97 3,76	15,67 3,09	12,08 4,08
13,80 5,06	14,92 5,36	14,41 5,44	15,85 6,59	15,34 5,23	14,94 4,21	15,60 7,21	14,90 4,23	15,87 5,88	15,11 3,39
15,88 6,10	13,05 6,23	14,08 7,62	13,99 7,86	14,20 6,12	15,95 4,72	15,17 4,69	15,87 7,41	15,98 6,11	16,09 5,61

VERSO DA PAREDE  
PAREDE 13

VERSO DA PAREDE  
PAREDE 14

ARGAMASSA 0\_CZP\_D2

**0% CZP\_D1-D2.- Percentagem de umidade dos pontos extraídos das argamassas e dos blocos na fase oposta das parede fabricadas com a argamassa**

ECV/NPC/VALORES

8,31 2,90	8,58 3,32	7,49 2,69	8,04 3,43	7,95 3,12	5,69 3,42	5,54 2,80	2,60 2,34	5,41 3,26	4,89 2,84
11,77 3,58	14,67 3,40	8,01 3,07	8,70 3,25	7,57 3,37	15,24 3,48	15,33 5,10	15,10 4,00	15,53 4,84	14,93 3,63
14,66 5,05	13,03 3,84	15,68 5,16	14,61 3,56	15,11 4,67	15,09 6,15	14,59 4,42	14,93 5,61	14,91 4,71	13,52 5,72
16,27 4,34	15,94 5,72	15,47 5,32	15,83 4,87	15,64 5,01	12,95 4,92	14,73 5,24	14,53 5,47	14,44 5,85	13,50 5,06
15,24 5,57	15,17 5,77	15,13 6,63	14,40 5,28	14,46 5,46	12,99 4,89	12,66 5,28	12,44 6,45	13,71 6,78	14,17 6,33

VERSO DA PAREDE  
PAREDE 3

VERSO DA PAREDE  
PAREDE 4

ARGAMASSA 0\_CZP+IA\_D1

7,86 2,69	8,46 2,54	5,03	8,19 2,43	11,21 3,19	7,15 2,63	8,88 3,21	7,73 2,75	7,03 2,51	8,08 3,22	6,52 4,43
16,37 3,47	16,64 3,69	8,78 3,12	9,21 3,03	6,31 2,90	13,58 2,92	17,18 4,10	16,14 3,22	16,33 4,08	10,21 3,08	
15,21 4,53	16,04 3,43	16,09 2,82	14,33 3,20	9,83 2,95	16,02 4,42	16,50 4,92	16,38 7,42	16,27 3,40	15,69 5,52	
14,94 3,43	15,61 4,55	15,40 3,46	16,09 4,40	15,43 3,11	14,57 3,67	14,67 4,57	14,67 4,39	16,01 5,29	15,29 4,94	
15,77 4,54	14,21 5,03	14,65 5,36	10,09 2,52	15,24 2,93	15,02 4,54	15,18 4,91	14,90 5,87	15,07 4,85	14,82 6,64	

VERSO DA PAREDE  
PAREDE 15

VERSO DA PAREDE  
PAREDE 16

ARGAMASSA 0\_CZP+IA\_D2

**0% CZP+IA\_D1-D2 - Percentagem de umidade dos pontos extraídos das argamassas e dos blocos na fase oposta das parede fabricadas com a argamassa.**

ECV/NPC/VALORES

5,37 2,69	6,55 3,06	7,38 2,24	7,52 2,90	5,57 2,25	7,36 2,86	7,60 3,21	5,24 2,51	7,00 2,12	4,32 2,51
17,55 3,73	19,66 4,36	16,36 3,00	20,07 4,59	16,09 3,12	9,60 2,71	10,14 3,15	8,53 2,92	9,64 2,67	6,68 2,85
19,20 3,92	20,20 4,80	20,77 5,11	20,56 4,16	19,07 4,32	14,34 3,09	13,64 2,92	18,34 4,71	17,27 3,35	18,51 4,83
20,06 4,37	20,41 5,41	19,82 4,58	20,10 5,10	18,98 3,66	11,88 3,07	19,32 4,32	18,74 4,35	17,80 4,54	20,17 4,94
19,23 5,04	19,13 5,71	20,82 5,40	21,31 4,68	21,15 5,22	19,29 4,13	19,67 5,40	20,14 4,81	20,13 3,98	21,03 4,43
VERSO DA PAREDE PAREDE 5					VERSO DA PAREDE PAREDE 6				

ARGAMASSA 50\_CZP\_D1

5,03 2,35	5,67 2,31	5,18 1,78	5,02 2,57	5,08 2,16	9,94 2,97	11,15 2,98	10,04 3,18	10,87 2,45	9,60 2,61
20,46 3,96	20,72 4,75	21,11 3,47	22,23 5,40	20,64 3,16	21,60 3,37	21,56 5,72	22,95 4,90	23,12 4,52	22,93 4,02
20,86 4,67	20,92 3,33	20,66 6,83	21,41 4,87	22,08 5,59	22,50 6,14	19,14 4,96	22,68 6,64	23,31 3,86	23,13 5,07
20,82 4,45	21,83 4,32	20,53 5,04	20,94 6,23	20,97 4,92	21,09 4,15	21,41 5,65	21,53 4,49	23,02 4,70	20,97 4,25
20,48 6,06	20,51 5,19	21,08 7,18	20,56 5,65	21,15 5,82	20,64 5,71	20,02 5,04	20,89 5,23	20,31 4,46	20,86 5,56
VERSO DA PAREDE PAREDE 17					VERSO DA PAREDE PAREDE 18				

ARGAMASSA 50\_CZP\_D2

**50%CZP\_D1-D2 - Percentagem de umidade dos pontos extraídos das argamassas e dos blocos na fase oposta das paredes fabricadas com a argamassa.**

ECV/NPC/VALORES

9,44 3,07	10,74 2,92	8,67 2,92	9,81 3,01	9,76 2,57	10,38 3,43	8,85 3,14	7,32 3,24	7,52 2,73	9,24 3,34
13,15 2,74	20,54 5,21	20,53 3,90	20,09 4,63	11,64 3,04	8,42 3,04	22,75 3,77	20,58 3,53	21,88 4,89	19,50 2,98
18,50 4,48	19,49 4,79	18,98 5,39	19,62 4,90	18,77 4,84	20,77 4,88	20,63 4,83	20,38 5,00	19,22 4,87	19,65 4,70
18,64 4,51	19,91 5,23	19,46 5,44	19,87 5,62	19,46 4,26	19,88 4,07	21,46 4,92	21,13 5,37	20,93 4,02	19,65 4,87
21,20 5,06	31,41 5,86	13,42 5,08	19,41 4,91	19,07 5,52	18,30 4,82	22,10 4,97	20,00 5,78	18,52 4,87	19,88 4,39

VERSO DA PAREDE PAREDE 8
VERSO DA PAREDE PAREDE 7

ARGAMASSA 50 CZP+IA\_D1

10,16 2,77	10,87 2,27	8,61 2,41	9,65 2,82	10,55 2,53	12,13 3,00	13,93 3,79	13,92 3,39	14,74 3,86	13,64 3,42
13,18 2,43	20,21 5,14	20,33 2,83	20,02 3,22	17,16 3,02	15,08 3,13	25,38 4,24	24,00 4,08	24,01 4,12	16,66 3,25
20,14 4,52	21,06 3,83	20,86 3,35	20,44 3,79	20,02 2,99	25,65 5,15	24,14 3,67	24,36 5,77	24,99 4,24	26,38 6,31
19,00 5,37	20,71 4,92	19,29 4,40	20,75 3,73	19,17 2,64	25,62 5,13	23,05 5,09	25,00 5,38	25,04 5,58	24,61 5,49
19,25 6,15	19,29 4,95	19,93 5,30	18,69 3,93	18,98 3,37	24,94 4,66	23,47 6,64	23,88 6,01	23,63 6,55	25,58 5,52

VERSO DA PAREDE PAREDE 20
VERSO DA PAREDE PAREDE 19

ARGAMASSA 50CZP+IA\_D2

**50%CZP+IA\_D1-D2 - Percentagem de umidade dos pontos extraídos das argamassas e dos blocos na fase oposta das parede fabricadas com a argamassa**

ECV/NPC/VALORES

11,24 3,05	7,95 4,23	6,92 2,86	6,98 2,65	1,95 2,95
11,31 2,91	21,38 6,01	23,88 4,30	26,37 3,81	22,45 3,05
26,76 4,95	25,81 5,52	25,51 5,73	24,71 3,99	25,83 4,48
25,66 4,29	27,41 6,17	23,30 4,84	25,45 4,59	23,12 3,00
28,84 4,83	24,98 6,03	25,04 6,68	23,12 5,34	26,46 4,46

VERSO DA PAREDE  
PAREDE 10

13,56 3,22	13,34 3,05	24,58 3,34	16,88 3,13	15,86 3,57
14,01 2,63	22,46 3,84	27,77 4,16	24,77 4,65	15,18 2,77
24,80 4,95	23,20 3,98	24,63 4,50	24,27 4,37	24,82 4,63
27,65 4,08	27,50 5,92	27,65 4,79	27,93 5,43	28,50 4,81
25,41 3,37	27,47 4,12	26,69 4,60	26,43 4,24	28,69 4,75

VERSO DA PAREDE  
PAREDE 9

ARGAMASSA 100CPZ\_D1

6,78 3,22	12,72 2,80	11,57 2,36	12,48 2,86	17,09 3,10
13,37 3,02	28,07 4,01	22,69 2,94	28,03 3,71	13,74 2,77
22,91 3,47	30,00 3,17	27,43 3,77	27,82 3,72	27,51 4,49
28,57 3,22	30,68 3,83	29,45 3,93	31,23 5,15	29,23 5,22
28,91 4,94	28,41 3,31	31,19 4,95	28,46 6,09	30,72 6,12

VERSO DA PAREDE  
PAREDE 22

12,99 3,01	12,14 2,93	10,63 1,91	13,48 2,60	14,07 2,73
15,24 2,89	13,39 2,58	16,44 2,66	15,43 2,70	14,85 2,96
14,04 3,04	13,76 2,77	13,35 2,92	18,88 3,00	27,58 4,52
15,72 2,77	14,91 2,91	22,05 2,51	27,05 4,06	18,56 3,02
16,86 3,16	14,03 2,72	8,21 2,47	15,29 2,50	16,34 2,91

VERSO DA PAREDE  
PAREDE 21

ARGAMASSA 100 CZP\_D2

**100%CZP\_D1-D2 - Percentagem de umidade dos pontos extraídos das argamassas e dos blocos na fase oposta das paredes fabricadas com a argamassa.**

ECV/NPC/VALORES

17,36 3,54	15,10 2,84	15,43 2,82	15,72 3,63	13,88 3,15
16,50 4,15	28,81 5,34	24,53 2,69	18,59 3,15	17,41 3,93
24,92 3,30	24,05 3,25	28,68 4,78	20,92 2,65	16,64 3,19
14,98 3,21	27,59 5,33	27,69 4,83	27,53 5,05	14,62 4,34
32,27 2,98	26,87 3,49	26,08 5,62	26,57 4,54	26,38 4,04

VERSO DA PAREDE  
PAREDE 12

16,88 3,46	19,50 4,11	17,03 3,33	16,45 2,75	17,06 3,21
17,48 3,27	20,20 3,40	18,13 3,27	19,38 3,19	17,31 3,75
17,78 3,62	17,27 3,25	19,29 3,22	19,00 3,44	18,80 3,65
17,52 2,75	18,48 3,37	17,96 3,22	20,64 3,55	17,34 2,93
17,91 2,96	17,08 3,34	16,14 3,12	17,09 3,25	18,14 3,39

VERSO DA PAREDE  
PAREDE 11

ARGAMASSA 100CZP+IA\_D1

17,40 3,05	17,53 2,64	16,15 3,32	16,54 3,38	18,22 3,10
17,55 4,29	19,45 2,86	26,11 3,06	25,46 5,23	18,00 3,76
24,74 5,52	16,83 2,91	26,43 4,39	25,29 3,24	17,71 3,13
16,46 2,58	20,22 3,09	24,73 2,82	27,24 3,21	18,08 2,47
21,89 2,85	25,06 2,94	27,34 3,79	27,93 3,50	21,02 2,91

VERSO DA PAREDE  
PAREDE 24

20,87 3,02	21,08 2,61	20,24 2,99	20,92 2,92	20,23 2,83
19,93 3,20	20,06 2,84	20,38 3,47	22,10 2,77	20,48 3,07
21,66 3,29	28,72 3,49	30,77 3,53	28,80 3,32	22,01 3,01
20,78 3,10	29,62 4,61	30,00 4,33	28,85 3,15	19,83 3,11
20,05 2,09	27,63 3,01	30,02 4,61	19,65 3,09	20,19 2,59

VERSO DA PAREDE  
PAREDE 23

ARGAMASSA 100 CPZ+IA\_D2

**100%CPZ+IA\_D1-D2 - Percentagem de umidade dos pontos extraídos das argamassas e dos blocos na fase oposta das paredes fabricadas com a argamassa.**

**ANEXO L: DADOS INDIVIDUAIS DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO APLICADAS SOBRE SUBSTRATOS**

Argamassas aplicadas no substrato D1											
Arg	Area (mm)	Carga (KN)	RA (MPa)	RA (Média) MPa	DP	Arg	Area (mm)	Carga (KN)	RA (MPa)	RA (Média) MPa	DP
0% CZP	1963,50	0,59	0,30	0,26	0,17	0% CZP+IA	1963,50	1,14	0,58	0,32	0,18
		0,19	0,10					1,29	0,66		
		0,83	0,42					1,24	0,63		
		0,40	0,20					0,46	0,23		
		0,14	0,07					0,54	0,28		
		1,08	0,55					0,18	0,09		
		0,15	0,08					0,78	0,40		
		0,84	0,43					0,20	0,10		
		0,25	0,13					0,49	0,25		
		0,64	0,33					0,33	0,17		
50% CZP	1963,50	0,05	0,03	0,11	0,06	0% CZP+IA	1963,50	0,16	0,08	0,32	0,18
		0,35	0,18					0,76	0,39		
		0,23	0,12					0,64	0,33		
		0,04	0,02					0,59	0,30		
		0,10	0,05					0,96	0,49		
		0,17	0,09					0,36	0,18		
		0,32	0,16					0,42	0,21		
		0,44	0,22					0,25	0,13		
		0,17	0,09					0,49	0,25		
		0,17	0,09					0,06	0,03		
100% CZP_D1	1963,50	0,25	0,13	0,22	0,09	50% CZP+IA	1963,50	0,46	0,23	0,22	0,16
		0,24	0,12					0,73	0,37		
		0,39	0,20					0,26	0,13		
		0,38	0,19					0,27	0,14		
		0,57	0,29					0,45	0,23		
		0,29	0,15					0,11	0,06		
		0,35	0,18					0,73	0,37		
		0,55	0,28					0,23	0,12		
		0,36	0,18					0,40	0,20		
		0,87	0,44					0,17	0,09		
		0,46	0,23					0,73	0,37		
		0,28	0,14					0,59	0,30		
		0,43	0,22					0,19	0,10		
		0,17	0,09					0,42	0,21		
0,31	0,16	1,38	0,70								
0,65	0,33	0,42	0,21								
						100% CZP+IA A	1963,50	0,42	0,21	0,21	0,00
								0,07			

Argamassas aplicadas no substrato D2											
Arg	Area (mm)	Carga (KN)	RA (MPa)	RA (Média) MPa	DP	Arg	Area (mm)	Carga (KN)	RA (MPa)	RA (Média) MPa	DP
0% CZP	1963,50	0,22	0,11	0,27	0,21	0% CZP + IA	1963,50	0,65	0,33	0,29	0,16
		1,31	0,67					0,57	0,29		
		0,29	0,15					0,17	0,09		
		0,84	0,43					0,63	0,32		
		0,86	0,44					0,42	0,21		
		1,31	0,67					0,58	0,30		
		0,68	0,35					0,77	0,39		
		0,22	0,11					0,26	0,13		
		1,00	0,51					0,62	0,32		
		0,51	0,26					0,63	0,32		
		0,12	0,06					0,16	0,08		
		0,47	0,24					1,31	0,67		
		0,16	0,08								
		0,18	0,09								
		0,62	0,32								
		0,33	0,17								
		0,05	0,03								
50% CZP	1963,50	0,26	0,13	0,27	0,27	50% CZP + IA	1963,50	0,39	0,20	0,20	0,12
		0,36	0,18					0,89	0,45		
		0,70	0,36					0,32	0,16		
		0,68	0,35					0,61	0,31		
		0,30	0,15					0,21	0,11		
		0,95	0,48					0,46	0,23		
		0,57	0,29					0,69	0,35		
		0,31	0,16					0,54	0,28		
		1,20	0,61					0,44	0,22		
		0,29	0,15					0,13	0,07		
		0,60	0,31					0,26	0,13		
		0,19	0,10					0,11	0,06		
		0,16	0,08					0,63	0,32		
		0,79	0,40					0,19	0,10		
100% CZP	1963,50	1,20	0,61	0,22	0,22	100% CZP + IA	1963,50	0,13	0,07	0,28	0,11
		0,21	0,11					0,73	0,37		
		0,61	0,31					0,32	0,16		
		0,18	0,09					0,44	0,22		
		0,30	0,15					0,73	0,37		
		0,27	0,14								
		0,29	0,15								
		0,15	0,08								
		0,54	0,28								
		1,10	0,56								
		0,06	0,03								
		0,60	0,31								
		0,50	0,25								
		0,23	0,12								
0,38	0,19										

**ANEXO 14 - Análise de variância dos resultados****PROPRIEDADES DE CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS****BLOCOS****Resistência à compressão**

<i>IA</i>	<i>Tratamentos</i>						<i>Ti</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
D1	7,6886	7,8718	8,4212	9,806	10,538	10,721612	55,048	9,1746	1,8249523
D2	7,6886	7,8718	8,4212	9,806	10,538	10,721612	55,048	9,1746	1,8249523
Tj	15,377	15,744	16,842	19,61	21,077	21,443223	110,1		
Média	7,6886	7,8718	8,4212	9,806	10,538	10,721612			

**Tabela ANOVA**

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
<i>Entre grupos</i>	0	1	0	0	1	4,9645905
<i>Dentro dos grupos</i>	18,25	10	1,825			
<i>Total</i>	18,25	11				

Com 95 % de confiabilidade pode-se afirmar que não há influencia entre a diferença de substratos na resistência à compressão

**ARGAMASSAS****Consistência**

<i>IA</i>	<i>CZP</i>			<i>Ti</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
	<i>0</i>	<i>50</i>	<i>100</i>			
sem	218	209	183	610	203	330
com	235	214	195	644	215	400
Tj	453	423	378	1254		
Média	226,5	211,5	189			
Variância	144,5	12,5	72			

**Tabela ANOVA**

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
<i>IA</i>	192,67	1	192,667	10,606	0,08275	18,5127647
<i>CZP</i>	1425	2	712,5	39,22	0,02486	19,0000264
<i>Resíduo</i>	36,333	2	18,1667			
<i>Total</i>	1654	5				

Com 95 % de confiabilidade pode-se afirmar que o parâmetro que influenciam na consistência das argamassas em estado endurecido é o teor de CZP.

<b>Retenção de água</b>						
IA	CZP			Ti	Média	Variância
	0	50	100			
sem	82,75	78,04	79,7	240,49	80,1633	5,7070333
com	95,61	91,74	81	268,35	89,45	57,2961
Tj	178,36	169,78	160,7	508,84		
Média	89,18	84,89	80,35			
Variância	82,69	93,845	0,845			

<b>Tabela ANOVA</b>						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
IA	129,36	1	129,363	5,3883	0,14601	18,512765
CZP	77,99	2	38,9949	1,6242	0,38106	19,000026
Resíduo	48,017	2	24,0083			
Total	255,37	5				

Com 95% de confiabilidade não se pode afirmar que a CZP ou aditivo são parâmetros que influem na retenção de água.

<b>Resistência à compressão</b>						
IA	CZP			Ti	Média	Variância
	0	50	100			
sem	1,44	2,16	2,69	6,29	2,096667	0,3936333
com	0,87	1,98	2,59	5,44	1,813333	0,7604333
Tj	2,31	4,14	5,28	11,73		
Média	1,155	2,07	2,64			
Variância	0,16245	0,0162	0,005			

<b>Tabela ANOVA</b>						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
IA	0,12042	1	0,120417	3,808645	0,190256	18,512765
CZP	2,2449	2	1,12245	35,50185	0,027396	19,000026
Resíduo	0,06323	2	0,031617			
Total	2,42855	5				

Com 95 % de confiabilidade pode-se afirmar que o parâmetro que influenciam na resistência à compressão das argamassas em estado endurecido é o teor de CZP.

## **PROPRIEDADES DE HIGRO-FÍSICAS DOS MATERIAIS**

### **BLOCOS**

*Massa específica*

**Tabela ANOVA - Massa Específica**

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>Substratos</b>	0,21595	1	0,21595	0,965386	0,429429	18,51276
<b>Grupos</b>	0,527067	2	0,263534	1,178104	0,459115	19,00003
<b>Residuo</b>	0,447386	2	0,223693			
<b>Total</b>	1,190403	5				

Com 95 % de confiabilidade não pode-se afirmar que o parâmetro que influem na massa específica são a variação de substrato ou a variação entre os grupos das series.

### ***Porosidade Aberta***

**Tabela ANOVA - Porosidade Aberta**

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>Substratos</b>	45,44098	1	45,44098	6,106845	0,132074	18,51276
<b>Grupos</b>	69,18676	2	34,59338	4,649028	0,177022	19,00003
<b>Residuo</b>	14,88198	2	7,440992			
<b>Total</b>	129,5097	5				

Com 95 % de confiabilidade não pode-se afirmar que o parâmetro que influem na porosidade aberta são a variação de substrato ou a variação entre os grupos das series.

### ***Taxa Inicial de absorção***

**Tabela ANOVA - IRA**

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>Substratos</b>	1249,173	1	1249,173	17092,72	5,85E-05	18,51276
<b>Grupos</b>	588,7705	2	294,3853	4028,139	0,000248	19,00003
<b>Residuo</b>	0,146164	2	0,073082			
<b>Total</b>	1838,09	5				

Com 95 % de confiabilidade pode-se afirmar que os parâmetros que influem na taxa inicial de absorção são a diferencia de substrato e a variação entre os grupos das series. Destes parâmetros o que tem maior influência é variação de substrato.

### ***Sorptividade***

**Tabela ANOVA - Sorptividade**

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>Substratos</b>	26663,47	1	26663,47	59,09563	0,016504	18,51276
<b>Grupos</b>	1975,548	2	987,7738	2,189254	0,313553	19,00003
<b>Residuo</b>	902,3838	2	451,1919			
<b>Total</b>	29541,4	5				

Com 95 % de confiabilidade pode-se afirmar que o parâmetro que influi na sorptividade é a diferencia de substrato.

### ***Ângulo de molhamento aparente***

**Tabela ANOVA - Ângulo de molhamento**

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>Substratos</b>	82,88167	1	82,88167	0,503621	0,551495	18,51276
<b>Grupos</b>	231,5433	2	115,7717	0,703473	0,587036	19,00003
<b>Residuo</b>	329,1433	2	164,5717			
<b>Total</b>	643,5683	5				

Com 95 % de confiabilidade não pode-se afirmar que os parâmetros que influem no ângulo de molhamento são a variação de substrato ou a variação entre os grupos das series.

### **Adsorção – UR=20%**

**Tabela ANOVA - Adsorção U=20%**

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>Substratos</b>	0,005529	1	0,005529	4,010017	0,183163	18,51276
<b>Grupos</b>	0,009957	2	0,004978	3,610594	0,216892	19,00003
<b>Residuo</b>	0,002758	2	0,001379			
<b>Total</b>	0,018244	5				

Com 95 % de confiabilidade não pode-se afirmar que os parâmetros que influem na adsorção para a UR=20% são a variação de substrato ou a variação entre os grupos das series.

### **Adsorção – UR=65%**

**Tabela ANOVA - Adsorção U=65%**

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>Substratos</b>	2,64E-08	1	2,64E-08	2,26E-05	0,996635	18,51276
<b>Grupos</b>	0,000745	2	0,000372	0,319584	0,757814	19,00003
<b>Residuo</b>	0,002331	2	0,001165			
<b>Total</b>	0,003075	5				

Com 95 % de confiabilidade não pode-se afirmar que os parâmetros que influem na adsorção para a UR=65% são a variação de substrato ou a variação entre os grupos das series.

### **Adsorção – UR=96%**

**Tabela ANOVA - Adsorção U=96%**

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>Substratos</b>	0,143815	1	0,143815	13,48855	0,066795	18,51276
<b>Grupos</b>	0,201153	2	0,100577	9,433164	0,095848	19,00003
<b>Residuo</b>	0,021324	2	0,010662			
<b>Total</b>	0,366292	5				

Com 95 % de confiabilidade não pode-se afirmar que os parâmetros que influem na adsorção para a UR=96% são a variação de substrato ou a variação entre os grupos das series.

### **Superfície Específica**

<b>Tabela ANOVA - Superfície Específica</b>						
<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>Substratos</b>	670,6279	1	670,6279	11,30186	0,078238	18,51276
<b>Grupos</b>	1528,915	2	764,4576	12,88315	0,07203	19,00003
<b>Residuo</b>	118,6756	2	59,33781			
<b>Total</b>	2318,219	5				

Com 95 % de confiabilidade não pode-se afirmar que os parâmetros que influem na superfície específica são a variação de substrato ou a variação entre os grupos das series.

## ARGAMASSAS

### *Massa Específica no estado endurecido*

<b>Tabela ANOVA - Massa Específica no estado endurecido</b>						
<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>IA</b>	0,005551	3	0,00185	0,908694	0,4905	4,757055
<b>CZP</b>	0,36924	2	0,18462	90,67243	3,28E-05	5,143249
<b>Residuo</b>	0,012217	6	0,002036			
<b>Total</b>	0,387007	11				

<b>Tabela ANOVA</b>						
<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>SUBSTRATO</b>	0,002068	1	0,002068	0,940208	0,376758	6,607877
<b>CZPXIA</b>	0,373939	5	0,074788	33,9938	0,000727	5,050339
<b>Residuo</b>	0,011	5	0,0022			
<b>Total</b>	0,387007	11				

Com 95 % de confiabilidade pode-se afirmar que os parâmetros que influem na massa específica das argamassas em estado endurecido são o teor de CZP, a inter-relação entre o teor de CZP e o emprego de aditivo. Destes parâmetros o que tem maior influencia é o teor de cinza.

### *Porosidade Aberta*

<b>Tabela ANOVA - Porosidade Aberta</b>						
<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>IA</b>	30,98213	3	10,32738	1,316702	0,35308	4,757055
<b>CZP</b>	161,7623	2	80,88117	10,31205	0,011445	5,143249
<b>Residuo</b>	47,06019	6	7,843364			
<b>Total</b>	239,8047	11				

<b>Tabela ANOVA</b>						
<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>SUBSTRATO</b>	1,09334	1	1,09334	0,129919	0,733243	6,607877
<b>CZPXIA</b>	196,6335	5	39,32669	4,673088	0,057954	5,050339
<b>Residuo</b>	42,07784	5	8,415568			
<b>Total</b>	239,8047	11				

Com 95 % de confiabilidade pode-se afirmar que o parâmetro que influencia na porosidade das argamassas em estado endurecido é o teor de CZP.

### *Ângulo de molhamento aparente*

<b>Tabela ANOVA - Ângulo de molhamento</b>						
<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>IA</b>	87,3225	3	29,1075	0,35393	0,788478	4,757055
<b>CZP</b>	53,68167	2	26,84083	0,326369	0,733589	5,143249
<b>Residuo</b>	493,445	6	82,24083			
<b>Total</b>	634,4492	11				

<b>Tabela ANOVA</b>						
<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>SUBSTRATO</b>	71,54083	1	71,54083	1,581333	0,264105	6,607877
<b>CZPXIA</b>	336,7042	5	67,34083	1,488497	0,336566	5,050339
<b>Residuo</b>	226,2042	5	45,24083			
<b>Total</b>	634,4492	11				

Com 95 % de confiabilidade não se pode afirmar que o aditivo, o teor de CZP, o substrato e a inter-relação entre o teor de CZP e o aditivo são parâmetro que influencia no ângulo de molhamento das argamassas.

### *Volume de água absorvido por capilaridade( $cm^3$ )*

<b>Tabela ANOVA - Volume de água absorvido por capilaridade(cm<sup>3</sup>)</b>						
<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>IA</b>	68,19021	3	22,73007	1,766087	0,253251	4,757055
<b>CZP</b>	5,817195	2	2,908598	0,225993	0,804218	5,143249
<b>Residuo</b>	77,22182	6	12,8703			
<b>Total</b>	151,2292	11				

<b>Tabela ANOVA</b>						
<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>SUBSTRATO</b>	0,142863	1	0,142863	0,120301	0,742829	6,607877
<b>CZPXIA</b>	145,1486	5	29,02972	24,44511	0,001594	5,050339
<b>Residuo</b>	5,937736	5	1,187547			
<b>Total</b>	151,2292	11				

Com 95 % de confiabilidade se pode afirmar que a inter-relação entre o teor de CZP e o aditivo é parâmetro que influencia no volume de água absorvido por capilaridade das argamassas.

### *Sorptividade*

<b>Tabela ANOVA - Sorptividade</b>						
<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>IA</b>	30,8571	3	10,2857	2,670483	0,141272	4,757055
<b>CZP</b>	93,66052	2	46,83026	12,15857	0,007752	5,143249
<b>Residuo</b>	23,10975	6	3,851625			
<b>Total</b>	147,6274	11				

<b>Tabela ANOVA</b>						
<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>SUBSTRATO</b>	5,852033	1	5,852033	1,283928	0,308561	6,607877
<b>CZPXIA</b>	118,9858	5	23,79715	5,221063	0,046895	5,050339
<b>Residuo</b>	22,78957	5	4,557913			
<b>Total</b>	147,6274	11				

Com 95 % de confiabilidade pode-se afirmar que os parâmetros que influenciam na Sorptividade das argamassas são o teor de CZP, a inter-relação entre o teor de CZP e o emprego de aditivo. Destes parâmetros o que tem maior influencia é o teor de cinza.

### *Adsorção – UR=20%\_D1*

<b>Tabela ANOVA - Adsorção U=20%</b>						
<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>IA</b>	0,001988	1	0,001988	0,939225	0,434714	18,51276
<b>CZP</b>	0,145633	2	0,072816	34,39349	0,028254	19,00003
<b>Residuo</b>	0,004234	2	0,002117			
<b>Total</b>	0,151856	5				

Com 95% de confiabilidade pode-se afirmar que a CZP é parâmetro que influi na adsorção para a UR=20% para as argamassas aplicadas no substrato D1.

**Adsorção – UR=65%\_D1**

<b>Tabela ANOVA - Adsorção U=65%</b>						
<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>IA</b>	6,04E-05	1	6,04E-05	0,002099	0,967623	18,51276
<b>CZP</b>	1,501035	2	0,750518	26,06009	0,036955	19,00003
<b>Residuo</b>	0,057599	2	0,0288			
<b>Total</b>	1,558695	5				

Com 95% de confiabilidade pode-se afirmar que a CZP é parâmetro que influi na adsorção quando a UR=65% para as argamassas aplicadas no substrato D1.

**Adsorção – UR=96%\_D1**

<b>Tabela ANOVA - Adsorção U=96%</b>						
<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>IA</b>	0,1865	1	0,1865	10,85622	0,081069	18,51276
<b>CZP</b>	11,59832	2	5,79916	337,571	0,002954	19,00003
<b>Residuo</b>	0,034358	2	0,017179			
<b>Total</b>	11,81918	5				

Com 95% de confiabilidade pode-se afirmar que a CZP é parâmetro que influi na adsorção quando a UR=96% para as argamassas aplicadas no substrato D1.

**Adsorção – UR=20%\_D2**

<b>Tabela ANOVA - Adsorção U=20%</b>						
<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>IA</b>	0,022556	1	0,022556	1,465373	0,349722	18,51276
<b>CZP</b>	0,005987	2	0,002993	0,194476	0,837187	19,00003
<b>Residuo</b>	0,030785	2	0,015392			
<b>Total</b>	0,059327	5				

Com 95% de confiabilidade não pode-se afirmar que a CZP e o aditivo são parâmetros que influem na adsorção para a UR=20% para as argamassas aplicadas no substrato\_D2.

**Adsorção – UR=65%\_D2****Tabela ANOVA - Adsorção U=65%**

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>IA</b>	0,030663	1	0,030663	0,112158	0,769563	18,51276
<b>CZP</b>	0,204952	2	0,102476	0,374839	0,727358	19,00003
<b>Residuo</b>	0,546774	2	0,273387			
<b>Total</b>	0,782388	5				

Com 95% de confiabilidade não pode-se afirmar que a CZP e o aditivo são parâmetros que influem na adsorção para a UR=65% para as argamassas aplicadas no substrato\_D2.

**Adsorção – UR=96%\_D2****Tabela ANOVA - Adsorção U=96%**

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>IA</b>	0,019335	1	0,019335	0,007626	0,938368	18,51276
<b>CZP</b>	2,859422	2	1,429711	0,563883	0,639434	19,00003
<b>Residuo</b>	5,070946	2	2,535473			
<b>Total</b>	7,949703	5				

Com 95% de confiabilidade não pode-se afirmar que a CZP e o aditivo são parâmetros que influem na adsorção para a UR=96% para as argamassas aplicadas no substrato\_D2.

**Adsorção – UR=20%****Tabela ANOVA - Adsorção U=20%**

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>SUBSTRATO</b>	0,003228	1	0,003228	0,200027	0,673408	6,607877
<b>CZPXIA</b>	0,130489	5	0,026098	1,617084	0,305372	5,050339
<b>Residuo</b>	0,080694	5	0,016139			
<b>Total</b>	0,214411	11				

Com 95% de confiabilidade não pode-se afirmar que a variação de substrato e a inter-relação entre o teor de CZP e o aditivo são parâmetros que influem na adsorção para a UR=20% para as argamassas aplicadas nas paredes

**Adsorção – UR=65%**

**Tabela ANOVA - Adsorção U=65%**

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>IA</b>	0,108505	1	0,108505	0,838981	0,401706	6,607877
<b>CZP</b>	1,694435	5	0,338887	2,620336	0,156973	5,050339
<b>Residuo</b>	0,646648	5	0,12933			
<b>Total</b>	2,449588	11				

Com 95% de confiabilidade não pode-se afirmar que a variação de substrato e a inter-relação entre o teor de CZP e o aditivo são parâmetros que influem na adsorção para a UR=65% para as argamassas aplicadas nas paredes

### *Adsorção – UR=96%*

**Tabela ANOVA - Adsorção U=96%**

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>IA</b>	1,122097	1	1,122097	0,904843	0,385169	6,607877
<b>CZP</b>	13,56837	5	2,713675	2,188268	0,205149	5,050339
<b>Residuo</b>	6,200509	5	1,240102			
<b>Total</b>	20,89098	11				

Com 95% de confiabilidade não pode-se afirmar que a variação de substrato e a inter-relação entre o teor de CZP e o aditivo são parâmetros que influem na adsorção para a UR=96% para as argamassas aplicadas nas paredes

### *Superfície específica*

**Tabela ANOVA - Superfície Específica**

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>IA</b>	458,6703	3	152,8901	57,64676	8,14E-05	4,757055
<b>CZP</b>	145,3793	2	72,68966	27,40742	0,00096	5,143249
<b>Residuo</b>	15,91313	6	2,652189			
<b>Total</b>	619,9627	11				

**Tabela ANOVA**

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>SUBSTRATO</b>	111,9201	1	111,9201	12,76984	0,015985	6,607877
<b>CZPXIA</b>	464,2206	5	92,84411	10,59331	0,010792	5,050339
<b>Residuo</b>	43,82204	5	8,764408			
<b>Total</b>	619,9627	11				

Com 95 % de confiabilidade pode-se afirmar que os parâmetros que influem na superfície específica das argamassas são o aditivo, o teor de CZP, a inter-relação entre o teor de CZP e o emprego de aditivo e a variação de substrato. Destes parâmetros o que tem maior influencia é o aditivo.

**PAREDES*****Percentagem de mancha*****Tabela ANOVA - Percentagem de mancha**

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>IA</b>	848,6667	3	282,8889	2,628129	0,144865	4,757055
<b>CZP</b>	822,1667	2	411,0833	3,819097	0,08515	5,143249
<b>Residuo</b>	645,8333	6	107,6389			
<b>Total</b>	2316,667	11				

**Tabela ANOVA**

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>SUBSTRATO</b>	85,33333	1	85,33333	2,158516	0,201725	6,607877
<b>CZPXIA</b>	2033,667	5	406,7333	10,28836	0,011505	5,050339
<b>Residuo</b>	197,6667	5	39,53333			
<b>Total</b>	2316,667	11				

Com 95 % de confiabilidade pode-se afirmar que o parâmetro que influem na percentagem de mancha das argamassas é a inter-relação entre o teor de CZP e o emprego de aditivo.

***Resistência à aderência a tração*****Tabela ANOVA - Resistência à aderência a tração**

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>IA</b>	0,130364	3	0,043455	5,547334	0,036419	4,757055
<b>CZP</b>	0,040308	2	0,020154	2,572782	0,156008	5,143249
<b>Residuo</b>	0,047001	6	0,007833			
<b>Total</b>	0,217673	11				

**Tabela ANOVA**

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>SUBSTRATO</b>	0,056038	1	0,056038	7,560105	0,040331	6,607877
<b>CZPXIA</b>	0,124573	5	0,024915	3,361256	0,104713	5,050339
<b>Residuo</b>	0,037062	5	0,007412			
<b>Total</b>	0,217673	11				

Com 95 % de confiabilidade pode-se afirmar que os parâmetros que influem na resistência à aderência a tração das argamassas são o aditivo e a variação de substrato. Destes parâmetros o que tem maior influencia é a variação entre os substratos.

**CORRELAÇÃO DA ESTANQUEIDADE COM AS PROPRIEDADES  
HIGRO-FISICAS DOS MATERIAIS CONSTITUINTES DAS  
PAREDES**

**BLOCOS**

*Massa específica*

<b>Tabela ANOVA</b>						
<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>SubstratoxCZPxIA</b>	1152,47	11	104,77	0,989559	0,506788	2,817927
<b>Manchax ME</b>	8394,056	1	8394,056	79,28237	2,33E-06	4,844338
<b>Residuo</b>	1164,63	11	105,8754			
<b>Total</b>	10711,16	23				

Com 95 % de confiabilidade pode-se afirmar que a massa específica dos blocos influi na percentagem de mancha das paredes.

*Porosidade Aberta*

<b>Tabela ANOVA</b>						
<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>SubstratoxCZPxIA</b>	1115,71	11	101,4282	0,863661	0,593869	2,817927
<b>Manchax Porosidade</b>	3159,539	1	3159,539	26,90347	0,000301	4,844338
<b>Residuo</b>	1291,838	11	117,4398			
<b>Total</b>	5567,088	23				

Com 95 % de confiabilidade pode-se afirmar que a porosidade aberta dos blocos influi na percentagem de mancha das paredes.

### *Taxa Inicial de absorção*

<b>Tabela ANOVA</b>						
<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>SubstratoxCZPxIA</b>	3282,418	11	298,4016	1,189917	0,389083	2,817927
<b>ManchaxIRA</b>	29,09282	1	29,09282	0,116012	0,739817	4,844338
<b>Residuo</b>	2758,526	11	250,7751			
<b>Total</b>	6070,037	23				

Com 95 % de confiabilidade não pode-se afirmar que a taxa inicial de absorção dos blocos influi na percentagem de mancha das paredes.

### *Sorptividade*

<b>Tabela ANOVA</b>						
<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>SubstratoxCZPxIA</b>	28710,2	11	2610,018	1,036804	0,47664	2,817927
<b>ManchaxSorptividade</b>	84179,45	1	84179,45	33,43946	0,000122	4,844338
<b>Residuo</b>	27691,06	11	2517,369			
<b>Total</b>	140580,7	23				

Com 95 % de confiabilidade pode-se afirmar que a sorptividade dos blocos influi na percentagem de mancha das paredes.

### *Ângulo de molhamento*

<b>Tabela ANOVA</b>						
<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>SubstratoxCZPxIA</b>	1122,282	11	102,0256	0,825117	0,622248	2,817927
<b>Manchax Ângulo</b>	8686,815	1	8686,815	70,25334	4,18E-06	4,844338
<b>Residuo</b>	1360,148	11	123,6498			
<b>Total</b>	11169,25	23				

Com 95 % de confiabilidade pode-se afirmar que o ângulo de molhamento dos blocos influi na percentagem de mancha das paredes.

### *Superfície Específica*

Tabela ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
<b>SubstratoxCZPxIA</b>	1473,566	11	133,9605	0,689057	0,726432	2,817927
<b>ManchaxME</b>	656,0513	1	656,0513	3,374551	0,093354	4,844338
<b>Residuo</b>	2138,526	11	194,4114			
<b>Total</b>	4268,143	23				

Com 95 % de confiabilidade não pode-se afirmar que a superfície específica dos blocos influi na percentagem de mancha das paredes.

## ARGAMASSAS

### *Massa Específica da Argamassa*

Tabela ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
<b>SubstratoxCZPxIA</b>	1174,406	11	106,7642	1,027794	0,482276	2,817927
<b>ManchaxME</b>	8558,407	1	8558,407	82,3898	1,93E-06	4,844338
<b>Residuo</b>	1142,647	11	103,877			
<b>Total</b>	10875,46	23				

Com 95 % de confiabilidade pode-se afirmar que a massa específica das argamassas influi na percentagem de mancha das paredes.

### *Porosidade Aberta*

Tabela ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
<b>SubstratoxCZPxIA</b>	1141,625	11	103,7841	0,806889	0,635897	2,817927
<b>ManchaxPorosidade</b>	150,7285	1	150,7285	1,171868	0,302177	4,844338
<b>Residuo</b>	1414,847	11	128,6224			
<b>Total</b>	2707,2	23				

Com 95 % de confiabilidade não pode-se afirmar que a porosidade aberta das argamassas influi na percentagem de mancha das paredes.

### *Ângulo de molhamento*

Tabela ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
<b>SubstratoxCZPxIA</b>	1750,891	11	159,1719	1,458803	0,270801	2,817927
<b>ManchaxAng_molhamento</b>	10114,72	1	10114,72	92,70092	1,08E-06	4,844338
<b>Residuo</b>	1200,225	11	109,1113			
<b>Total</b>	13065,84	23				

Com 95 % de confiabilidade pode-se afirmar que o ângulo de molhamento das argamassas influi na percentagem de mancha das paredes.

### *Volume de água absorvido por capilaridade(cm<sup>3</sup>)*

Tabela ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
<b>SubstratoxCZPxIA</b>	896,1945	11	81,47223	0,570207	0,817246	2,817927
<b>ManchaxWtubo</b>	2639,802	1	2639,802	18,4754	0,00126	4,844338
<b>Residuo</b>	1571,701	11	142,8819			
<b>Total</b>	5107,698	23				

Com 95 % de confiabilidade pode-se afirmar que o volume de água absorvido por capilaridade das argamassas influi na percentagem de mancha das paredes.

### *Sorptividade*

Tabela ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
<b>SubstratoxCZPxIA</b>	1361,02	11	123,7291	1,23362	0,366909	2,817927
<b>ManchaxSorptividade</b>	6510,92	1	6510,92	64,91601	6,11E-06	4,844338
<b>Residuo</b>	1103,274	11	100,2976			
<b>Total</b>	8975,214	23				

Com 95 % de confiabilidade pode-se afirmar que a sorptividade das argamassas influi na percentagem de mancha das paredes.

### *Superfície Específica*

Tabela ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
<b>SubstratoxCZPxIA</b>	2337,701	11	212,5183	3,903141	0,016503	2,817927
<b>ManchaxSuperfície Esp</b>	203,1854	1	203,1854	3,731731	0,079547	4,844338
<b>Residuo</b>	598,9282	11	54,44802			
<b>Total</b>	3139,815	23				

Com 95 % de confiabilidade não pode-se afirmar que a superfície específica das argamassa influi na percentagem de mancha das paredes. Neste caso pode se afirmar com 95 % de confiança que a inter-relação entre a variação do substrato, o teor de CZP.

## PAREDES

### *Resistência à aderência*

Tabela ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
<b>SubstratoxCZPxIA</b>	1163,693	11	105,7903	1,009107	0,494137	2,817927
<b>Manchax RA</b>	9150,521	1	9150,521	87,28451	1,45E-06	4,844338
<b>Residuo</b>	1153,191	11	104,8356			
<b>Total</b>	11467,4	23				

Com 95 % de confiabilidade pode-se afirmar que a resistência à aderência a tração das argamassas influi na percentagem de mancha das paredes.

### *Quantidade de água ligada quimicamente*

## OUTRAS CORRELAÇÕES ANALISADAS

### *TAXA INICIAL DE ABSORÇÃO X PESO DOS BLOCOS*

Tabela ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
<b>PESOPAREDES</b>	912,2178	14	65,15841	0,95857	0,530989	2,483723
<b>PESOXIRA_D1</b>	815,4905	1	815,4905	11,99699	0,0038	4,600111
<b>Residuo</b>	951,6444	14	67,9746			
<b>Total</b>	2679,353	29				

Tabela ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
<b>PESOPAREDES</b>	1130,052	14	80,71797	0,968633	0,523351	2,483723
<b>PESOXIRA_D1</b>	11487,75	1	11487,75	137,8555	1,24E-08	4,600111
<b>Residuo</b>	1166,645	14	83,3318			
<b>Total</b>	13784,44	29				

Com 95 % de confiabilidade pode-se afirmar que o peso dos blocos influi na taxa inicial de absorção para as paredes fabricadas com os dois tipos de blocos de concreto das series Sendo maior a influencia nas paredes da serie D2.

### *TAXA INICIAL DE ABSORÇÃO X RESISTÊNCIA À ADERÊNCIA*

Tabela ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
<b>SubstxCZPxIA</b>	1885,931	11	171,4482	1,025763	0,483554	2,817927
<b>IRAxRA</b>	8147,694	1	8147,694	48,74708	2,32E-05	4,844338
<b>Residuo</b>	1838,564	11	167,1422			
<b>Total</b>	11872,19	23				

Com 95 % de confiabilidade pode-se afirmar que existe influência da taxa inicial de absorção na resistência à aderência a tração das argamassas