

SANDRA REGINA BERTOCINI BASTOS

**USO DA AREIA ARTIFICIAL BASÁLTICA EM SUBSTITUIÇÃO
PARCIAL À AREIA FINA PARA A PRODUÇÃO DE
CONCRETOS CONVENCIONAIS**

Florianópolis - 2002

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

SANDRA REGINA BERTOCINI BASTOS

**USO DA AREIA ARTIFICIAL BASÁLTICA EM SUBSTITUIÇÃO
PARCIAL À AREIA FINA PARA A PRODUÇÃO DE CONCRETOS
CONVENCIONAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Civil

Orientador: Philippe Jean Paul Gleize Ph.D.

Florianópolis
2002

BASTOS, Sandra R. Bertocini

Uso da areia artificial basáltica em substituição parcial à areia fina para a produção de concretos convencionais, 2002.

xiv, 118 Páginas

Dissertação: Mestre em Engenharia Civil (Construção Civil).

1. Durabilidade 2. Resistência 3. Absorção 4. Capilaridade

I. Universidade Federal de Santa Catarina

II. Areia Artificial Basáltica

SANDRA REGINA BERTOCINI BASTOS

**USO DA AREIA ARTIFICIAL BASÁLTICA EM SUBSTITUIÇÃO
PARCIAL À AREIA FINA PARA A PRODUÇÃO DE CONCRETOS
CONVENCIONAIS**

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Prof. Jucilei Cordini, Dr.
Coordenador

Banca Examinadora:

Prof. Philippe Jean Paul Gleize Dr.
Orientador

Prof. Vanderley Moacyr John, Dr.

Prof^ª. Janaíde Cavalcante Rocha, Dr.

Prof. Malik Cheriaf, Dr.

Florianópolis – 2002

Ao meu marido pelo apoio e compreensão.

AGRADECIMENTOS

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, e de forma particular:

ao Professor Philippe Jean Paul Gleize, meu orientador, pelo acompanhamento e revisão do estudo;

ao Professor Wilson Verde Selva Junior, por ter tornado possível a minha participação neste mestrado;

aos Professores Odilar Costa Rondon e Dary Werneck da Costa, pela colaboração e incentivo;

aos colegas Samuel Cardoso e Rodrigo Baltuille, pelo apoio na realização dos trabalhos de laboratório;

aos funcionários do Departamento de Estruturas e Construção Civil: Ivone, Maria, Israel, Ernesto e Rosane pela amizade e valiosa colaboração;

à Universidade Federal de Santa Catarina, que disponibilizou seu potencial humano;

à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, pelo apoio logístico, contribuindo assim, de maneira relevante para este trabalho;

às empresas Pedreira Financial, Máster Builders Technologies e Cimento Itaú, por terem oferecido os materiais necessários para a realização dos ensaios;

à minha família e, em especial, ao meu marido Beto, e meus filhos José e Renata, pelo apoio, pela compreensão e paciência, sem os quais não seria possível a idealização deste trabalho.

O erro é a forma mais inteligente que encontraram os homens para revelarem suas almas. Não se vive das vitórias. O sabor da vida está na conquista a que só a superação dos erros pode proporcionar.

Janaina Dalla Porta

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	xi
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivo.....	3
1.1.1 Objetivo Geral.....	3
1.1.2 Objetivos Específicos.....	3
1.2 Estrutura.....	3

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS E REVISÃO BIBLIOGRAFICA	5
2.1 CONCRETOS DE CIMENTO PORTLAND.....	5
2.2 MATERIAIS CONSTITUINTES DO CONCRETO.....	6
2.2.1 Cimento Portland.....	6
2.2.2 Agregados.....	7
2.2.2.1 Classificação.....	8
2.2.2.2 Características dos Agregados.....	9
2.2.3 Água.....	15
2.2.4 Outros Componentes.....	15
2.3 PROPRIEDADES DO CONCRETO.....	16
2.3.1 Concreto Fresco.....	16
2.3.2 Concreto Endurecido.....	18
2.4 AGREGADO MIÚDO ARTIFICIAL.....	24

CAPÍTULO III

3.	MATERIAS E MÉTODOS	33
3.1	AMOSTRAGEM.....	34
3.1.1	Cimento.....	34
3.1.2	Areia Natural.....	34
3.1.3	Areia Artificial.....	36
3.1.4	Agregado Graúdo.....	37
3.1.5	Água.....	38
3.1.6	Aditivo.....	38
3.2	DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA.....	39
3.2.1	Execução de Ensaio.....	39
3.3	ÍNDICE DE FORMA DO AGREGADO GRAÚDO.....	39
3.3.1	Execução do Ensaio.....	39
3.4	DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO AGREGADO MIÚDO.....	39
3.5	DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO AGREGADO GRAÚDO.....	40
3.6	DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA.....	40
3.7	DETERMINAÇÃO DO INCHAMENTO DOS AGREGADOS MIÚDOS.....	40
3.8	DETERMINAÇÃO DO MATERIAL PULVERULENTO DOS AGREGADOS.....	41
3.9	DETERMINAÇÃO DAS IMPUREZAS ORGÂNICAS	41
3.10	MISTURA DE CONCRETO.....	41
3.10.1	Método de Dosagem.....	42
3.10.2	Ferramentas.....	45
3.10.3	Execução do Ensaio.....	45
3.11	MEDIDA DE ABATIMENTO DO TRONCO CONE.....	47
3.12	MEDIDA DO AR INCORPORADO NO CONCRETO.....	47
3.12.1	Ferramentas.....	47
3.12.2	Execução do Ensaio.....	48
3.13	CONFECÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA DE CONCRETO.....	48
3.14	ENSAIOS DE COMPRESSÃO.....	51
3.14.1	Execução do Ensaio.....	52
3.15	ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL.....	53
3.15.1	Execução do Ensaio.....	53
3.16	DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	55
3.16.1	Execução do Ensaio.....	55
3.17	DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE.....	56
3.17.1	Ferramentas.....	56
3.17.2	Execução do Ensaio.....	57
3.17.3	Cálculo do Ensaio.....	60
3.18	DETERMINAÇÃO DA PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO.....	60

3.18.1	Ferramentas.....	60
3.18.2	Execução do Ensaio.....	61

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	63
4.1	CIMENTO.....	63
4.2	AGREGADOS.....	64
4.2.1	Granulometria do Agregado Miúdo – Areia Natural.....	64
4.2.2	Granulometria do Agregado Miúdo – Areia Artificial	65
4.2.3	Granulometria do Agregado Graúdo – brita 1.....	66
4.2.4	Granulometria das Misturas.....	67
4.2.5	Dimensão Máxima Característica dos Agregados e Misturas.....	70
4.2.6	Módulo de Finura dos Agregados.....	71
4.2.7	Índice de Forma do Agregado Graúdo.....	71
4.2.8	Massa Específica dos Agregados Miúdo e Graúdo.....	71
4.2.9	Massa Unitária dos Agregados Miúdo e Graúdo.....	72
4.2.10	Inchamento dos Agregados Miúdos.....	73
4.2.11	Material Pulverulento dos Agregados.....	73
4.2.12	Impurezas Orgânicas dos Agregados Miúdos.....	74
4.3	CONCRETO.....	74
4.3.1	Medida de Abatimento do Tronco Cone e Ar Incorporado.....	77
4.3.2	Resistência à Compressão de Corpos-de-Prova Cilíndricos.....	79
4.3.3	Resistência à Tração por Compressão Diametral.....	81
4.3.4	Absorção.....	82
4.3.5	Absorção de Água por Capilaridade.....	83
4.3.6	Profundidade da Carbonatação.....	86
4.3.7	Resumo do Desempenho da Substituição da Areia Artificial por Areia Natural.....	87

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSÕES	90
5.1	Conclusões Relativas aos Agregados.....	90
5.2	Conclusões Relativas ao Concreto.....	91
5.2.1	Concreto no Estado Fresco.....	91
5.2.2	Concreto endurecido.....	92
5.3	Conclusões Relativas ao Meio Ambiente.....	92
5.4	Conclusões Finais.....	92

ANEXO A.....	94
ANEXO B.....	98
ANEXO C.....	102

CAPÍTULO VI

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	115
------------------------------------	-----

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 -	Representação esquemática da umidade do agregado.....	12
FIGURA 2.3 -	Causas físicas da deterioração do concreto.....	22
FIGURA 2.4 -	Injeção de água no sistema em via úmida na peneira.....	31
FIGURA 2.5 -	Lavador de roscas helicoidais LD-24.....	32
FIGURA 3.1 -	Depósito e peneiramento da areia antes da secagem.....	34
FIGURA 3.2 -	Peneiramento e armazenamento da areia na caixa.....	35
FIGURA 3.3 -	Quarteamento da areia.....	35
FIGURA 3.4 -	Estocagem da areia artificial no pátio da pedreira.....	36
FIGURA 3.5 -	Estocagem da areia artificial basáltica no laboratório.....	36
FIGURA 3.6 -	Peneiramento da brita 1.....	37
FIGURA 3.7 -	Lavagem e escoamento do excesso de água da brita 1.....	38
FIGURA 3.8 -	Balança, proveta, funil e Frasco de Chapman.....	40
FIGURA 3.9 -	Materiais para o ensaio de impurezas orgânicas.....	41
FIGURA 3.10 -	Betoneira vedada com os materiais secos.....	46
FIGURA 3.11 -	Medida de abatimento do tronco de cone.....	47
FIGURA 3.12 -	Vibração do concreto no equipamento de ar incorporado.....	48
FIGURA 3.13 -	Moldagem dos corpos-de-prova de concreto.....	49
FIGURA 3.14 -	Moldados e permanecendo para cura inicial.....	49
FIGURA 3.15 -	Corpos-de-prova armazenados na câmara úmida.....	50
FIGURA 3.16 -	Disposição do corpo-de-prova.....	53
FIGURA 3.17 -	Medidas do diâmetro e colocação da barras.....	54
FIGURA 3.18 -	Ruptura à tração por compressão diametral na prensa.....	54
FIGURA 3.19 -	Imersão dos corpos-de-prova 10x20 cm.....	55
FIGURA 3.20 -	Medida de corpos-de-prova submersos através da balança hidrostática.....	56
FIGURA 3.21 -	Máquina poli corte e corpos-de-prova serrados na câmara úmida.....	57
FIGURA 3.22 -	Compartimento para garantir a ventilação em todas as direções.....	58
FIGURA 3.23 -	Corpos-de-prova serrados e acondicionados em sacos de lona.....	58
FIGURA 3.24 -	Aplicação da tinta esmalte.....	58
FIGURA 3.25 -	Registro das massas após a aplicação da tinta esmalte.....	59
FIGURA 3.26 -	Caixa para o ensaio de imersão por capilaridade.....	59

FIGURA 3.27 - Suporte de corpos-de-prova para ensaio de carbonatação.....	61
FIGURA 3.28 - Corpos-de-prova após a aplicação da fenolftaleína.....	62
FIGURA 4.1 Granulometria da areia natural e os limites granulométricos.....	65
FIGURA 4.2 Granulometria da areia artificial e os limites granulométricos.....	66
FIGURA 4.3 Granulometria da brita 1 e os limites granulométricos.....	67
FIGURA 4.4 - Granulometria da mistura de 15% de areia artificial e os limites granulométricos.....	68
FIGURA 4.5 - Granulometria da mistura de 30% de areia artificial e os limites granulométricos.....	69
FIGURA 4.6 - Granulometria da mistura de 50% de areia artificial e os limites granulométricos.....	69
FIGURA 4.7 - Granulometria da mistura de 70% de areia artificial e os limites granulométricos.....	70
FIGURA 4.8 - Influência do teor de substituição com a relação água/cimento dos traços 1 e 2.....	75
FIGURA 4.9 - Consumo de cimento com o teor de substituição dos traços 1 e 2.....	76
FIGURA 4.10 - Valores de abatimento imediatos e com 15 minutos para cada mistura, do traço 1...	78
FIGURA 4.11 - Valores de abatimento imediatos e com 15 minutos para cada mistura, do traço 2...	78
FIGURA 4.12 - Resistências com teor de substituição dos traços 1 e 2.....	80
FIGURA 4.13 - Resistência com 7 e 28 dias em função da relação água/cimento para os traços 1 e 2.....	81
FIGURA 4.14 - Resistência à compressão diametral com 28 dias com o teor de substituição dos traços 1 e 2.....	82
FIGURA 4.15 - Absorção por imersão de água dos traços 1 e 2.....	83
FIGURA 4.16 - Ascensão capilar máximo dos traços 1 e 2.....	84
FIGURA 4.17 - Profundidade da carbonatação com o teor de substituição dos traços 1 e 2.....	87

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 -	Composição dos cimentos segundo as normas brasileiras.....	7
TABELA 2.2 -	Seqüência de peneiras da série normal e intermediária.....	10
TABELA 2.3 -	Limites granulométricos do agregado miúdo.....	10
TABELA 2.4 -	Limites granulométricos do agregado graúdo.....	11
TABELA 2.5 -	Substâncias nocivas.....	13
TABELA 2.7 -	Classificação dos agentes agressivos.....	23
TABELA 3.1 -	Misturas de areia artificial basáltica e natural.....	37
TABELA 3.2 -	Teores de água e de ar em função do abatimento e do tamanho máximo do agregado.....	43
TABELA 3.3 -	Volume de agregado graúdo por unidade de volume de concreto.....	44
TABELA 3.4 -	Misturas, componentes e abreviações.....	46
TABELA 3.5 -	Tipos, adensamento e dimensões dos corpos-de-prova.....	51
TABELA 4.1 -	Ensaio físicos e químicos do cimento utilizado.....	63
TABELA 4.2 -	Composição mineralógica do basalto utilizado.....	64
TABELA 4.3 -	Caracterização granulométrica da areia natural.....	64
TABELA 4.4 -	Caracterização granulométrica da areia artificial.....	66
TABELA 4.5 -	Caracterização granulométrica da brita 1.....	67
TABELA 4.6 -	Caracterização granulométrica das misturas.....	68
TABELA 4.7 -	Dimensões máxima características dos agregados.....	70
TABELA 4.8 -	Módulo de finura dos agregados.....	71
TABELA 4.9 -	Média das massas específicas dos agregados.....	72
TABELA 4.10 -	Média das massas unitárias dos agregados.....	72
TABELA 4.11 -	Inchamento dos agregados miúdos.....	73
TABELA 4.12 -	Média do material pulverulento dos agregados.....	73
TABELA 4.13 -	Composição e parâmetros dos traços.....	75
TABELA 4.14 -	Consumo dos materiais das misturas.....	76
TABELA 4.15 -	Valores de abatimentos e ar incorporados dos traços.....	77
TABELA 4.16 -	Resultados das resistências à compressão dos traços de concreto.....	79
TABELA 4.17 -	Resultados das resistências à tração por compressão diametral.....	81
TABELA 4.18 -	Resultados dos ensaios de absorção de água por imersão.....	83
TABELA 4.19 -	Resultados dos ensaios de absorção por capilaridade pelo método brasileiro.....	84
TABELA 4.20	Ensaio de absorção por capilaridade.....	85

TABELA 4.21 -	Medidas da profundidade de carbonatação.....	86
TABELA 4.22 -	Varição do desempenho em relação ao concreto referência do traço 1.....	88
TABELA 4.23 -	Varição do desempenho em relação ao concreto referência do traço 2.....	89

RESUMO

Atualmente existem grandes dificuldades em se obter areia natural de qualidade do leito dos rios, para o preparo de concretos. Face ao crescimento do consumo da areia natural no país, e às restrições ambientais, têm-se procurado novas alternativas para resolvermos esses problemas. Com isso o uso de areia artificial resultante da britagem seria um das alternativas, mas é um material de difícil colocação no mercado.

O presente trabalho apresenta o estudo de dosagens de concretos convencionais, com emprego da areia artificial basáltica, em substituição parcial à areia fina, levando-se em consideração as propriedades do concreto fresco, resistência mecânica e durabilidade.

O uso de areia artificial basáltica, em substituição parcial da areia natural muito fina, permite a confecção de concretos convencionais mais resistentes e mais duráveis.

O melhor desempenho em todos os aspectos analisados neste trabalho foi a mistura com 70% de substituição de areia artificial.

O teor de material pulverulento existente na areia artificial tem que ser controlado, pois se ocorrer afetará a granulometria da dosagem, acarretando perda de abatimento e variação na relação água/cimento.

ABSTRACT

Nowadays, there is a great difficulty in obtaining natural sand with quality of riverbed for the preparation of concrete. Due to the growth of the consumption of natural sand in Brazil, and the environmental restrictions, it have been trying new alternatives in order to solve such problems. Thus the use of artificial sand resulting from the crushing of rocks would be one of the alternatives, but it is difficult to introduce this kind of material in the market.

The aim of this work is to study the effect of the partial substitution of the fine natural sand by artificial crushed sand in conventional concrete, considering the proprieties of fresh concrete, mechanical strength and its durability, in relation to the concrete prepared with natural sand of riverbed.

The use of artificial crushed sand for replacing partially the natural sand, which is very fine, permits the confection of conventional concrete more resistant and more durable.

The best performance in all aspects that were analyzed in this work was the mixture with 70% of replacement of the artificial sand.

The content of the pulverulent material, which exists in the artificial sand, has to be controlled because if it occurs same variation, it will affect mix proportions, leading to slump loss and changes of the water/cement.

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

O concreto de cimento Portland é o material de construção mais consumido no mundo. Suas propriedades técnicas, como boa resistência à compressão, excelente resistência à água, possibilidade de produzir peças de diferentes geometria e capacidade de incorporar reforços para resistir à tração e cisalhamento, juntamente às vantagens de seu custo, relativamente reduzido, são as principais características responsáveis por esse sucesso.

Por essa importância, é natural que haja um grande interesse no estudo deste material. As propriedades do concreto e de seus constituintes vêm sendo estudadas há mais de 150 anos.

Considerando que pelo menos três partes do volume do concreto são ocupadas pelos agregados, a sua qualidade é de considerável importância.

Cada vez mais, é evidente a importância do estudo dos agregados: tanto graúdo quanto miúdo, devido a sua grande influência nas propriedades do concreto. Também as suas características, tais como a granulometria, quantidade de fino, forma dos grãos e textura superficial dos grãos, e outras, são importantes características.

Tem-se constatado que em algumas regiões, a grande maioria das indústrias de construção, adotam traços fixos, com posições pré-estabelecidas baseadas em experiências anteriores, inclusive na fabricação de peças pré-moldadas de concreto, como postes, estacas, tubos de águas pluviais e outras.

Muitas das vezes, isso tem levado a um consumo de cimento maior que o necessário encarecendo, dessa forma, o produto final, prejudicando também o meio ambiente.

O agregado miúdo areia natural utilizado neste trabalho é considerado abaixo da zona muito fina, de acordo com a curva granulométrica apresentada na especificação (NBR

7211/83). Na região da realização deste trabalho temos grande dificuldade de se obter areia de granulometrias melhores devido a distância.

Muitos fatores têm contribuído para a escassez e, conseqüentemente, encarecimento de agregados miúdos para concretos em regiões próximas à grandes metrópoles. Entre esses fatores, situa-se a expansão urbana que ocupa as zonas produtoras de areia, induzindo mudanças, para regiões cada vez mais distantes do centro consumidor, penalizando, conseqüentemente, os custos de operação e transporte.

As empresas que produzem a areia artificial basáltica em algumas cidades, estão enfrentando grandes problemas com o volume estocado, trazendo assim, um grande impacto ambiental. Com isso pretendemos resolver grande parte do problema das empresas que é empregar o produto no mercado.

O tradicionalismo e a falta de esclarecimentos têm levado a uma mistificação injustificada de alguns materiais, pois um conhecimento maior das características, pode trazer benefícios para a coletividade, através de uma economia nos custos das habitações e obras públicas.

O conhecimento das características tecnológicas do material faz-se necessário, para melhor utilização, desde o seu recebimento no canteiro de obras, o manuseio, até o emprego final.

A areia artificial basáltica é constituída por grãos de forma agulosa. A textura superficial, quase sempre mais áspera e a maior porcentagem dos elementos finos levam a esperar um concreto menos trabalháveis. Esse problema foi amenizado, consideradamente, com o simples controle da porcentagem dos elementos finos da areia artificial britada.

Este trabalho visa contribuir para a o esclarecimento deste assunto apresentando resultados obtidos com concretos elaborados com areia artificial basáltica, contendo porcentagem variadas, em substituição da areia natural.

1.1 Objetivo

Uma correta identificação dos materiais agregado miúdo e agregados graúdos através de suas características tecnológicas, proporcionará a sua utilização apropriada. O uso de tecnologia resultará em um material de maior qualidade.

A utilização da areia artificial basáltica pode ser uma alternativa, em substituição parcial da areia fina em produção de concretos convencionais.

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar o efeito da substituição parcial da areia fina por areia artificial basáltica nas porcentagens de 15%, 30%, 50% e 70%, em massa na dosagem de concretos convencionais, verificando quanto a trabalhabilidade, resistência mecânica, durabilidade e consumo de cimento.

1.1.2 Objetivos Específicos

1. Identificação dos problemas causados pela mistificação do uso de materiais;
2. Caracterização dos agregados utilizados no concreto;
3. Comparação de resultados obtidos com os limites das normas;
4. Comparação da influência da areia artificial basáltica em substituição parcial a areia fina, quanto à resistência mecânica, absorção de água por imersão e capilaridade e profundidade de carbonatação.

1.2 Estrutura

No **capítulo I**, é apresentada a introdução, no qual é justificada a finalidade do trabalho.

No **capítulo II**, são apresentados os elementos teóricos e a revisão da literatura referente ao assunto do trabalho.

No **capítulo III**, são apresentados os materiais e métodos utilizados para a realização dos ensaios.

No **capítulo IV**, são apresentados os resultados e discussões referentes aos ensaios realizados.

No **capítulo V**, são apresentadas as conclusões deste estudo.

E no **capítulo VI**, constam as referências bibliográficas usadas neste trabalho.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONCRETOS DE CIMENTO PORTLAND

Segundo BAUER (1980), o concreto de cimento Portland, considerado como um sólido a partir da pega, é um material em perpétua evolução; sensível às modificações ambientais, físicas, químicas, mecânicas, com reações geralmente lentas, registradas de certo modo nas suas características, que dependem de sua história.

O concreto de cimento Portland é um produto resultante do endurecimento da mistura de cimento Portland, agregado miúdo, agregado graúdo e água, adequadamente proporcionada.

A heterogeneidade dos materiais que compõem os concretos e a complexidade do seu comportamento, tanto no estado fresco quanto no endurecido, representa sempre um desafio aos técnicos responsáveis pela fabricação e emprego dos concretos.

Desde os primeiros usos, ficou claro que o proporcionamento dos materiais não podia ser arbitrário, para um conglomerado compacto e sólido.

Até o início do século XIX, pouco se sabia acerca das qualidades exigidas dos materiais constituintes dos concretos e argamassas. Os estudos se aprimoraram a partir da descoberta do cimento Portland e sua fabricação em escala comercial.

De acordo com NEVILLE (1997).

Um mal concreto muitas vezes é uma substância com consistência inadequada, endurecendo em uma massa não homogênea com falhas é feita simplesmente misturando-se cimento agregados e água.

Os ingredientes de um bom concreto são exatamente os mesmos, e é apenas o conhecimento, com apoio do entendimento, responsável pela diferença.

O concreto é caracterizado, estruturalmente, pela alta resistência à compressão. No entanto, sua resistência à tração é baixa.

Segundo MEHTA & MONTEIRO (1994), quanto à resistência e à compressão, aos 28 dias, dividem o concreto nas três categorias a seguir:

- baixa resistência: resistência à compressão menor que 20 MPa;
- resistência moderada: resistência à compressão de 20 MPa a 40 MPa;
- alta resistência: resistência à compressão superior a 40 MPa;

2.2 MATERIAIS CONSTITUINTES DO CONCRETO

O concreto é formado por uma mistura de cimento Portland, agregados e água. Suas propriedades estão diretamente influenciadas pelas características desses materiais constituintes.

2.2.1 Cimento Portland

A descoberta do cimento é creditada a Joseph Aspdin, um pedreiro, que em 1824 patenteou o produto com o nome de cimento Portland, numa referência *portlandstone*, um tipo de rocha arenosa muito utilizada na região de Portland, Inglaterra.

NEVILLE (1997), salienta que o cimento, na acepção geral da palavra, pode ser considerado todo material com propriedades adesivas e coesivas capaz de unir fragmentos de minerais entre si, de modo que forme um todo compacto.

ANDRIOLO (1984), menciona que o cimento pode ser entendido como um material com propriedades aglutinantes e, portanto, com capacidade de unir fragmentos minerais formando uma massa compacta.

De acordo com a NBR 5732 (1991), o cimento é um aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfatos de cálcio. Durante a moagem permite-se a adição de misturas como: pozolanas, escórias granulada de alto-forno, e / ou materiais carbonáticos, relacionados na Tabela 2.1.

TABELA 2.1 – Composições dos cimentos segundo as normas brasileira

Componentes % em massa						
Sigla	Nome	Classe	Clínquer + sulfato de cálcio	Escória granulada de alto forno	Material pozolânico	Material carbonático
CPI	Comum	25, 32, 40	100	0		
CPI-S			99 - 95	1 - 5		
CPII -E	Composto	25, 32, 40	94 - 56	6 - 34	-	0 - 10
CPII-Z			94 - 76	-	6 - 14	0 - 10
CPII-F			94 - 90	-	-	6 - 10
CP III	Alto forno	25, 32, 40	65 - 25	35 - 70	-	0 - 5
CP IV	Pozolânico	25, 32	85 - 45	15-50	-	0 - 5
CP V ARI	Alta resistência inicial	-	100 - 95	-	-	0 - 5
CPB	Branco estrutural	25,32,40	100 - 75	-	-	0 - 5
CPB	Branco não estrutural	-	74 - 50	-	-	26 - 50

Fonte: Normas Brasileiras nº 5732 (1991), 11578 (1991), 5735 (1991), 5736 (1991), 5733 (1991) e 12989 (1993).

2.2.2 Agregados

De acordo com MEHTA e MONTEIRO (1994), os agregados são relativamente baratos e não entram em reações químicas complexas com a água; portanto, tem sido usualmente tratado como um material de enchimento inerte no concreto. Entretanto, devido à crescente compreensão do papel desempenhado pelos agregados na determinação de muitas propriedades importantes do concreto, este ponto de vista tradicional dos agregados como materiais inertes, está sendo bastante questionado.

NEVILLE (1997), salienta que pelo menos três partes do volume do concreto são ocupadas pelos agregados, sendo assim, de considerável importância. Com propriedades indesejáveis existente nos agregados podem, não apenas produzir um concreto pouco resistente, como também comprometer a durabilidade e desempenho estrutural deste.

De acordo com FORTES (1995), os agregados não interferem significativamente nas interações concreto/aço e concreto/meio, mas têm influência em várias propriedades do concreto, como estruturais e permeabilidade.

2.2.2.1 Classificação

a. Quanto a origem:

- naturais: são encontrados na natureza na forma de agregados: areia de mina, areia de rio, seixo rolado, pedregulho, etc; ou
- artificiais: necessitam de um trabalho para chegar a situação de uso como agregado: pedra britada, pedrisco, pó de pedra, argila expandida, poliestireno expandido, etc.

b. Quanto à massa:

- leves: massa inferior a 1 ton/m³: argila expandida, vermiculita, poliestireno expandido, etc; ou
- normais: massa de 1 a 2 ton/m³: areia, seixo, brita, etc;
- pesados: massa superior a 2 ton/m³: barita, magnetita, limolita, etc.

c. De acordo com a Norma Brasileira 7211 (1993), quanto ao tamanho:

- **agregado miúdo**: areia de origem natural ou resultante do britamento de rochas estáveis, ou a mistura de ambas, cujos grãos passam pela peneira ABNT 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT 0,075 mm;
- **agregado graúdo**: pedregulho ou a brita proveniente de rochas estáveis, ou a mistura de ambos, cujos grãos passam por uma peneira de malha quadrada com abertura nominal de 152 mm e ficam retidos na peneira ABNT 4,8 mm;
- **material pulverulento**: partículas minerais com dimensões inferiores a 0,075 mm, inclusive os materiais solúveis em água presente nos agregados, definida na NBR 7219 (1987);
- **outros**: brita corrida e pedra de mão e pedra amarrada.

d. Quanto à obtenção:

- agregados naturais: extração direta do leito dos rios ou de minas. Devem ser lavados e classificados;
- agregados britados: obtidos pelo processo de britagem. Poderá haver também a necessidade de serem lavados; ou

- industrializados: são obtidos por processos industriais. Exemplos: poliestireno expandido escória britada, argila expandida, cinza leve, vermiculita, etc.

2.2.2.2 Características dos Agregados

Segundo a Norma Brasileira 7211(1993), os agregados devem ser constituídos por grãos de minerais duros, compactos, duráveis e limpos. Não devem conter substâncias, de natureza e em quantidade, que possam afetar a hidratação do cimento ou dar origem a produtos expansivos. Devem apresentar, ainda, resistência à compressão superior a da pasta, boa forma e boa graduação.

Os agregados possuem diversas características e propriedades, cujo conhecimento e entendimento são fundamentais para a sua aplicação em concretos. Dentre elas, pode-se destacar: composição granulométrica, massa específica, massa unitária, umidade, inchamento, impurezas, formas das partículas.

a. Composição granulométrica

BAUER (1980), explica que a composição granulométrica de um agregado é a proporção relativa, expressa em percentagem, em que se encontram os grãos de determinado agregado dos diferentes tamanhos, que constituem o material. Esta composição granulométrica tem grande influência nas propriedades futuras das argamassas e concretos confeccionados com este agregado.

PRUDÊNCIO (1999), no entanto, adverte que existem certos limites ou faixas granulométricas, em se tratando de agregado miúdo para concreto, onde se consegue resultados em termos de dosagem, quer sob o ponto de vista técnico ou econômico. Devido a isso, sempre que possível, é viável que se façam composições de agregados miúdos, de modo que se obtenha um material com características granulométricas o mais próximo possível das especificações da NBR 7211 (1993) - zona 3.

A composição granulométrica é determinada por peneiramento, através de peneiras utilizadas com malhas de forma quadrada, numa seqüência tal, que o lado de cada abertura tenha sempre o dobro do lado da abertura das malhas da peneira anterior.

Essas peneiras estão relacionadas na Tabela 2.2.

TABELA 2.2 – Sequência de peneiras da série normal e intermediária

SÉRIE NORMAL	SÉRIE INTERMEDIÁRIA
76 mm	--
--	64 mm
--	50 mm
38 mm	--
--	32 mm
--	25 mm
19 mm	--
--	12,5 mm
9,5 mm	-
--	6,3 mm
4,8 mm	--
2,4 mm	--
1,2 mm	--
0,6 mm	--
0,3 mm	--
0,15 mm	--

De acordo a norma NBR 7211 (1983) os ensaios de peneiramento determinam os seguintes parâmetros:

- dimensão máxima característica – corresponde à abertura de malha, em mm, da peneira de série normal ou intermediária, a qual corresponde uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa;
- módulo de finura – é o valor da soma das porcentagens retidas acumuladas nas peneiras de série normal, dividido por 100; e
- limites granulométricos.

Os limites granulométricos determinados, segundo a norma NBR 7211 (1983), tanto para agregado miúdo quanto grúdo, estão relacionados nas Tabelas 2.3 e 2.4.

TABELA 2.3 – Limites granulométricos do agregado miúdo

PORCENTAGEM, EM MASSA, RETIDA ACUMULADA NA PENEIRA ABNT				
PENEIRAS ABNT	ZONA 1 (muito fina)	ZONA 2 (fina)	ZONA 3 (média)	ZONA 4 (grossa)
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0 a 3	0 a 7	0 a 7	0 a 7
4,8 mm	0 a 5(A)	0 a 10	0 a 11	0 a 12
2,4 mm	0 a 5(A)	0 a 15(A)	0 a 25(A)	5(A) a 40
1,2 mm	0 a 10(A)	0 a 25(A)	10(A) a 45(A)	30(A) a 70
0,6 mm	0 a 20	21 a 40	41 a 45	66 a 85
0,3 mm	50 a 85(A)	60(A) a 88(A)	70(A) a 92(A)	80(A) a 95
0,15 mm	85(B) a 100	90(B) a 100	90(B) a 100	90(B) a 100

(A) Pode haver uma tolerância de até um máximo de 5 unidades de por cento em um só dos limites marcados com a letra A ou distribuídos em vários deles. (B) Para agregados miúdos restantes de britamento este limite poderá ser 80

TABELA 2.4 – Limites granulométricos do agregado graúdo

Porcentagem retida acumulada, em peso, nas peneiras de abertura nominal, em mm.						
PENEIRAS (mm)	GRADUAÇÃO					
	0	1	2	3	4	5 ^(A)
152	-	-	-	-	-	-
76	-	-	-	-	0	-
64	-	-	-	-	0 – 30	-
50	-	-	-	0	75 – 100	-
38	-	-	-	0 – 30	90 – 100	-
32	-	-	0	75 – 100	95 – 100	-
25	-	0	0 – 25	87 – 100	-	-
19	-	0 – 10	75 – 100	95 – 100	-	-
12,5	0	-	90 – 100	-	-	-
9,5	0 – 10	80 – 100	95 – 100	-	-	-
6,3	-	92 – 100	-	-	-	-
4,8	80 – 100	95 – 100	-	-	-	-
2,4	95 – 100	-	-	-	-	-

Fonte norma NBR 7211(1983)

Essa norma possui algumas ressalvas, dentre elas, de que podem ser utilizadas areias, cuja granulometria não se enquadre em qualquer uma das zonas indicadas, desde que sejam realizados estudos prévios de dosagem, ou então, que a faixa granulométrica seja de uso consagrado em determinada região.

a. Massa Específica

É a massa por unidade do volume, dos grãos dos agregados, incluindo o material sólido e os vazios permeáveis e impermeáveis. Pode ser determinado pelo frasco de *chapman* ou picnômetro. Seu valor é utilizado no cálculo do consumo de materiais em concretos e argamassas.

b. Massa Unitária

É a relação da massa total de um certo volume de agregados, e esse volume, considerado os vazios existentes entre os grãos do agregado. É por meio dela que se pode converter as composições das argamassas e concretos dados em massa para volume e vice-versa.

c. Porosidade e Absorção do Agregado

A presença de poros internos nas partículas está relacionada com a massa específica do agregado. A porosidade, a permeabilidade e a absorção, influenciam propriedades

como a aderência entre o agregado e a pasta de cimento hidratada, e a resistência ao congelamento e degelo.

Os poros do agregado variam muito de tamanho, sendo que os maiores podem ser visto ao microscópio ou mesmo a olho nu. Os menores, são maiores que os poros da pasta de cimento.

Quando os poros dos agregados estão preenchidos, diz-se que ele está saturado e com a superfície seca. Os níveis de secagem de um agregado estão representados na figura 2.1.



FIGURA 2.1 – Representação esquemática da umidade do agregado

Fonte: NEVILLE(1997), PÁG. 145

O conhecimento do teor de umidade é de suma importância no estudo dos agregados, principalmente dos miúdos, devido ao fenômeno do inchamento. Além disso, a água contida em um agregado, influencia na quantidade de água a ser adicionada em um concreto, para proporcionar a trabalhabilidade adequada e a resistência estabelecida no processo de dosagem.

d. Inchamento

De acordo com a Norma Brasileira 6467 (1987), o inchamento é um “*fenômeno da variação do volume aparente, provocado pela absorção de água livre pelos grãos e que incide sobre a sua massa unitária...*”. O coeficiente de inchamento é o quociente entre os volumes úmido e seco, de mesma massa de agregado. A umidade crítica é o teor de umidade acima do qual o coeficiente de inchamento pode ser considerado constante e igual ao coeficiente de inchamento médio, sendo que o inchamento médio é o valor médio entre o coeficiente de inchamento máximo e aquele correspondente à umidade crítica.

NEVILLE (1997), salienta que o inchamento é o aumento de volume de uma massa de areia, devido às películas de água, deslocando as partículas tentando separá-las. Embora não altere a quantificação dos materiais em massa, na quantificação em volume, o inchamento resulta numa menor massa de areia ocupando o mesmo volume em uma caixa de medida (padiola).

O valor do inchamento depende da porcentagem de umidade presente na areia, e da sua finura.

Adicionado-se mais água, as películas se fundem e a água se desloca para os vazios entre as partículas, de modo que o volume total da areia úmida passa a ser aproximadamente igual ao da seca, para o mesmo processo de preenchimento do recipiente. Foi observado que nas areias finas o inchamento é maior do que nas areias mais grossas. Para um mesmo teor de umidade, observamos que o agregado miúdo britado incha mais do que o natural.

Segundo BAUER (1980), tendo em vista que um agregado totalmente seco, ao ser posto em contato com a água, ocorrerá um preenchimento dos seus poros vazios. Uma correção na quantidade da água de amassamento do concreto deverá ser feita, de forma a ser mantida a quantidade de água, para proporcionar ao concreto as características desejáveis.

e. Substâncias nocivas

Na Tabela 2.5 mostra as substâncias deletérias nos agregados.

TABELA 2.5 – Substâncias nocivas

Tipos	Agregados	
	Miúdo	Graúdo
Torrões de argila, determinado de acordo com a NBR 7218	1,5	-
- em concreto cuja aparência é importante	-	1,0
- em concreto submetido a desgaste superficial	-	2,0
- nos demais concretos	-	3,0
Material pulverulento, determinado de acordo com a NBR 7219	-	1,0
- em concreto submetido a desgaste superficial	3,0	-
- nos demais concretos	5,0	-
Materiais carbonosos, determinado de acordo com a ASTM C 123	-	-
- em concretos cuja aparência é importante	0,5	0,5
- nos demais concretos	1,0	1,0

Nota: para os agregados miúdos, estes limites podem ser aumentados para 5% e 7 % em massa, respectivamente, quando o material que passa pela peneira ABNT 0,075 mm for constituído totalmente de grãos gerados durante o britamento de rochas. (fonte NBR 7211/84)

- Torrões de argila: são assim denominadas todas as partículas de agregado desagregáveis sob pressão dos dedos (torrões friáveis). Sua presença é bastante nociva para a resistência de concretos, em certos casos, expansivos.
- Materiais carbonosos: são partículas de carvão, linhito, madeira e material vegetal sólido, presentes nos agregados. Além, de afetarem a resistência, prejudicam o concreto quando submetido à abrasão.
- Material pulverulento: em geral as areias contém impurezas que interferem com o processo de hidratação do cimento; películas que impedem a aderência afetiva entre o agregado e a pasta de cimento hidratada.

As películas de argila, quando presentes na superfície do agregado, interferem na aderência entre o agregado e a pasta de cimento, prejudicando a resistência e a durabilidade do concreto. Já as partículas finas, não devem estar presentes em grandes quantidades, pois aumentam a área superficial e, conseqüentemente, a demanda de água e o consumo de cimento.

As partículas não sãs e friáveis são aquelas que não conseguem manter a integridade, resultando em expansão ou desagregação, quando expostas ao congelamento ou à água.

e. Forma das partículas

Os grãos dos agregados podem ser arredondados, como os seixos, ou de forma angular e de arestas vivas, com faces mais ou menos planas, como os da pedra britada. Esta forma geométrica dos agregados tem grande influência na qualidade dos concretos.

BAUER (1980) salienta que, sempre que possível, devemos utilizar agregados em forma de grãos arredondados. As quantidades de água necessárias para mistura de um concreto com pedregulhos (arredondados) é menor que a para pedra britada, devido a forma. Contudo, com o emprego de pedra britada, devido a aderência entre os grãos e a argamassa, consegue-se um concreto mais resistente ao desgaste a tração do que fabricados com pedregulhos.

Os grãos de formato semelhante a uma agulha ou a um disco, fornecem concretos menos trabalháveis e requerem mais pasta de cimento. Hoje, existem máquinas que arredondam os grãos angulosos, e o custo desta operação, é repassado ao preço do produto.

A norma NBR 7211 (1983), especifica que os agregados para concreto têm, em média, uma relação entre o comprimento e a espessura do grão inferior a 3, isso quando determinada segundo a Norma Brasileira 7809 (1983).

2.2.3 Água

De acordo com MEHTA & MONTEIRO (1994), via de regra, uma água imprópria para beber não é necessariamente imprópria para o amassamento do concreto. Do ponto de vista de resistência do concreto, água ácida, alcalina, salgada, salobra, colorida ou com mau cheiro não deve ser rejeitada imediatamente. Isto é importante, porque as águas recicladas da mineração e várias outras operações industriais podem ser usadas seguramente como água de amassamento para o concreto. O melhor método para determinar a aptidão de uma água de desempenho desconhecido para o preparo do concreto é comparar o tempo de pega do cimento e a resistência de corpos-de-prova de argamassa feitos com água desconhecida e uma água limpa de referência.

Segundo NEVILLE (1997), impurezas contidas na água podem influenciar negativamente, a resistência do concreto, causar manchas em sua superfície, ou ainda, resultar em corrosão da armadura. Por essas razões, deve-se dar atenção à qualidade da água para amassamento e para cura do concreto. Por via de regra, água deverá ter PH de 6,0 a 8,0 ou, possivelmente, até 9,0, sem sabor de salobras.

2.2.4 Outros Componentes

FORTES (1995), salienta que em decorrência do avanço tecnológico e de novas exigências atribuídas ao concreto, são adicionados aditivos aos seus materiais básicos (cimento, agregados e água). As finalidades para os quais eles são utilizados, incluem

melhoria da trabalhabilidade, aceleração ou retardo do tempo de pega, controle da resistência e outras.

A norma NBR 11.768/92 define aditivo como sendo, “*Os produtos que adicionados em pequenas quantidades a concretos e argamassas de cimento Portland modificam algumas das suas propriedades, no sentido de melhor adequá-las a determinadas condições*”. A mesma norma classifica os aditivos para concretos como:

- a. Aditivos Plastificantes (tipo P) – produto que aumenta o índice de consistência do concreto mantida a quantidade de água de amassamento;
- b. Aditivo Retardador (tipo R) – produto que aumenta os tempos de início e final de pega do concreto;
- c. Aditivo Acelerador (tipo A) – produto que diminui os tempos de início e fim de pega do concreto, bem como acelera o desenvolvimento das suas resistências iniciais;
- d. Aditivo Plastificante Retardador (tipo PR) – produto que combina os efeitos dos aditivos plastificantes e retardador;
- e. Aditivo Plastificante Acelerador (tipo PA) – produto que combina os efeitos dos aditivos plastificantes e acelerador;
- f. Aditivos Incorporadores de Ar (tipo IAR) – produto que incorpora pequenas bolhas de ar ao concreto;
- g. Aditivo Superplastificante (tipo SP) – produto que aumenta o índice de consistência do concreto mantida a quantidade de água de amassamento;
- h. Aditivo Superplastificante Retardador (tipo SPR) – produto que combina os efeitos dos aditivos superplastificantes e retardador; e
- i. Aditivo Superplastificante acelerador (tipo SPA) - produto que combina os efeitos dos aditivos superplastificante e acelerador.

2.3 PROPRIEDADES DO CONCRETO

2.3.1 Concreto Fresco

Segundo NEVILLE (1997), menciona-se o uso do concreto fresco tem interesse apenas transitório, deve ser ressaltado que a resistência de um concreto com determinadas proporções é seriamente influenciada pelo grau de adensamento.

Portanto, é essencial que a consistência da mistura do concreto seja tal que o concreto possa ser transportado, lançado, adensado e acabado com suficiente facilidade e sem segregação.

a. Trabalhabilidade

A trabalhabilidade é a propriedade que identifica a maior ou menor aptidão para aplicação de um concreto, sem perda de homogeneidade.

Depende de fatores internos e externos:

- Fatores internos: consistência, traço, granulometria dos agregados, forma dos grãos dos agregados, finura do cimento;
- Fatores externos: finalidade do uso, dimensões e armadura da peça, tipo de mistura, tipo de transporte, modo de lançamento e tipo de adensamento.

De acordo com a NBR 6118 (1980), a *“trabalhabilidade de um concreto deverá ser compatível com as dimensões da peça à concretar, com a distribuição das armaduras e com os processos de lançamento e adensamento a serem usados”*.

NEVILLE (1997), comenta que não existe um ensaio aceitável que determina diretamente a trabalhabilidade. Têm sido realizadas inúmeras tentativas para correlacionar a trabalhabilidade com alguma grandeza física, fácil de ser determinada. Entretanto, todas as tentativas têm limitações por não conseguirem introduzir todas as variáveis no fenômeno embora possam proporcionar informações úteis.

Existem vários processos e equipamentos para medir as propriedades do concreto fresco tais como: cone de Abrams (abatimento do tronco cone NBR 7223 (1982)); mesa de espalhamento (mesa de Graf), utilizado na Alemanha agora já normalizado no Brasil; aparelho de VeBe (V. Bahrner, da Suécia); bola de Kelly (idealizado por J.W.Kelly), ensaio de espalhamento (desenvolvido na Alemanha em 1993) e remoldagem de Powers, aparelho de ar incorporado.

b. Exsudação

Segundo NEVILLE (1997), conhecida como separação da água, é uma forma de segregação, em que parte da água de mistura tende a subir para a superfície de um concreto recém aplicado. É resultado do fato que os constituintes sólidos da mistura

são incapazes de reter a água quando tendem a descer, pois, de todos os constituintes, a água é a que tem menor massa específica.

O processo de exsudação pode causar:

- enfraquecimento da aderência pasta agregado e parte da armadura;
- aumento da permeabilidade; e
- formação de nata de cimento sobre a superfície de concreto.

2.3.2 Concreto Endurecido

De acordo com MEHTA & MONTEIRO (1994), a escolha de um material de engenharia, para uma aplicação específica, deve levar em conta a sua capacidade de resistir a uma força aplicada. Tradicionalmente, a deformação decorrente de cargas aplicadas é expressa em deformação específica, definida como a mudança do comprimento por unidade de comprimento. A carga é expressa em tensão, definida como a força por unidade de área.

a. Resistência do concreto

NEVILLE (1997), define a aderência entre o agregado e a pasta de cimento como um importante fator da resistência do concreto, especialmente da resistência à flexão. A natureza dessa aderência ainda não é bem conhecida. A aderência é dividida, em parte, ao intertravamento do agregado e da pasta de cimento hidratada, propiciada pela aspereza da superfície das partículas de agregado. Uma superfície mais áspera resulta numa melhor aderência, devido ao intertravamento mecânico. É muito difícil a determinação da qualidade da aderência do agregado. Quando a aderência é boa, o corpo de prova rompido deve apresentar algumas partículas de agregado rompidas, porém, se a quantidade de partículas rompidas foi muito grande, pode significar baixa resistência do agregado.

A NBR 5739 (1994) prescreve o método pelo qual devem ser ensaiados à compressão dos corpos-de-prova, cilíndricos de concreto moldados, conforme o procedimento da NBR 5738 (1994).

Os principais fatores que afetam a resistência mecânica são: relação água/cimento; idade; forma e graduação dos agregados; forma e dimensões dos corpos-de-prova; velocidade de aplicação de carga de ensaio e duração da carga.

- Relação água/cimento

PRUDÊNCIO (1999), comenta que a relação água/cimento é o principal fator a ser estudado quando se deseja atingir uma determinada resistência.

Segundo NEVILLE (1997), quando um concreto está plenamente adensado, considera-se sua resistência como inversamente proporcional à relação água/cimento. Esta relação foi denominada “Lei de *Abrams*”. Na realidade, uma regra, estabelecida por *Duff Abrams* no ano de 1919.

$f_{cf} = \frac{A}{B^{a/c}}$, onde a/c representa relação água/cimento da mistura e A e B são constantes empíricas.

Deve ser lembrado que a relação água/cimento determina a porosidade da pasta de cimento endurecida em qualquer estágio da hidratação. Assim, tanto a relação água/cimento quanto o adensamento, tem influência sobre o volume de vazios do concreto.

- Relação gel/espço

Segundo NEVILLE (1997), a resistência para qualquer relação água /cimento depende do grau de hidratação do cimento, de propriedades físicas e químicas, da temperatura, do teor de ar do concreto e, também, das variações da relação água/cimento efetiva e da fissuração devido à exsudação. Também é importante o teor de cimento do concreto e as propriedades da interface agregado – pasta de cimento. É mais fácil relacionar a resistência com a concentração de produtos sólidos da hidratação do cimento no espaço disponível.

- Idade

MEHTA & MONTEIRO (1994), lembra que a relação tempo-resistência em tecnologia do concreto, geralmente supõem condições de cura úmida e temperatura normal. Para uma dada relação água/cimento, quanto maior o período de cura úmida, maior a

resistência, admitindo, que a hidratação das partículas de cimento continua ocorrendo. Em peças de concreto esbeltas, se a água for perdida por evaporação pelos capilares, a resistência não aumentará com o tempo.

Segundo NEVILLE (1997), na prática, a resistência do concreto é tradicionalmente caracterizada pelo valor aos 28 dias. Não existe um significado científico para a escolha de idade de 28 dias. Seria necessário se referir à resistência de um concreto no qual já se tivesse processado uma hidratação significativa do cimento.

A resistência de um concreto progride com a idade. Isto é devido à hidratação do cimento, que se processa ao longo do tempo.

- Forma e graduação dos agregados

Os concretos confeccionados com seixos (natural) tendem a ser menos resistentes do que aqueles confeccionados com pedra britada (artificial). Isto pode ser justificado pela pouca aderência pasta/agregado. Entretanto, esse efeito só é significativo para concretos de elevada resistência.

A granulometria do agregado graúdo também tem uma influência sobre a resistência do concreto. Concreto executado com britas de menor diâmetro tende a gerar concretos mais resistentes, mantendo a relação água/cimento.

- Tipo de cimento

A composição química do cimento influencia na evolução de resistência dos concretos. A adição de escórias e pozolanas, bem como a finura também têm uma grande influência na resistência, quanto mais fino, maiores são as resistências iniciais do cimento.

b. Permeabilidade e absorção

Permeabilidade é a possibilidade que tem um material de se deixar atravessar por um fluido (líquido ou gás) como consequência de uma diferença de pressão, entre as duas faces.

A permeabilidade de uma amostra de material calcula-se medindo a quantidade de água que filtrou durante um certo tempo, sob pressão constante. Ela varia de acordo com:

- Geometria dos vazios: maior a dimensão dos poros e canais, maior será a permeabilidade;
- Viscosidade do líquido: que muda com a temperatura;
- Diferença de pressão: quanto maior, maior é a permeabilidade;
- Espessura do material;
- Tempo: (preenchimento dos poros pela hidratação do cimento); e
- Presença de ar.

c. Porosidade

É a relação entre o volume ocupado pelos vazios e poros com o volume total. A porosidade pode ser:

- fechada: os poros não comunicam entre si e não pode ter circulação de água no material
- aberta: os vazios são interligados por canais e com o meio externo, em períodos secos, os vazios são preenchidos por ar, em períodos úmidos a água pode substituir o ar sob certas condições, até atingir um estado de equilíbrio.

A compacidade e porosidade são complementares, tendo um papel importante no estudo de materiais, com influência sobre o peso, a resistência mecânica, a absorção de água, a permeabilidade à água, e o isolamento térmico e acústico.

d. Durabilidade

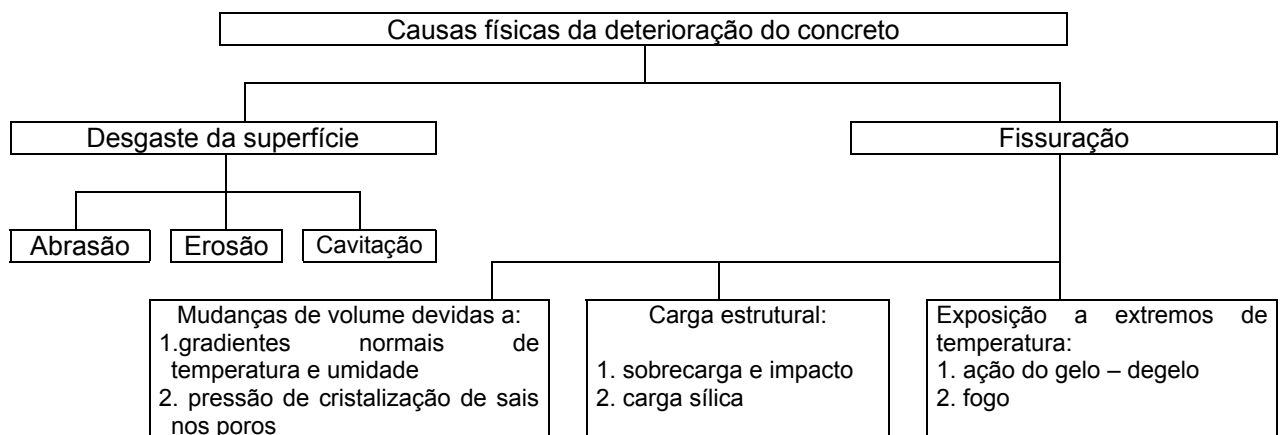
NEVILLE (1997), comenta ser essencial que as estruturas de concreto consigam desempenhar as funções que lhe foram atribuídas, que mantenha a resistência e a utilidade que foram projetadas, durante um período de vida previsto. O concreto deve suportar o processo de deterioração, ao qual venha a ser submetido. Nessas condições, o concreto é considerado durável.

A durabilidade do concreto não significa vida indefinida, nem significa suportar qualquer tipo de ação.

MEHTA & MONTEIRO (1994) salienta que, “Uma longa vida útil é considerada sinônimo de durabilidade.” De acordo com o comitê 201 do ACI, a durabilidade do concreto de cimento Portland é definida com a sua capacidade de resistir à ação das intempéries, ataques químicos, abrasão ou qualquer outro processo de deterioração. O concreto durável conservará sua forma original, qualidade e capacidade de utilização, quando exposto ao meio ambiente.

e. Causas da deterioração do concreto

A durabilidade inadequada se manifesta por uma deterioração que pode ser originada por fatores externos ou causas internas no interior do próprio concreto. As diferentes formas de ação podem ser físicas, químicas ou mecânicas. Na figura 2.3 estão relacionadas às causas físicas da deterioração do concreto e na Tabela 2.7 estão classificados os agentes agressivos mais comuns.



Fonte: livro Concreto: estrutura, propriedades e materiais – MEHTA & MONTEIRO (1994) Editora pini, PÁG. 128

FIGURA 2.3 – Causas físicas da deterioração do concreto

- Proteção química

HELENE (1980), comenta que em ambiente altamente alcalino, é formada uma capa ou película protetora de caráter passivo. A alcalinidade do concreto é devida as reações de hidratação dos silicatos de cálcio (C_3S e C_2S), que liberam certa porcentagem de $Ca(OH)_2$, pode atingir cerca de 25% da massa total de compostos hidratados presentes na pasta. Essa base forte ($Ca(OH)_2$) dissolve em água e preenche os poros e capilares do concreto, conferindo-lhe um caráter alcalino. O hidróxido de cálcio tem um pH da ordem de 12,6 (à temperatura ambiente), que proporciona uma passivação do aço.

A deterioração mecânica pode ser devido a choques, abrasão, erosão ou cavitação. Comentada anteriormente, as causas químicas de deterioração podem incluir as reações álcalis-sílica e álcali-carbonato. O ataque químico externo ocorre principalmente, pela ação de íons agressivos. Como: cloretos, sulfatos ou dióxido de carbono e muitos líquidos e gases naturais e industriais, conforme tabela 2.7.

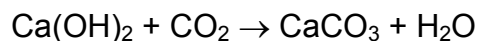
TABELA 2.7 – Classificação dos agentes agressivos

Agentes	Concreto	Armadura
Mecânicos	Abrasão, choques, vibração, fadiga.	-
Físicos	Temperatura	-
Físico-químicos	-	Corrosão eletroquímica Corrosão sob tensão
Ecológicos	Águas puras, águas carbônicas, águas Sulfatadas, água	
Químicos	do mar, agente agressivo.	Oxidação
Intrínsecos	Reação álcali-agregado	-
Biológicos	Bactérias	-

Fonte: matérias de construção civil – BAUER (1979), editora S.A, pág. 218.

- carbonatação

Nas superfícies expostas com estruturas de concreto, a alta alcalinidade obtida, principalmente à custa da presença do hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), liberado das reações de hidratação do cimento, pode ser reduzida com o tempo. Essa reação ocorre, essencialmente, pela ação do CO_2 presente na atmosfera e outros gases ácidos, tais como SO_2 e H_2S . Esse processo ocorre lentamente, segundo a reação principal.



O pH de precipitação do CaCO_3 é cerca de 9,4 (à temperatura ambiente), o que altera, substancialmente, as condições de estabilidade química da capa ou película passivadora do aço. Portanto, um fenômeno ligado à permeabilidade dos gases, deve ser estudado quanto à composição ideal do concreto, de modo a reduzir o risco e a velocidade de carbonatação.

Quando os poros estão secos (baixa umidade relativa) a difusão do CO_2 é processada até as regiões mais internas, sem dificuldades, e a reação de carbonatação não ocorre por ausência de água.

À velocidade de carbonatação é lenta quando os poros estão cheios d'água, devido à baixa velocidade de difusão do CO_2 , na água. No entanto, se os poros estão parcialmente preenchidos com água (alta umidade relativa, sem haver saturação), existirá avanço da frente de carbonatação até certa profundidade, porque os poros

estão em condições favoráveis. Tal situação é efetivamente prejudicial, podendo haver elevadas velocidades de corrosão, pela destruição da passivação do aço da armadura.

SILVA (1995), comenta que a velocidade do processo de carbonatação é função da difusão de CO_2 no concreto, umidade relativa do ar (U.R), tempo, relação água/cimento, tipo de cimento, permeabilidade do concreto e cura.

Segundo NEVILLE (1997), a velocidade máxima da carbonatação ocorre a umidades relativas entre 50% e 70%.

A carbonatação pode ser cerca de 10 vezes mais intensa em ambientes climatizados (U.R. $\leq 65\%$ e temperatura de 23°C) do que em ambientes úmidos, devido à diminuição da permeabilidade do CO_2 , no concreto por efeito da presença da água.

- Influência da relação água/cimento

A carbonatação superficial dos concretos é variável de acordo com a natureza de seus componentes, com o meio ambiente (rural, industrial ou urbano) e com as técnicas construtivas de transporte, lançamento, adensamento, cura etc.

As profundidades de carbonatação aumentam, inicialmente, com grande rapidez, prosseguindo mais lentamente e tendendo para o infinito uma profundidade máxima. Essa tendência ao estacionamento do fenômeno pode ser explicada pela hidratação crescente do cimento que aumenta, gradativamente, a compacidade do concreto.

HELENE (1986), comenta que a função do cobrimento do concreto é de proteger a capa ou película protetora da armadura contra danos mecânicos e, ao mesmo tempo, manter sua estabilidade.

De acordo com GREGER (1969), a profundidade da carbonatação de concretos com relação água/cimento de 0,80, 0,60 e 0,45, em média, está na relação 4:2:1, independentemente da natureza da atmosfera a que sejam expostos.

2.4 AGREGADO MIÚDO ARTIFICIAL

Anualmente no mundo, são utilizados mais de 5 bilhões de toneladas de agregado, em função das 800 milhões de toneladas de cimento consumidas, BUCHER (1986),. O

consumo de cimento *per capita* é variável, sendo que nas regiões onde ocorre uma conjunção de fatores, aliando-se "... uma alta densidade populacional junto com um grande consumo de cimento por habitante, o problema se agrava de maneira muito mais rápida: em determinadas regiões da Alemanha, Inglaterra e Japão, literalmente não se dispõem mais de agregados e, é necessário importá-los, por via marítima, de outros países ou de lugares bastante distante".

No Brasil, constata-se a ocorrência de manifestações na área metropolitana de São Paulo, que vem se constituindo numa região-problema, no que diz respeito ao agregado miúdo.

Os agregados, areia e brita, representam o setor mineral onde atualmente se concentra uma das maiores explorações voluntárias do País, atingindo a produção bruta anual de, aproximadamente, 200 milhões de toneladas. O consumo *per capita* nacional é de cerca de 1,4 toneladas, enquanto em São Paulo o consumo gira em torno de 4 toneladas.

SBRIGHI (1975), salienta que a areia natural foi largamente utilizada com sucesso, como agregados miúdos para concreto.

Além da natureza petrográfica do agregado, são importante as duas características externas, particularmente, a forma e a textura superficial das partículas. Os agregados contendo partículas lamelares são prejudiciais, pois dificultam o adensamento do concreto.

Muitos fatores têm contribuído para a escassez e, conseqüentemente, encarecimento de agregados miúdos, para concreto, em regiões próximas às grandes metrópoles.

Observamos grandes estoques de areia artificial de brita que poderiam suprir parte do mercado consumidor de agregados para concretos. Isto, no entanto, não acontece por falta de pesquisas, levando a uma mistificação injustificada da areia artificial de brita.

No trabalho de doutorado realizado na Escola Politécnica, apresentou resultados com areias britadas de três tipos: granítica, calcária e de mármore. O cimento usado foi do tipo Portland. Foram estudados três conjuntos: o primeiro de areia britada granítica e finos graníticos ou areia calcária e finos calcário; o segundo conjunto surge de ensaio

com areia britada de mármore e finos de mármore, e, o terceiro composto de misturas entre areias graníticas, calcárias e de mármore. As relações água/cimento utilizadas foram entre 0,6 e 0,8; a porcentagem de finos presentes 0% a 15%, em peso e a dosagem de cimento de 209 a 345 kg/m³.

A natureza petrográfica da areia britada parece ter influência na resistência à compressão, observando-se que o mármore originou as menores resistências quando em iguais condições.

Segundo ANDRIOLO (1984), em um volume de concreto convencional os agregados constituídos por areia, cascalhos, pedra britada ocupa cerca de 75%. É inevitável que um material que ocupe uma porcentagem elevada na massa do concreto deva contribuir nas propriedades do concreto fresco e endurecido. É importante que esse material seja estudado, caracterizado e controlado, a fim de que se possa correlacionar as suas características, como as do concreto.

GASTALDINI (1986), em um trabalho de pesquisa realizado na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, verificou que a melhor distribuição granulométrica para dosagem de concreto da mistura de agregado miúdo e areia britada foi conseguida com proporções de 50% de cada material.

De acordo com BUCHER (1986), o fato de um agregado ter sido já utilizado previamente em concreto com desempenho resistente satisfatório, lhe confere uma espécie de atestado de idoneidade continuada.

EL-KOURD, *et al* (1989), realizou um trabalho em Ciyadh, na Arábia Saudita, onde os agregados miúdos, tanto a areia artificial britada quanto o natural, são resultante de rochas calcárias. O material pulverulento presente nos agregados miúdos usado, era na forma de silte, argila ou calcário em pó. Essa quantidade pode influenciar nas propriedades do concreto em estado fresco e endurecido. Por causa da grande superfície específica, além da camada de argila existente na superfície do agregado, vai interferir na argamassa entre a pasta do cimento e os agregados, prejudicando diretamente na resistência e durabilidade do concreto.

A areia artificial britada usada foi lavada na peneira 200 mm e seca em estufa, para retirada de parte do material pulverulento.

O agregado graúdo utilizado, foi à brita calcária, lavada e seca em estufa.

Observaram que no concreto fresco, quanto maior o teor de substituição, maior a quantidade de água necessária para a mistura.

A quantidade de ar contidos no concreto da areia de brita foi maior que no concreto de areia natural, no mesmo abatimento, quando atingiu valores de 10% e 15% de substituição.

A resistência à compressão dos concretos com slump constante apresentou uma queda linear de abatimento com o aumento de porcentagem de substituição de areia muito fina.

Até 15% de substituição, a resistência do concreto com areia natural, foi de 10% menor que da mistura de areia de brita.

Para os concretos com relação de água/cimento constante = 0,70 a perda de abatimento decresceu linearmente com o aumento da porcentagem de finos. O abatimento medido imediato e após a mistura foi o mesmo para os dois concretos. O concreto com areia natural indicou, valores baixos de abatimento quando medidos após 5 minutos de mistura.

Chegaram a conclusão de que o valor de substituição em volume de areia artificial britada para concretos deverá estar entre 5% a 10%, isso não afetando as propriedades do concreto tanto com areia artificial quanto a natural.

SALLES, *et al* (1997), no Complexo Canoas, composto pelas Usinas Hidroelétricas de Canoas I e II, situado no rio Paranapanema foi utilizado areia artificial proveniente da britagem do material rochoso de escavação das fundações e das pedreiras exploradas no canteiro de obra. A região não possui areia natural. A areia artificial é produzida por equipamentos denominados comercialmente de "Barmac" se dá pelo impacto das rocha, o material resultante se apresenta de forma esférica.

O fato de existir um elevado teor de finos no agregado miúdo, na faixa de 12,5% a 18,5% as misturas exigem maior consumo de cimento, devido a quantidade de água necessária para garantir um a trabalhabilidade exigida para o lançamento. A areia artificial é uma solução possível e pode ser extremamente competitiva, ou mesmo obrigatória, quando considerada a inexistência de areia natural e a disponibilidade

desse material na região em questão, ou mesmo a logística de abastecimento do canteiro de obras.

Segundo TAKASHIMA *et al* (1998), um cuidado deve ser tomado referente a areia artificial britada é de manter a proporção de material pulverulento constante, pois se houver uma variação, afetará a granulometria da dosagem, acarretando perda de abatimento e variação na relação água/cimento.

Realizaram um estudo de dosagens de concreto, com emprego de vários tipos de agregados miúdos, levando-se em consideração as propriedades do concreto fresco, resistência mecânica e durabilidade, com relação ao concreto preparado com areia natural de leito de rio.

Os materiais utilizados foram:

Cimento: Barroso CP II E 32

Agregado miúdo: areia natural de leito de rio
areia fina de origem quartzo
areia artificial graduada de origem granítica
Pedrisco misto de origem calcária

Agregado graúdo: pedra britada de origem granítica

Aditivo: plastificante RX 322 N da REAX

Com estes materiais foram preparados três dosagens:

Dosagem A = 100% de areia natural do leito do rio e brita1 de origem granítica – chamado de traço **nominal**;

Dosagem B = 55% de pedrisco misto de bica corrida + 45% de areia silicosa e brita 1 – chamado traço **Misto**;

Dosagem C = 60% de areia artificial britada + 40% de areia silicosa e brita 1 – chamado traço **artificial**.

Os resultados obtidos foram:

A dosagem com pedrisco misto apresentam, melhor resultado com relação as demais

- Resistência à compressão aos 28 dias de idade

Para a mesma relação água/cimento, o pedrisco misto e a areia artificial apresentaram média de 10 MPa acima do que as dosagens com areia natural. Para o mesmo consumo de cimento, as misturas com pedrisco apresentaram média de 5 MPa acima dos com areia artificial e média, de 14 MPa, acima dos com areia natural.

- Resistência a tração na flexão aos 28 dias de idade

Mantendo a relação água/cimento a dosagem de pedrisco misto apresentou média de 0,1 a 0,3 MPa, acima dos com pedrisco areia artificial, e, 0,5 MPa, acima dos pedrisco com areia natural. Para o mesmo consumo de cimento, as misturas com pedrisco apresentaram média de 0,8 MPa, acima dos com areia artificial.

- Módulo de deformação as 28 dias de idade

Para o mesmo relação água/cimento pedrisco misto apresenta, média de 0.1 a 0,3 MPa acima dos com areia artificial e 0,5 MPa acima dos com areia natural. Para o mesmo consumo de cimento as dosagens com pedrisco misto apresentam média de 0,8 MPa acima dos com areai artificial.

As misturas com consumo de cimento superior a 300 kg/m^3 com pedrisco misto e areia artificial, apresentaram resultados superiores das com a areia natural.

Em geral, as dosagens de concretos preparadas com consumos superiores a 300 kg/m^3 , a perda da abatimento foi menos significativa, pois o “gel” formado com a hidratação do cimento torna o concreto menos áspero.

- Comentários

Deve-se tomar cuidado quanto ao teor de **material pulverulento**, deve ser mantido constante, pois se houver variação afetar a granulometria da dosagem, acarretando perda de abatimento e variação na relação água/cimento.

Neste trabalho chegaram a conclusão de que o concreto de boa durabilidade deve ter consumo de cimento mínimo de 300 kg/m^3 e a relação água/cimento não superior a 0,60.

Usar areia artificial em substituição da areia natural levou concretos com maior resistência a compressão com 28 dias de idade em relação a água/cimento.

Dados levantados por VALVERDE (1999), indicam um consumo de agregados *per capita* nos EUA, de 8,2 toneladas, na Europa de 7 toneladas e no Canadá, cerca de 15 toneladas.

Conforme SOARES & MENDES (1999), algumas utilizações vêm sendo testadas, visando o emprego dos finos de pedreira, podendo ser citado o seu emprego no segmento da pavimentação rodoviária , na fabricação de blocos para utilização em

construção civil, pavimentação com rolo compactado e ainda em uso de concretos convencionais.

Contudo, são poucos os estudos na nossa região direcionados às possibilidades de uso sobre as rochas basálticas, o que torna bastante interessante, visto a possibilidade da redução de custos de transporte, e de uma efetiva diminuição da estocagem desse material.

ZANCHETTA e SOARES (1999), comentam que a região metropolitana de São Paulo, foi a maior consumidora de areias para construção civil do país consumiu cerca de 25 milhões de m³ no ano de 1996. Isto representa algo próximo de 40 milhões de toneladas, no ano.

SODRÉ (2000), realizou misturas teóricas com diversos percentuais para cada um dos agregados, a partir da determinação da distribuição granulométrica de cada material isoladamente, então determinar a composição mais adequada, onde os percentuais de cada material presente na mistura possam ser ajustados até o ponto mais próximo da faixa desejada.

- a). Composição I: 70% de areia natural e 30% de areia britada basáltica;
- b). Composição II: 60% de areia natural e 40% de areia britada basáltica;
- c). Composição III: 50% de areia natural e 50% de areia britada basáltica;
- d). Composição IV: 40% de areia natural e 60% de areia britada basáltica; e
- e). Composição V: 30% de areia natural e 70% de areia britada basáltica.

A composição V, foi a que melhor apresentou distribuição granulométrica dentre às cinco variações, quando comparadas com a zona 3 da NBR 7211/93.

A substituição de parte das areias naturais pela areia de brita, como um agregado composto, reduziria a demanda pelas areias naturais, conseqüentemente, a área de exploração.

Para a areia de brita e o agregado composto ensaiado (composição V: 30% de areia natural e 70% de areia de brita), o coeficiente de inchamento apresentou-se aumentando gradativamente, de modo mais regular, conforme aumento de umidade. Apresentando umidade críticas mais altas: 3,4% e 3,2%, respectivamente. O agregado tendo o menor custo que o cimento, é importante aumentar a sua quantidade na massa de concreto. Mas a economia não é a única razão para incrementar a sua utilização,

pois o agregado oferece consideráveis vantagens técnicas ao concreto, tais como ter maior estabilidade dimensional e melhor durabilidade do que a pasta de cimento pura. A substituição de parte das areias naturais pela areia de brita, como um agregado composto, reduziria a demanda pelas areias naturais e, conseqüentemente, a área de exploração, diminuindo assim o impacto ambiental.

TERRA (2001), a utilização de finos de britagem no concreto estrutural, face do crescimento do consumo de areia natural no país, às restrições ambientais, à exaustão de reservas próximas aos grandes centros e ao incremento dos custos de transporte, descreve a evolução histórica de utilização de materiais finos oriundos de plantas de britagem como insumos alternativo à areia natural. A areia britada resultante apresenta conteúdo de material pulverulento significativamente. A razão principal de não podermos utilizar 100% da areia britada em concretos é devido a forma angulosa, dificultando a trabalhabilidade do concreto.

COELHO (2001), explica que a produção da areia artificial britada é aproximadamente 15% do volume do material produzido na empresa de Campo Grande-MS (Pedreira Financial), nesta empresa que utilizam o sistema chamado de produção por via úmida, onde é injetado na peneira classificadora final água sob pressão, proporcionando a lavagem das areia artificial britada apresentado na figura 2.4.



FIGURA 2.4 - Injeção de água no sistema em via úmida na peneira

Para separar a mistura de água e pó-de-pedra, usa-se um lavador de roscas helicoidal conforme figura 2.5, vindo então a produzir a areia artificial britada que sai em um transportador de correia, onde é estocado. A polpa (nome dado a massa úmida do *filler*) é enviada para os tanques de decantação de modo a separar o sólido do líquido, e pela movimentação do material pela rosca, sendo os finos separados por transbordamento.



FIGURA 2.5 – Lavador de roscas helicoidais LD-24

CAPÍTULO III

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia empregada na realização deste trabalho foi experimental e comparativa, com o objetivo de desenvolver traços para produção de concretos convencionais com o uso de areia artificial basáltica, em substituição parcial à areia muito fina encontrada na Região de Campo Grande.

Foram realizadas três fases metodológicas, abaixo descritas:

- **Fase preparatória:** recebimento do material, preparo, estocagem;
- **Fase inicial:** caracterização dos materiais, preparo dos equipamentos a serem utilizados;
- **Fase final:** constituída na maioria do ensaio de dosagem, de resistência à compressão axial e diametral, absorção de água por imersão, e por capilaridade e medida da profundidade de carbonatação.

As explanações detalhadas destas três fases foram realizadas considerando as seguintes etapas:

- a. recebimento dos materiais e estocagem;
- b. determinação da composição granulométrica dos agregados;
- c. determinação do índice de forma do agregado graúdo;
- d. determinação da massa específica dos agregados miúdos;
- e. determinação da massa específica do agregado graúdo;
- f. determinação da massa unitária dos materiais;
- g. determinação do inchamento dos agregados miúdo;
- h. determinação do material pulverulentos dos agregados;
- i. determinação das impurezas orgânicas dos agregados miúdos;
- j. mistura de concreto;
- k. medida de abatimento do tronco cone;

- l. medida do ar incorporado no concreto;
- m. confecção dos corpos-de-prova de concreto;
- n. ensaio de resistência à compressão axial;
- o. ensaio de resistência à tração por compressão diametral;
- p. determinação da absorção de água por imersão;
- q. determinação por a absorção de água por capilaridade; e
- r. determinação da profundidade de carbonatação.

3.1 AMOSTRAGEM

A amostragem foi realizada de acordo com a norma NBR 7216 (1987) – amostragem de agregado.

3.1.1 Cimento

O cimento escolhido foi o CP II F – 32 marca Itaú, Empresa Companhia de Cimento Portland Itaú - unidade Corumbá- MS. A Empresa enviou dez sacos de cimento de 50 kg cada, quantidade prevista para os ensaios, sendo todos os sacos do mesmo lote do dia 9 março de 2001. Foram estocados em um tabuleiro de madeira acondicionados em sacos plásticos e com a boca fechada, para evitar o contato com o ar.

3.1.2 Areia Natural

A areia natural utilizada é quartzosa, da região de Campo Grande, fornecida pela Empresa Pedreira Financial, recebida no Laboratório a quantidade de 1 caminhão caçamba com 6 m³ de areia úmida. A areia foi depositada na proximidade do Laboratório, diretamente no chão, conforme figura 3.1.



FIGURA 3.1 – Depósito e peneiramento da areia antes da secagem

A areia natural foi peneirada antes da lavagem para retirada de pedaços de pau, folhas, gravetos, etc, sendo encaminhada para a estufa e seca à temperatura de 100°C, durante 24 horas.

O material seco e resfriado, foi peneirado para a eliminação dos grânulos formados. Após este procedimento foi estocado dentro de caixas de madeira cobertas, para evitar contaminações, no interior do Laboratório conforme, figura 3.2.



FIGURA 3.2 – Peneiramento e armazenamento da areia na caixa

Para formação de amostras para os ensaios, o material foi misturado através de um quarteamento, de acordo com a norma NBR 7216/87, representada na figura 3.3.



FIGURA 3.3 – Quarteamento da areia

3.1.3 Areia Artificial

A areia artificial é proveniente de rocha basáltica, e passa por um processo de produção por via úmida, apresentado nas figuras 2.4 e 2.5 do item 2.5 do capítulo II. A areia artificial basáltica sai em um transportador de correia, onde é estocado, conforme figura 3.4.



FIGURA 3.4 - Estocagem da areia artificial no pátio da pedreira

Foi recebido no laboratório, um caminhão caçamba com 6 m³ de areia artificial britada (úmida), depositada na proximidade do laboratório, diretamente no chão.

O material recebido foi transportado para a estufa, e seco à temperatura aproximadamente de 100°C, durante 24 horas. Após a secagem e resfriamento, o material foi acondicionado em uma lona fechada, guardado dentro do laboratório, permanecendo até o seu uso, conforme figura 3.5.



FIGURA 3.5 – Estocagem da areia artificial basáltica no laboratório

Com as amostras de areia natural e artificial basáltica estocada foram produzidas misturas em proporções apresentada na tabela 3.1.

TABELA 3.1 - Misturas de areia artificial basáltica e natural em massa

Mistura	Areia artificial	Areia natural
1	-	100%
2	15%	85%
3	30%	70%
4	50%	50%
5	70%	30%

Para formação de amostras para os ensaios o material foi misturado através de um quarteamento, de acordo com a norma NBR 7216 (1987). As misturas foram acondicionadas separadamente, em sacos plásticos, para evitar contaminações.

3.1.4 Agregado Graúdo

O agregado graúdo usado foi a brita 1, proveniente da rocha basáltica da região de Campo Grande – MS, fornecida pela Pedreira Financial. Recebida no laboratório a quantidade de um caminhão caçamba com 6 m³. A brita foi depositada na proximidade do laboratório diretamente no chão.

Na figura 3.6 mostra o agregado graúdo sendo peneirado antes da lavagem para retirada de excesso de pó, gravetos, folhas.

**FIGURA 3.6** – Peneiramento da brita 1

Após o peneiramento, a brita 1 foi lavada em tacho, com água em abundância e depositado sob um piso de concreto isento de pó, para escorrer a água conforme figura 3.7.



FIGURA 3.7 – Lavagem e escoamento do excesso de água da brita 1

Com a retirada do excesso de água, a amostra foi levada para a estufa e seco por 24 horas à temperatura de 100°C. Após a secagem e resfriamento, foi acondicionada em caixas de madeira coberta, para evitar contaminações, no interior do laboratório. O material permaneceu nesta caixa até a realização dos ensaios de caracterização e dosagem.

Foi necessária a lavagem do agregado graúdo para eliminar o máximo possível de material pulverulento existente, diminuindo assim, a soma das porcentagens do material pulverulento nas misturas.

3.1.5 Água

A água utilizada foi diretamente das torneiras, do poço artesiano que abastece a Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

3.1.6 Aditivo

O aditivo utilizado foi Mastermix 390 N, tipo P, fornecido pela empresa Máster Builders Technologies.

O aditivo utilizado apresenta em forma de um líquido castanho escuro, densidade de 1,18 g/cm³ e pH 8 ±1" (de acordo o manual do produto).

As dosagens recomendadas pelo fabricante estão limitadas a 0,20 a 0,80 litro por 100 kg de cimento. Sua adição ao concreto deve ser feita juntamente com a água de amassamento.

Para este trabalho foi adotado o valor de 0,5 litro de aditivo por 100kg de cimento, sendo esse valor a média de dosagens recomendada no manual do fabricante.

3.2 DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

Foi realizado em laboratório a granulometria dos agregados, areia natural, areia artificial basáltica, brita 1 e das misturas areia natural com areia artificial basáltica.

3.2.1. Execução do ensaio

A determinação da composição granulométrica foi realizada de acordo com a NBR 7217 (1987).

Foram formadas duas amostras de cada agregado para o ensaio, com massa de 500g cada (agregado miúdo) e com massa de 5.000g (agregado graúdo), obedecendo a quantidades mínimas para o ensaio de determinação das composições granulométricas de agregados.

3.3 ÍNDICE DE FORMA DO AGREGADO GRAÚDO

A determinação do índice de forma pelo método do paquímetro foi realizada conforme a NBR 7890 (1983) e a definição que já foram apresentadas no Capítulo II.

3.3.1. Execução do Ensaio

Foi realizado de acordo com NBR 7216 (1987).

3.4 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO AGREGADO MIÚDO

As definições de massas específicas foram discutidas no capítulo II.

Para a determinação da massa específica dos agregados miúdos foi utilizado o método de ensaio: agregados – determinação da massa específica de agregados miúdos por

meio do frasco de *Chapman* norma NBR 9776 (1987). Os materiais utilizados estão representados na figura 3.8.



FIGURA 3.8 – balança, proveta, funil e frasco de *Chapman*

3.5 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO AGREGADO GRAÚDO

O método de ensaio utilizado para a realização foi: agregados - determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo NBR 9937 (1987). As definições foram apresentadas no capítulo II.

3.6 DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA

As definições de massa unitária encontram-se no capítulo II.

O método utilizado para a realização deste ensaio foi a NBR 7251 (1982) – Agregados em estado solto - Determinação da Massa Unitária.

3.7 DETERMINAÇÃO DO INCHAMENTO DOS AGREGADOS MIÚDO

O método utilizado para determinação do inchamento foi da norma NBR 6467(1987), o qual prescreve a determinação do inchamento de agregados miúdos. As definições encontram-se no capítulo II.

3.8 DETERMINAÇÃO DO MATERIAL PULVERULENTO DOS AGREGADOS

As definições já foram comentadas no capítulo II.

O método utilizado foi da norma NBR 7219 (1987) – determinação do teor de materiais pulverulentos.

3.9 DETERMINAÇÃO DAS IMPUREZAS ORGÂNICAS

As definições e limites foram discutidos no Capítulo II.

O método utilizado para esse ensaio foi o da norma NBR 7220 (1987) – Agregados – determinação de impurezas orgânicas húmicas em agregado miúdo.

Para avaliar o resultado desse ensaio, foi utilizado um colorímetro, em que anotamos a cor mais escura, ou menos escura, com a cor padrão apresentado na figura 3.9.



FIGURA 3.9 – Materiais para o ensaio de impurezas orgânicas

3.10 MISTURA DE CONCRETO

O método de dosagem utilizado para a mistura de concreto, foi o ACI 211– Institute Standard Practice.

3.10.1 MÉTODO DE DOSAGEM

NEVILLE (1997), comenta que na dosagem estudam as propriedades do concreto basicamente com o objetivo de determinar as proporções adequadas dos ingredientes de uma mistura.

A seleção dos materiais componentes dos concretos é o primeiro passo na busca da obtenção de concretos, com certas e desejadas características de desempenho, Considerando que a proporção de materiais componentes, tem grande influência no custo e nas propriedades do concreto.

O *American Concrete Institute Standard Practice ACI 211* descreve um método de dosagem de concreto com cimento *Portland*, com ou sem adições e aditivos. Deve ser lembrado que esse método resulta uma primeira aproximação de proporções a serem usadas em misturas experimentais. O método consiste em uma seqüência de passos lógicos e diretos, que levam em conta as características dos materiais que serão usados na seqüência escrita a seguir:

Passo 1: fixação do abatimento

No momento da dosagem, o abatimento deve ter sido determinado pelas exigências da construção. Deve se observar que o abatimento deve ser especificado, não somente por um valor mínimo, mas também por um limite máximo.

Passo 2: fixação do tamanho máximo do agregado

O valor do tamanho máximo do agregado deve ser decidido pelo projetista estrutural, considerando as características geométricas das partes da estrutura e o espaçamento da armadura ou, alternativamente, por razões de disponibilidade.

Passo 3: estimativa dos teores de água e de ar

O teor de água necessário para obter um determinado abatimento, depende de diversos fatores: o tamanho máximo; a forma; a textura e a granulometria do agregado. Outro fator é o uso de aditivos como propriedades plastificantes ou de redução de água

e a temperatura do concreto. Devem ser usadas tabelas, inter-relacionadas para essas propriedades, conforme tabela 3.2, a menos que se disponha de experiência anterior.

TABELA 3.2 – Teores de água e de ar em função do abatimento e do tamanho máximo do agregado

Abatimento	Água, l/m ³ de concreto para tamanho máximo indicado de agregado.							
	9,5	12,5	19	25	37,5	50	75	150
Sem ar incorporado								
25 – 5	207	199	190	179	166	154	130	113
75 –100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 –175	243	228	216	202	190	178	160	-
Ar aprisionado(%)	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Com ar incorporado								
25 – 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 – 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150- 175	216	205	197	184	174	166	254	-
Para melhoria de em %								
Trabalhabilidade	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0
Exposição moderada	6,0	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,5	3,0
Exposição severa	7,5	7,0	6,0	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0

Nota: fonte NEVILLE (1997), editora Pini, pág.732

Os valores da tabela 3.2 são típicos para agregados angulosos, bem conformados com o que se pode considerar uma “boa” granulometria.

Deve ser lembrado que a parte líquida dos aditivos constitui parte de água de amassamento.

Passo 4: fixação da relação água/cimento

Existem dois critérios para a fixação da relação água/cimento: resistência e durabilidade.

O cimento se refere à massa total de material cimentício; a sua escolha deve ser feita observando vários fatores, tais como desprendimento de calor; velocidade de aumento de resistência e resistência a diversos tipos de ataque, de modo que se determina o tipo de cimento composto a ser usado no início do procedimento da dosagem. É para o cimento que vai ser usado que se deve estabelecer a dependência entre a relação água/cimento e a resistência, dentro de um certo intervalo de resistências.

Quanto à durabilidade, a relação água/cimento pode ser estabelecida pelo projetista estrutural ou por norma de projeto. É fundamental que a relação água/cimento escolhida seja menor dos dois valores obtidos a partir de considerações de resistência e de durabilidade.

Quando se usam materiais cimentício diferentes, deve ser lembrada a diferença de massas específicas.

Passo 5: cálculo do teor de cimento

A partir dos valores obtidos nos passos 3 e 4 obtém-se, diretamente, o teor de cimento que é igual ao resultado da divisão do teor de água pela relação água/cimento. No entanto, se, devido à questão da durabilidade, houver um requisito de um valor limite de teor água/cimento, deve ser considerado o maior dos dois teores de cimento obtidos.

Passo 6: cálculo do teor de agregado graúdo

Neste ponto, admite que o valor ótimo da relação entre volume solto do agregado graúdo e o volume total do concreto, depende somente do tamanho máximo e da granulometria do agregado.

A forma das partículas do agregado graúdo não entra diretamente nessa relação, porque um agregado britado, em um volume solto maior, para uma igual massa (isto é, maior massa unitária) do que um agregado bem arredondado.

Assim, o fator de forma é automaticamente levado em conta na determinação da massa unitária. A tabela 2.9 mostra o valor ótimo do volume de agregado graúdo quando usado com agregados miúdos, com diferentes módulos de finura. Esse volume é transformado em massa de agregado por metro cúbico de concreto, multiplicando o valor da tabela 3.3, pela massa unitária do agregado seco compactado, kg/m³.

TABELA 3.3 – Volume de agregado graúdo por unidade de volume de concreto

Tamanho mm	Volume de material a granel compactado por unidade de volume de concreto para módulos de finura do agregado miúdo indicados			
	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
20	0,66	0,54	0,62	0,60
25	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5	0,75	0,73	0,71	0,69
50	0,78	0,76	0,74	0,72
75	0,82	0,80	0,78	0,76
150	0,87	0,85	0,83	0,81

Nota: fonte NEVILLE (1997), editora Pini, pág 733

Passo 7: cálculo do teor de agregado miúdo

Neste ponto, a massa de agregado miúdo é a única quantidade desconhecida. O volume absoluto dessa massa pode ser obtido subtraindo o total do volumes absolutos

da água, do cimento, do ar incorporado e do agregado graúdo do volume do concreto, ou seja, 1 m^3 . Para cada material constituinte, o volume absoluto é igual a massa dividida pela massa específica do material (em kg/m^3).

Passo 8: Ajustagens das proporções da mistura

Como qualquer outro processo de dosagem, devem se fazer misturas experimentais. No ACI 211.1-91 se encontram sugestões, por meio de algumas regras práticas, para ajustagem da mistura. Em termos gerais, é importante lembrar que, se a trabalhabilidade deve ser modificada sem variação da resistência, não se deve alterar a relação água / (água+cimento+agregado).

3.10.2 Ferramentas

- a. Balança aferida com capacidade de 150 kg;
- b. Balde resistente para acondicionar a água e o aditivo;
- c. Betoneira de capacidade de 100 litros;
- d. Concha para concreto;
- e. Colher de pedreiro;
- f. Caixas de material resistente para pesagem do material;
- g. Proveta graduada para medir a água e o aditivo;
- h. Termo higrômetro para medir temperatura e umidade relativa do ar, aferido; e
- i. Cronômetro para medir o tempo de mistura.

3.10.3 Execução do Ensaio

Foram medidas a quantidades de todos os materiais a serem usados como: areia natural, areia artificial britada, brita n°1, água e aditivo. Os materiais secos foram pesados em caixas e os materiais líquidos medidos em provetas.

Pesados, os materiais secos foram introduzidos na betoneira. A boca da betoneira foi vedada com um saco plástico, sendo amarrada com um fio, para não sair o pó, conforme figura 3.10, foi misturada durante 1 minuto.



FIGURA 3.10 – Betoneira vedada com os materiais secos

Retiramos o saco plástico da boca da betoneira e acrescentamos a água com mistura de aditivo. Este material foi misturado durante 3 minutos.

Por várias vezes o equipamento foi desligado para verificar a consistência determinando a perda de abatimento e a necessidade de acrescentar mais água.

Após esta mistura, o concreto foi submetido a vários ensaios no estado fresco, os quais serão discutidos a seguir.

Foi utilizado o método da mistura seca na betoneira, devido à ineficiência do equipamento, e, após várias tentativas esta foi a melhor maneira de realizar a mistura com qualidade.

Foram realizados dois traços de concreto com valor unitário em massa de: **traço 1 = 1:2,034:3:022 e traço 2 = 1:3,220:4,220** sendo que para cada traço foram realizados misturas. A nomenclatura está apresentada na tabela 3.4.

TABELA 3.4 – Misturas, componentes e abreviações

Misturas N°	Componentes	Abreviações
1	Areia natural + brita 1	AN+B
2	Areia natural + brita 1 + aditivo	AN+B+AD
3	85% de areia natural + brita 1 + 15% de areia artificial + aditivo	85%AN+B+15%AA+AD
4	70% de areia natural + brita 1 + 30% de areia artificial + aditivo	70%AN+B+30%AA+AD
5	50% de areia natural + brita 1 + 50% de areia artificial + aditivo	50%AN+B+50%AA+AD
6	30% de areia natural + brita 1 + 70% de areia artificial aditivo	30%AN+B+70%AA+AD

3.11 MEDIDA DE ABATIMENTO DO TRONCO CONE

Para este ensaio foi utilizado o método de ensaio: concreto – determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone da norma NBR 7223/82.

Durante o estudo de dosagem, adotamos o ensaio de abatimento imediatamente após a mistura e outro após 15 minutos de mistura. Isto para verificar a variação do abatimento com o tempo. Para o abatimento imediato, adotamos o valor de 100 mm.

Na figura 3.11 está representada a medida da consistência do concreto.



FIGURA 3.11 – Medida de abatimento do tronco de cone

3.12 MEDIDA DO AR INCORPORADO NO CONCRETO

O ar incorporado do concreto fresco, com aproximadamente 20 minutos após a mistura do concreto.

Para este ensaio foi seguida a orientação do manual.

3.12.1 Ferramentas

- a. Medidor de ar incorporado com capacidade de 7 litros;
- b. Régua metálica de 300mm de comprimento;
- c. Concha para concreto; bisnaga para injeção de água;
- d. Vibrador de agulha;

- e. Pano para limpeza;
- f. Seringa;
- g. Termo higrômetro.

3.12.2 Execução do Ensaio

O recipiente da base foi preenchido com duas camadas de concreto fresco de alturas iguais.

Cada camada recebeu uma vibração, até que a superfície do concreto brilhar.

Na última camada, o excesso de concreto foi rasado com uma régua, com movimentos de vai e vem.

Após o rasamento, foi realizada uma limpeza na borda do medidor, com um pano. Fixou-se a tampa, mantendo as torneiras abertas.

Com a seringa, injetamos água através de uma das torneiras, até que o ar fosse todo expelido pela outra torneira.

Fechadas as duas torneiras, pressionamos a alavanca, para comunicar a pressão ao recipiente base. Foi lido o percentual de ar existente no concreto fresco, representado na figura 3.12.



FIGURA 3.12 – Vibração do concreto no equipamento de ar incorporado

3.13 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA DE CONCRETO

O método utilizado para o ensaio, foi o da norma NBR 5738/94 - moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto.

O molde adotado foi o de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura, pelos seguintes motivos: economia do material utilizado; betoneira utilizada não comportava maior quantidade de material; dificuldade de manusear (peso); facilidade no capeamento e facilidade de estocagem.

Na figura 3.13 está mostrando a moldagem dos corpos-de-prova sendo moldados.



FIGURA 3.13 – Moldagem dos corpos-de-prova de concreto

Até completar 24 horas os corpos-de-prova moldados permaneceram dentro do laboratório, conforme figura 3.14.



FIGURA 3.14 – Moldados e permanecendo para cura inicial

Para evitar a evaporação da água, os corpos-de-prova foram cobertos por uma lona plástica.

A exsudação (comentado no item 2.3.1 b) do concreto, provoca uma diminuição do tamanho do concreto. Portanto, foi realizada uma regularização dos corpos-de-prova, ainda dentro das formas, aproximadamente, após duas horas da moldagem.

Uma vez por dia no período da manhã foram moldados 16 corpos-de-prova de concreto, para cada traço. Sendo que para cada traço foram moldados 4 corpos-de-prova para resistência à compressão axial, sendo, 2, para cada idade.

No período da manhã do dia seguinte os corpos-de-prova quando completaram 24 horas da moldagem, foram desmoldados, numerados e realizado uma regularização (capeamento) na superfície do corpo-de-prova na parte superior e inferior sobre uma mesa de granito com sua superfície polida e com uma camada de óleo mineral.

O traço de argamassa usado, para a regularização, foi um traço rico em cimento com areia, na proporção de 1:1. A areia e o cimento utilizados para a regularização, foram os mesmos utilizados no traço de concreto.

Para essa regularização foi utilizado um nível, para que os corpos-de-prova estivessem no prumo, em relação à mesa.

Após essa regularização e secagem, foram guardados na câmara úmida no final da tarde, aproximadamente às 16 horas, conforme figura 3.15.



FIGURA 3.15 – Corpos-de-prova armazenados na câmara úmida

Os restantes dos 12 corpos-de-prova foram desmoldados, numerados e guardados na câmara úmida.

Na câmara úmida, os corpos-de-prova permaneceram com 100%, de umidade relativa

do ar, até a data da realização de cada ensaio

3.14 ENSAIOS DE COMPRESSÃO

f. Parâmetros que influenciam no ensaio de resistência à compressão:

- forma e dimensão dos corpos de prova

De acordo com a NBR 5738 (1994) o tamanho normalizado no Brasil e o número de camadas e golpes de socamento para os corpos-de-prova, estão relacionados na Tabela 3.5.

TABELA 3.5 – Tipos, adensamento e dimensões dos corpos-de-prova

Tipo de molde	Tipo de adensamento	Dimensão básica d (mm)	Número de camadas	Número de golpes por camadas	
Cilíndrico	Manual	100	2	15	
		150	4	30	
		250	5	75	
	Vibratório penetração da agulha até 200 (mm)	100	1	-	
		150	2		
Prismático	Manual	150	2		17 golpes a cada 10000mm ² de área
		250	3		
	Vibratório	150	1		-
		250	2		
		450	3		

Fonte: NBR 5738/94

De acordo com a norma NBR 5738 (1994) as dimensões dos corpos-de-prova cilíndricos escolhida, devem ser: 100mm, 150mm, 250mm ou 450mm, de forma a obedecer á seguinte relação: $d \geq 3D$, onde **d**= dimensão básica – diâmetro do corpo-de-prova cilíndrico e **D**= dimensão máxima característica do agregado. Os corpos-de-prova cilíndricos devem ter diâmetro igual a **d** e a altura de **2d**.

- Velocidade da aplicação de carga

Maiores velocidades tendem a gerar valores de resistência mais elevada. Isto ocorre porque em velocidade mais baixa existe um tempo para a propagação de fissuras, que ocorrem durante o carregamento, levando assim o corpo-de-prova ao colapso, em níveis de carga inferiores.

Por isto, a velocidade é normalizada como apresenta na norma concreto - ensaio de

compressão de corpos-de-prova cilíndricos NBR 5739 (1994).

A carga de ensaio deve ser aplicada continuamente e sem choques, com velocidade de carregamento 0,3 MPa/s a 0,8 MPa/s. Nenhum ajuste deve ser efetuado nos controles da máquina, quando o corpo-de-prova estiver se deformando rapidamente ao se aproximar de sua ruptura.

A normalização confere para cada tipo de ensaio uma velocidade de carregamento.

- Duração da carga

Para cargas de curta duração, o concreto resiste, a maiores níveis de carga. A explicação para isto também reside na velocidade de propagação das fissuras.

g. Resistência à tração

É uma propriedade de difícil determinação direta. Sua importância está ligada a alguns tipos de aplicação, como é o caso de pavimentos de concreto, uma vez que a resistência à compressão é desprezada para efeito de cálculo. Pode ser determinada de dois modos:

O método utilizado para esse ensaio foi o da norma NBR 5739 (1994), Concreto – ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.

3.14.1 Execução do Ensaio

Os corpos-de-prova permaneceram na câmara úmida até a data da realização do ensaio.

Os corpos-de-prova foram retirados da câmara úmida e levados até a prensa para serem rompidos.

Como todos os corpos-de-prova foram moldados no período da manhã, foram rompidos também, no período da manhã, obedecendo às tolerâncias de tempo conforme especificado pela norma 5739/94.

A carga do ensaio foi aplicada continuamente com velocidade aproximadamente de 0,5 MPa/s. Durante o carregamento o manômetro não sofreu ajuste.

3.15 ENSAIOS À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

De acordo com a NBR 7222 (1994), determinação de resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Ver figura 3.16. Esse ensaio é conhecido mundialmente como método brasileiro.

$b = (0,15 \pm 0,01)d$ – $h = (3,5 \pm 0,5)mm$ onde, b = largura da tira de madeira e h = sua altura.

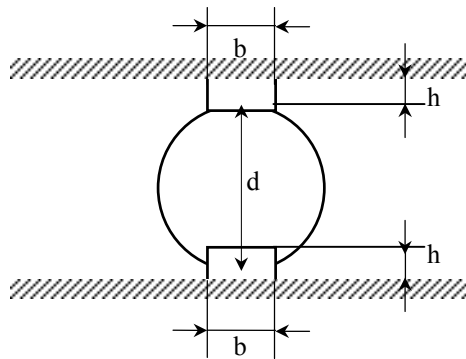


FIGURA 3.16 - Disposição do corpo-de-prova

A resistência à tração por compressão diametral é calculada pela seguinte fórmula:

$$f_{f,D} = \frac{2.F}{\pi.d.L} \text{ onde,}$$

$f_{f,D}$ = resistência à tração por compressão diametral em MPa, com aproximação de 0,05 MPa

F = carga máxima obtida no ensaio (KN)

d = diâmetro do corpo-de-prova (mm)

L = altura do corpo-de-prova (mm)

3.15.1 Execução do Ensaio

Os corpos-de-prova foram retirados da câmara úmida com idade de 28 dias, transportados para uma base onde os centros foram medidos para a colocação das barras de ferro fixas com fita crepe, conforme figura 3.17.



FIGURA 3.17 – Medida do diâmetro e colocação das barras

A norma NBR 7222 (1994) especifica que, para este ensaio, deveriam ser utilizadas duas tiras de chapa duras de fibra de madeira, com dimensões especificadas.

Neste trabalho foram adotadas duas chapas de ferro com as dimensões de 16,4 mm de largura e 22,1 mm de comprimento.

Foi utilizada a chapa de ferro, devido ao fato de que a madeira poderia produzir deformações, a cada ensaio o que no ferro não aconteceria.

Os corpos-de-prova foram levados à prensa, com os dispositivos específicos para ruptura diametral.

A carga foi aplicada continuamente, sem choque, com o crescimento constante e uma velocidade de 0,05 MPa/s, até a ruptura, conforme figura 3.18.

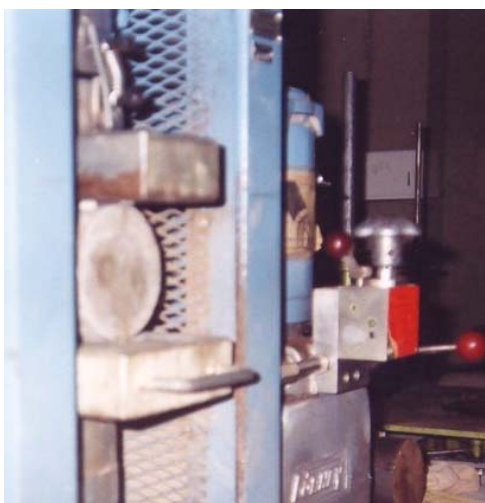


FIGURA 3.18 – Ruptura a tração por compressão diametral na prensa

3.16 DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA

O método utilizado para o ensaio foi o da norma NBR 9778 (1987) – Argamassa e concreto – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica.

3.16.1 Execução do Ensaio

A norma permite duas maneiras de saturação do corpo-de-prova, neste trabalho foi utilizada a condição de imersão em água, à temperatura de (23 ± 2) °C.

Foi tomado o cuidado de identificar, com um fio de cor branca, as formas de concreto que seriam utilizados para a moldagem dos corpos-de-prova para esse ensaio.

No ensaio de absorção não pode ser usado óleo para lubrificar as formas, pois pode interferir no resultado, ele pode aderir nas paredes dos corpos-de-prova provocando uma impermeabilização.

A figura 3.19 apresenta o tanque de imersão para os corpos-de-prova na realização do ensaio.



FIGURA 3.19 – Imersão dos corpos-de-prova 10x20 cm

Após as 72 horas de imersão, a amostra foi levada para a balança hidrostática para medir sua massa submersa, conforme figura 3.20.



FIGURA 3.20 – Medida de corpos-de-prova submersos através da balança hidrostática

3.17 DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

Para esse ensaio foram utilizados dois métodos:

O primeiro método foi o da norma NBR 9779 (1995) – Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da Absorção de água por capilaridade.

O segundo método foi utilizado um procedimento francês - recomendado pela AFREM – Associação Francesa de Materiais.

Iremos descrever o procedimento francês por que tivemos que fazer algumas modificações para adaptar o ensaio.

3.17.1 Ferramentas

- balança;
 - recipiente para armazenar os corpos-de-prova, com tampa, tendo uma única abertura, e um dispositivo para garantir a um nível de água constante.
- dispositivo para manter o nível d'água (suprte de ferro);
- maquina poli corte;
- estufa com temperatura de $80 \pm 2^{\circ}\text{C}$;

- câmara úmida com umidade relativa de 100%;
- local para garantir as mesmas condições de conservação em todas as faces;
- pano absorvente;
- saco de lona;
- tinta impermeável;
- pincel; e
- diluente.

3.17.2 Execução do ensaio

As amostras estavam isentas de óleo.

Quando completou 7 dias da data de moldagem, um corpo-de-prova de cada traço foi retirado da câmara úmida e levado na policorte numa máquina para serem serrados em três partes, aproximadamente iguais. Identificados e numerados para sabermos quais foram os das partes superiores, inferiores e do meio. Serrados e identificados retornaram para a câmara úmida, colocados separados, permanecendo até 28 dias da data de moldagem figura 3.21.

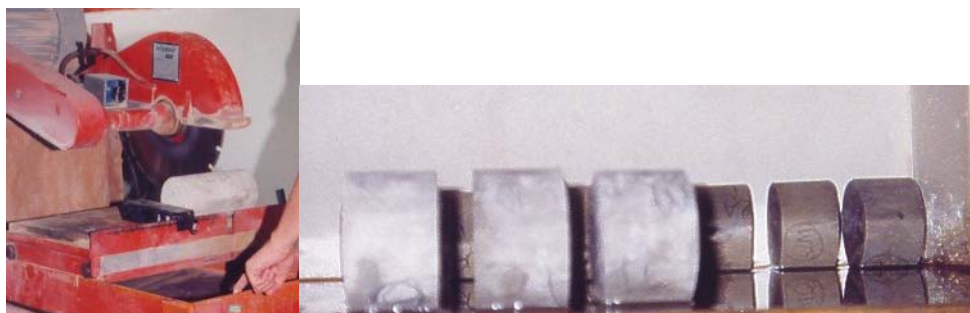


FIGURA 3.21 – Máquina poli corte e corpos-de-prova serrados na câmara úmida

Com 28 dias de idade, os corpos-de-prova foram levados para um suporte aberto (tipo prateleira) para assegurar as mesmas condições em todas as faces, sendo que foi registradas a sua temperatura e umidade relativa do ar todos os dias da permanência dos corpos-de-prova. Na figura 3.22 podemos verificar o suporte.



FIGURA 3.22 – Compartimento para garantir a ventilação em todas as direções

Registrou sua massa em uma balança depois de permanecer no suporte durante 90 dias no suporte e colocados em uma estufa a 80°C, durante 10 dias, até a consistência de massa. Na mesma estufa, guardado envolto em uma lona durante 12 horas para equilíbrio de sua massa, retirados da estufa e resfriada dentro da bolsa, conforme figura 3.23.



FIGURA 3.23 – Corpos-de-prova serrados e acondicionados em sacos de lona

Retirados do saco de lona, foi aplicado uma tinta esmalte em duas demãos, conforme figura 3.24. Após a pintura foram colocados em um dessecador com sílica gel, durante 12 horas, para permitir a secagem completa da tinta.



FIGURA 3.24 – Aplicação da tinta esmalte

Após a secagem da tinta, foram registradas as suas massas, conforme figura 3.25. Registradas também suas medidas de altura e diâmetro.



FIGURA 3.25 – Registro das massas após a aplicação da tinta esmalte

Após a secagem da tinta foram registrados a suas massas, e conforme figura 3.25. Registradas também suas medidas de alturas e diâmetro.

Os corpos-de-prova foram a imersão em água, em um recipiente, conforme figura 3.26, onde permaneciam sobre um suporte para garantir uma altura 3mm de água.

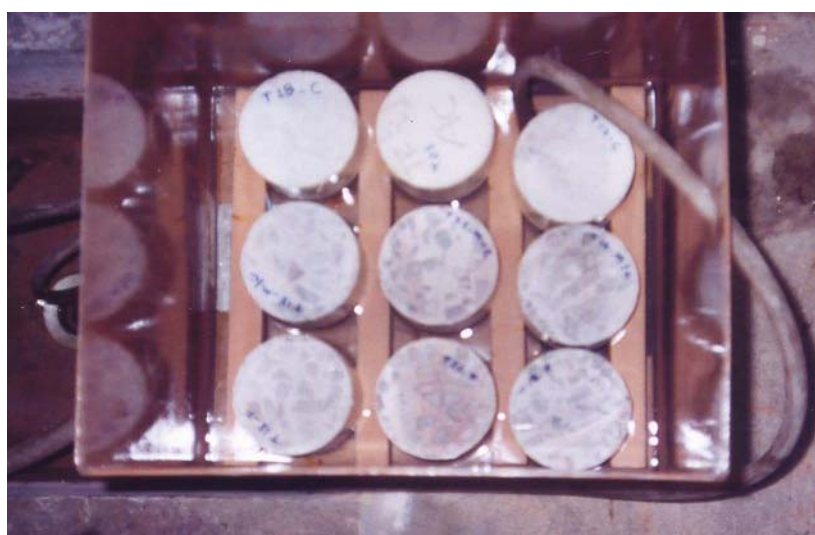


FIGURA 3.26 – Caixa para o ensaio de imersão por capilaridade

Os corpos-de-prova foram retirados do recipiente, enxugada a parte que estava em contato com a água e registrada sua massa, durante 20, 30, 40 e 50 minutos, durante 1, 1,5, 2, 3, 4, 8, 24, e 42 horas.

3.17.3 Cálculo

O coeficiente da absorção capilar foi calculado de acordo com a fórmula:

$$C = \frac{M_x - M_0}{A}, \text{ Sendo:}$$

C = coeficiente de absorção capilar, kg/m²;

M_x = massa do corpo-de-prova com a face em contato com a água durante o período de tempo especificado, kg;

M₀ = massa do corpo-de-prova seco, em kg;

A = área da secção transversal, em m².

3.18 DETERMINAÇÃO DA PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO

- Métodos para medir a espessura carbonatada

As técnicas de laboratório que podem ser usadas para determinar a profundidade de carbonatação, incluem análise química, difração de raios-x, espectrometria por infravermelho e análise termogravimétrica. O método mais comum e simples para se determinar a extensão de carbonatação consiste em tratar uma superfície recém rompida de concreto com uma solução de fenolftaleína diluída em álcool. O Ca(OH)₂ adquire uma cor rosa enquanto a parte carbonatada não se altera; com o prosseguimento da carbonatação da superfície recém exposta, a cor rosa desaparece gradativamente. Deve ser lembrado que a cor rosa indica a presença de Ca(OH)₂, mas não necessariamente a ausência total de carbonatação. Na verdade a fenolftaleína é um indicador de pH (cor rosa para pH maior do que cerca de 9,5).

Para esse ensaio foi utilizado o procedimento francês - recomendado pela AFREM- Associação francesa de materiais.

3.18.1 Ferramentas

- Estufa;
- Câmara úmida;
- Paquímetro;
- Termo higrômetro;

- e. Suporte para garantir as mesmas condições de conservação;
- f. Fenolftaleína; e
- g. Recipiente para borrifar a fenolftaleína

3.18.2 Execução do Ensaio

Os corpos-de-prova permaneceram na câmara úmida até a idade de 28 dias após a moldagem.

Após a cura em uma câmara úmida, as faces dos corpos-de-prova foram enxugadas por um pano úmido e sua massa registrada.

Em seguida, os corpos-de-prova foram colocados em uma estufa com uma temperatura controlada de 50°C, durante dois dias, em seguida registrada sua massa.

Os corpos-de-prova foram colocados em um suporte de ferro (prateleira), conforme figura 3.27. O objetivo deste procedimento é tentar garantir as mesmas condições hídricas para todos os corpos-de-prova quando a carbonatação iniciar.

Expostos então ao ambiente de laboratório, e registrada sua temperatura e umidade relativa do ar, diariamente, até a data da aplicação da fenolftaleína.



FIGURA 3.27 – Suporte de corpos-de-prova para ensaio de carbonatação

Até a idade de 90 dias os corpos-de-prova permaneceram nesse suporte e em seguida foram levados na prensa para serem rompidos diametralmente com uma carga rápida e imediatamente após a fenolftaleína foi borrifada.

A figura 3.28 mostra a cor do corpo-de-prova apresenta após a aplicação da fenolftaleína.

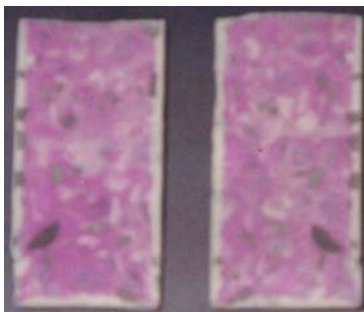


FIGURA 3.28 – Corpo-de-prova após a aplicação de fenolftaleína

Através de um paquímetro foi registrada 5 medidas da faixa de carbonatação de fora para dentro de cada corpos-de-prova ensaiado. Os valores encontram-se no Anexo B, Tabela B.7.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A apresentação deste capítulo está relacionada à explanação utilizada na metodologia capítulo III e suas respectivas etapas.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil do Departamento de Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

4.1 CIMENTO

O cimento utilizado neste ensaio foi o CP II F 32, da fábrica Cimento Itaú da Cidade de Corumbá - MS.

O fabricante do cimento apresentou a média dos resultados do lote do dia 9 de março de 2001, referente a ensaios físicos e químicos, relacionados na tabela 4.1.

TABELA 4.1 - Ensaio físicos e químicos do cimento utilizado

Características e propriedades		Unidade	Dados fornecidos pela empresa (média)	Limites da norma (NBR 11578/91)
Finura	Resíduo na peneira 75 μm	%	4,7	≤ 12
	Área específica	Kg/m^3	3.130	≥ 260
Tempo de início de pega		h:min	3:55	≥ 1
Expansibilidade a quente		mm	0,5	≤ 5
Resistência à compressão	3 dias	MPa	24,0	≥ 10
	7 dias	MPa	29,0	≥ 20
	28 dias	MPa	36,2	≥ 32
Tempo de fim de pega		h:min	4:45	≤ 10
Expansibilidade a frio		mm	0,5	≤ 5
Determinações químicas				
Resíduos solúveis (RI)		%	0,62	$\leq 2,5$
Perda ao fogo (PF)		%	3,50	$\leq 6,5$
Óxido de magnésio (MgO)		%	4,18	$\leq 6,5$
Trióxido de enxofre (SO ₃)		%	2,64	$\leq 4,0$
Anidrido carbônico (CO ₂)		%	3,22	$\leq 5,0$
Anidrido carbônico (CO ₂)		%	3,22	$\leq 5,0$

4.2 AGREGADOS

Os parâmetros normalizados para caracterização tecnológica de um agregado, são obtidos a partir de ensaios laboratoriais.

Os agregados utilizados neste trabalho foram: areia natural, areia artificial britada e brita 1.

A brita 1 e a areia artificial usadas são de origem basáltica da formação Serra Geral, que apresentam coloração que varia entre tons cinza-claro e cinza-escuro, graduação média à fina e textura holocristalina. Mineralogicamente determinados através de difratometria de raios X são compostas de acordo com listado na tabela 4.2.

TABELA 4.2 – Composição mineralógica do basalto utilizado

Tipo do Mineral	Quantidade em %
Plagioclásio (labradorita)	40 %
clinopiroxênio (augita)	35%
argilominerais (esmectita)	15 - 20%
Opacos (magnetita e outros).	5 – 10 %,

4.2.1 Granulometria do Agregado Miúdo - Areia Natural

A tabela 4.3 apresenta a média das porcentagens retidas e acumuladas das duas amostras ensaiadas da areia natural. Para cada amostra foi utilizada 500 gramas do material.

TABELA 4.3 – Caracterização granulométrica da areia natural

Abertura das malhas (mm)	Médias das porcentagens retidas acumuladas das duas amostras (%)
9,5	-
6,3	-
4,8	-
2,4	-
1,2	-
0,6	0
0,3	23
0,15	89

De acordo com o tabela 4.3, a composição granulométrica da areia natural está distribuída inadequadamente, pois a porcentagem retida acumulada ficou somente em duas peneiras 0,15 mm e 0,3 mm.

Na figura 4.1 está apresenta a distribuição e seus limites granulométricos de acordo com a norma NBR 7211/83 da areia natural. A areia natural produziu uma distribuição granulometrica inferior a da zona 1 (muito fina).

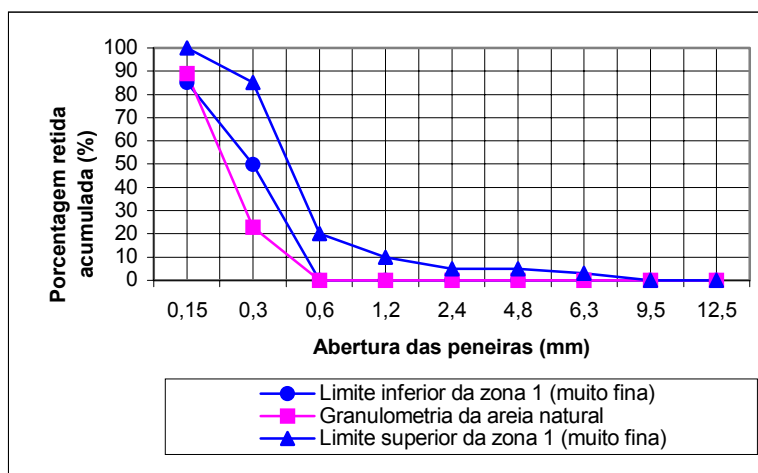


FIGURA 4.1 – Granulometria da areia natural e os limites granulométricos

Com dosagens de concretos, realizada no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, utilizando areia natural da região pertencente a zona 1 (muito fina), não ficou evidenciado problemas que relevância para que fosse descartada.

Usando uma areia natural, com distribuição granulométrica classificada como zona 3 (areia média), poderíamos produzir concretos com menor custo, porém a distância dessa areia inviabiliza o seu uso, devido ao transporte, encarecendo a produção do concreto final.

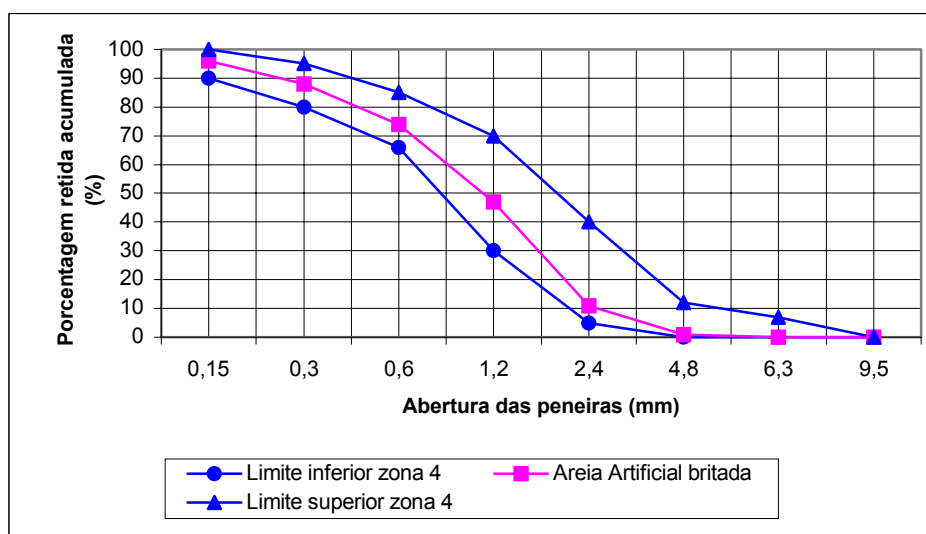
4.2.2 Granulometria do Agregado Miúdo - Areia Artificial

A tabela 4.4 mostra o resultado da média das porcentagens retidas e acumuladas das duas amostras e a caracterização da areia artificial. Para cada amostra foi utilizado 1.000 gramas do material.

TABELA 4.4 – Caracterização granulométrica da areia artificial

Abertura das malhas (mm)	Médias das porcentagens retidas acumuladas das duas amostras (%)
9,5	0
6,3	0
4,8	1
2,4	11
1,2	47
0,6	74
0,3	88
0,15	96

Na figura 4.2 está representada a distribuição granulométrica e os limites da areia artificial de acordo com a norma NBR7211 (1983). A areia artificial apresentou granulometria pertencente à zona 4 (grossa).

**FIGURA 4.2 – Granulometria da areia artificial e os limites granulométricos**

4.2.3 Granulometria do Agregado Graúdo – Brita 1

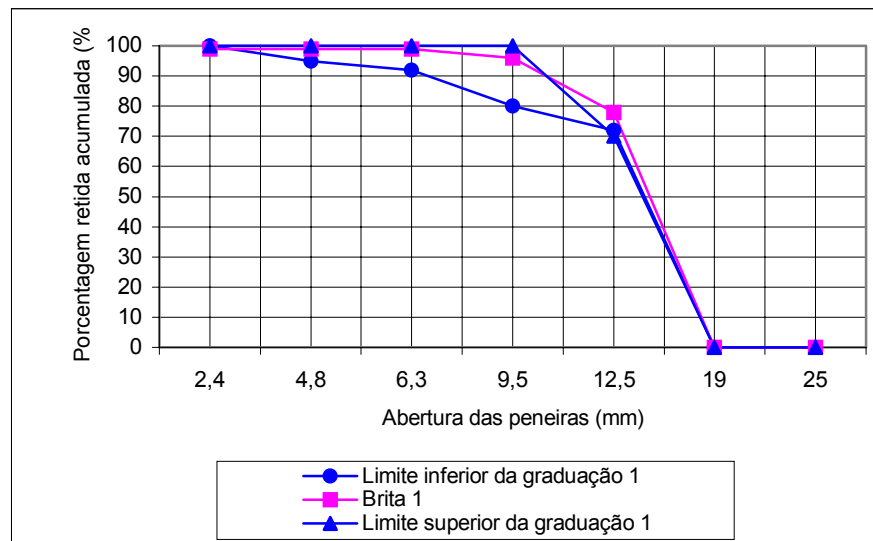
A tabela 4.5 mostra o resultado da média das porcentagens retidas e acumuladas das duas amostras e a caracterização do agregado graúdo (brita 1). Para cada amostra foi utilizado 5.000 gramas do material.

TABELA 4.5 – Caracterização granulométrica da brita 1

Abertura das malhas (mm)	Médias das porcentagens retidas acumuladas das duas amostras (%)
25	-
19	0
12,5	78
9,5	96
6,3	99
4,8	99
2,4	99
1,2	99
0,6	99
0,3	99
0,15	99

Na figura 4.5 estão representados a distribuição granulométrica do agregado gráudo (brita1) e os limites granulométricos de acordo com a norma NBR7211(1983).

A distribuição granulométrica da brita 1 apresentou valores próximo da graduação 1.

**FIGURA 4.3 – Granulometria da brita 1 e os limites granulométricos**

4.2.4 Granulometria das Misturas

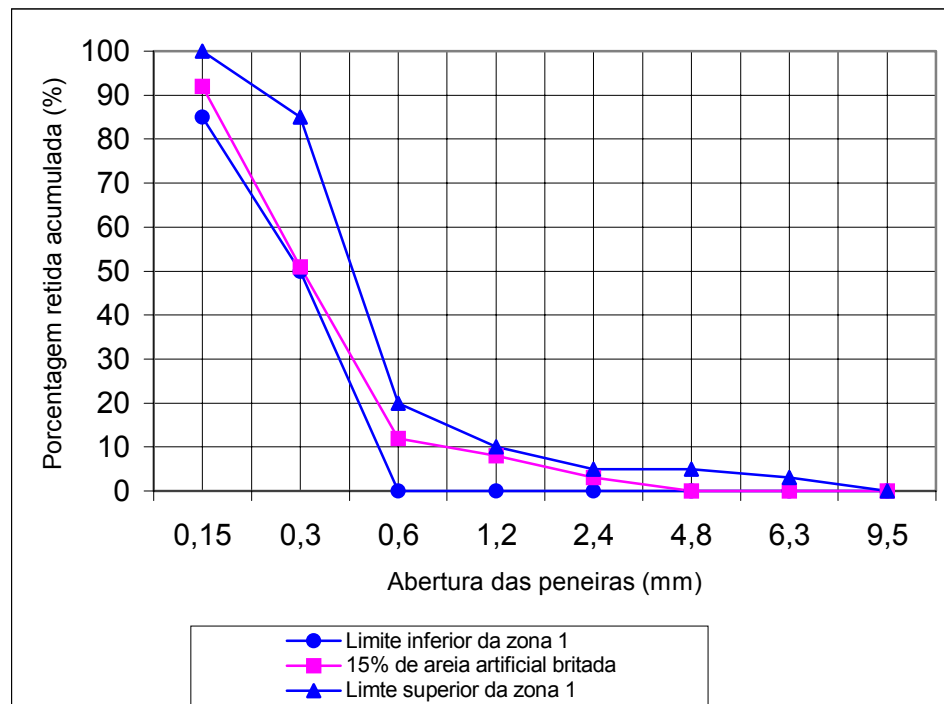
A tabela 4.6 mostra o resultado da média das porcentagens retidas, acumuladas das duas amostras de mistura de areia artificial com areia natural, com seus teores de substituições e caracterização das misturas.

Para cada amostra foram utilizados 500 gramas do material.

TABELA 4.6 – Caracterização granulométrica das misturas

Abertura das malhas (mm)	Médias das porcentagens retidas acumuladas das duas amostras de mistura da areia artificial em relação a areia natural			
Teor de substituições	15% de areia artificial	30% de areia artificial	50% de areia artificial	70% de areia artificial
9,5	-	-	-	-
6,3	-	-	0	0
4,8	0	0	1	0
2,4	3	4	7	10
1,2	8	15	24	35
0,6	12	22	37	54
0,3	51	43	56	70
0,15	92	90	92	94

A figura 4.4 representa a distribuição granulométrica da composição de 15% de areia artificial com 85% de areia natural e os seus limites granulométricos, de acordo com a norma NBR7211 (1983). A composição produziu uma distribuição granulométrica na zona 1 (muito fina).

**FIGURA 4.4 - Granulometria da mistura de 15% de areia artificial e os limites granulométricos**

A figura 4.5 representa a distribuição da composição de 30% de areia artificial, com 70% da areia natural, e os seus limites granulométricos, de acordo com a norma NBR7211 (1983).

A composição produziu uma distribuição granulométrica próxima da na zona 2 (fina).

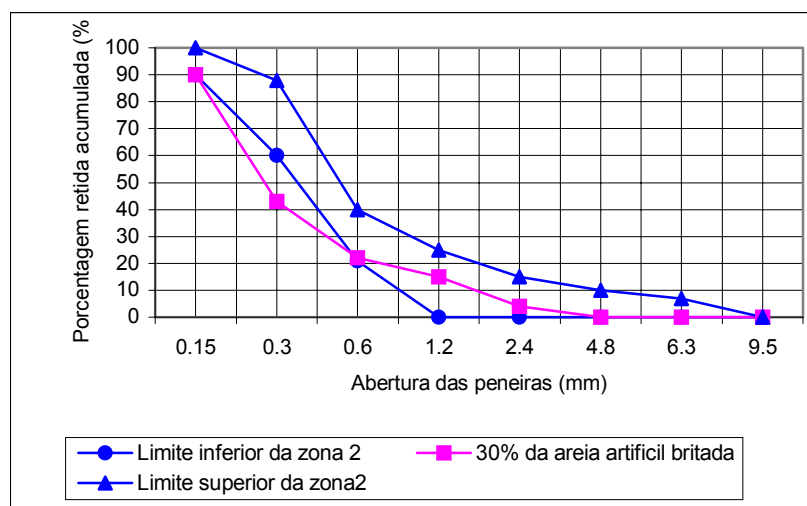


FIGURA 4.5 - Granulometria da mistura de 30% de areia artificial britada e os limites granulométricos

A figura 4.6 representa a distribuição da composição de 50% de areia natural com 50% de areia artificial e os seus limites granulométricos, de acordo com a norma NBR7211(1983).

A composição produziu uma distribuição granulométrica classificada com a maior parte na zona 2 (fina).

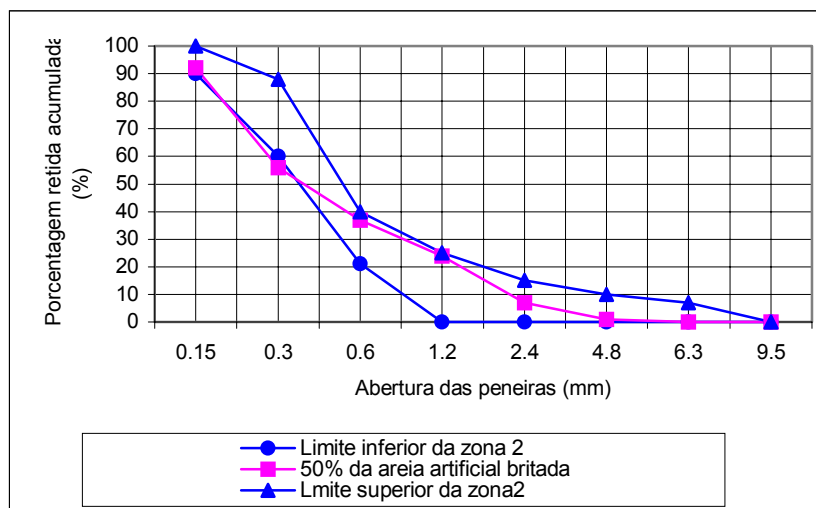


FIGURA 4.6 - Granulometria da mistura de 50% de areia artificial e os limites granulométricos

A figura 4.7 representa a distribuição granulométrica da composição de 70% de areia artificial com 30% de areia natural, e os seus limites granulométricos de acordo com a norma NBR7211/83. A composição produziu uma distribuição granulométrica, classificada como sendo da zona 3 (média).

A mistura que apresentou a melhor distribuição granulométrica foi a de 70% de areia artificial com 30% de areia natural. Como já citado no item 2.2.2.2 do capítulo II, recomenda-se usar agregados miúdos com granulometria, próximo de zona 3.

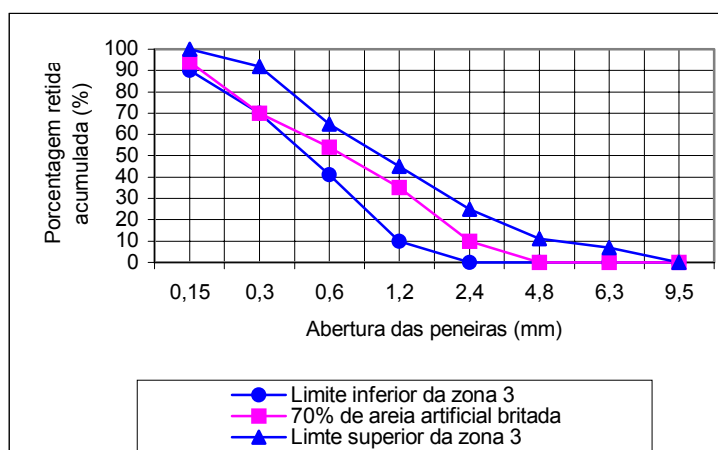


FIGURA 4.7 - Granulometria da mistura de 70% de areia artificial e os limites granulométricos

4.2.5 Dimensão Máxima Característica dos Agregados e Misturas

A tabela 4.7 representa os resultados das dimensões máximas características dos agregados utilizados no trabalho.

TABELA 4.7 - Dimensões máximas características dos agregados

n°	Material	Dimensão máxima característica em (mm)
01	Brita 1	19
02	Areia natural	0,6
03	Areia artificial	4,8
04	85% de areia natural + 15% de artificial	2,4
05	70% de areia natural + 30% de artificial	2,4
06	50% de areia natural + 50% de artificial	4,8
07	30% de areia natural + 70% de artificial	4,8

Não existe uma norma brasileira de especificação que defina limites de dimensão máxima característica de agregados.

A dimensão máxima característica dos agregados é usada em tabelas para definições de traços de concreto conforme.

4.2.6 Módulo de Finura dos Agregados

A tabela 4.8 mostra o resultado do módulo de finura dos agregados. Quanto maior o módulo de finura de um agregado, mais graúdo é o agregado.

Observamos também, que para as misturas de areia natural e areia artificial quanto, maior a porcentagem de substituição da areia artificial, maior o módulo de finura.

TABELA 4.8 – Módulo de finura dos agregados

n°	Material	Módulo de finura dos agregados
01	Brita 1	6,90
02	Areia natural Brita 1	1,12
03	Areia artificial	3,17
04	85% de areia natural + 15% de artificial	1,66
05	70% de areia natural + 30% de artificial	1,74
06	50% de areia natural + 50% de artificial	2,17
07	30% de areia natural + 70% de artificial	2,63

4.2.7 Índice de Forma do Agregado Graúdo

O índice de forma do agregado graúdo brita 1 obtido, foi de 2,6. Segundo a norma NBR 7211(1983):“...o índice de forma do agregado, não deve ser superior a 3 quando determinado de acordo com a norma NBR 7809(1993).”

Portanto, a brita 1 usada está de acordo com a norma de especificação.

4.2.8 Massa Específica dos Agregados Miúdo e Graúdo

A tabela 4.9 mostra o resultado da média das massas específicas dos agregados utilizados no trabalho.

TABELA 4.9 – Média das massas específicas dos agregados

N°	Composição	Média da Massa específica dos agregados (g/cm ³)
01	Brita 1	2,83
02	Areia natural	2,63
03	Areia artificial	2,94
04	85% de areia natural + 15% de artificial	2,65
05	70% de areia natural + 30% de artificial	2,71
06	50% de areia natural + 50% de artificial	2,78
07	30% de areia natural + 70% de artificial	2,86

Não existe uma norma de especificação com valores de limites quanto à massa específica dos agregados.

4.2.9 Massa Unitária dos Agregados Miúdo e Graúdo

A tabela 4.10 mostra a média das duas amostras ensaiadas de massa unitária dos agregados utilizados neste trabalho.

TABELA 4.10 – Média da massa unitária dos agregados

N°	Composição	Média da massa unitária dos agregados (g/cm ³)
01	Brita 1	1,60
02	Areia natural	1,49
03	Areia artificial	1,64
04	85% de areia natural + 15% de artificial	1,57
05	70% de areia natural + 30% de artificial	1,62
06	50% de areia natural + 50% de artificial	1,69
07	30% de areia natural + 70% de artificial	1,72

Não existe uma norma com valores de limites especificados quanto massa e unitária dos agregados.

A tabela 4.10 mostra que quanto maior a porcentagem de substituição maior foi à massa unitária da mistura. Com 70% de substituição o valor de massa unitária foi de 1,72, ultrapassando o valor da areia artificial.

4.2.10 Inchamento dos Agregados Miúdo

A tabela 4.11 mostra os resultados dos coeficientes de inchamento dos agregados miúdos utilizados neste trabalho.

TABELA 4.11 – Inchamento dos agregados miúdos

Nº	Composição	Coefficiente de inchamento médio	Umidade crítica %
01	Areia natural	1,275	3,10
02	Areia artificial	1,325	3,75
03	85% de areia natural + 15% de artificial	1,345	3,45
04	70% de areia natural + 30% de artificial	1,310	3,25
05	50% de areia natural + 50% de artificial	1,355	3,05
06	30% de areia natural + 70% de artificial	1,320	3,10

O inchamento da areia natural foi menor do que a areia artificial, isso já era esperado, pois a areia artificial possui uma maior quantidade de finos. A tabela 4.12 mostra que a média da percentagem do material pulverulento da areia artificial é maior que da areia natural.

As curvas de inchamento para os agregados miúdos e as misturas estão apresentamos no anexo 1, figura A1, A2, A3, A4, A5, e A6.

4.2.11 Material Pulverulento dos Agregados

A tabela 4.12 mostra a média da percentagem das duas amostras ensaiadas, de material pulverulento, dos agregados utilizados neste trabalho.

TABELA 4.12 – Média do material pulverulento dos agregados

nº	Composição	Média do Material pulverulento (%)
01	Brita 1	1,8
02	Areia natural	3,0
03	Areia artificial	3,5
04	85% de areia natural + 15% de artificial	3,0
05	70% de areia natural + 30% de artificial	3,2
06	50% de areia natural + 50% de artificial	3,0
07	30% de areia natural + 70% de artificial	3,0

De acordo com os resultados apresentados a tabela 4.12, o material pulverulento da areia natural, da areia artificial, e das misturas, está dentro do permitido pela norma NBR 7211 (1983), podendo variar entre 3% e 5%.

A brita 1 apresenta uma quantidade de material pulverulento acima do permitido por norma, sendo o máximo de 1%. Mesmo após ter sido submetida à lavagem conforme apresentado no capítulo III do item 3.1.4 na figura 3.6, o agregado graúdo (brita 1) apresentou uma quantidade de pó maior que o permitido por norma. A lavagem executada no agregado graúdo (brita 1) foi ineficiente, para que essa lavagem fosse suficiente deveria lavar através de misturar a brita na betoneira com uma quantidade de água, assim o pó aderido na superfície do agregado vai se desprender mais facilmente.

4.2.12 Impurezas Orgânicas dos Agregados Miúdos

Para todos os agregados miúdos utilizados neste trabalho foi realizado o ensaio de impurezas orgânicas, de acordo com a norma NBR 7220 (1987); o resultado da coloração foi inferior à cor padrão, ou inferior a 300 partes por milhão.

A norma NBR 7211(1983) especifica que o agregado miúdo submetido a esse ensaio, não deve apresentar coloração mais escura que a padrão.

Então podemos dizer que os agregados miúdos utilizados neste trabalho encontram-se de acordo com a norma.

4.3 CONCRETO

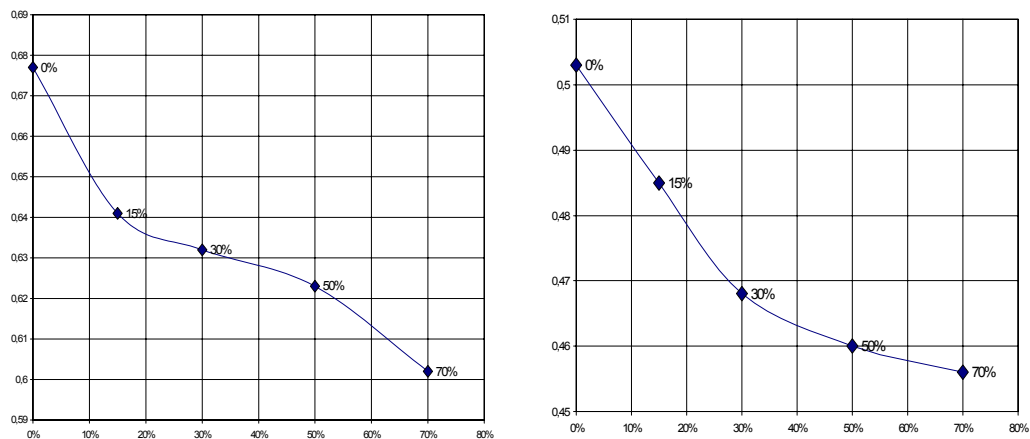
A tabela 4.13 apresenta os traços dos concretos utilizados para este trabalho e suas composições (misturas) e parâmetros dos traços. Os traços escolhidos para este trabalho foram estudados no Laboratório de Materiais e usados na região, o traço 1 de 15 MPa e o traço 2 de 20 MPa,

TABELA 4.13 – Composição e parâmetros dos traços

1 – Traço unitário em massa – 1:2,034: 3,022							
Mistura N°	Composição	m	α (%)	H	a/c	Temp. (°C)	U.R.A (%)
01	AN+B ₁	5,056	50	8,587	0,520	24	55
02	AN+B ₁ +Ad	5,056	50	8,306	0,503	24	60
03	85%AN+15%AA+B ₁ +Ad	5,056	50	8,009	0,485	23	58
04	70%AN+30%AA+B ₁ +Ad	5,056	50	7,728	0,468	22	48
05	50%AN+50%AA+B ₁ +Ad	5,056	50	7,596	0,460	24	70
06	30%AN+70%AA+B ₁ +Ad	5,056	50	7,530	0,456	22	70
2 – Traço unitário em massa – 1:3,220:4,220							
Mistura N°	Composição	m	α (%)	H	a/c	Temp. (°C)	U.R.A (%)
07	AN+B ₁	7,440	50	8,756	0,739	20	83
08	AN+B ₁ +Ad	7,440	50	8,021	0,677	21	60
09	85%AN+15%AA+B ₁ +Ad	7,440	50	7,595	0,641	21	60
10	70%AN+30%AA+B ₁ +Ad	7,440	50	7,488	0,632	24	71
11	50%AN+50%AA+B ₁ +Ad	7,440	50	7,381	0,623	23	60
12	30%AN+70%AA+B ₁ +Ad	7,440	50	7,133	0,602	24	55

Legenda: m = materiais secos, α = porcentagem de argamassa, H = porcentagem da relação água e materiais secos, a/c = relação de água e cimento, temp. = temperatura do ambiente e U.R.A = Umidade relativa do ambiente na data da realização do ensaio. AN = areia natural, B₁ = brita 1, AA = areia artificial, Ad = aditivo.

A tabela 4.13 mostra que as misturas 01 e 07 com composição de (AN+B₁) apresentaram uma relação água/cimento maior do que todas as outras misturas, o mesmo aconteceu também com as misturas 02 e 08 com composição de (AN+B₁+Ad). Nas misturas 02 e 08 (AN+B₁+Ad) com a presença de aditivo plastificante obteve uma redução na relação água/cimento comparando com as misturas 01 e 07 (AN+B₁). Para os dois traços, a menor relação água/cimento apresentada, foi o das misturas 06 e 12 com (30%AN+70%AA+B₁+Ad), sendo que está mistura representa o maior teor de substituição da areia artificial. Também apresentou a melhor distribuição granulométrica conforme figura 4.7.

**FIGURA 4.8 – Influência do teor de substituição com relação água/cimento dos traços 1 e 2**

A figura 4.8 mostra a influência do teor de substituição de areia artificial em relação à água/cimento para os traços 1 e 2.

Para os dois traços, quanto maior o teor de substituição de areia artificial, menor a superfície específica da mistura e, conseqüentemente, menor área de molhagem, levando a menor relação água/cimento para um dado abatimento.

A tabela 4.14 apresenta os traços unitários de concreto o consumo de materiais das misturas. A quantidade de aditivo usado no trabalho foi à mesma para todas as misturas.

TABELA 4.14 – Consumo dos materiais das misturas

Mistura Nº	Sub. AA %	Componentes dos traços unitários					Consumo de materiais das misturas em kg/m ³					Ad (l)
		C	AN	AA	B ₁	a/c	C	AN	AA	B ₁	água	
Traço 1 - 1:2,034: 3,022												
01	0%	1	2,034	-	3,022	0,520	373,034	758,751	-	1.127,309	193,978	-
02	0%	1	2,034	-	3,022	0,503	375,415	763,541	-	1.134,504	188,834	0,075
03	15%	1	1,729	0,305	3,022	0,485	379,724	656,543	115,816	1.147,526	184,166	0,075
04	30%	1	1,424	0,610	3,022	0,468	383,986	546,796	234,230	1.160,406	179,705	0,075
05	50%	1	1,017	1,017	3,022	0,460	387,605	394,194	394,194	1.171,342	178,299	0,075
06	70%	1	0,610	1,424	3,022	0,456	390,682	283,316	556,331	1.180,641	178,151	0,075
Traço 2 - 1:3,220:4,220												
07	0%	1	3,220	-	4,220	0,739	264,972	853,210	-	1.118,182	195,810	-
08	0%	1	3,220	-	4,220	0,677	269,397	867,458	-	1.136,855	182,382	0,075
09	15%	1	2,737	0,483	4,220	0,641	273,476	748,504	132,089	1.154,616	175,298	0,075
10	30%	1	2,254	0,966	4,220	0,632	275,614	621,233	266,243	1.163,091	174,188	0,075
11	50%	1	1,610	1,610	4,220	0,623	278,285	448,039	448,039	1.174,363	173,372	0,075
12	70%	1	0,966	2,254	4,220	0,602	281,958	272,371	635,533	1.189,863	169,739	0,075

Legenda: C = cimento; AN = areia natural; AA = areia artificial; B₁ = brita 1; Ad = aditivo; a/c = relação água cimento, sub. AA - porcentagem de substituição de areia artificial

A figura 4.9 representa o consumo de cimento com o teor de substituição de areia artificial dos traços 1 e 2.

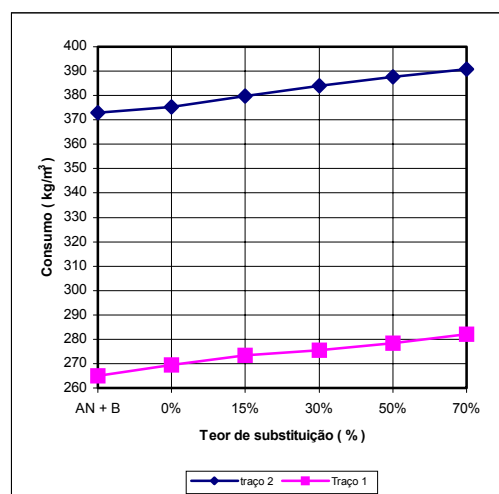


FIGURA 4.9 – Consumo de cimento com o teor de substituição dos traços 1 e 2

A figura 4.9 mostra que para os dois traços quanto maior o teor de substituição maior consumo de cimento. Isso era esperado, quanto maior a substituição menor é a quantidade de finos. O aumento da quantidade de cimento seria para compensar esta falta de finos.

4.3.1 Medida de Abatimento do Tronco Cone e de Ar Incorporado

Para cada mistura, foi realizado um ensaio de abatimento de tronco de cone, (*slump test*) imediatamente e outro com 15 minutos, após a mistura.

Foi realizado também o ensaio de ar incorporado, logo após a realização do primeiro abatimento.

A tabela 4.15 apresenta os resultados dos ensaios de abatimento e ar incorporado. Os valores de abatimentos imediatos foram seguindo a proposta inicial do trabalho, que era de 80 ± 20 mm.

TABELA 4.15 – Valores de abatimentos e de ar incorporado dos traços

1 - Traço unitário em massa - 1: 2,034: 3,022				
Mistura N°	Composição	Abatimento Imediato (mm)	Abatimento com 15 minutos (mm)	Ar incorporado (%)
01	AN+B ₁	85	65	1,9
02	AN+ B ₁ +Ad	90	72	4,2
03	85%AN+15%AA+ B ₁ + Ad	80	67	3,9
04	70%AN+30%AA+ B ₁ + Ad	80	60	3,4
05	50%AN+50%AA+ B ₁ + Ad	80	50	3,1
06	30%AN+70%AA+ B ₁ + Ad	80	45	3,0
2 - Traço unitário em massa - 1: 3,220: 4,220				
Mistura N°	Composição	Abatimento Imediato (mm)	Abatimento com 15 minutos (mm)	Ar incorporado (%)
07	AN+B ₁	65	55	3,2
08	AN+ B ₁ +Ad	80	70	4,9
09	85%AN+15%AA+ B ₁ + Ad	80	60	5,0
10	70%AN+30%AA+ B ₁ + Ad	82	55	4,1
11	50%AN+50%AA+ B ₁ + Ad	80	75	3,8
12	30%AN+70%AA+ B ₁ + Ad	80	55	4,2

AN = areia natural, B₁ = brita 1, AA = areia artificial, Ad = aditivo.

- **Abatimento**

A perda de abatimento está relacionada com a capacidade do concreto fresco em reter a água de amassamento.

Na figura 4.11, apresentamos os valores de abatimentos, imediatos e com 15 minutos do traço 1.

No traço 1 representado na figura 4.10, ficou muito evidente que quanto maior o teor de substituição menor a superfície específica da mistura. Com isso, a perda de abatimento foi maior.

Um dos fatores para retardar a evaporação de água de uma mistura seria a quantidade de finos por possuir uma maior superfície específica, retendo maior quantidade de água.

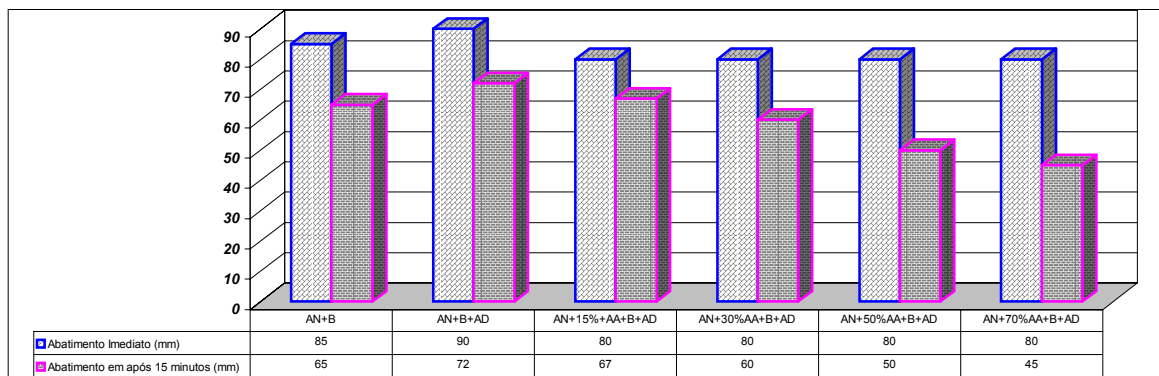


FIGURA 4.10 – Valores de abatimento imediatos e com 15 minutos para cada mistura, do traço 1

Na figura 4.11 apresentamos os valores de abatimentos imediatos e com 15 minutos do traço 2

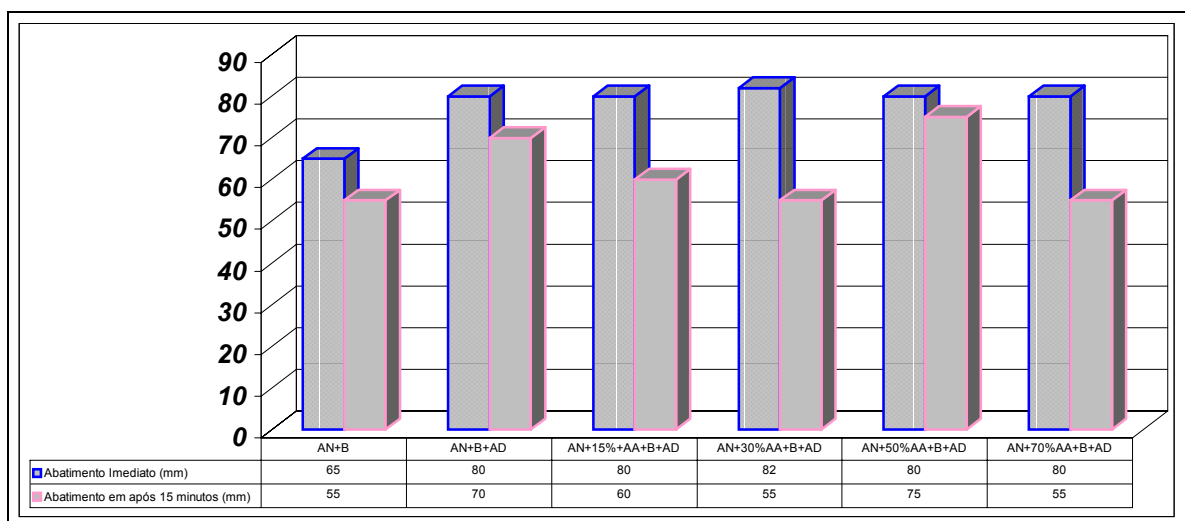


FIGURA 4.11 – Valores de abatimento imediatos e com 15 minutos para cada mistura do traço 2

Existe uma pequena tendência de maior perda de abatimento com o aumento do teor de substituição da areia artificial pela natural, mais evidente no traço 2, apresentado na figura 4.11.

O traço 2 possui maior quantidade de água, menor quantidade de cimento e menor resistência, sendo assim, menor quantidade de finos facilitando a evaporação da água.

- **Ar incorporado**

Na tabela 4.15 observamos que para os dois traços as misturas 01, 07 (AN+B₁), apresentaram porcentagem de ar incorporado com valores menores que as misturas 02 e 08 (AN+B₁+Ad) devido à presença de aditivo que estabiliza as bolhas de ar, facilitando a mistura dos componentes do concreto.

Para o traço 1, a substituição da areia natural pela areia artificial levou uma diminuição da quantidade de ar incorporado. Essa diminuição é devida à uma melhor distribuição granulométrica preenchendo assim os espaços vazios da mistura.

No traço 2, não houve variações de ar incorporado com a substituição de areia natural por areia artificial.

4.3.2 Resistência à Compressão de Corpos-de-Prova Cilíndricos

A tabela 4.16 apresenta a média dos resultados de dois corpos-de-prova por idade das misturas traços de concreto ensaiados, à compressão aos 7 e 28 dias de idade e a relação água/cimento de cada mistura. Os resultados individuais dos dois corpos-de-prova estão no Anexo B - Tabela B.1.

TABELA 4.16 – Resultados das resistências à compressão dos traços de concreto

1 – Traço unitário em massa – 1 : 2,034 : 3,022				
Mistura N°	Composição	Água/cimento	Tensão com 7 dias (MPa)	Tensão com 28 dias (MPa)
01	AN+B ₁	0,52	22,28	27,89
02	AN+ B ₁ +Ad	0,50	25,66	34,12
03	85%AN+15%AA+ B ₁ + Ad	0,49	32,85	38,71
04	70%AN+30%AA+ B ₁ + Ad	0,47	33,55	46,47
05	50%AN+50%AA+ B ₁ + Ad	0,46	34,34	43,29
06	30%AN+70%AA+ B ₁ + Ad	0,46	34,38	53,09
2 – Traço unitário em massa – 1 : 3,220 : 4,220				
Mistura N°	Composição	Água/cimento	Tensão com 7 dias (MPa)	Tensão com 28 dias (MPa)
07	AN+B ₁	0,74	15,79	22,79
08	AN+ B ₁ +Ad	0,68	20,44	25,90
09	85%AN+15%AA+ B ₁ + Ad	0,64	19,87	26,63
10	70%AN+30%AA+ B ₁ + Ad	0,63	18,14	24,13
11	50%AN+50%AA+ B ₁ + Ad	0,62	19,31	28,57
12	30%AN+70%AA+ B ₁ + Ad	0,602	20,44	29,16

AN = areia natural, B₁ = brita 1, AA = areia artificial, Ad = aditivo.

A figura 4.12 apresenta os valores de resistência à compressão com 7 e 28 dias de idade e o teor de substituição de areia artificial pela areia natural dos traço 1 e 2.

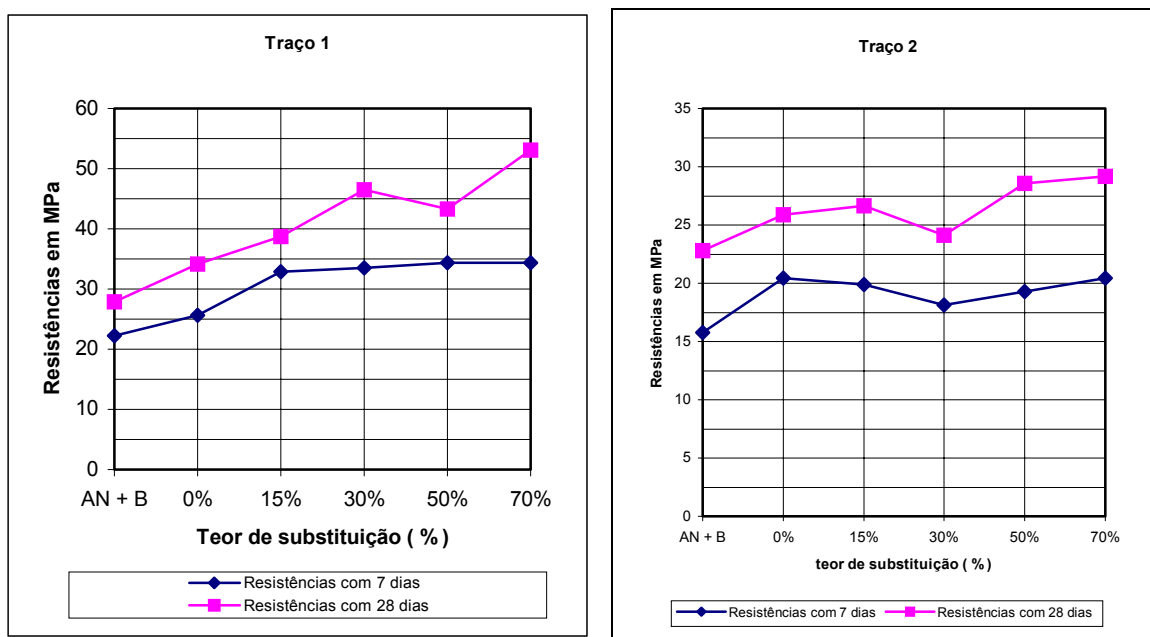


FIGURA 4.12 – Resistências com teores de substituição dos traços 1 e 2

Para os dois traços, quanto maior o grau de substituição de areia artificial maior é a resistência obtida, isso era esperada, pois já que a relação água/cimento apresentada, foi menor.

No traço 2 o ganho de resistência com o aumento do teor de substituição da areia artificial, não foi tão eficiente como o do traço 1

A figura 4.13 representa resistência a compressão das misturas com 7 e 28 dias de idade e suas respectivas relação de água/cimento os do traços 1 e 2.

A menor relação água/cimento está relacionada com maior teor de substituição e maior resistência tanto para os 7 e 28 dias de idade. Já era esperado, pois quanto maior o grau de substituição ocorreu um diminuição da superfície específica da mistura, sendo menor a quantidade de água, assim maior resistência.

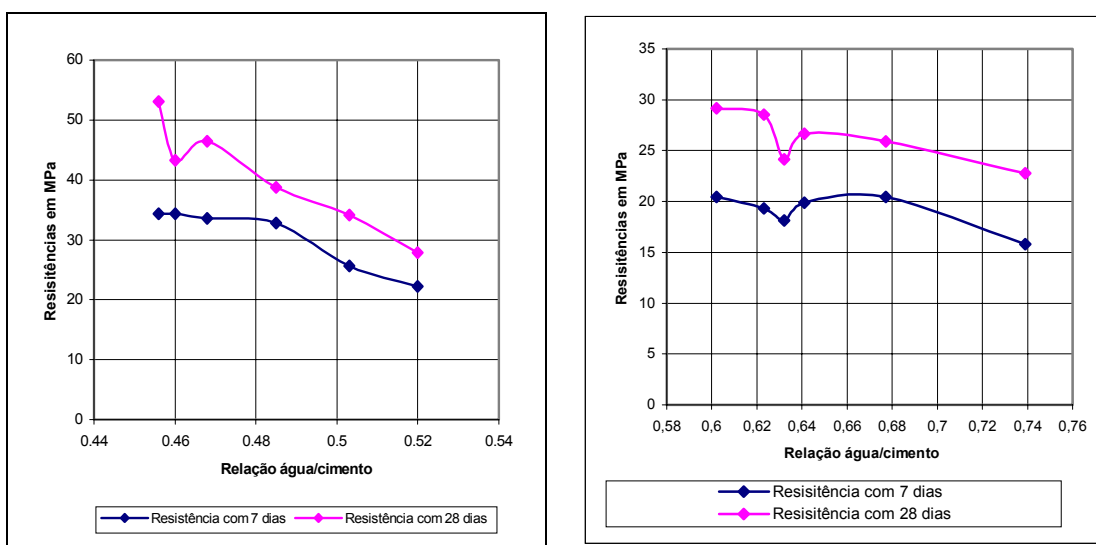


FIGURA 4.13 – Resistência com 7 e 28 dias em função da relação água / cimento para os traços 1 e 2

Para os dois traços quanto maior as relações água/cimento menores foram a resistência à compressão, tanto para 7 como para 28 dias.

4.3.3 Resistência à Tração por Compressão Diametral

A tabela 4.17 apresenta a média com estudo de desvio padrão dos valores de resistência à tração por compressão diametral entre os 2 corpos-de-prova ensaiados aos 28 dias de idade. Os valores individuais dos corpos-de-prova estão no Anexo B – Tabela B.2.

TABELA 4.17 – Resultados das resistências à tração por compressão diametral

1 - Traço unitário em massa - 1: 2,034: 3,022		
Mistura N°	Componentes	Tensão com 28 dias (MPa)
01	AN+B ₁	4,35
02	AN+ B ₁ +Ad	5,47
03	85%AN+15%AA+ B ₁ +Ad	6,12
04	70%AN+30%AA+ B ₁ +Ad	6,88
05	50%AN+50%AA+ B ₁ +Ad	5,61
06	30%AN+70%AA+ B ₁ +Ad	5,99
2 - Traço unitário em massa - 1: 3,220: 4,220		
Mistura N°	Componentes	Tensão com 28 dias (MPa)
07	AN+B ₁	3,00
08	AN+ B ₁ +Ad	3,49
09	85%AN+15%AA+ B ₁ +Ad	3,23
10	70%AN+30%AA+ B ₁ +Ad	3,83
11	50%AN+50%AA+ B ₁ +Ad	4,60
12	30%AN+70%AA+ B ₁ +Ad	4,03

AN = areia natural, B₁ = brita 1, AA = areia artificial, Ad = aditivo.

A figura 4.14 apresenta os resultados de resistência à compressão diametral dos traços 1 e 2, com 28 dias de idade.

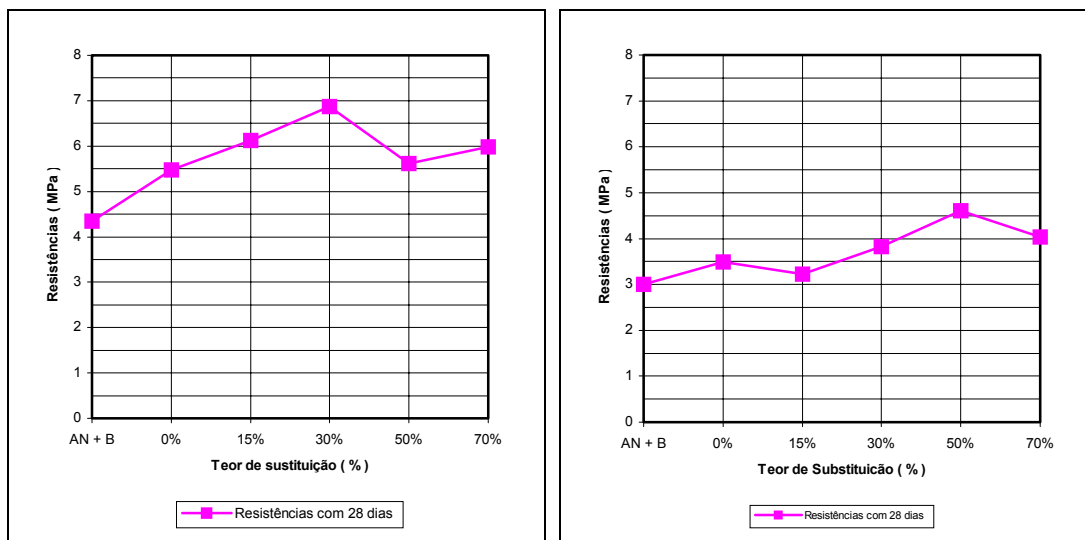


FIGURA 4.14 – Resistência à compressão diametral com 28 dias com o teor de substituição dos traços 1 e 2

Observamos que as misturas 01 e 07 (sem aditivo) tiveram resistência menor que e as misturas 02 e 08 (com aditivo), devido a menor relação água/cimento.

O traço 1 ficou prejudicado na análise da influência da substituição da areia artificial brita pela areia natural. Porque em até com 30% de substituição a resistência teve um aumento após decaiu, não acontecendo o mesmo no traço 2.

O traço 2 apresentou uma melhor tendência em relação ao aumento do teor de substituição de areia artificial britada, apresentando maior resistência.

4.3.4 Absorção

Para cada traço de concreto foram realizados ensaios de absorção de água por imersão – índice, de vazios e massa específica, de acordo com a norma NBR 9778/87.

O resultado apresentado na tabela 4.18 é referente ao ensaio de absorção de água por imersão, sendo que foi utilizado o valor do corpo-de-prova com 28 dias de idade e a média dos valores entre os 2 corpos-de-prova ensaiados com 90 dias de idade. Os valores individuais do corpos-de-prova estão no Anexo B, tabela B.3.

TABELA 4.18 – Resultados dos ensaios de absorção de água por imersão

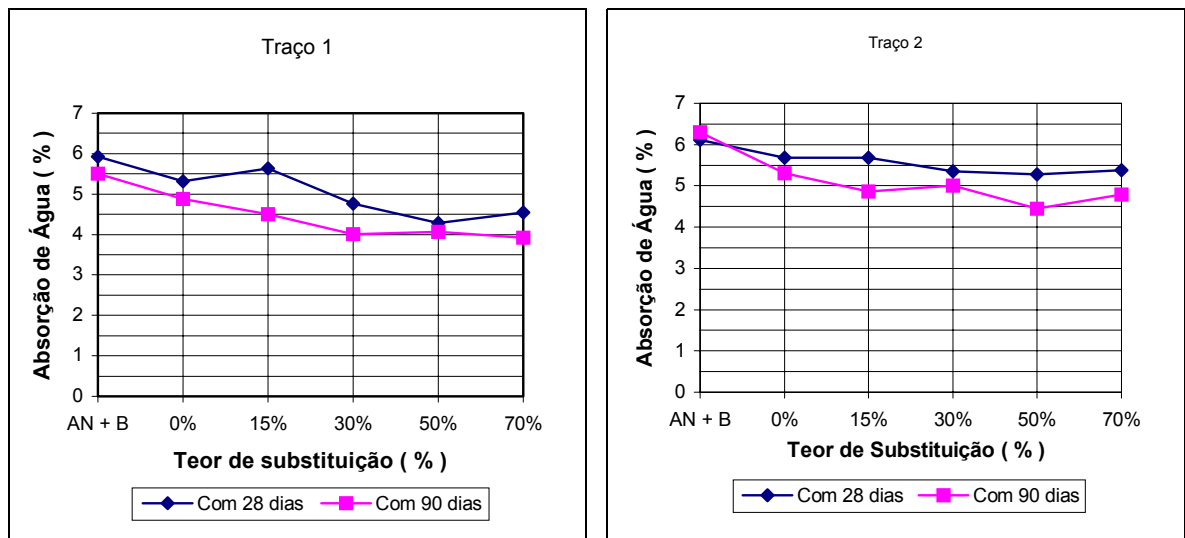
1 – Traço unitário em massa - 1: 2,034: 3,022									
Mistura	Componentes do Traço	Absorção de água (%)		Índice de vazios (%)		Massa específica amostra seca		Massa específica saturada	
N°	Idades	28 dias	90 dias	28 dias	90 dias	28 dias	90 dias	28 dias	90 dias
01	AN+B ₁	5,92	5,51	12,94	13,08	2,35	2,35	2,71	2,70
02	AN+ B ₁ +Ad	5,31	4,88	12,45	11,78	2,33	2,35	2,65	2,65
03	85%AN+15%AA+ B ₁ +Ad	5,63	4,51	13,73	11,00	2,33	2,44	2,68	2,67
04	70%AN+30%AA+ B ₁ +Ad	4,76	4,00	11,41	9,78	2,41	2,43	2,52	2,52
05	50%AN+50%AA+ B ₁ +Ad	4,29	4,06	10,24	9,97	2,45	2,56	2,56	2,55
06	30%AN+70%AA+ B ₁ +Ad	4,54	3,93	11,20	9,74	2,47	2,48	2,58	2,58

2 – Traço unitário em massa -1: 3,220: 4,220									
Mistura	Componentes do traço	Absorção de água (%)		Índice de vazios (%)		Massa específica amostra seca (kg/dm ³)		Massa específica amostra saturada (kg/dm ³)	
N°	Idades	28 dias	90 dias	28 dias	90 dias	28 dias	90 dias	28 dias	90 dias
07	AN+B ₁	6,11	6,29	14,08	14,44	2,30	2,29	2,45	2,42
08	AN+ B ₁ +Ad	5,68	5,31	15,50	12,17	2,73	2,29	2,88	2,41
09	85%AN+15%AA+ B ₁ +Ad	5,68	4,86	13,22	11,39	2,33	2,34	2,46	2,64
10	70%AN+30%AA+ B ₁ +Ad	5,35	5,01	12,57	11,79	2,35	2,35	2,69	2,67
11	50%AN+50%AA+ B ₁ +Ad	5,28	4,45	12,66	10,77	2,40	2,42	2,75	2,72
12	30%AN+70%AA+ B ₁ +Ad	5,39	4,80	13,03	11,76	2,42	2,45	2,78	2,78

AN = areia natural, B₁ = brita 1, AA = areia artificial, Ad = aditivo.

A figura 4.15 apresenta a absorção por imersão de água dos traços 1 e 2, sendo observado que quanto maior o teor de substituição menor foi a absorção de água. Isso foi mais evidente com a idade de 90 dias, quando as reações do cimento estão mais completas.

Para o traço 2 não foi tão evidente a diminuição da absorção de água com o aumento do teor de substituição.

**FIGURA 4.15 – Absorção por imersão de água dos traços 1 e 2**

4.3.5 Absorção de Água por Capilaridade

Foi realizado ensaio de absorção de água por capilaridade, pela norma brasileira NBR 9779(1995) e outro proposto pela Associação Francesa de Materiais (AFREM).

- **Ensaio pela norma brasileira NBR 9779/95**

A tabela 4.19 apresenta a média dos resultados da absorção de água por capilaridade realizada pela norma brasileira. No Anexo B, Tabela - B.4, apresenta os valores individuais dos dois corpos-de-prova com 28 e 90 dias de idades.

TABELA 4.19 – Resultados dos ensaios de absorção por capilaridade pelo método brasileiro

1 – Traço unitário em massa - 1: 2,034: 3,022									
Mistura N°	Componentes do traço	Absorção de água por capilaridade com (g/cm ²)						Ascensão capilar máxima (cm)	
		28 dias			90 dias			28 dias	90 dias
		Idades	28 dias			90 dias			
Horas	24	48	72	24	48	72			
01	AN+B ₁	0,663	0,854	0,917	0,561	0,663	0,689	7,9	7,0
02	AN+ B ₁ +Ad	0,369	0,485	0,536	0,408	0,522	0,561	5,3	5,2
03	85%AN+15%AA+ B ₁ +Ad	0,358	0,407	0,466	0,243	0,229	0,268	4,9	4,8
04	70%AN+30%AA+ B ₁ +Ad	0,407	0,498	0,612	0,205	0,332	0,369	5,9	3,9
05	50%AN+50%AA+ B ₁ +Ad	0,421	0,548	0,574	0,332	0,459	0,548	5,9	3,5
06	30%AN+70%AA+ B ₁ +Ad	0,662	0,752	0,789	0,217	0,255	0,344	8,7	2,1

2 – Traço unitário em massa - 1: 3,220: 4,220									
Mistura N°	Componentes do traço	Absorção de água por capilaridade com (g/cm ²)						Ascensão capilar máxima (cm)	
		28 dias			90 dias			28 dias	90 dias
		Idades	28 dias			90 dias			
Horas	24	48	72	24	48	72			
07	AN+B ₁	1,019	1,249	1,327	0,421	0,587	0,637	10,8	4,5
08	AN+ B ₁ +Ad	0,447	0,587	0,638	0,255	0,332	0,345	5,8	3,8
09	85%AN+15%AA+ B ₁ +Ad	0,509	0,637	0,713	0,447	0,612	0,625	6,5	7,0
10	70%AN+30%AA+ B ₁ +Ad	0,612	0,726	0,802	0,523	0,752	0,765	7,6	7,3
11	50%AN+50%AA+ B ₁ +Ad	0,599	0,701	0,802	0,369	0,509	0,521	6,3	5,3
12	30%AN+70%AA+ B ₁ +Ad	0,675	0,803	0,929	0,447	0,586	0,663	7,0	6,4

A figura 4.16 apresenta a ascensão capilar máxima do ensaio de absorção por capilaridade dos traços 1 e 2 com 28 e 90 dias de idade.

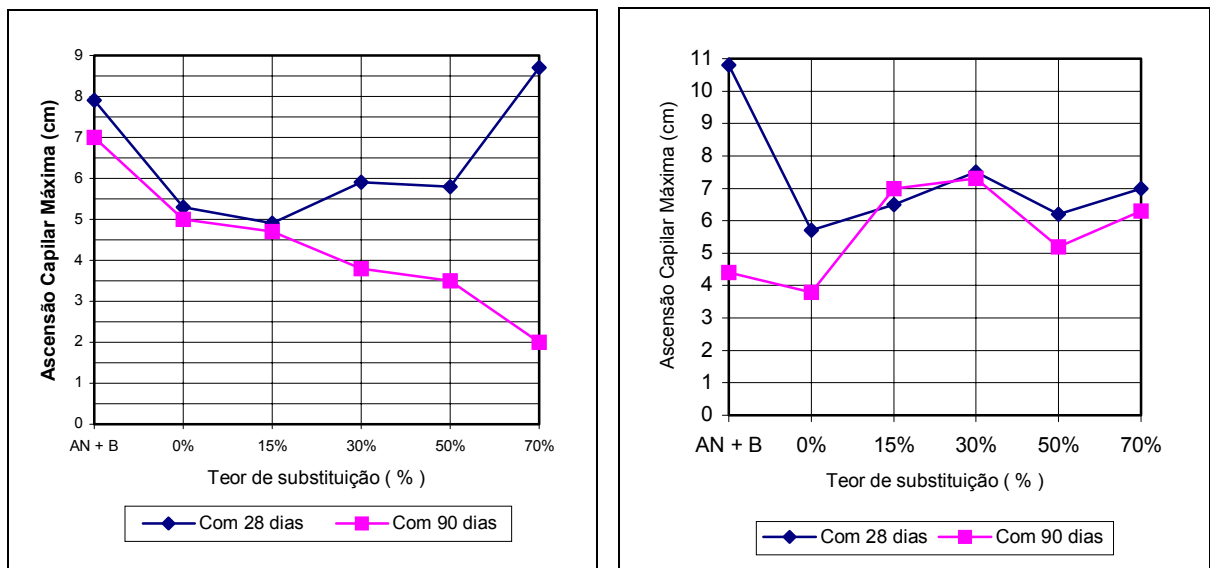


FIGURA 4.16 – Ascensão capilar máxima dos traços 1 e 2

O traço 1, com 90 dias de idade, quanto maior o teor de substituição menor a ascensão capilar máxima. Isso é compatível com a menor relação água/cimento, o maior

consumo de cimento, a maior resistência à compressão, e a menor quantidade de vazios existem na mistura, sendo que aos 28 dias de idades não ocorreu o mesmo.

- **Ensaio realizado pelo procedimento da AFREM**

A tabela 4.20 está relacionada à média dos resultados entre as três partes ensaiadas dos corpos-de-prova do ensaio de absorção de água por capilaridade, realizado pelo procedimento proposto pela AFREM.

Para análise dos dados foi usada a média dos valores, mas somente foi possível após um estudo estatístico referente à análise de Variância entre os três valores. On de foi observado que não há diferença entre as médias. Os valores estão no anexo C.

TABELA 4.20 – Ensaio de absorção por capilaridade

1 – Traço unitário em massa - 1: 2,034: 3,022				
Mistura N°	Componentes do traço	Absorção de água por capilaridade com (g/cm ²)		
	idades	90 dias		
	horas	1 hora	24 horas	48 horas
01	AN+B ₁	0,13	0,65	0,76
02	AN+ B ₁ +Ad	0,13	0,51	0,67
03	85%AN+15%AA+ B ₁ +Ad	0,10	0,48	0,60
04	70%AN+30%AA+ B ₁ +Ad	0,11	0,43	0,55
05	50%AN+50%AA+ B ₁ +Ad	0,08	0,43	0,57
06	30%AN+70%AA+ B ₁ +Ad	0,09	0,40	0,54
2 – Traço unitário em massa - 1: 3,220: 4,220				
Mistura N°	Componentes do traço	Absorção de água por capilaridade com (g/cm ²)		
	idades	90 dias		
	horas	1 hora	24 horas	48 horas
07	AN+B ₁	0,14	0,60	0,77
08	AN+ B ₁ +Ad	0,12	0,51	0,63
09	85%AN+15%AA+ B ₁ +Ad	0,09	0,43	0,48
10	70%AN+30%AA+ B ₁ +Ad	0,10	0,50	0,66
11	50%AN+50%AA+ B ₁ +Ad	0,06	0,39	0,52
12	30%AN+70%AA+ B ₁ +Ad	0,093	0,484	0,624

Para o traço 1 com 24 e 48 horas apresentou uma menor absorção de água com o aumento do teor de substituição de areia artificial, justificado com maior substituição produziu misturas com menor relação água/cimento, maior resistência à compressão e menor quantidade de vazios.

Com medidas de 1 hora ocorreu uma leve diminuição da absorção por capilaridade com o aumento do teor de areia artificial.

No traço 2 não apresentou o mesmo comportamento devido a maior relação água/cimento, menor resistência a compressão, menor consumo de cimento e maior quantidade de vazios existentes.

4.3.6 Profundidade da Carbonatação

Durante todo o tempo que os corpos-de-prova permaneceram armazenados de acordo com apresentado na figura 3.21 do capítulo III, foi medido uma vez por dia a temperatura e a umidade relativa do ar. No anexo B, tabela B.5 e B.6 apresenta os valores individuais das medidas, sendo que o valor médio foi de 57% e de 21°C, respectivamente.

A tabela 4.21, representa às médias das cinco medidas de profundidade de carbonatação realizadas logo após a aplicação da fenolftaleína para cada corpo-de-prova de concreto, com 3 e 10 meses de idade.

TABELA 4.21 – Medidas da profundidade de carbonatação

1 – Traço unitário em massa - 1: 2,034: 3,022			
Mistura N°	Componentes do traço	Médias das medidas em (mm)	
		03 meses	10 meses
01	AN+B ₁	2,5	5,3
02	AN+ B ₁ +Ad	2,0	4,7
03	85%AN+15%AA+ B ₁ +Ad	1,7	3,7
04	70%AN+30%AA+ B ₁ +Ad	1,0	-
05	50%AN+50%AA+ B ₁ +Ad	1,0	2,9
06	30%AN+70%AA+ B ₁ +Ad	1,0	2,9
2 – Traço unitário em massa - 1: 3,220: 4,220			
Mistura N°	Componentes do traço	Médias das medidas em (mm)	
		03 meses	10 meses
07	AN+B ₁	3,1	8,0
08	AN+ B ₁ +Ad	1,8	7,2
09	85%AN+15%AA+ B ₁ +Ad	2,5	6,7
10	70%AN+30%AA+ B ₁ +Ad	1,0	6,9
11	50%AN+50%AA+ B ₁ +Ad	1,8	6,7
12	30%AN+70%AA+ B ₁ +Ad	1,0	5,3

A figura 4.17 apresenta medida da profundidade de carbonatação com o teor de substituição com 3 e 10 meses de idade dos traços 1 e 2.

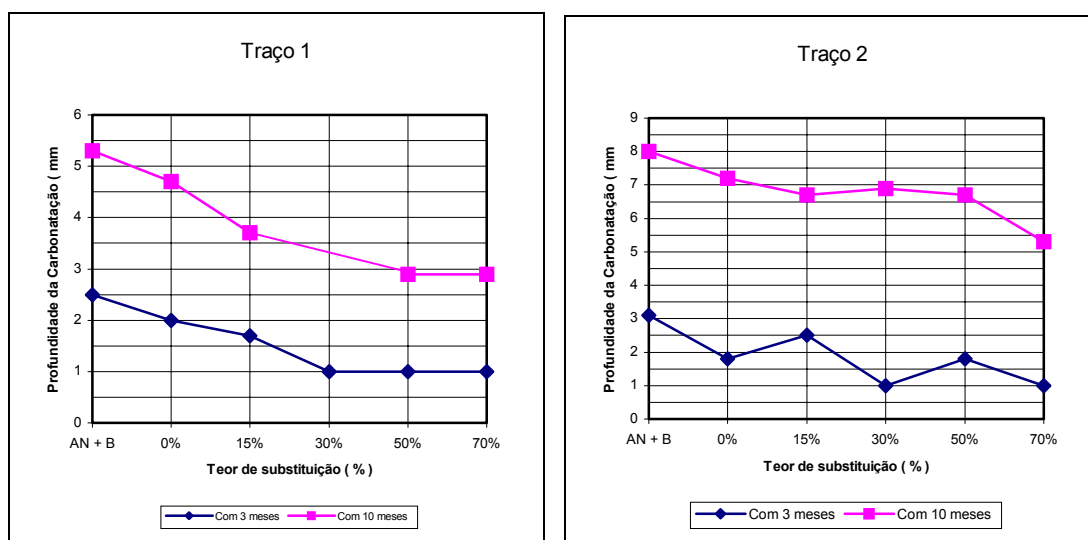


FIGURA 4.17 – Profundidade da carbonatação com o teor de substituição dos traços 1 e 2

A velocidade da carbonatação é função da difusão do CO_2 no concreto, umidade relativa do ar, tempo, relação água/cimento, permeabilidade e cura.

Para os dois traços quanto maior o teor de substituição, é menor a medida da profundidade da carbonatação.

O traço 2 (mais fraco) apresentou maior profundidade de carbonatação do que o traço 1 (mais rico).

4.3.7 Resumo do Desempenho da Substituição da Areia Artificial por Areia Natural

A tabela 4.22 apresenta as variações dos índices de desempenho com relação a mistura de concreto referência ($\text{AN+B}_1+\text{Ad}$) do traço 1.

Ficou muito evidente que o uso de areia artificial, em substituição parcial pela natural apresentou um melhor desempenho em todos os aspectos realizados neste trabalho, devido à redução da demanda em água e aumento do consumo de cimento, conforme relacionados na tabela 4.22.

A mistura com 70% de substituição de areia artificial apresentou o melhor índice de desempenho.

TABELA 4.22 – Variação do desempenho em relação ao concreto referência do traço 1

Ensaio realizado		Misturas com os teores de substituições				
		100% AN	15% AA	30% AA	50% AA	70% AA
Relação água/cimento		0,50	-4%	-7%	-9%	-9%
Consumo de cimento por (kg/m ³)		375,42	1%	2%	3%	4%
Abatimento imediato (mm)		90,00	-11%	-11%	-11%	-11%
Abatimento com 15 minutos (mm)		72,00	-7%	-17%	-31%	-38%
Ar incorporado (%)		4,20	-7%	-19%	-26%	-29%
Resistência à compressão – 7 dias (MPa)		25,66	28%	31%	34%	34%
Resistência à compressão – 28 dias (MPa)		34,12	13%	36%	27%	56%
Resistência por compressão diametral – 28 dias (MPa)		5,47	12%	26%	3%	9%
Absorção por imersão	28 dias de idade (%)	5,31	6%	-10%	-19%	-14%
	90 dias de idade (%)	4,88	-8%	-18%	-17%	-20%
Índice de vazios	28 dias de idade (%)	12,35	6%	-7%	-15%	-9%
	90 dias de idade (%)	11,45	-6%	-15%	-13%	-15%
Capilaridade NBR9779/95 – 90 dias com 48 horas (g/cm ²)		0,52	-56%	-37%	-12%	-51%
Capilaridade AFREM – 90 dias com 48 horas (g/cm ²)		0,67	-9%	-18%	-15%	-18%
Ascensão capilar máxima	28 dias de idade (cm)	5,30	-8%	-11%	-9%	-64%
	90 dias de idade (cm)	5,00	-6%	-24%	-30%	-60%
Medida de Profundidade da carbonatação	03 meses de idade (cm)	2,00	-15%	-50%	-50%	-50%
	10 meses de idade (cm)	4,70	-21%		-38%	-38%

Legenda – NA= areia natural, AA areia artificial

A tabela 4.23 apresenta as variações dos índices de desempenho com relação a mistura de concreto (AN+B₁+AD) do traço 2. Neste caso, houve também uma melhoria dos índices de desempenho do concreto mesmo sendo menos evidente do que no caso do concreto do traço 1 mais forte.

A mistura com 70% de substituição foi aquela que apresentou o melhor desempenho.

TABELA 4.23 – Variação do desempenho em relação ao concreto referência do traço 2

Ensaio realizado	Misturas com teores de substituições					
	100% AN	15% AA	30% AA	50% AA	70% AA	
Relação água/cimento	0,68	-5%	-7%	-8%	-11%	
Consumo de cimento por (kg/m ³)	269,40	2%	2%	3%	5%	
Abatimento imediato (mm)	80,00	0%	2%	0%	0%	
Abatimento com 15 minutos (mm)	70,00	-14%	-21%	7%	-21%	
Ar incorporado (%)	4,90	2%	-16%	-22%	-14%	
Resistência à compressão com 7 dias (MPa)		-3%	-11%	-6%	0%	
Resistência a compressão com 28 dias(MPa)	25,90	3%	-7%	10%	13%	
Resistência por compressão diametral (MPa)	3,49	-7%	10%	32%	16%	
Absorção por imersão	28 dias de idade (%)	5,68	0%	-6%	-7%	-5%
	90 dias de idade (%)	5,31	-9%	-6%	-16%	-10%
Índice de vazios	28 dias de idade (%)	15,49	-15%	-19%	-18%	-16%
	90 dias de idade (%)	12,17	-6%	-3%	-12%	-3%
Capilaridade NBR9779/95-90 dias com 48 horas (g/cm ²)	0,63	-23%	5%	-18%	-1%	
Capilaridade AFREM - 90 dias com 48 horas (g/cm ²)	0,33	85%	127%	54%	77%	
Ascensão capilar	28 dias (mm)	5,70	14%	32%	9%	23%
	90 dias (mm)	3,80	84%	92%	37%	66%
Medida da Profundidade da carbonatação	03 meses de idade (cm)	1,80	39%	-44%	0%	-44%
	10 meses de idade (cm)	7,20	-7%	-4%	-7%	-26%

Legenda - AN= areia natural, AA areia artificial

As diferenças encontradas nas variações dos índices do desempenho entre os traços é que o traço 1 possui menor relação água/cimento e maior consumo de cimento, conseqüentemente maior resistência, por isso melhor desempenho nos índices analisados.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSÕES

Os resultados dos experimentos realizados com concretos confeccionados a partir do uso de areia artificial basáltica, em substituição parcial à areia fina, para produção de concretos convencionais, permitam concluir que:

5.1 Conclusões Relativas aos Agregados

- Foi confirmado que a areia normalmente utilizada para confecção de concreto e argamassa na região de Campo Grande apresenta uma granulometria abaixo da zona muito fina.
- A areia artificial basáltica, utilizada neste trabalho, possui uma distribuição granulométrica classificada como sendo areia grossa (zona 4), de acordo com a norma NBR 7211 (1983).
- A substituição de 15%, 30%, 50% e 70% em massa de areia natural, por areia artificial basáltica trouxe melhoria na distribuição granulométrica. A mistura com 70% de areia artificial ficou classificada de acordo com a norma NBR 7211 (1983) como areia média (zona 3).
- Quando utilizados agregados miúdos com classificação média (zona 3), em relação a resistência e durabilidade, o concreto apresentou um melhor desempenho.
- A areia natural apresenta um módulo de finura de 1,12 e com a substituição este aumentou gradativamente, sendo que para 70% de substituição atingiu 2,63. O módulo de finura está relacionado com a superfície específica, quanto maior é o

agregado, menor é a superfície específica. Isso resulta em menor quantidade de água de mistura e menor quantidade de finos.

- A areia natural apresentou um coeficiente de inchamento menor que da areia artificial, devido à menor quantidade de finos presentes neste agregado.
- O teor de material pulverulento dos agregados miúdos usados no concreto, ficou entre 3% e 5% permitido pela norma de especificação 7211 (1983).
- A brita 1 apresentou uma quantidade de material pulverulento acima do permitido por norma, sendo o máximo de 1%.

5.2 Conclusões Relativas ao Concreto

5.2.1 Concreto no Estado Fresco

- Até 50% de substituição em massa da areia natural pela artificial, não houve redução do abatimento. Com 70% de substituição, ocorreu uma perda de 30% de abatimento, o concreto ficou muito áspero devido a forma lamelar da areia artificial.
- Quando utilizado 70% de substituição de areia artificial, a relação água/cimento foi reduzida em média de 10%.
- Quanto maior é a substituição, menor é a quantidade de ar incorporado, atingindo uma média de 19% em relação ao concreto referência.

5.2.2 Concreto endurecido

- Houve um aumento do consumo de cimento com o aumento do teor de substituição.
- Quanto maior é o teor de substituição, maior são as resistências à compressão axial e à tração por compressão diametral, chegando um aumento respectivamente de 56%, (com o teor de substituição de 70%) e 32% (com o teor de substituição de

50%) aos 28 dias de idade, em relação ao traço de referência. Isto é devido ao aumento do consumo de cimento e redução da relação água/cimento.

- A substituição parcial da areia natural pela areia artificial gerou uma diminuição da absorção de água por imersão, da absorção de água por capilaridade, da ascensão capilar máxima de água e da profundidade de carbonatação. Isto é devido à redução da relação água/cimento gerando uma redução da porosidade, somente para o traço 1.

5.3 Conclusões Relativas ao Meio Ambiente

A substituição parcial de areias naturais pela areia artificial basáltica, como agregado composto, reduz a demanda pelas areias naturais e, conseqüentemente, a área de exploração.

A areia artificial é um subproduto do processo de beneficiamento do basalto e seu custo de produção é diluído no custo de produção de agregados graúdos.

5.4 Conclusões Finais

O uso de areia artificial basáltica, em substituição parcial da areia natural muito fina, permite a confecção de concretos convencionais mais resistentes e mais duráveis.

O melhor desempenho em todos os aspectos analisados neste trabalho foi a mistura com 70% de substituição de areia artificial.

O teor de material pulverulento existente na areia artificial tem que ser controlado, pois se ocorrer variações, afetará a granulometria da dosagem, acarretando perda de abatimento e variação na relação água/cimento.

Como sugestão para trabalhos futuros, podem ser citadas:

- Controle da quantidade de material pulverulento existente na areia artificial, conforme especificado por norma, o limite entre 5% a 7%.

- Confeccionar concretos com valores de abatimento de tronco de cone diferentes e relação água/cimento constante.
- Utilização de novas técnicas para melhorar a forma lamelar de areia artificial.

ANEXO A

FIGURA A.1 - Curva de inchamento da areia natural

FIGURA A.2 - Curva de Inchamento da areia artificial

FIGURA A.3 – Curva de inchamento de 85% de areia natural com 15% de areia artificial

FIGURA A.4 - Curva de inchamento da mistura de 70% de areia natural com 30% de areia artificial

FIGURA A.5 – Curva de inchamento da mistura de 50% de areia natural com 50% de areia artificial

FIGURA A.6 - Curva de inchamento da mistura de 30% areia natural com 70% de areia artificial

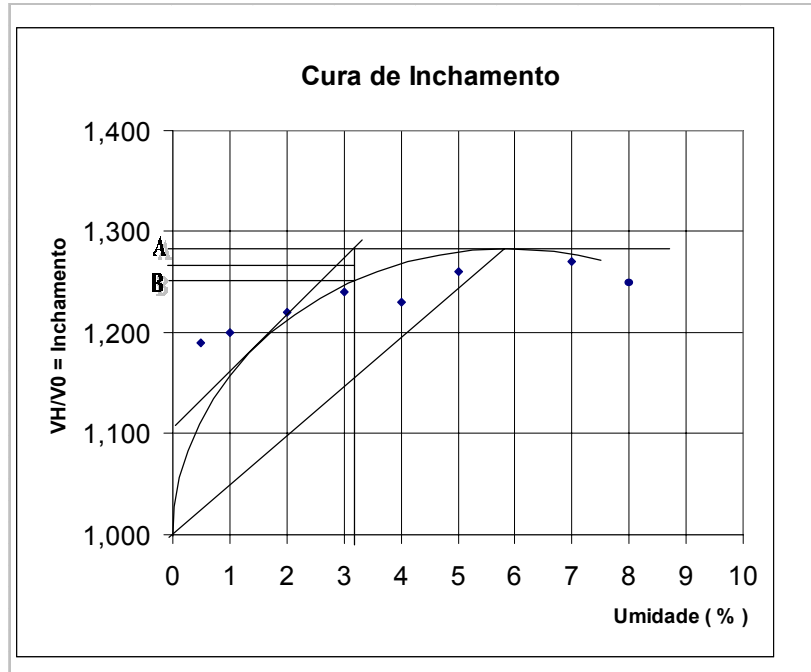


FIGURA A.1 - Curva de inchamento da areia natural

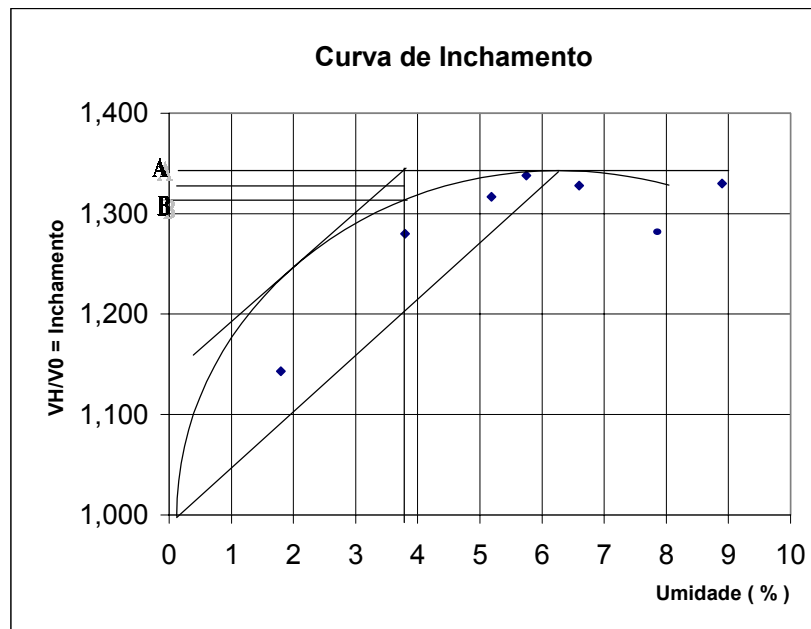


FIGURA A.2 - Curva de Inchamento da areia artificial

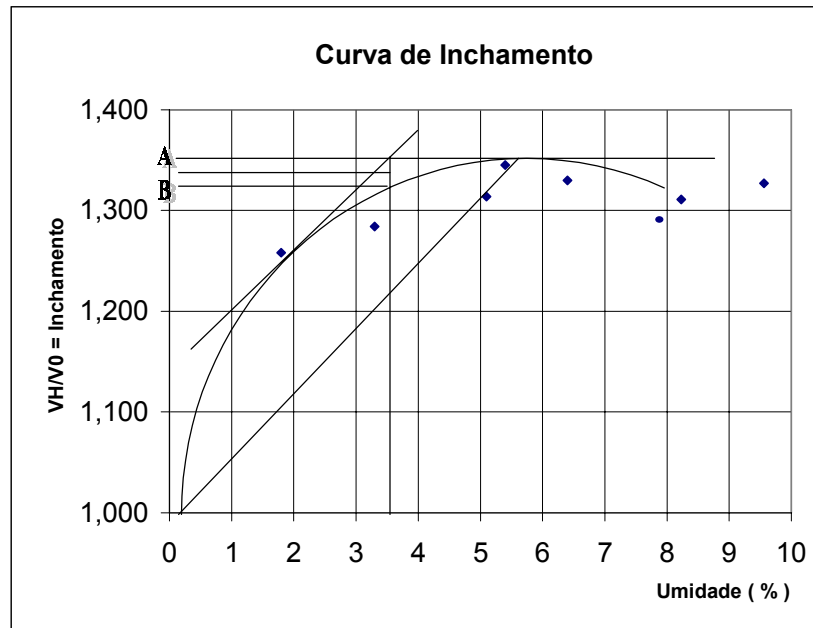


FIGURA A.3 – Curva de inchamento de 85% de areia natural com 15% de areia artificial

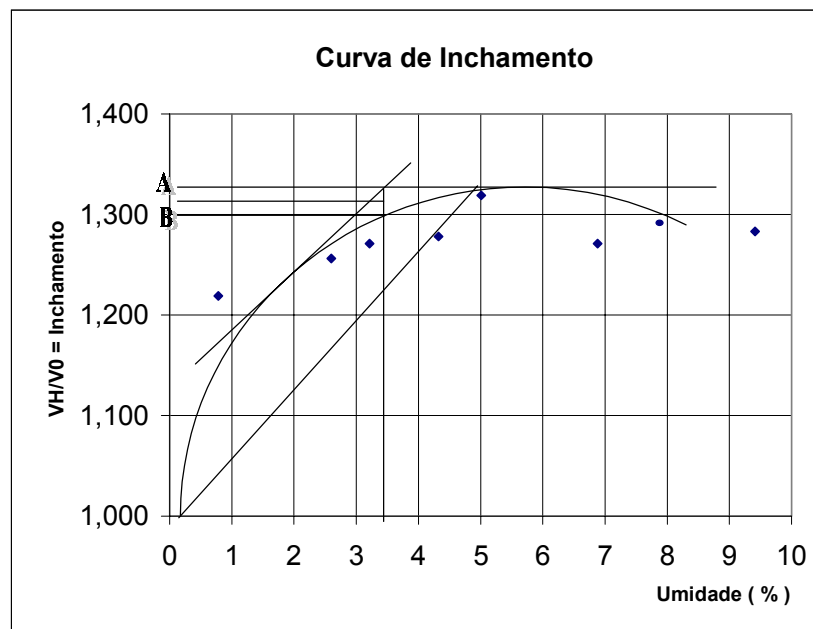


FIGURA A.4 - Curva de inchamento da mistura de 70% de areia natural com 30% de areia artificial

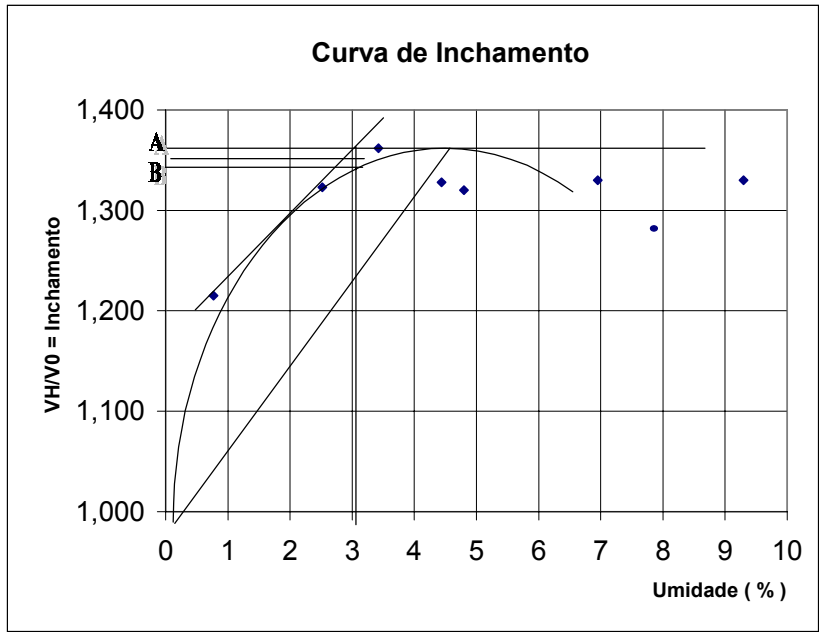


FIGURA A.5 – Curva de incharmento da mistura de 50% de areia natural com 50% de areia artificial

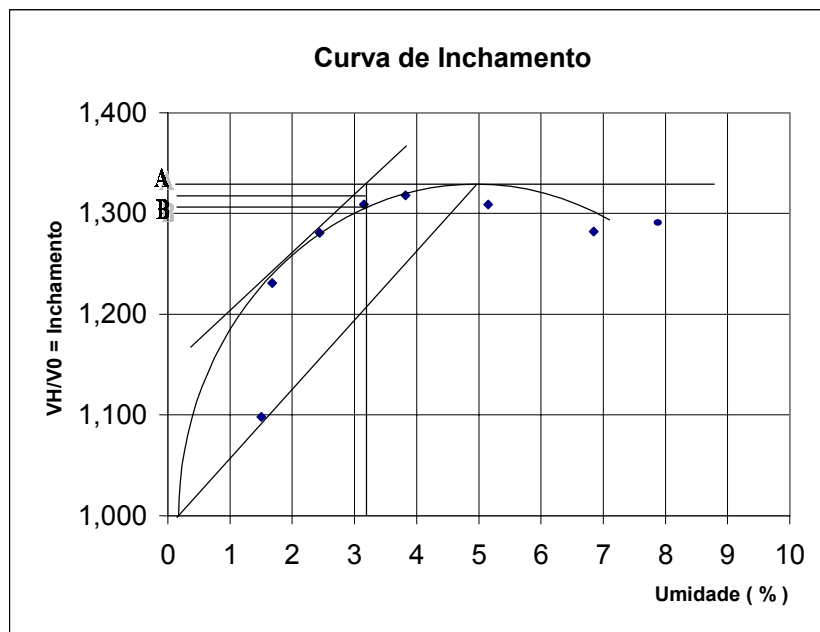


FIGURA A.6 - Curva de incharmento da mistura de 30% areia natural com 70% de areia artificial

ANEXO B

TABELA B.1 – Valores individuais e médias das resistências a compressão axial dos corpos-de-prova cilíndricos

TABELA B.2 – Resultados individuais e médias das resistências à tração por compressão diametral dos corpos de prova

TABELA B.3 – Resultados individuais e médias do ensaio de absorção de água por imersão

TABELA B.4 – Resultados individuais do ensaio de absorção por capilaridade

TABELA B.5 – Valores individuais da temperatura obtidos durante o ensaio de Carbonatação

TABELA B.6 – Valores individuais da umidade relativa do ar obtidos durante o ensaio de carbonatação

TABELA B.7 – Medidas individuais e médias da profundidade de carbonatação

Para a realização de resistências a compressão axial foram moldados 2 corpos-de-prova com 7 e 28 dias de idade.

TABELA B.1 – Valores individuais e médias das resistências a compressão axial dos corpos-de-prova cilíndricos

1 – Traço unitário em massa – 1 : 2,034 : 3,022					
Mistura N°	Composição	Tensão com 7 dias (MPa)		Tensão com 28 dias (MPa)	
		Valores individuais	Médias dos valores	Valores individuais	Médias dos valores
01	AN+B ₁	23,55/21,00	22,28	28,01/27,76	27,89
02	AN+ B ₁ +Ad	25,59/25,72	25,66	34,63/33,61	34,12
03	85%AN+15%AA+ B ₁ + Ad	33,36/32,34	32,85	37,94/39,47	38,71
04	70%AN+30%AA+ B ₁ + Ad	33,62/33,49	33,56	45,84/47,11	46,47
05	50%AN+50%AA+ B ₁ + Ad	34,38/34,51	34,44	42,02/44,56	43,29
06	30%AN+70%AA+ B ₁ + Ad	34,38/34,38	34,38	53,35/52,84	53,09
2 – Traço unitário em massa – 1 : 3,220 : 4,220					
Mistura N°	Composição	Tensão com 7 dias (MPa)		Tensão com 28 dias (MPa)	
		Valores individuais	Médias dos valores	Valores individuais	Médias dos valores
07	AN+B ₁	16,55/15,02	15,79	22,79/22,79	22,79
08	AN+ B ₁ +Ad	20,37/20,50	20,44	25,90/25,90	25,90
09	85%AN+15%AA+ B ₁ + Ad	20,63/19,11	19,87	25,63/27,63	26,63
10	70%AN+30%AA+ B ₁ + Ad	17,83/18,46	18,14	25,09/23,17	24,13
11	50%AN+50%AA+ B ₁ + Ad	19,01/19,61	19,31	28,11/29,03	28,57
12	30%AN+70%AA+ B ₁ + Ad	20,12/20,75	20,44	29,03/29,29	29,16

AN = areia natural, B₁ = brita 1, AA = areia artificial, Ad = aditivo.

Obs: os valores em azul foram utilizados nas discussões.

Para a realização da resistências à tração por compressão diametral foram moldados 2 corpos-de-prova com 28 dias de idade.

TABELA B.2 – Resultados Individuais e médias das resistências à tração por compressão diametral dos corpos de prova

1 - Traço unitário em massa - 1: 2,034: 3,022			
Mistura N°	Componentes	Tensão com 28 dias (MPa)	
		Valores individuais	Médias dos valores
01	AN+B ₁	5,14/3,55	4,35
02	AN+ B ₁ +Ad	5,41/5,53	5,47
03	85%AN+15%AA+ B ₁ +Ad	5,98/6,26	6,12
04	70%AN+30%AA+ B ₁ +Ad	6,62/7,13	6,88
05	50%AN+50%AA+ B ₁ +Ad	5,32/5,90	5,61
06	30%AN+70%AA+ B ₁ +Ad	6,70/5,27	5,99
2 - Traço unitário em massa – 1 : 3,220: 4,220			
Mistura N°	Componentes	Tensão com 28 dias (MPa)	
		Valores individuais	Médias dos valores
07	AN+B ₁	3,08/2,93	3,00
08	AN+ B ₁ +Ad	3,92/3,07	3,49
09	85%AN+15%AA+ B ₁ +Ad	3,20/3,26	3,23
10	70%AN+30%AA+ B ₁ +Ad	3,85/3,81	3,83
11	50%AN+50%AA+ B ₁ +Ad	4,27/4,93	4,60
12	30%AN+70%AA+ B ₁ +Ad	3,30/4,76	4,03

AN = areia natural, B₁ = brita 1, AA = areia artificial, Ad = aditivo.

Obs: os valores em azul foram utilizados nas discussões.

Para a realização do ensaio de absorção de água por imersão foram moldados 1 corpo-de-prova com 28 e 2 para 90 dias de idade.

TABELA B.3 – Resultados individuais e médias do ensaio de absorção de água por imersão

1 – Traço unitário em massa - 1: 2,034: 3,022									
Mistura N°	Valores de Absorção de água (%)			Valores do Índice de vazios (%)			Valores Massa específica amostra seca (kg/dm ³)		
	28 dias	90 dias		28 dias	90 dias		28 dias	90 dias	
	Individual	Individuais	Média	Individual	Individuais	Média	Individual	Individuais	Média
01	5,92	5,57/5,51	5,54	12,80	13,08/12,94	13,01	2,35	2,35/2,35	2,35
02	5,31	5,03/4,73	4,88	12,45	11,78/11,13	11,78	2,33	2,35/2,34	2,35
03	5,63	4,64/4,37	4,51	13,73	11,00/11,00	11,00	2,33	2,37/2,50	2,44
04	4,76	3,90/4,05	4,00	11,41	9,63/9,78	9,71	2,41	2,43/2,42	2,43
05	4,29	3,93/4,19	4,06	10,24	9,70/10,24	9,97	2,45	2,47/2,44	2,46
06	4,54	3,93/3,92	3,93	11,20	9,76/9,73	9,75	2,47	2,48/2,48	2,48
2 – Traço unitário em massa -1: 3,220: 4,220									
Mistura N°	Valores de Absorção de água (%)			Valores do Índice de vazios (%)			Valores Massa específica amostra seca (kg/dm ³)		
	28 dias	90 dias		28 dias	90 dias	90 dias	28 dias	90 dias	90 dias
	Individual	Individuais	Média	Individual	Individuais	Média	Individual	Individuais	Média
07	6,11	6,32/6,26	6,29	14,08	14,53/14,34	14,44	2,30	2,29/2,29	2,29
08	5,68	5,46/5,17	5,32	15,50	12,45/11,90	12,18	2,73	2,28/2,30	2,29
09	5,68	4,86/4,86	4,86	13,22	11,36/11,41	11,39	2,33	2,34/2,35	2,35
10	5,35	5,02/5,00	5,01	12,57	11,69/11,90	11,80	2,35	2,34/2,37	2,36
11	5,28	4,65/4,24	4,45	12,66	10,32/11,21	10,77	2,40	2,41/2,43	2,42
12	5,39	4,91/4,68	4,80	13,03	11,51/12,02	11,77	2,42	2,45/2,46	2,46

Obs: os valores em azul foram utilizados para discussões.

Para a realização do ensaio de absorção de água por capilaridade foram moldados 2 corpos-de-prova para 28 e 90 dias de idade.

TABELA B 4 – Resultados individuais do ensaio de absorção por capilaridade

1 – Traço unitário em massa - 1: 2,034: 3,022								
Mistura N°	Absorção de água por capilaridade com (g/cm ²)						Ascensão capilar máxima (cm)	
	28 dias			90 dias			28 dias	90 dias
	24	48	72	24	48	72		
01	0,662/0,663	0,854/0,853	0,917/0,917	0,560/0,561	0,662/0,663	0,688/0,689	7,9/7,8	7,0/7,0
02	0,369/0,368	0,484/0,485	0,535/0,536	0,407/0,408	0,522/0,522	0,560/0,561	5,3/5,3	5,0/5,3
03	0,357/0,358	0,407/0,406	0,465/0,466	0,242/0,243	0,229/0,229	0,267/0,268	4,9/4,9	4,7/4,8
04	0,407/0,406	0,497/0,498	0,611/0,612	0,204/0,205	0,331/0,332	0,369/0,368	5,9/5,8	3,8/3,9
05	0,420/0,421	0,547/0,548	0,573/0,574	0,331/0,332	0,458/0,459	0,547/0,548	5,8/5,9	3,5/3,5
06	0,661/0,662	0,751/0,752	0,789/0,788	0,216/0,217	0,255/0,255	0,344/0,344	8,7/8,7	2,0/2,1
2 – Traço unitário em massa - 1: 3,220: 4,220								
Mistura N°	Absorção de água por capilaridade com (g/cm ²)						Ascensão capilar máxima (cm)	
	28 dias			90 dias			28 dias	90 dias
	24	48	72	24	48	72		
07	1,019/1,018	1,248/1,249	1,327/1,327	0,420/0,421	0,586/0,587	0,637/0,637	10,8/10,7	4,4/4,5
08	0,446/0,447	0,586/0,587	0,637/0,638	0,255/0,254	0,331/0,332	0,344/0,345	5,7/5,8	3,8/3,7
09	0,509/0,508	0,637/0,637	0,713/0,713	0,446/0,447	0,611/0,612	0,624/0,625	6,5/6,4	7,0/7,0
10	0,611/0,612	0,726/0,726	0,802/0,802	0,522/0,523	0,751/0,752	0,764/0,765	7,5/7,6	7,3/7,2
11	0,598/0,599	0,700/0,701	0,802/0,801	0,369/0,368	0,509/0,508	0,522/0,520	6,2/6,3	5,2/5,3
12	0,675/0,675	0,802/0,803	0,929/0,929	0,446/0,447	0,586/0,586	0,662/0,663	7,0/7,0	6,3/6,4

TABELA B.5 – Valores Individuais da temperatura obtidos durante o ensaio de Carbonatação

Medidas de Temperatura Obtida através de um Termo Higrômetro (°C)										
14	10	11	14	16	19	16	17	16	16	15
19	19	20	21	20	20	21	21	22	19	18
18	18	20	22	21	24	20	22	22	22	19
12	21	22	22	22	22	22	21	21	21	23
23	25	21	23	25	24	24	24	23	23	22
20	23	24	25	25	27	25	24	27	25	28
25	24	24	25	25	23	19	15	19	19	22
24	21	23	29	24	21	24	23	25	25	24
Média da Temperatura					Valor que mais repetiu					
21					22					

TABELA B.6 – Valores Individuais da umidade relativa do ar obtidos durante o ensaio de carbonatação

Medidas da Umidade relativa % através de um Termo Higrômetro (%)										
71	59	63	65	75	95	68	61	62	65	71
62	65	59	58	60	64	57	51	59	61	67
75	70	59	52	48	54	66	68	60	73	60
58	48	45	45	43	42	41	44	45	43	40
41	40	43	41	43	50	55	50	60	64	68
75	60	55	42	43	46	62	57	43	49	39
45	60	45	49	70	53	45	45	49	47	50
58	75	75	51	67	75	54	55	60	62	62
Média Umidade Relativa do Ar					Valor que mais repetiu					
57					60					

Para a realização do ensaio profundidade de carbonatação foi moldado 1 corpos-de-prova para 3 e 10 meses de idade.

TABELA B.7 – Medidas individuais e médias da profundidade de carbonatação

1 – Traço unitário em massa – 1: 2,034: 3,022					
Mistura N°	Componentes do traço	Medidas em (mm)			
		03 meses		10 meses	
		Medidas individuais	Médias das medidas	Medidas individuais	Médias das medidas
01	AN+B ₁	1,0/2,0/3,4/2,7/3,5	2,5	4,0/6,0/6,0/5,6/5,0	5,3
02	AN + B ₁ +Ad	2,1/2,2/2,1/2,0/2,0	2,0	5,0/6,0/4,0/4,0/4,5	4,7
03	85%AN +15%AA+ B ₁ +Ad	1,8/1,8/1,7/1,7/1,7	1,7	5,0/3,0/5,5/3,0/3,0	3,7
04	70%AN +30%AA+ B ₁ +Ad	1,0/1,0/0,9/0,9/1,0	1,0	-	-
05	50%AN +50%AA+ B ₁ +Ad	1,0/1,0/0,9/0,9/1,0	1,0	3,3/2,5/3,0/2,5/3,1	2,9
06	30%AN +70%AA+ B ₁ +Ad	1,0/1,0/0,9/0,9/1,0	1,0	3,3/2,5/3,0/2,5/3,1	2,9
2 – Traço unitário em massa – 1: 3,220: 4,220					
Mistura N°	Componentes do traço	Medidas em (mm)			
		03 meses		10 meses	
		Medidas individuais	Médias das medidas	Medidas individuais	Médias das medidas
07	AN+B ₁	3,0/3,1/3,0/3,0/3,5	3,1	7,2/8,0/10,0/7,5/7,5	8,0
08	AN+ B ₁ +Ad	1,0/1,3/2,0/2,4/2,4	1,8	8,0/7,0/6,0/7,0/8,0	7,2
09	85% AN+15%AA+ B ₁ +Ad	2,8/2,0/2,5/2,5/2,6	2,5	6,5/6,0/6,0/7,0/8,0	6,7
10	70% AN+30%AA+ B ₁ +Ad	1,0/1,0/1,2/1,1/1,0	1,0	6,0/6,5/7,6/8,0/6,5	6,9
11	50% AN+50%AA+ B ₁ +Ad	1,5/2,0/1,8/1,8/1,8	1,8	7,0/6,5/6,5/6,5/7,0	6,7
12	30% AN+70%AA+ B ₁ +Ad	1,0/1,2/1,1/1,0/1,0	1,0	6,0/5,3/5,3/5,3/4,8	5,3

Obs: os valores em azul foram utilizados para discussões.

ANEXO C

QUADRO C.1 - Mistura 1 ($AN+B_1$) do Traço 1

QUADRO C.2 - Mistura 2 ($AN+B_1+Ad$) do Traço 1

QUADRO C.3 - Mistura 3 ($85\%AN+15\%AA+B_1+Ad$) do Traço 1

QUADRO C.4 - Mistura 4 ($70\%AN+30\%AA+B_1+Ad$) do Traço 1

QUADRO C.5 - Mistura 5 ($50\%AN+50\%AA+B_1+Ad$) do Traço 1

QUADRO C.6 - Mistura 6 ($70\%AN+30\%AA+B_1+Ad$) do Traço 1

QUADRO C.7 - Mistura 7 ($AN+B_1$) do Traço 2

QUADRO C.8 - Mistura 8 ($AN+B_1+Ad$) do Traço 2

QUADRO C.9 - Mistura 9 ($85\%AN+15\%AA+B_1+Ad$) do Traço 2

QUADRO C.10 - Mistura 10 ($70\%AN+30\%AA+B_1+Ad$) do Traço 2

QUADRO C.11 - Mistura 11 ($50\%AN+50\%AA+B_1+Ad$) do Traço 2

QUADRO C.12 - Mistura 12 ($70\%AN+30\%AA+B_1+Ad$) do Traço 2

Para a realização da absorção de água por capilaridade método AFREM foi moldado 1 corpos-de-prova para 90 dias de idade

QUADRO C.1 – Mistura 1 (NA+B₁) do Traço 1

horas	cima	meio	fundo	
20 min	0.076	0.076	0.076	
30 min	0.089	0.089	0.089	
40 min	0.115	0.108	0.102	
50 min	0.127	0.115	0.102	
1	0.14	0.14	0.115	
1,5	0.191	0.178	0.153	
2	0.229	0.204	0.178	
3	0.255	0.229	0.204	
4	0.28	0.267	0.242	
8	0.42	0.388	0.344	
24	0.688	0.688	0.586	
48	0.789	0.789	0.713	
Totais	2.432	2.361	2.089	6.882 Total
Totais ^2	1.4157	1.3701	1.07028	3.8561 Total ^2
Médias	0.49	0.47	0.42	
Desvios	0.24	0.25	0.22	

Tx	Tx^2	Ta	Tb	Tc
6.882	3.8561	2.432	2.361	2.089

SQT	SQTR	SQER
0.70	0.01	0.69

Tabela de ANOVA (Analysis of Variance)

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Variância do quadrado médio	Razão F
Entre médias (tratamento)	0.013	2	0.007	0.316
Dentro de amostras (erro)	0.686	33	0.021	
Total	0.699	35		

Parâmetro de comparação para saber se há ou não diferença entre as médias: (utilizar Solver no menu Ferramentas)

Razão F(tabelada)

85 **0.0500**

A célula logo acima tem que ser 0,05 !!! Para tal, a célula à esquerda precisa alcançar um valor obtido utilizando-se o Solver! Caso não encontre o solver, atribua valores à célula abaixo de Razão F(tabelada), de forma a ficar 0,05 à sua direita, ok?

Conclusão : Como Razão F (calculada) é MENOR que Razão F (tabelada) então não há diferença entre as médias!

Teste de Scheffé!

Delta	0.286
-------	-------

A e B	0.014
A e C	0.069
B e C	0.054

QUADRO C.2 – Mistura 2 (NA+B₁+Ad) do Traço 1

horas	cima	meio	fundo	
20 min	0.064	0.064	0.051	
30 min	0.089	0.089	0.089	
40 min	0.102	0.108	0.102	
50 min	0.121	0.127	0.102	
1	0.127	0.153	0.115	
1,5	0.153	0.14	0.127	
2	0.191	0.178	0.14	
3	0.229	0.216	0.178	
4	0.229	0.216	0.178	
8	0.369	0.344	0.293	
24	0.573	0.522	0.497	
48	0.713	0.662	0.624	
Totais	2.113	1.96	1.77	5.843 Total
Totais ^2	1.0777	0.9224	0.785602	2.7857 Total ^2
Médias	0.42	0.39	0.35	
Desvios	0.21	0.20	0.20	

Tx	Tx^2	Ta	Tb	Tc
5.843	2.7857	2.113	1.96	1.77

SQT	SQTR	SQER
0.51	0.01	0.50

Tabela de ANOVA (Analysis of Variance)

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Variância do quadrado médio	Razão F
Entre médias (tratamento)	0.012	2	0.006	0.391
Dentro de amostras (erro)	0.498	33	0.015	
Total	0.510	35		

Parâmetro de comparação para saber se há ou não diferença entre as médias: (utilizar Solver no menu Ferramentas)

Razão F(tabelada)

3.285 0.0500

A célula logo acima tem que ser 0,05 !!! Para tal, a célula à esquerda precisa alcançar um valor obtido utilizando-se o Solver!

Caso não encontre o solver, atribua valores à célula abaixo de Razão F(tabelada), de forma a ficar 0,05 à sua direita, ok?

Conclusão: Como Razão F (calculada) é MENOR que Razão F (tabelada) então não há diferença entre as médias!

Teste de Scheffé!

Delta	0.244
--------------	-------

A e B	0.031
A e C	0.069
B e C	0.038

QUADRO C.3 – Mistura 3 (85%AN+ 15%AA+B₁+Ad) do Traço 1

horas	Cima	meio	fundo		
20 min	0.064	0.051	0.025		
30 min	0.089	0.064	0.038		
40 min	0.115	0.089	0.07		
50 min	0.115	0.102	0.064		
1	0.127	0.115	0.064		
1,5	0.166	0.114	0.076		
2	0.216	0.152	0.089		
3	0.229	0.178	0.115		
4	0.255	0.216	0.127		
8	0.357	0.318	0.191		
24	0.586	0.509	0.331		
48	0.726	0.624	0.458		
Totais	2.153	1.845	1.222	5.22	Total
Totais ^2	1.1154	0.8279	0.38516	2.32847	Total ^2
Médias	0.43	0.37	0.24		
Desvios	0.22	0.19	0.15		

Tx	Tx^2	Ta	Tb	Tc
5.22	2.3285	2.153	1.845	1
SQT	SQTR	SQER		
0.51	0.09	0.42		

Tabela de ANOVA (Analysis of Variance)

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Variância do quadrado médio	Razão F
Entre médias (tratamento)	0.090	2	0.045	3.519
Dentro de amostras (erro)	0.422	33	0.013	
Total	0.512	35		

Parâmetro de comparação para saber se há ou não diferença entre as médias: (utilizar Solver no menu Ferramentas)
A célula logo acima tem que ser 0,05 !!! Para tal, a célula à esquerda precisa alcançar um valor obtido utilizando-se o Solver!
Caso não encontre o solver, atribua valores à célula abaixo de Razão F (tabelada), de forma a ficar 0,05 à sua direita, ok?

Conclusão : Como Razão F (calculada) é MENOR que Razão F (tabelada) então não há diferença entre as médias!

Razão F (tabelada)

3.285 0.0500

Delta	0.224
--------------	-------

A e B	0.062
A e C	0.186
B e C	0.125

QUADRO C.4 - Mistura 4 (70%AN+ 30%AA+B₁+Ad) do Traço 1

horas	cima	meio	funco	
20 min				
30 min				
40 min	0.09	0.08	0.064	
50 min				
1	0.13	0.1	0.089	
1,5				
2	0.14	0.12	0.089	
3	0.17	0.14	0.127	
4	0.2	0.18	0.14	
8	0.29	0.27	0.229	
24	0.47	0.45	0.357	
48	0.6	0.57	0.471	
Totais	1.73	1.6	1.324	4.66 Total
Totais ^2	0.73	0.65	0.43746	1.8217 Total ^2
Médias	0.35	0.32	0.26	
Desvios	0.18	0.18	0.15	

Tx	Tx^2	Ta	Tb	Tc
4.66	1.82	1.73	1.604	1.324

SQT	SQTR	SQER
0.37	0.02	0.36

Tabela de ANOVA (Analysis of Variance)

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Variância do quadrado médio	Razão F
Entre médias (tratamento)	0.017	2	0.009	0.513
Dentro de amostras (erro)	0.357	21	0.017	
Total	0.374	23		

Parâmetro de comparação para saber se há ou não diferença entre as médias: (utilizar Solver no menu Ferramentas)

A célula logo acima tem que ser 0,05 !!! Para tal, a célula à esquerda precisa alcançar um valor obtido utilizando-se o Solver!

Caso não encontre o solver, atribua valores à célula abaixo de Razão F (tabelada), de forma a ficar 0,05 à sua direita, ok?

Conclusão : Como Razão F (calculada) é MENOR que Razão F (tabelada) então não há diferença entre as médias!

Razão F (tabelada)

3.467 0.0500

Teste de Scheffé!

Delta	0.266
--------------	-------

A e B	0.026
A e C	0.082
B e C	0.056

QUADRO C.5 - Mistura 5 (50%AN+ 50%AA+B₁+Ad) do Traço 1

horas	cima	meio	fundo	
20 min	0.038	0.038	0.051	
30 min	0.051	0.045	0.064	
40 min	0.064	0.051	0.076	
50 min	0.76	0.063	0.089	
1	0.089	0.076	0.089	
1,5	0.121	0.115	0.127	
2	0.153	0.172	0.166	
3	0.166	0.153	0.166	
4	0.166	0.153	0.166	
8	0.267	0.255	0.255	
24	0.446	0.446	0.395	
48	0.595	0.586	0.522	
Totais	1.64	1.593	1.504	4.737 Total
Totais ^2	0.6793	0.65416	0.54865	1.8821 Total ^2
Médias	0.33	0.32	0.30	
Desvios	0.19	0.19	0.16	

Tx	Tx^2	Ta	Tb	Tc
4.737	1.8821	1.64	1.593	1.504

SQT	SQTR	SQER
0.39	0.00	0.38

Tabela de ANOVA (Analysis of Variance)

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Variância do quadrado médio	Razão F
Entre médias (tratamento)	0.002	2	0.001	0.082
Dentro de amostras (erro)	0.384	33	0.012	
Total	0.386	35		

Parâmetro de comparação para saber se há ou não diferença entre as médias: (utilizar Solver no menu Ferramentas)

A célula logo acima tem que ser 0,05 !!! Para tal, a célula à esquerda precisa alcançar um valor obtido utilizando-se o Solver!

Caso não encontre o solver, atribua valores à célula abaixo de Razão F (tabelada), de forma a ficar 0,05 à sua direita, ok?

Conclusão : Como Razão F (calculada) é MENOR que Razão F (tabelada) então não há diferença entre as médias!

Razão F (tabelada)

3.285

0.0500

Teste de Scheffé!

Delta	0.214
-------	-------

A e B	0.009
A e C	0.027
B e C	0.018

QUADRO C.6 - Mistura 6 (70%AN+ 30%AA+B₁+Ad) do Traço 1

horas	cima	meio	fundo		
20 min	0.038	0.051	0.038		
30 min	0.051	0.076	0.064		
40 min	0.064	0.064	0.051		
50 min	0.76	0.076	0.064		
1	0.089	0.089	0.089		
1,5	0.089	0.101	0.089		
2	0.153	0.102	0.102		
3	0.14	0.127	0.115		
4	0.14	0.14	0.14		
8	0.216	0.197	0.178		
24	0.407	0.382	0.407		
48	0.547	0.535	0.547		
Totais	1.45	1.381	1.387	4.218	Total
Totais ^2	0.5507	0.5067	0.529367	1.5868	Total ^2
Médias	0.29	0.28	0.28		
Desvios	0.18	0.18	0.19		

Tx	Tx^2	Ta	Tb	Tc
4.218	1.5868	1.45	1.381	1.387

SQT	SQTR	SQER
0.40	0.00	0.40

Tabela de ANOVA (Analysis of Variance)

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Variância do quadrado médio	Razão F
Entre médias (tratamento)	0.001	2	0.000	0.024
Dentro de amostras (erro)	0.400	33	0.012	
Total	0.401	35		

Parâmetro de comparação para saber se há ou não diferença entre as médias: (utilizar Solver no menu Ferramentas)
 A célula logo acima tem que ser 0,05 !!! Para tal, a célula à esquerda precisa alcançar um valor obtido utilizando-se o Solver!
 Caso não encontre o solver, atribua valores à célula abaixo de Razão F (tabelada), de forma a ficar 0,05 à sua direita, ok?

Conclusão : Como Razão F (calculada) é MENOR que Razão F (tabelada) então não há diferença entre as médias!

Razão F (tabelada)

3.285 0.0500

Teste de Scheffé!

Delta	0.219
--------------	-------

A e B	0.014
A e C	0.013
B e C	0.001

QUADRO C.7 - Mistura 7 (NA+B₁) do Traço 2

horas	cima	meio	fundo	
20 min				
30 min				
40 min	0.127	0.127	0.076	
50 min				
1	0.166	0.153	0.089	
1,5				
2	0.191	0.204	0.038	
3	0.255	0.267	0.166	
4	0.306	0.318	0.115	
8	0.471	0.446	0.216	
24	0.726	0.7	0.382	
48	0.879	0.802	0.637	
Totais	2.637	2.533	1.516	6.686 Total
Totais ^2	1.68	1.5045	0.63913	3.8239 Total^2
Médias	0.53	0.51	0.30	
Desvios	0.27	0.24	0.21	

Tx	Tx^2	Ta	Tb	Tc
6.686	3.824	2.637	2.533	1.516

SQT	SQTR	SQER
0.84	0.15	0.69

Tabela de ANOVA (Analysis of Variance)

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Gráus de Liberdade	Variância do quadrado médio	Razão F
Entre médias (tratamento)	0.153	2	0.077	2.334
Dentro de amostras (erro)	0.690	21	0.033	
Total	0.844	23		

Parâmetro de comparação para saber se há ou não diferença entre as médias: (utilizar Solver no menu Ferramentas)

Razão F(tabelada)

3.467 0.0500

A célula logo acima tem que ser 0,05 !!! Para tal, a célula à esquerda precisa alcançar um valor obtido utilizando-se o Solver! Caso não encontre o solver, atribua valores à célula abaixo de Razão F(tabelada), de forma a ficar 0,05 à sua direita, ok?

Conclusão : Como Razão F (calculada) é MENOR que Razão F (tabelada) então não há diferença entre as médias! Teste de Scheffé!

Delta	0.370
--------------	-------

A e B	0.021
A e C	0.224
B e C	0.203

QUADRO C.8 - Mistura 8 (NA+B₁+Ad) do Traço 2

horas	cima	meio	fundo		
20 min					
30 min					
40 min	0.064	0.102	0.064		
50 min					
1	0.115	0.153	0.089		
1,5					
2	0.127	0.165	0.089		
3	0.178	0.216	0.14		
4	0.204	0.255	0.14		
8	0.331	0.3566	0.204		
24	0.56	0.611	0.344		
48	0.713	0.738			
Totais	1.986	2.1766	0.828	4.9906	Total
Totais ^2	1.0048	1.1568	0.19915	2.36079	Totais ^2
Médias	0.40	0.44	0.21		
Desvios	0.23	0.23	0.10		

Tx	Tx^2	Ta	Tb	Tc
4.9906	2.3608	1.986	2.1766	0.828

SQT	SQTR	SQER
0.58	0.09	0.49

Tabela de ANOVA (Analysis of Variance)

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Variância do quadrado médio	Razão F
Entre médias (tratamento)	0.094	2	0.047	1.939
Dentro de amostras (erro)	0.487	20	0.024	
Total	0.582	22		

Parâmetro de comparação para saber se há ou não diferença entre as médias: (utilizar Solver no menu Ferramentas)

Razão F(tabelada)

3.493

0.0500

A célula logo acima tem que ser 0,05 !!! Para tal, a célula à esquerda precisa alcançar um valor obtido utilizando-se o Solver! Caso não encontre o solver, atribua valores à célula abaixo de Razão F(tabelada), de forma a ficar 0,05 à sua direita, ok?

Conclusão : Como Razão F (calculada) é MENOR que Razão F (tabelada) então não há diferença entre as médias!

Teste de Scheffé!

Delta	0.333
--------------	-------

A e B	0.038
A e C	0.190
B e C	0.228

QUADRO C.9 - Mistura 9 (85%AN+ 15%AA+B₁+Ad) do Traço 2

horas	cima	meio	fundo	
20 min	0.051	0.051	0.025	
30 min	0.064	0.064	0.051	
40 min	0.076	0.064	0.051	
50 min	0.102	0.089	0.051	
1	0.089	0.102	0.064	
1,5	0.089	0.101	0.076	
2	0.127	0.127	0.089	
3	0.153	0.166	0.101	
4	0.166	0.191	0.102	
8	0.242	0.255	0.14	
24	0.471	0.497	0.318	
48	0.637	0.496	0.318	
Totais	1.669	1.605	0.979	4.253
Totais ^2	0.737139	0.622087	0.242453	1.601679
Médias	0.33	0.32	0.20	
Desvios	0.21	0.16	0.11	

Tx	Tx^2	Ta	Tb	Tc
4.253	1.601679	1.669	1.605	0.979

SQT	SQTR	SQER
0.40	0.06	0.34

Tabela de ANOVA (Analysis of Variance)

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Variância do quadrado médio	Razão F
Entre médias (tratamento)	0.058	2	0.029	2.841
Dentro de amostras (erro)	0.338	33	0.010	
Total	0.396	35		

Parâmetro de comparação para saber se há ou não diferença entre as médias: (utilizar Solver no menu Ferramentas)

Razão F(tabelada)

A célula logo acima tem que ser 0,05 !!! Para tal, a célula à esquerda precisa alcançar um valor obtido utilizando-se o Solver! Caso não encontre o solver, atribua valores à célula abaixo de Razão F(tabelada), de forma a ficar 0,05 à sua direita, ok?

Conclusão : Como Razão F (calculada) é MENOR que Razão F (tabelada) então não há diferença entre as médias!

Teste de Scheffé!

Delta	0.201
--------------	--------------

A e B	0.013
A e C	0.138
B e C	0.125

QUADRO C.10 - Mistura 10 (70%AN+ 30%AA+B₁+Ad) do Traço 2

horas	cima	meio	fundo	
20 min	0.064	0.051	0.051	
30 min	0.076	0.064	0.064	
40 min	0.102	0.076	0.07	
50 min	0.102	0.076	0.076	
1	0.115	0.095	0.952	
1,5	0.14	0.14	0.115	
2	0.19	0.163	0.15	
3	0.191	0.178	0.153	
4	0.218	0.234	0.15	
8	0.318	0.306	0.229	
24	0.571	0.53	0.394	
48	0.734	0.694	0.544	
Totais	2.032	1.942	1.47	5.444
Totais ^2	1.049926	0.942612	0.549522	2.54206
Médias	0.41	0.39	0.29	
Desvios	0.24	0.22	0.17	

Tx	Tx^2	Ta	Tb	Tc
5.444	2.5421	2.032	1.942	1.47

SQT	SQTR	SQER
0.57	0.04	0.53

Tabela de ANOVA (Analysis of Variance)

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Variância do quadrado médio	Razão F
Entre médias (tratamento)	0.036	2	0.018	1.135
Dentro de amostras (erro)	0.530	33	0.016	
Total	0.566	35		

Parâmetro de comparação para saber se há ou não diferença entre as médias: (utilizar Solver no menu Ferramentas)

Razão F(tabelada)

3.285

0.0500

A célula logo acima tem que ser 0,05 !!! Para tal, a célula à esquerda precisa alcançar um valor obtido utilizando-se o Solver! Caso não encontre o solver, atribua valores à célula abaixo de Razão F(tabelada), de forma a ficar 0,05 à sua direita, ok?

Conclusão : Como Razão F (calculada) é MENOR que Razão F (tabelada) então não há diferença entre as médias!

Teste de Scheffé!

Delta	0.252
A e B	0.018
A e C	0.112
B e C	0.094

QUADRO C.11 - Mistura 11 (50%AN+ 50%AA+B₁+Ad) do Traço 2

horas	cima	meio	fundo	
20 min	0.051		0.038	
30 min	0.057	0.013	0.051	
40 min	0.076	0.025	0.051	
50 min	0.083	0.032	0.057	
1	0.089	0.038	0.064	
1,5	0.108	0.07	0.089	
2	0.14	0.115	0.102	
3	0.178	0.14	0.114	
4	0.166	0.14	0.115	
8	0.28	0.255	0.166	
24	0.433	0.458	0.28	
48	0.586	0.611	0.357	
Totais	1.643	1.604	1.032	4.279Total
Totais ^2	0.6685	0.687	0.25963	1.6155Total ^2
Médias	0.33	0.32	0.21	
Desvios	0.18	0.21	0.11	

Tx	Tx^2	Ta	Tb	Tc
4.279	1.6155	1.643	1.604	1.032

SQT	SQTR	SQER
0.39	0.05	0.35

Tabela de ANOVA (Analysis of Variance)

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Variância do quadrado médio	Razão F
Entre médias (tratamento)	0.047	2	0.023	2.152
Dentro de amostras (erro)	0.348	32	0.011	
Total	0.395	34		

Parâmetro de comparação para saber se há ou não diferença entre as médias: (utilizar Solver no menu Ferramentas)

Razão F(tabelada)

3.295 **0.0500**

A célula logo acima tem que ser 0,05 !!! Para tal, a célula à esquerda precisa alcançar um valor obtido utilizando-se o Solver! Caso não encontre o solver, atribua valores à célula abaixo de Razão F(tabelada), de forma a ficar 0,05 à sua direita, ok?

Conclusão : Como Razão F (calculada) é MENOR que Razão F (tabelada) então não há diferença entre as médias!

Teste de Scheffé!

Delta	0.207
--------------	-------

A e B	0.008
A e C	0.122
B e C	0.114

QUADRO C.12- Mistura 12 (70%AN+ 30%AA+B₁+Ad) do Traço 2

horas	cima	meio	fundo
20 min	0.038	0.064	0.038
30 min	0.051	0.095	0.064
40 min	0.076	0.095	0.064
50 min	0.089	0.102	0.076
1	0.089	0.115	0.076
1,5	0.115	0.127	0.102
2	0.166	0.166	0.115
3	0.172	0.178	0.127
4	0.204	0.204	0.14
8	0.306	0.267	0.229
24	0.522	0.497	0.433
48	0.662	0.649	0.56
Totais	1.866	1.795	1.489
Totais ^2	0.8756	0.8128	0.589
Médias	0.37	0.36	0.30
Desvios	0.21	0.21	0.19

Tx	Tx^2	Ta	Tb	Tc
5.15	2.2776	1.866	1.795	1.489

SQT	SQTR	SQER
0.51	0.02	0.49

Tabela de ANOVA (Analysis of Variance)

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Variância do quadrado médio	Razão F
Entre médias (tratamento)	0.016	2	0.008	0.537
Dentro de amostras (erro)	0.493	33	0.015	
Total	0.509	35		

Parâmetro de comparação para saber se há ou não diferença entre as médias: (utilizar Solver no menu Ferramentas)

Razão F(tabelada)

3.285 0.0500

A célula logo acima tem que ser 0,05 !!! Para tal, a célula à esquerda precisa alcançar um valor obtido utilizando-se o Solver! Caso não encontre o solver, atribua valores à célula abaixo de Razão F(tabelada), de forma a ficar 0,05 à sua direita, ok?

Conclusão : Como Razão F (calculada) é MENOR que Razão F (tabelada) então não há diferença entre as médias!

Teste de Scheffé!

Delta	0.243
-------	-------

A e B	0.014
A e C	0.075
B e C	0.061

CAPÍTULO VI

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRIOLO, F.R. **Construções de Concreto: Manual de Práticas para Controle e Execução**. São Paulo, Pini, 1984, 738p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Aditivos para Concreto de Cimento Portland**. NBR 11768. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregado Graúdo – Determinação do Índice de Forma pelo Método do Paquímetro**. NBR 7809. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados - Determinação do Teor de Materiais Pulverulentos**. NBR 7219. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados - Determinação de Impurezas Orgânicas Húmicas em Agregados Miúdo**. NBR 7220. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados – Determinação da Composição Granulométrica**. NBR 7217. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados – Determinação do Inchamento de Agregados Miúdo**. NBR 6467. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados – Determinação da Massa Específica de Agregados Miúdos por meio do Frasco de Chapaman.** NBR 9776. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados em Estado Solto – Determinação da Massa Unitária.** NBR 7251. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados para Concreto.** NBR 7211. Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Amostragem de Agregados.** NBR 7216. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa e Concreto – Determinação da Resistência à Tração por Compressão Diametral de Corpos-de-prova Cilíndricos.** NBR 7222. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland Alto Forno.** NBR 5735. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland Branco.** NBR 12989. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland Comum.** NBR 5732. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland De Alta Resistência Inicial.** NBR 5733. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland Pozolânico.** NBR 5736. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – Determinação da Consistência pelo Abatimento do Tronco de Cone.** NBR 7223. Rio de Janeiro, 1982.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – Determinação da Resistência à Tração na Flexão em Corpos-de-prova Prismáticos**. NBR 12142. Rio de Janeiro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – Ensaio de Compressão de Corpos-de-prova Cilíndricos**. NBR 5739. Rio de Janeiro, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Moldagem Corpos-de-prova Cilíndricos ou Prismáticos de Concreto**. NBR 5738. Rio de Janeiro, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado**. NBR 6118. Rio de Janeiro, 1990.
- BAUER, L. A. F. **Matérias de Construção**. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 1979, 529p.
- BUCHER, H.R.E. **Agregados para Concreto**. In I SIMPÓSIO NACIONAL DE AGREGADOS, 1986, São Paulo. Anais. São Paulo, EPUSP, 1986, p7 –16.
- COELHO, H. P.T. **Caracterização do *Filler* Basáltico: Estudo de Caso na Pedreira Financial em Campo Grande – MS. Campo Grande – MS**, 2001, Monografia apresentada na pós-graduação em Saneamento Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 89p.
- EL-KOURD, A. A., AHMED A.A. **Properties of Concrete Incorporating Natural and Crushed Stone Very Fine Sand**. Journal of American Concrete Institute, v86, n°4, July-august, 1989, U.E.A. páginas 417 à 424
- FORTES, L.R. **Corrosão na Armadura do Concreto Armado e sua Avaliação pela Técnica do Potencial do Eletrodo**. Dissertação de mestrado. Centro de Tecnologia UFC. Fortaleza – CF, 1995.
- GASTALDINI, A.L.G. **Caracterização Tecnológica e Obtenção de Curvas Granulométricas de Referência para Agregados de Campo Grande-MS**. Campo Grande, 1986, 96p. Trabalho de Pesquisa do Departamento de Construção Civil, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

- HELENE, P. R. I., TERZIAN, P. **Manual de Dosagem e Controle de Concreto**. São Paulo, Pini, 1992, 349p.
- MÁSTER BUILDERS TECHNOLOGIES, Manual Técnico, Volume 1, 186,p.
- MEHTA, P. K. & MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. 1^a ed. São Paulo, Pini, 1994, 573p.
- NEVILLE, A .M., Tradução GIAMMUSSO S. E.; **Propriedades do concreto**. 2^a ed, São Paulo: Pini, 1997, 824p.
- PRUDÊNCIO, JR.,L.R. **Tecnologia do Concreto de Cimento Portland**. Florianópolis, 1999, 113p. Apostila do Curso de Mestrado em Engenharia Civil - Núcleo de Pesquisa em Construção, Universidade Federal de Santa Catarina.
- SALLES, F. M., CARVALHO, P. A., PEREIRA, P. N., BUCHALA, E. **Características e Desempenho de Concretos Confeccionados com Areia Artificial para Obras do Complexo de Canoas**. São Paulo, SP. 19 a 13p. in: Congresso Brasileiro de Concreto, 40°, 1998, Rio de Janeiro. Artigo Técnico.
- SBRIGHI, C. N. **A Influência da Natureza Petrográfica da Areia Britada e seus Finos em Algumas Propriedades do Betão**. Lisboa, Tese apresentada no Laboratório Nacional de Engenharia, 1975, págs 71à 75.
- SILVA, P.F.A. **Durabilidade das Estruturas de Concreto Aparente em Atmosfera Urbana**. São Paulo, Pini, 1995, p68.
- SOARES, L.; MENDES, K. S. **O Aproveitamento de finos de Pedreiras**. Brasil Mineral, n°179, p. 38-7, dezembro. 1999.
- SODRÉ, J.R. **Caracterização Tecnológica das Areias Naturais e Artificiais de Campo Grande –MS**. Florianópolis, 2000, Monografia apresentada no Curso de Especialização em Construção Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.
- TAKASHIMA, S., BAUER, R. J. F., CURTI, R. **Estudo de Concretos Preparos com Agregado Miúdo Artificial e Areia Silicosa**. Reibrac 40 – Reunião Anual do IBRACON, São Paulo, 1998.

- TERRA, L. E. M. **Finos de Pedreiras para Execução de Concreto Estrutural**. Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem – ABESC, São Paulo, 2001, <http://www.abesc.org.br/meios/práticas/recomendadas>, páginas 1 e 2.
- ZANCHETTA, L. M.; SOARES, L. **Uso de Areias Resultantes de Britagem de Rocha na Elaboração de Argamassas**. In: III SEMINÁRIO “DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL: PRÁTICAS RECOMENDADAS”.