

Veruska Kelly Gomes Rocha Avelino

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO NO ESTADO FRESCO E
ENDURECIDO DO CONCRETO COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO
DE CORTE DE BOTÃO**

Natal

2011

Veruska Kelly Gomes Rocha Avelino

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO NO ESTADO FRESCO E
ENDURECIDO DO CONCRETO COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO
DE CORTE DE BOTÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Alysson Brilhante Faheina de Souza

Natal

2011

Veruska Kelly Gomes Rocha Avelino

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO NO ESTADO FRESCO E
ENDURECIDO DO CONCRETO COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO
DE CORTE DE BOTÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação, em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civi.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Alysson Brilhante Faheina de Souza – Orientador

Prof^a. Dr^a. Jaquelgia Brito da Silva – Examinador Interno (UFRN)

Prof^a. Dr^a. Maria das Vitórias Vieira Almeida de Sá – Examinador Interno (UFRN)

Prof. Dr. Ricardo Peixoto Suassuna Dutra – Examinador Externo (UFPB)

Natal, 21 de junho de 2011.

ESTUDO DO COMPORTAMENTO NO ESTADO FRESCO E ENDURECIDO DO CONCRETO COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE CORTE DE BOTÃO

Veruska Kelly Gomes Rocha Avelino

Orientador: Prof. Dr. Paulo Alysson Brilhante Faheina de Souza

RESUMO

O presente trabalho objetivou avaliar a influência da incorporação do resíduo de corte de botão em poliéster-RCBP sobre a plasticidade e a resistência mecânica em concreto de cimento Portland. O RCBP utilizado na pesquisa originou-se do material descartado por uma empresa fabricante de botão localizada no município de Parnamirim/RN. Utilizou-se o resíduo, como carga no concreto, nas concentrações de 0 %, 5 %, 10 %, 15 % e 20 %, em relação à massa do cimento. O traço de referência do concreto utilizado na pesquisa apresenta a proporção, em massa, de 1:1,33:2,45:0,50 (cimento:areia:brita:água/cimento). Nos ensaios de resistência à compressão foram testados quatro corpos-de-prova para cada idade (3, 7 e 28 dias) e traço, enquanto que para os ensaios de resistência à tração na flexão foram testados dois corpos-de-prova para cada traço. Além disso, fez-se o Slump Test, com vistas a verificar a consistência do concreto. Observou-se uma tendência de redução da resistência à compressão e abatimento para todos os traços com incorporação do RCBP. Houve um aumento de resistência à tração na flexão para os traços de 5 % e 10 %, em relação ao concreto sem incorporação do resíduo, superando o sugerido pela NBR 6118/2003 que apresenta uma correlação entre resistência à tração e à compressão. Na análise microestrutural, observou-se que o RCBP apresentou uma superfície irregular e porosa, podendo ser o motivo do decréscimo do abatimento.

Palavras-chaves: Concreto, resíduo de botão, cimento Portland.

INFLUENCE ON CONSISTENCY AND MECHANIC STRENGTH ON CONCRETE WITH ADDITION OF WASTE FROM BUTTON MANUFACTURING

Veruska Kelly Gomes Rocha Avelino

Adviser: Prof. Dr. Paulo Alysson Brilhante Faheina de Souza

ABSTRACT

This work aims at investigating the effects of adding waste from RCBP-polyester button manufacturing to Portland cement concrete, particularly regarding its consistency and mechanic strength. The RCBP used came from a button factory located in Parnamirim, RN, Brazil. The waste was added to the concrete on different ratios: 5 %, 10 %, 15 % and 20 % of the total cement mass. A sample of concrete without the RCBP was used as reference, 1:1,33:2,45:0,50. For the mechanic strength test four samples were tested with different ages (3, 7 and 28 days old) and mixtures. Furthermore, a Slump Test was also conducted in order to verify the concrete's consistency. A tendency to a reduction in the compression resistance was noticed for all samples. For the samples with 5 % and 10 %, there was also an increase in the traction resistance during inflexion, regarding the reference concrete. In the microstructural analysis, the RBCP was observed to show an irregular and porous surface, thus explaining the consistency decrease.

Keywords: concrete, button waste, Portland cement

AGRADECIMENTOS

Ao meu bom Deus, pela bênção de sentir Sua presença em minha vida. A Ele toda a Honra, toda a Glória e todo o Louvor;

Ao meu amado marido, Allysson Henrique Avelino Bezerra, pelo apoio em todos os momentos, pelo amor, incentivo e paciência;

Aos meus pais, Elvis José da Rocha e Maria de Lourdes Gomes da Silva, pelo estímulo sempre presente e por acreditarem em minhas conquistas;

Aos meus irmãos, Vanessa, Valéria e Elton, pelo entendimento da minha ausência durante o mestrado;

As minhas amigas, engenheiras Larissa e Ilzenete, pela amizade e apoio ao longo desse período de estudo;

A toda a minha família, pela compreensão;

À Universidade Federal do Rio Grande do Norte, instituição que me formou desde a graduação, a minha eterna gratidão;

À CAPES, pelo suporte financeiro;

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, coordenada pelo Professor Olavo Francisco dos Santos Júnior, pelo encaminhamento e estímulo;

Ao Professor Paulo Alysson Brilhante Faheina de Souza, pela orientação desta pesquisa;

Ao Professor George Santos Marinho, pelo apoio na fase inicial do trabalho;

As professoras, Maria das Vitórias e Jaquélígia Brito, pelas valiosas contribuições acadêmicas;

À BONOR, na pessoa de Luciano Vilar, pelo fornecimento do resíduo de botão;

Ao Sr. Francisco Braz do Laboratório de Materiais de Construção da UFRN, pela dedicação e empenho durante a realização dos ensaios;

À Rafaella Xavier, pela presteza e simpatia ao longo do Mestrado;

Aos projetos CTPETRO-INFRA e FINEP/LIEM, pela disponibilidade do MEV;

A todos que me ajudaram, de maneira direta ou indireta, muito obrigada.

Sumário

Lista de Figuras.....	xii
Lista de Tabelas.....	xiv
Lista de Abreviaturas.....	xvi
Introdução.....	1
Fundamentação Teórica.....	3
2.1 Concreto.....	3
2.1.1 Definições.....	3
2.1.2 Propriedades do concreto.....	3
2.1.2.1 Propriedades do concreto fresco.....	4
2.1.2.1.1 Trabalhabilidade.....	4
2.1.2.1.2 Consistência.....	5
2.1.2.1.3 Segregação e Exsudação.....	6
2.1.2.2 Propriedades do concreto endurecido.....	7
2.1.2.2.1 Massa específica.....	7
2.1.2.2.2 Resistência à compressão.....	7
2.1.2.2.3 Resistência à tração na flexão.....	10
2.1.2.2.4 Permeabilidade e absorção.....	10
2.1.2.2.5 Retração.....	12
2.1.2.2.6 Fluência.....	13
2.1.2.2.7 Durabilidade.....	13
2.1.3 Produção do concreto.....	15
2.1.3.1 Mistura.....	15
2.1.3.2 Transporte.....	15
2.1.3.3 Lançamento.....	16
2.1.3.4 Adensamento.....	16

2.1.3.5 Cura	17
2.1.4 Microestrutura do concreto	17
2.2 Aglomerante	18
2.2.1 Classificação dos aglomerantes.....	19
2.2.2 Cimento Portland	19
2.2.2.1 Composição Química	20
2.2.2.2 Hidratação do cimento Portland.....	23
2.2.2.3 Tipos de cimento Portland	24
2.3 Agregados.....	26
2.3.1 Classificação dos agregados	26
2.3.1.1 Quanto à origem.....	26
2.3.1.2 Quanto às dimensões.....	27
2.3.1.3 Quanto à composição mineralógica.....	27
2.3.2 Propriedades dos agregados	28
2.4 Sustentabilidade e Resíduos	30
2.4.1 Origem da Teoria do Desenvolvimento Sustentável.....	30
2.4.2 Noção de sustentabilidade	32
2.4.3 Resíduos.....	33
2.4.3.1 Classificação dos resíduos	34
2.4.4 Resíduos Industriais	35
2.4.5 Reciclagem e Reutilização	36
2.4.5.1 Polímeros	39
2.4.5.2 Caracterização do RCBP.....	41
2.4.6 Impactos ambientais causados pela produção e utilização do botão	42
2.4.7 Resíduos incorporados aos materiais	43
Procedimento Experimental	46
3.1 Planejamento Experimental.....	48
3.1.1 Escolha do traço	48

3.1.2 Cálculo dos quantitativos	48
3.2 Caracterizações dos Materiais	50
3.2.1 Cimento	50
3.2.1.1 Ensaio de Início de Pega.....	51
3.2.1.2 Ensaio de Expansibilidade.....	52
3.2.1.3 Ensaio de Finura	53
3.2.1.4 Ensaio de Resistência à compressão	54
3.2.2 Areia	55
3.2.2.1 Massa Específica Real e Massa Unitária.....	56
3.2.2.2 Composição granulométrica	57
3.2.3 Brita	58
3.2.3.1 Massa Específica Real e Massa Unitária.....	58
3.2.3.2 Composição granulométrica	59
3.2.4 Resíduo de corte de botão em poliéster.....	59
3.2.4.1 Massa Específica Real e Massa Unitária.....	59
3.2.4.2 Composição granulométrica	60
3.3 Caracterização do Concreto	60
3.3.1 Produção do concreto	60
3.3.2 Ensaio no concreto	61
3.3.2.1 Ensaio do abatimento.....	61
3.3.2.2 Resistência à compressão.....	62
3.3.2.3 Resistência à tração na flexão.....	63
3.3.2.4 Absorção e porosidade.....	64
3.3.2.5 Análise microestrutural	65
Resultados e Discussões	69
4.1 Caracterização dos Materiais	69
4.1.1 Cimento	69
4.1.1.1 Ensaio de Início de pega	69

4.1.1.2 Ensaio de Expansibilidade.....	70
4.1.1.3 Ensaio de Finura	70
4.1.1.4 Resistência à compressão.....	70
4.1.2 Areia	71
4.1.2.1 Composição granulométrica	71
4.1.2.2 Massa específica real e Massa unitária	72
4.1.3 Brita	73
4.1.3.1 Composição granulométrica	73
4.1.3.2 Massa específica real e Massa unitária	74
4.1.4 Resíduo do corte de botão de poliéster (RCBP).....	74
4.1.4.1 Massa específica real e Massa unitária	74
4.1.4.2 Absorção e Porosidade	75
4.2 Caracterização do Concreto	75
4.2.1 Ensaio da consistência	75
4.2.2 Ensaio da resistência à compressão axial.....	77
4.2.3 Ensaio de resistência à tração na flexão	78
4.2.4 Ensaio de Absorção, Porosidade e Massa específica real	80
4.2.5 Análise microestrutural.....	82
Considerações Finais	84
5.1 Conclusões	84
5.2 Contribuições para o conhecimento	85
5.3 Sugestões para Trabalhos Futuros.....	86
REFERÊNCIAS	87

Lista de Figuras

Figura 1 - Seção transversal de um corpo-de-prova de concreto.....	17
Figura 2 - Microestrutura do concreto: a) zona de transição matriz-agregado e b) matriz da pasta do cimento.	18
Figura 3- a) Manta pós-corte; b) e c) Manta com granulometria menor; d) Pó compactado proveniente do polimento do botão.....	38
Figura 4 - Agulha de Vicat.....	51
Figura 5 - Agulha de Le Chatelier.....	52
Figura 6 - Peneira com acessórios.....	53
Figura 7 - Areia Normalizada.....	55
Figura 8 - Moldes do corpo-de-prova.	55
Figura 9 - Frasco de Chapman.....	56
Figura 10 - Ensaio de abatimento (Fonte: SOUZA, 2007).....	62
Figura 11 – Corpos-de-prova moldados.....	63
Figura 12 - Máquina de Ensaio Mecânico AMSLER.....	63
Figura 13 - a) Máquina de Ensaio Mecânico AMSLER. b) Corpo-de-prova com aplicação de carga no centro do prisma.....	64
Figura 14 - Bolacha de concreto retirada dos corpos-de-prova (Fonte:SOUZA,2007).	66
Figura 15 - Barra de concreto identificada.....	66
Figura 16 - a) Congelamento da amostra. b) Quebra da seção.	67
Figura 17 - Amostras metalizadas para análise da microestrutura.....	67
Figura 18 - Curva granulométrica do agregado miúdo.	72
Figura 19 - Curva granulométrica da brita.	73
Figura 20 – Correlação entre o abatimento do concreto com diferentes concentrações do RCBP.	76
Figura 21 - Média da Resistência à compressão.	78

Figura 22 - Resistência média à tração na flexão.	79
Figura 23 - Correlação da resistência à tração na flexão obtida nos ensaios e sugerida pela NBR 6118/2003.	80
Figura 24 - Comparação da absorção e da porosidade do concreto.....	81
Figura 25 - Micrografia da partícula do RCBP.....	82
Figura 26 - Micrografia da zona de transição matriz-RCBP no concreto CP10r.....	83
Figura 27 - Micrografia da zona de transição matriz-agregado no concreto CP00r. .	83

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Abatimento indicado por tipo de obra e condições de adensamento.	6
Tabela 2 - Resistência média do concreto em MPa em função da relação água/cimento para vários tipos de cimento brasileiro.....	9
Tabela 3- Resistência relativa em relação à idade.....	10
Tabela 4 - Classificação dos Agentes Agressivos.....	14
Tabela 5 - Composição do cimento Portland.....	21
Tabela 6 - Propriedades dos compostos do cimento Portland.....	23
Tabela 7 - Tipos de cimentos Portland nacionais.....	24
Tabela 8 - Propriedades dos agregados de acordo com as condicionantes.....	29
Tabela 9 - Composição química do botão em poliéster.....	39
Tabela 10 -Aplicação dos elastômeros.....	40
Tabela 11 - Aplicação dos plásticos.....	41
Tabela 12 - Composição química do RCBP.....	42
Tabela 13 - Poluentes x Efeitos sobre a saúde humana.....	43
Tabela 14 - Formulação dos concretos.....	48
Tabela 15 - Quantidade de corpos-de-prova.....	49
Tabela 16 - Volume estimado do concreto por traço.....	49
Tabela 17 - Volume total do concreto produzido por traço.....	50
Tabela 18 - Quantidade de materiais para os ensaios.....	50
Tabela 19 - Amostras selecionadas para análise no MEV.....	68
Tabela 20 - Ensaio de início de pega do cimento Portland.....	69
Tabela 21 - Ensaio de Finura do cimento Portland.....	70
Tabela 22 - Ensaio de Resistência à compressão.....	70
Tabela 23 -Composição granulométrica do agregado miúdo.....	71
Tabela 24 - Massa Específica Real e Massa Unitária da areia.....	72

Tabela 25 - Composição granulométrica da brita.....	73
Tabela 26- Massa Específica Real e Massa Unitária da brita.	74
Tabela 27 - Massa Específica Real e Massa Unitária do RCBP.	75
Tabela 28 - Ensaio de consistência.....	76
Tabela 29 - Resistência média à compressão axial.	77
Tabela 30 - Resistência média à tração na flexão aos 28 dias.	79
Tabela 31 - Ensaio de Absorção, Porosidade e Massa Específica Real.	81

Lista de Abreviaturas

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM – American Society for Testing and Materials

CP – Cimento Portland

CP00r – Corpo-de-prova com traço de referência

CP05r – Corpo-de-prova com 5 % de incorporação do RCBP

CP10r – Corpo-de-prova com 10 % de incorporação do RCBP

CP15r – Corpo-de-prova com 15 % de incorporação do RCBP

CP20r – Corpo-de-prova com 20 % de incorporação do RCBP

RCBP – Resíduo de corte de botão em Poliéster

ONG – Organização Não-Governamental

CAPÍTULO 1

Introdução

Atualmente, pesquisadores buscam, de maneira incansável, fontes alternativas de energia renovável com o objetivo de diminuir o alto consumo de recursos naturais por parte da população mundial, favorecendo a preservação do meio ambiente.

De acordo com a Pesquisa Anual da Indústria da Construção – PAIC, em 2008, existiam no Brasil aproximadamente 1,7 milhões de pessoas envolvidas na construção civil, de modo que se tornou uma atividade amplamente responsável pelo consumo de matérias-primas naturais em larga escala.

Nesse contexto, o concreto de cimento Portland é o material de construção mais utilizado (SÁ, 2006). Seu índice de consumo vem crescendo ao longo dos anos e é muito maior atualmente do que há 40 anos. Estima-se que o consumo mundial de concreto na presente conjuntura alcança um montante de 11 bilhões de toneladas métricas anuais. O vasto uso desse material é justificado pela excelente resistência do concreto à água, pela facilidade com que elementos estruturais de concreto podem ser obtidos através de uma variedade de formas e tamanhos, pelo baixo custo e pela rápida disponibilidade do material para uma obra (METHA; MONTEIRO, 2008).

Por ser um material capaz de absorver certos tipos de resíduos, o concreto tem sido alvo de estudos com relação à incorporação de rejeitos industriais que contemplam o corte de botão, o pó de porcelanato, o pó de pedra, a borracha do pneu, o PET, a cinza de olarias, dentre outros.

A pesquisa em questão estudou o comportamento plástico e mecânico do concreto com a incorporação do resíduo de corte de botão. A opção pelo uso do rejeito proveniente da fabricação do botão considerou o prisma da sustentabilidade

agregado à intenção de dar um destino final ao resíduo industrial, tendo em vista que ocupa um volume de 200 t no aterro sanitário, contribuindo substancialmente para a degradação ambiental.

Convém ainda ressaltar que se trata de um material não reciclável, logo não se reintegra ao processo de fabricação de novos botões. No entanto, diante de um aspecto tecnológico, esse rejeito pode ser reutilizado na execução de novos materiais, de modo que tenha aproveitabilidade em algum setor.

No intuito de viabilizar essa possibilidade, algumas pesquisas vêm sendo desenvolvidas com o propósito de utilizar esse material em setores industriais, mais especificamente no setor da Construção Civil, em elementos como concreto, bloco de cimento, bloco de solo-cimento e argamassas.

Algumas vantagens ambientais na utilização desse resíduo são:

- A redução de alguns gases poluentes lançados na atmosfera em consequência da queima desse material, representados pelas dioxinas, toluenos e fenóis;
- A redução do volume do próprio resíduo, causador de problemas de saúde e degradação ambiental;
- O prolongamento de vida útil do aterro sanitário.

Por conseguinte, o objetivo geral desse trabalho funda-se em avaliar o desempenho técnico e o efeito da incorporação do resíduo gerado pelo processo de fabricação de botão em concreto, ao passo que os objetivos específicos propõem:

- Caracterizar o resíduo de corte de botão em poliéster;
- Definir e avaliar diferentes proporções do resíduo para a produção do concreto;
- Verificar, através de ensaios, o comportamento plástico e mecânico do concreto diante de diferentes proporções do resíduo;
- Analisar a microestrutura do concreto com a incorporação desse resíduo.

CAPÍTULO 2

Fundamentação Teórica

2.1 Concreto

2.1.1 Definições

O concreto é um material da construção civil constituído pela mistura de cimento Portland, areia, brita e água, o qual pode ser acrescentado de adições ou aditivos.

Em virtude desses componentes apresentarem, para obras específicas, algumas deficiências quanto à resistência, peso e fissuras, foram sendo desenvolvidos concretos com alterações de materiais. No primeiro caso, a resistência pode ser aumentada produzindo concreto de alta resistência pela adição de superplastificante ou aditivos redutores de água. No segundo caso, a densidade do concreto pode ser reduzida pela substituição de parte do agregado convencional pelo agregado leve, como é o caso de adicionar o resíduo da fabricação do botão. Já no terceiro caso, a fissura pode ser amenizada pela adição de fibras no concreto, produzindo com isso um concreto reforçado com fibras (METHA; MONTEIRO, 2008).

Com o conhecimento que se tem hoje sobre o concreto e seus materiais é possível executar grandes estruturas com segurança e economia (GIAMUSSO, 1992).

2.1.2 Propriedades do concreto

O concreto deverá apresentar propriedades de plasticidade, quando recém-misturado, que facilitem o seu transporte, lançamento e adensamento e, quando

endurecido, apresentar propriedades relativas à resistência à compressão e à tração, módulo de deformação, entre outras.

2.1.2.1 Propriedades do concreto fresco

São propriedades do concreto fresco: a trabalhabilidade, a consistência, a coesão e a exsudação.

2.1.2.1.1 Trabalhabilidade

A ASTM – American Society for Testing and Materials – define a trabalhabilidade como a propriedade que determina o esforço exigido, com perda mínima de homogeneidade, para as operações de lançamento, adensamento e acabamento de uma quantidade de concreto (METHA; MONTEIRO, 2008).

A Trabalhabilidade é a característica fundamental para que o concreto seja bem adensado, ou seja, é a adequação da consistência ao processo utilizado para o lançamento e adensamento (GIAMUSSO, 1992).

Destaca-se também como trabalhabilidade do concreto, a propriedade de ser misturado, transportado, lançado e vibrado, sem mudança de homogeneidade (ALVES, 1993).

A trabalhabilidade é uma propriedade composta, contendo dois componentes principais:

- Fluidez – descreve a facilidade de mobilidade;
- Coesão – descreve a resistência à exsudação e à segregação.

Em geral, a trabalhabilidade das misturas do concreto é afetada pelos seguintes itens:

- Relação água/materiais secos;
- Tipo e consumo de cimento;

- Teor de argamassa;
- Tamanho, textura e forma do agregado;
- Aditivos e adições.

2.1.2.1.2 Consistência

A consistência é usada como um simples índice da mobilidade ou da fluidez do concreto fresco e pode ser medida pelo ensaio de abatimento de tronco de cone ou pelo Aparelho Vebe. Sua perda é definida como a perda do abatimento do concreto fresco com o passar do tempo (METHA; MONTEIRO, 2008).

A água presente na junção de grãos permite o movimento relativo das partículas, formando, com isso, uma película de água no entorno da superfície sólida que elimina o atrito interno entre as partículas, permitindo à mistura deformar-se sob o efeito de qualquer processo e assentamento. Esta propriedade é chamada de consistência (ALVES, 1993).

A necessidade ou demanda de água é função da área superficial total das partículas de material sólido, isto é, cimento e agregados, e da consistência desejada. Em geral, para diminuir a demanda de água se faz necessário aumentar o tamanho máximo do agregado, pois essa medida diminui a área total das partículas (GIAMUSSO, 1992).

A Tabela 1 apresenta o abatimento necessário em função do tipo de obra e do processo de adensamento.

Tabela 1 - Abatimento indicado por tipo de obra e condições de adensamento.

Consistência	Abatimento (mm)	Tipos de obra e Condições de adensamento
Extremamente Seca	0	Pré-fabricação. Condições especiais de adensamento
Muito Seca	0	Grandes massas; pavimentação. Vibração muito energética
Seca	0 a 20	Estrutura de concreto armado ou protendido. Vibração energética
Rija	20 a 50	Estruturas correntes. Vibração normal
Plástica	50 a 120	Estruturas correntes. Adensamento manual
Úmida	120 a 200	Estruturas correntes sem grandes responsabilidades. Adensamento manual
Fluida (líquida)	200 a 250	Concreto inadequado

Fonte: TARTUCE, 1990.

2.1.2.1.3 Segregação e Exsudação

Entende-se por coesão a propriedade do concreto que mantém os componentes misturados (GIAMUSSO, 1992).

A falta de coesão provoca a segregação. Define-se segregação como a separação dos componentes de uma mistura de concreto fresco em que a sua distribuição deixa de ser uniforme (METHA; MONTEIRO, 2008).

As diferenças de tamanho das partículas e da massa específica dos componentes constituem a causa primária da segregação, podendo ser controlada pela escolha de granulometria adequada e pelo cuidado no manuseio (NEVILLE, 1997).

Há dois tipos de segregação (METHA; MONTEIRO, 2008):

- A separação dos agregados da argamassa, característica de concreto seco,
- A exsudação, característica de concreto muito fluido.

Quando o concreto, devido à falta de finos, não consegue reter a água, essa sobe, acumulando-se na superfície livre do concreto ainda fresco (GIAMUSSO, 1992). Esta propriedade é dita exsudação, fenômeno demonstrado por meio do surgimento da água na superfície, após o concreto ter sido lançado e adensado.

A quantidade e a velocidade da exsudação dependem da dosagem do concreto, do teor de água, da temperatura, da finura do cimento, da granulometria do agregado e da ação de certos aditivos (ANDRIOLO, 1984).

2.1.2.2 Propriedades do concreto endurecido

2.1.2.2.1 Massa específica

A massa específica do concreto utilizada normalmente é a massa da unidade de volume, incluindo os vazios. Os valores dessas massas variam entre 2.000 kg/m^3 a 2.800 kg/m^3 . Pode-se considerar, para efeito de cálculo, quando a massa específica real não for conhecida, o valor de 2.400 kg/m^3 para o concreto simples e de 2.500 kg/m^3 para o concreto armado (NBR 6118/2003).

Com a utilização de agregados leves, é possível reduzir para 1.800 kg/m^3 a ordem desse valor (PETRUCCI, 1978).

2.1.2.2.2 Resistência à compressão

A resistência de um material é dada como a capacidade de resistir à tensão sem se romper. No concreto, a resistência está relacionada à tensão necessária para causar a ruptura, definida como tensão máxima que a amostra do concreto pode suportar (METHA; MONTEIRO, 2008).

Os principais fatores que influenciam a resistência são:

- Tipo de cimento;
- Relação água/cimento;

- Idade;
- Temperatura;
- Relação agregado/cimento;
- Tamanho máximo do agregado.

Os componentes apropriados e suas proporções para a mistura do concreto são elementos fundamentais para o produto, que deverá atender à resistência especificada.

A influência do *tipo do cimento* afeta tanto a resistência do concreto quanto essa resistência ao longo do tempo (GIAMUSSO, 1992). As classes do cimento 25, 32 e 40, dizem respeito à resistência característica à compressão especificada para a idade de 28 dias, em MPa, e são características importantes, pois estão diretamente ligadas à resistência do concreto.

A Tabela 2 apresenta uma idéia da variação da resistência do concreto conforme a mudança do tipo de cimento.

Tabela 2 - Resistência média do concreto em MPa em função da relação água/cimento para vários tipos de cimento brasileiro.

Tipo e classe do cimento	Relação a/c				
	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
CP I 32	28	32	37	41	47
CP II 32	24	28	31	35	39
CP II 40	28	32	36	41	46
CP III 32	23	27	31	36	41
CP III 40	27	32	37	42	49
CP IV 32	24	28	32	36	41
CP V ARI RS	30	33	38	42	46
CP V ARI	33	38	42	47	53

Notas:

- 1-Agregados de origem granítica
- 2-Diâmetro máximo 25 mm
- 3-Abatimento entre 50 mm e 70 mm
- 4-Concretos com aditivo plastificante normal

Fonte: HELENE; ANDRADE, 2007.

O valor mínimo da resistência à compressão deve ser de 20 MPa para concretos apenas com armadura passiva (armado) e 25 MPa para concretos com armadura ativa (protendido). O valor de 15 MPa pode ser usado apenas em concreto magro e em obras provisórias (HELENE; ANDRADE, 2007).

A relação água/cimento está diretamente ligada à porosidade, pois quanto menor a relação água/cimento, menor será a porosidade da pasta e, portanto, maior será a resistência.

A qualidade potencial do concreto depende da relação água/cimento e do grau de hidratação. É através da evolução da hidratação do cimento que a idade influencia na resistência à compressão (GIAMUSSO, 1992).

A Tabela 3 mostra os valores relativos, aproximados, típicos de resistência a diversas idades.

Tabela 3- Resistência relativa em relação à idade.

Idade em dias	3	7	21	28
Resistência relativa	50%	70%	92%	100%

Fonte: GIAMUSSO, 1992.

A temperatura influencia diretamente na velocidade das reações de hidratação.

A relação agregado/cimento é importante no fator da resistência mecânica, pois como o agregado apresenta uma resistência maior que a da pasta, quanto maior a proporção de agregado, maior será a resistência do concreto (GIAMUSSO, 1992).

2.1.2.2.3 Resistência à tração na flexão

A resistência à tração na flexão é uma propriedade normalmente utilizada para analisar comportamento de pavimentos de rodovias e de aeroportos, lajes e vigas, cujo regime de solicitação em serviço gera fadiga à tração na flexão (ABCP, 1998).

O ensaio consiste em flexionar uma peça de material elástico, onde parte dela é comprimida e parte flexionada.

A resistência à tração e à compressão são propriedades intimamente relacionadas, porém não há proporcionalidade direta entre elas. À medida que a resistência à compressão vai aumentando, a resistência à tração também aumenta, entretanto, a uma taxa decrescente (METHA; MONTEIRO, 2008).

2.1.2.2.4 Permeabilidade e absorção

O concreto é um material poroso, devido não ser possível o preenchimento da totalidade dos vazios do agregado com uma pasta de cimento. Isso ocorre por diversas razões (PETRUCCI, 1978):

- a) Necessariamente, utiliza-se uma quantidade de água superior àquela que se precisa para hidratar o aglomerante; e essa água, ao evaporar, deixa vazios;
- b) Os volumes absolutos de cimento e água que entram em reação diminuem com a combinação química;
- c) Durante a mistura, o ar é incorporado à massa do concreto.

O processo físico pelo qual o concreto retém água nos poros e condutos capilares, denomina-se absorção.

A permeabilidade é a propriedade que identifica a possibilidade de passagem da água através do material. Essa propriedade acontece em virtude da água utilizada para mistura do concreto ser dosada em excesso a fim de conferir uma consistência, sendo depois liberada, formando redes de poros (ALVES, 1993).

Os fatores que afetam a porosidade, a absorção e a permeabilidade são apresentados no Quadro 1, a seguir (PETRUCCI, 1978).

Materiais Constituintes	Água	Quantidade Pureza
	Cimento	Composição Finura
	Agregados	Quantidade Tipo Diâmetro Gradação Impurezas
	Adições	Quimicamente ativos Quimicamente inertes
	Métodos de preparação	Mistura Lançamento Adensamento Acabamento

Condições posteriores	Idade
	Cura
	Condições de ensaios

2.1.2.2.5 Retração

A retração do concreto de cimento Portland é a redução de seu volume ao longo do tempo e está associada, principalmente, à perda de água para o ambiente externo (NUNES, 2007). Podem ser plástica, por secagem e autógena.

A retração plástica ocorre devido à perda de água capilar por secagem (GIAMUSSO, 1992). É afetada, primeiramente, pelo teor de água utilizado no concreto. As características que interferem no aparecimento da retração são: a quantidade e qualidade da pasta, a dosagem e as condições de cura (ANDRIOLO, 1984).

A contração da massa do concreto provocará tensões de tração e conseqüentemente, fissuração. As fissuras de retração plástica podem ser:

- Mapeadas;
- Acompanhando armadura ou outra inclusão no concreto;
- Acompanhando mudanças de seção;
- Diagonais.

As fissuras por retração plásticas são fissuras paralelas entre si, distanciadas de 0,3 m a 1 m, com profundidade entre 25 mm e 50 mm (METHA; MONTEIRO, 2008). Possuem abertura entre 0,1 mm e 3 mm e podem ser muito curtas ou com até 1 m de comprimento (NEVILLE, 1997).

Tal como a retração plástica, a retração por secagem é provocada pela perda da água da pasta do cimento como conseqüência das trocas de umidade com o meio ambiente (NUNES, 2007).

Já a retração autógena ocorre devido à redução de volume dos produtos de hidratação (GIAMUSSO, 1992).

A retração autógena é a redução de volume do material cimentício na hidratação do cimento, após o início da pega. Essa retração surge após a remoção de umidade dos poros capilares pela hidratação do cimento ainda não hidratado (NEVILLE, 1997).

2.1.2.2.6 Fluência

A fluência pode ser definida como o aumento de deformação sob tensão mantida ou, se a deformação for mantida constante, a fluência se manifesta como a redução progressiva da tensão com o tempo, denominada relaxação (NEVILLE, 1997).

A fluência é uma deformação lenta, apresentada pelo concreto quando submetido a um carregamento permanente (GIAMUSSO, 1992).

A fluência ou deformação lenta do concreto é o aumento da deformação ou contração deste, no tempo, e sob carga de longa duração, sem variação térmica. Essa deformação envolve a chamada fluência básica e a fluência de secagem (HELENE; ANDRADE, 2007)

Os fatores que interferem na fluência são (SOUZA, 2007):

- Quantidade de pasta do concreto;
- Idade do carregamento;
- Relação tensão/resistência;
- Perda de umidade do concreto.

2.1.2.2.7 Durabilidade

Em relação ao concreto simples, armado e protendido, a durabilidade consiste na capacidade que essas estruturas têm de resistir às influências ambientais

previstas, condicionadas pelo eventual ataque de agentes agressivos a que estejam sujeitas durante sua vida em serviço (BAUER, 2000).

A durabilidade do concreto de cimento Portland é a capacidade de resistir à ação das intempéries, ataques químicos, abrasão ou qualquer outro processo de deterioração (METHA; MONTEIRO, 2008).

Na Tabela 4 estão classificados os agentes agressivos mais usuais.

Tabela 4 - 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	
Químicos	Águas sulfatadas Água do mar Agentes reativos	Oxidação
Intrínsecos	Reação álcali-agregado	
Biológicos	Bactérias	

FONTE: BAUER, 2000.

Alguns fatores afetam a durabilidade do concreto. São eles:

- Características dos materiais utilizados no concreto;
- Composição do concreto;
- Condições de exposição;
- Ações mecânicas, movimentação de origem térmica, impactos, ações cíclicas, retração, fluência e relaxação;
- Práticas usadas durante a construção;
- Critérios de projeto.

A durabilidade é assegurada pela baixa permeabilidade, dificultando o acesso da água ao interior da massa de concreto. Isto se consegue aumentando a compacidade por um estudo cuidadoso de granulometria, consumo mínimo de cimento e baixando a relação água/cimento (PETRUCCI, 1978).

O concreto, para ser durável, necessita ser bem adensado, ter baixa permeabilidade, baixa absorção, baixa retração e não ter trincas (ANDRIOLO, 1984).

2.1.3 Produção do concreto

A produção do concreto compreende a mistura, o transporte, o lançamento, o adensamento e a cura desse material.

2.1.3.1 Mistura

A mistura do concreto de cimento Portland consiste em fazer com que os materiais utilizados na produção entrem em contato íntimo, obtendo assim um recobrimento da pasta de cimento sobre os agregados (PETRUCCI, 1978).

A mistura é a operação de fabricação do concreto, tendo como resultado uma massa homogênea obtida a partir do agrupamento interno dos agregados, aglomerantes, adicionantes, aditivos e água. Tal mistura pode ser manual ou mecânica (BAUER, 2000).

2.1.3.2 Transporte

O sistema de transporte do concreto, do equipamento de sua fabricação ao local de aplicação, depende do tipo, da localização e do volume da obra. Muitas vezes, a trabalhabilidade com que o concreto tem que ser utilizado depende desse tipo de transporte (BAUER, 2000).

O sistema de transporte pode ser classificado como:

- Transporte Horizontal;

- Transporte Vertical;
- Transporte Inclinado;
- Bombas;
- Caminhões-betoneira.

2.1.3.3 Lançamento

O lançamento deve ser executado logo após a mistura, não sendo permitida a realização dessa etapa após o início da pega (NBR 14931/2004).

Alguns cuidados devem ser tomados para a etapa de lançamento, tais como:

- As fôrmas devem ser estanques para que não haja fuga da nata de cimento;
- Em peças muito delgadas utilizam-se tubos flexíveis para evitar o atrito com a forma ou com a armadura;
- A altura máxima de lançamento, em concretagens comuns, deve ser de no máximo 2 m;
- Em peças mais altas, o concreto deve ser lançado por janelas laterais, que são fechadas à medida que o concreto avança;
- O concreto deve ser lançado o mais próximo possível da sua posição final;
- A altura da camada de concreto lançado é limitada em função do tipo de adensamento;
- O lançamento do concreto deve seguir o Plano de Concretagem, evitando, portanto, as juntas de construção.

2.1.3.4 Adensamento

Adensamento ou consolidação é definido como o processo de moldagem do concreto fresco nas formas e tem por objetivo eliminar bolsões de espaços vazios e de ar retido. Essa operação pode ser realizada manualmente, por meio de socamento de haste; ou mecanicamente, por meio de vibradores, placas mecânicas, compactadores à percussão (METHA; MONTEIRO, 2008).

2.1.3.5 Cura

Compreende a cura o conjunto de medidas que tem por finalidade evitar a evaporação prematura da água necessária à hidratação do cimento, que rege a pega e seu endurecimento. As condições de umidade e temperatura são importantes fatores para as propriedades do concreto endurecido (PETRUCCI, 1978).

A cura do concreto tem por objetivo evitar a perda de umidade e controlar a temperatura por um período suficiente para atingir o nível de resistência desejado (METHA; MONTEIRO, 2008).

2.1.4 Microestrutura do concreto

A macroestrutura é a parte da estrutura que pode ser vista a olho nu. O concreto é visto como um material bifásico, constituído de agregados e do meio ligante.

A Figura 1 apresenta a seção de um corpo-de-prova de concreto de cimento Portland.



Figura 1 - Seção transversal de um corpo-de-prova de concreto.

A microestrutura é constituída do tipo, quantidade, tamanho, forma e distribuição das fases presentes em um sólido. O termo microestrutura é utilizado para a porção com grandeza microscópica da macroestrutura, tendo os aparelhos usados para essa análise capacidade de aumento da ordem de 10^5 vezes (METHA;

MONTEIRO, 2008).

Em nível microscópico, é possível observar a não homogeneidade entre as fases, divididas em três partes: agregado, zona de transição interface e a matriz da pasta de cimento hidratado (SÁ, 2006).

A zona de transição interface é uma pequena região, com espessura de 10µm a 50 µm, em volta do agregado gráúdo que, normalmente, apresenta-se mais fraca do que os outros dois componentes do concreto – o agregado e a pasta de cimento hidratada. Por esse motivo, é uma região que exerce influência no comportamento mecânico do concreto (METHA; MONTEIRO, 2008; NEVILLE, 1997; MINDESS, 1989). A Figura 2 mostra a microestrutura do concreto.

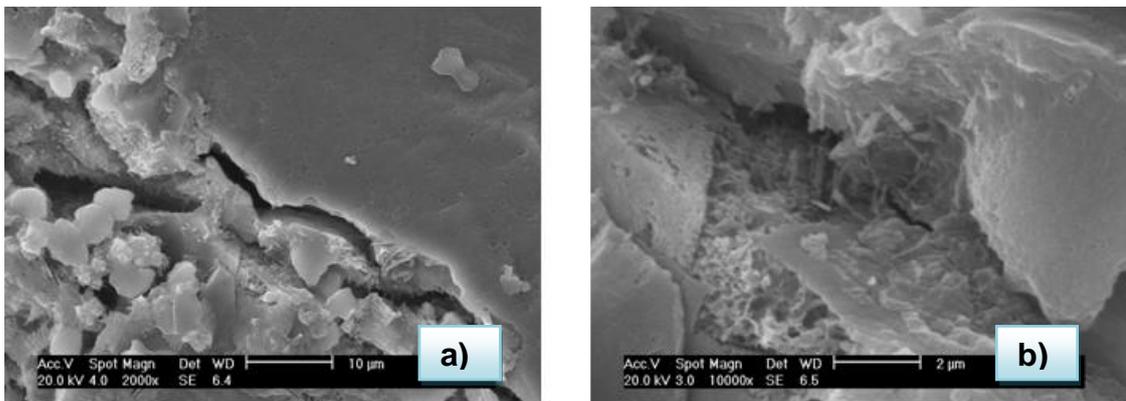


Figura 2 - Microestrutura do concreto: a) zona de transição matriz-agregado e b) matriz da pasta do cimento.

2.2 Aglomerante

Aglomerante é um material geralmente pulverulento, tem por finalidade ligar os grãos dos agregados e através disso, promover o aumento da resistência do material resultante. Utiliza-se na obtenção de argamassas e concretos, na forma da própria pasta, e também na confecção de natas (ARAÚJO *et al.*, 2000; TARTUCE; GIOVANNETTI, 1990).

Os aglomerantes podem ser aplicados nas pastas, argamassas e nos concretos. As pastas são misturas do aglomerante com água, que, em virtude dos efeitos secundários causados pela retração, são pouco usadas. Já a argamassa

resulta da pasta com o agregado miúdo. O concreto é o material da argamassa acrescentado do agregado graúdo (MELO, 2009).

2.2.1 Classificação dos aglomerantes

Os aglomerantes podem ser classificados em *ativos* ou *inertes*.

Os aglomerantes *ativos* são divididos em:

- Aéreos – são aglomerantes que endurecem pela ação química do CO₂ do ar. Como exemplo, tem-se a cal aérea e o gesso (TARTUCE; GIOVANNETTI, 1990).
- Hidráulicos – são aglomerantes cuja pasta apresenta propriedade de endurecer apenas pela reação com a água, fenômeno este que é denominado hidratação. Após seu endurecimento, resiste satisfatoriamente à ação da água, tais como a cal hidráulica, o cimento natural e o cimento Portland (VERÇOZA, 1984).
- Poliméricos – são aglomerantes que tem reação devido à polimerização de uma matriz.

Os aglomerantes *inertes* endurecem por secagem e são representados pelas argilas e pelos betumes (TARTUCE; GIOVANNETTI, 1990).

2.2.2 Cimento Portland

O cimento é um recurso empregado na construção desde a antiguidade. Porém, só agora foi possível especular sobre a sua provável descoberta. Na execução das pirâmides, os egípcios utilizaram um tipo de cimento, a passo que os gregos e os romanos empregaram um tufo vulcânico que também endurecia quando misturado à água, e diversas construções com esse material ainda estão de pé.

Em 1824, Joseph Aspdin patenteou um cimento artificial feito a partir da calcinação de calcário argiloso, o que deu a esse construtor inglês a

responsabilidade pela elaboração do chamado “Cimento Portland”, cujo nome foi concebido por apresentar cor e propriedades de durabilidade e solidez semelhantes às rochas da ilha britânica de Portland (NÓBREGA, 2006).

O cimento Portland é um aglomerante hidráulico produzido pela moagem de clínqueres constituídos essencialmente por silicatos de cálcio hidratado e uma pequena quantidade de uma ou mais formas de sulfato de cálcio natural, contendo, eventualmente, adições de certas substâncias que modificam suas propriedades ou facilitam seu emprego. Os clínqueres são nódulos de 5 mm a 25 mm de diâmetro de material sintetizado, produzido quando uma mistura de matérias-primas de composição pré-determinada é aquecida em altas temperaturas (BAUER, 2000).

O cimento é o aglomerante hidráulico capaz de fazer pega tanto no ar quanto na água, sem estar misturado com areia (VERÇOZA, 1984).

Atualmente, é o aglomerante mais importante na construção civil, sendo fundamental o conhecimento de suas propriedades para um melhor aproveitamento.

2.2.2.1 Composição Química

O cimento Portland é constituído por silicatos e aluminatos de cálcio, praticamente sem cal livre. Ao serem misturados com água, os silicatos e aluminatos se hidratam e produzem o endurecimento da massa, oferecendo uma elevada resistência mecânica.

Os componentes fundamentais desse aglomerante são a cal (CaO), a sílica (SiO₂), a alumina (Al₂O₃), o óxido de ferro (Fe₂O₃), certa proporção de magnésia (MgO) e uma pequena porcentagem de anidrido sulfúrico (SO₃). Onde este é adicionado após a calcinação para retardar o tempo de pega do material (BAUER, 2000).

O cimento Portland consiste em vários compostos de óxidos, sendo os resultados das análises químicas expressos em termos de óxidos, que podem ser observados na Tabela 5, a seguir.

Tabela 5 - Composição do cimento Portland.

Óxido	Abreviação	Composto	Abreviação
CaO	C	3CaO.SiO ₂	C ₃ S
SiO ₂	S	2CaO.SiO ₂	C ₂ S
Al ₂ O ₃	A	3CaO.Al ₂ O ₃	C ₃ A
Fe ₂ O ₃	F	4CaO.Al ₂ O ₃ . Fe ₂ O ₃	C ₄ AF
MgO	M	4CaO.Al ₂ O ₃ . SO ₃	C ₄ A ₃ S
SO ₃	S	3CaO.2SiO ₂ . 3H ₂ O	C ₃ S ₂ H ₃
H ₂ O	H	CaSO ₄ .2H ₂ O	CSH ₂

Fonte: METHA; MONTEIRO, 2008.

Através do comportamento mecânico dos componentes hidratáveis do cimento, é possível verificar que (ARAÚJO *et al.*, 2000):

- O silicato tricálcico (C₃S) é o maior responsável pela resistência em todas as idades, especialmente no primeiro mês;
- O silicato dicálcico (C₂S) é o maior responsável pelo ganho de resistência em idades mais avançadas, principalmente após um ano de idade;
- O aluminato tricálcico (C₃A) contribui para ganhos de resistência, especialmente no primeiro dia;
- O ferro aluminato tetracálcico (C₄AF) pouco contribui para a resistência do cimento;
- O silicato tricálcico e o aluminato tricálcico muito contribuem para a liberação do calor de hidratação do cimento, devido ao grande ganho de resistência que apresentam no primeiro dia.

Segundo especificações técnicas, a composição dos óxidos dos cimentos nacionais, em valores médios, é a seguinte:

A *cal* (CaO) é um componente essencial do cimento Portland, presente na composição do aglomerante numa porcentagem de 61 % a 67 %. Pode se dizer que as propriedades mecânicas do Portland aumentam com o teor de cal, desde que se

encontre completamente combinada. A existência de cal livre, em virtude de uma falha no processo de fabricação, pode prejudicar na estabilidade de volume das argamassas e concretos.

A porcentagem de *sílica* (SiO_2) na composição do cimento varia de 20 % a 23%, a partir de sua combinação com a cal resultam os componentes mais importantes do Portland.

A *alumina* (Al_2O_3) do cimento tem origem na argila e seu teor varia de 4,5 % a 7 %. O composto formado pela combinação desse óxido com a cal acelera a pega do aglomerante e reduz sua resistência aos sulfatos, razão pela qual a sua quantidade deve ser pequena.

A presença do *óxido de ferro* (Fe_2O_3) é muito pequena, chegando até 3,5 % na composição do cimento. Desde que, respeitando uma porcentagem não muito elevada, esse óxido é útil pelo seu papel de fundente, pois em combinação com a alumina, facilita a produção de cal que se converte toda em silicato tricálcico.

A *magnésia* (MgO) provém do carbonato de magnésio presente no calcário, ou em pequena quantidade na argila. Seu teor no cimento tem que ser menor que 6,5 %. Esse óxido atua como expansivo, isso quando em quantidades superiores a certos limites, agindo de forma nociva à estabilidade de volume das argamassas e concretos.

Os óxidos influenciam diretamente nas propriedades dos compostos. As características desses compostos podem ser observadas na Tabela 6, a seguir.

Tabela 6 - Propriedades dos compostos do cimento Portland.

Propriedades	C₃S	C₂S	C₃A	C₄AF
Resistência à compressão nas primeiras idades	Boa	Fraca	Boa	Fraca
Resistência à compressão nas idades posteriores	Boa	Boa	Fraca	Fraca
Velocidade de reação de hidratação	Média	Lenta	Rápida	Rápida
Quantidade de calor de hidratação	Média	Pequena	Grande	Média
Resistência a águas agressivas	Média	Boa	Fraca	Fraca

Fonte: TARTUCE, 1990.

2.2.2.2 Hidratação do cimento Portland

A reação química do cimento com a água resulta num material com características de endurecimento e pega, denominada essa reação de *hidratação do cimento*.

O mecanismo de hidratação se inicia com a dissolução dos compostos anidros com a água, porém verifica-se que nem todos os compostos se hidratam na mesma velocidade. Os silicatos de cálcio hidratados e os aluminatos hidratados são os componentes hidratados mais comuns. Entretanto, os aluminatos têm sua velocidade de hidratação superior a dos silicatos.

As reações de hidratação dos aluminatos são responsáveis pelas características de perda de consistência e pega de uma pasta de cimento Portland. Os aluminatos reagem rapidamente com a água e se cristalizam em poucos minutos. Nessa reação não se produz hidróxido, mas aluminato hidratado (PETRUCCI, 1978).

Os silicatos são responsáveis pela determinação das características de endurecimento, isto é, taxa de endurecimento da resistência, e compõem aproximadamente 75% do cimento Portland comum (METHA; MONTEIRO, 2008).

2.2.2.3 Tipos de cimento Portland

Ao longo do tempo, novas misturas e inovações tecnológicas foram determinando a obtenção de diversos tipos de cimento, buscando, com isso, materiais econômicos de maior resistência e durabilidade desejada.

Observam-se, na Tabela 7, os principais tipos de cimento Portland oferecidos no mercado.

Tabela 7 - Tipos de cimentos Portland nacionais.

ABNT	Sigla	Denominação
	CP I	Portland Comum
NBR 5732/1991	CP I-S	Portland Comum com adição de Fíler Carbonático
		Portland Comum com adição de Escória ou Pozolana
NBR 11578/1991	CP II-E	Portland Composto com Escória
	CP II-Z	Portland Composto com Pozolana
	CP II-F	Portland Composto com Fíler
NBR 5735/1991	CP III	Portland de Alto-Forno
NBR 5736/1999	CP IV	Portland Pozolânico
NBR 5733/1991	CPV-ARI	Portland Alta Resistência Inicial
NBR 12989/1993	CPB	Portland Branco
NBR 13116/1994	BC	Portland de Baixo Calor de Hidratação

Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland.

As classes 25, 32 e 40 dos cimentos definem a sua resistência mecânica aos 28 dias, respectivamente como 25 MPa, 32 MPa e 40 MPa. Essa resistência é obtida através de ensaios com argamassa normal, oriunda da mistura de cimento, areia normal e água, na qual a areia normal deve satisfazer a NBR 7214/1982.

O *cimento Portland comum* (CP I) é constituído basicamente de clínquer, gesso e pouca ou nenhuma quantidade de adições.

O *cimento Portland composto* (CP II) pode ter na sua composição uma adição de 6 % a 34 % de escória, 6 % a 14 % de pozolana ou 6 % a 10 % de fíler.

O *cimento Portland de alto-forno* (CP III) se caracteriza por conter quantidades maiores de adições de escória de alto-forno. Essa quantidade de escória está entre 35 % a 70 % presente na sua composição, proporcionando à reação do cimento com a água um baixo calor de hidratação.

A reação química da escória de alto-forno com a água se processa em velocidade um pouco menor que a do clínquer moído. Em consequência disso, esse tipo de cimento leva mais tempo para endurecer. Mas, em compensação, esse tempo a mais permite que os grãos e partículas que o compõem se liguem melhor entre si, reduzindo com isso os espaços vazios ou poros entre eles, garantindo uma maior durabilidade e ganho na resistência em idades avançadas (ARAÚJO *et al.*, 2000).

O *cimento Portland pozolânico* (CP IV) possui na sua composição de 15 % a 50 % de pozolana. O alto teor de pozolana proporciona estabilidade no uso com agregados reativos e em ambientes de ataque ácido, em especial de ataque por sulfatos. Em consequência do seu baixo ganho de resistência nas primeiras idades, não é recomendado para uso em argamassa armada, concreto de desforma rápida sem cura térmica e concreto protendido pré-tensionado. Em contrapartida, é altamente eficiente em argamassas de assentamento e revestimento, em concreto magro, concreto armado, concreto para pavimentos e solo-cimento.

No *cimento Portland de alta resistência inicial* (CP V) há uma dosagem diferenciada de calcário e argila na produção do clínquer, bem como sua moagem é mais fina, de modo que o cimento em reação com a água adquire elevada resistência, com velocidade muito maior quando comparado a outro tipo de cimento. É largamente utilizado em produção industrial de artefatos, na qual se exige desforma rápida, concreto protendido pré e pós-tensionado, pisos industriais e argamassa armada. Devido ao alto calor de hidratação não é indicado para concreto massa. A ausência de pozolana não o torna indicado para concreto com agregados reativos.

2.3 Agregados

Agregado é um material granuloso, podendo ser natural ou artificial, sem forma ou volume definidos e de atividade química praticamente nula. É um material utilizado em quase todas as obras de infra-estrutura civil, compreendendo edificações, pavimentação, barragens e saneamento. No concreto, ocupa cerca de 60 % a 80 % do seu volume.

Os agregados têm uma função muito importante, do ponto de vista econômico e técnico, nas argamassas e concretos, por exercerem influência benéfica sobre algumas características, como: retração, aumento da resistência ao desgaste e resistência aos esforços mecânicos (TARTUCE; GIOVANNETTI, 1990).

As características importantes do agregado para a composição do concreto incluem porosidade, composição ou distribuição granulométrica, absorção de água, forma e textura superficial, resistência à compressão, módulo de elasticidade e tipos de substâncias deletérias presentes.

2.3.1 Classificação dos agregados

Os agregados são classificados quanto à origem, às dimensões e à composição mineralógica.

2.3.1.1 Quanto à origem

Os agregados podem ser classificados quanto à origem como sendo *naturais*, quando se encontram na natureza prontos para serem utilizados ou necessitando apenas de processo de lavagem e classificação. Como exemplos têm a areia de mina, areia de rios e seixos rolados.

Também podem ser classificados como *artificiais*, quando precisam de uma transformação para chegar a condição de uso. Isso ocorre com o pó de pedra, os pedriscos, as britas e os resíduos da própria construção civil.

2.3.1.2 Quanto às dimensões

Os agregados podem ser classificados em miúdos ou graúdos. Denominam-se agregados *miúdos* os que têm diâmetro máximo igual ou inferior a 4,8 mm, a exemplo temos a areia e o pó de pedra. Já os agregados *graúdos* são os que têm diâmetro máximo superior a 4,8 mm, exemplificados pela brita e pelo seixo rolado.

2.3.1.3 Quanto à composição mineralógica

Para fabricação de argamassas e concretos é muito importante que se tenha conhecimento da natureza dos agregados, dado que herdarão a mineralogia bem como muitas das propriedades físicas e mecânicas da rocha mãe, a partir da qual foram obtidos. Portanto, podem ser provenientes da decomposição de três tipos de rochas: ígneas (ou magmáticas), sedimentares ou metamórficas (PETRUCCI, 1998).

As *rochas ígneas ou magmáticas* são formadas pela consolidação do magma por resfriamento. São conhecidas como extrusivas quando o resfriamento se dá na superfície da crosta terrestre. Caso o resfriamento ocorra em grandes profundidades, tais rochas são chamadas de intrusivas. Podem apresentar estruturas cristalinas ou amorfas, de acordo com a velocidade de resfriamento. Quanto maior a profundidade, mais lento é o resfriamento, o que permite maior cristalização dos minerais, resultando em rochas mais resistentes e melhores agregados (FARIAS; PALMEIRA, 2007). Seu componente principal é a sílica. Quimicamente são as mais ativas. Menciona-se como exemplo o granito e o basalto.

As *rochas sedimentares* são as estratificadas em camadas, que se originam da fragmentação de outras rochas, as quais são formadas por três processos principais, a saber (VERÇOZA, 1984):

- Deposição (sedimentação) das partículas originadas pela erosão de outras rochas - rochas sedimentares clásticas ou detríticas;
- Precipitação de substâncias em solução - rochas sedimentares químicas;
- Deposição dos materiais de origem orgânica - rochas sedimentares biogênicas, formação não interessante para a construção civil.

As *rochas metamórficas* são resultantes de outros tipos de rochas (ígneas, sedimentares ou mesmo outras rochas metamórficas) e se originam da ação de altas temperaturas e fortes pressões sobre rochas profundas, sem que ocorra fusão do material que as forma. As características finais desse tipo de rocha dependem da rocha original e do grau de intemperismo (alto, médio ou baixo). Como exemplo de rocha com o grau de intemperismo baixo tem o filito e a ardósia. Os xistos resultam de um grau de intemperismo médio. Já o mármore, quartzito e gnaisses são exemplos de rochas resultantes de intemperismo de baixo ou alto grau, gerando rochas com propriedades variáveis (ARAÚJO *et al.*, 2000; FARIAS; PALMEIRA, 2007).

2.3.2 Propriedades dos agregados

As propriedades dos agregados estão diretamente ligadas à composição mineralógica da rocha fonte, às condições de exposição da rocha e ao tipo de equipamento utilizado para extração do agregado (METHA; MONTEIRO, 2008). As propriedades dos agregados podem ser divididas em três grupos, como mostra a Tabela 8, de acordo com essas condicionantes.

Tabela 8 - Propriedades dos agregados de acordo com as condicionantes.

Condicionantes		
Porosidade	Composição química e mineralógica	Condições prévias e condicionantes de fabricação
Características	<ul style="list-style-type: none"> - Massa específica aparente; - Absorção de água; - Resistência; - Módulo de Elasticidade; - Sanidade. 	<ul style="list-style-type: none"> - Resistência; - Módulo de Elasticidade; - Substâncias deletérias presentes; - Cargas elétricas.
		<ul style="list-style-type: none"> - Tamanho; - Forma; - Textura das partículas.

Fonte: FARIAS; PALMEIRA, 2007.

A composição mineralógica dos agregados e sua porosidade afeta a resistência, a compressibilidade e a sanidade dos concretos endurecidos. O consumo do cimento Portland é altamente dependente da superfície específica e da porosidade dos grãos de agregados (FARIAS; PALMEIRA, 2007).

Para efeitos de dosagem do concreto é importante que se tenha conhecimento da massa específica e da massa unitária do agregado. A *massa específica ou real* é definida como a massa do material, incluindo os poros internos, por unidade de volume. Essa massa, para muitas rochas normalmente utilizadas, varia entre 2600 kg/m³ e 2700 kg/m³. Já a *massa unitária ou aparente* é definida como a massa das partículas do agregado que ocupam uma unidade de volume, com isso o valor varia de 1300 kg/m³ a 1750 kg/m³.

2.4 Sustentabilidade e Resíduos

2.4.1 Origem da Teoria do Desenvolvimento Sustentável

A idéia de desenvolvimento sustentável surgiu através de um processo lento e repleto de danos ambientais para se alcançar a conscientização de que os recursos naturais são limitados e precisam ser utilizados com cautela (DIAS, 2009).

O aumento da desertificação, as mudanças climáticas, os acidentes ambientais, a extinção de animais e outros eventos contribuíram para chamar a atenção de ambientalistas, cientistas, organizações não-governamentais (ONG) e da população em geral para o fato da administração dos recursos oriundos do meio ambiente (TEIXEIRA, 2005).

Seguem alguns fatos que contribuíram para a construção da Teoria do Desenvolvimento Sustentável:

a) *Primavera Silenciosa – 1962*

O livro *Silent Spring* foi escrito pela norte-americana Rachel Carson e correlacionou as atividades produtivas à degradação ambiental, atentando para o uso de um pesticida que causava perigo ao homem e aos animais. Assim, demonstrou a vulnerabilidade da natureza frente à intervenção do homem.

b) *A Tragédia dos Bens Comuns – 1968*

Artigo escrito e publicado por Garrett Hardin (*The Tragedy of the Commons*) e apresentado como conferência no congresso da Sociedade Americana para o Progresso da Ciência, em 1967. Abordou a destruição de bens comuns por interesses privados (NOBRE; AMAZONAS, 2002).

c) *Os Limites do Crescimento – 1972*

Estudo publicado por um grupo de pesquisadores conhecidos como Clube de Roma (*The Limits of Growth*), relacionou a degradação ambiental, o

esgotamento dos recursos naturais não renováveis e a difusão da fome ao crescimento populacional e ao crescimento econômico (DIAS, 2009).

Tal estudo leva em consideração cinco variáveis: industrialização (crescente), população (em rápido crescimento), má-nutrição (em expansão), recursos naturais não renováveis (em extinção) e o meio ambiente (em deterioração) (NOBRE; AMAZONAS, 2002).

d) *Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente Humano – 1972*

Conferência ocorrida em Estocolmo, na Suécia, em 1972. Produziu a Declaração da ONU sobre Ambiente Humano que aponta vinte e seis princípios voltados para a preservação de recursos naturais e para a proteção de espécies ameaçadas.

O estudo serviu como marco para a propagação de outros eventos com temas ambientais e também para que países incluíssem a proteção ambiental nas suas constituições e em outras normas (DIAS, 2009).

e) *Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento – 1983*

Criada pela Organização das Nações Unidas (ONU), conhecida também como Comissão Brundtland, seu relatório final, publicado em 1987, ficou conhecido como *Nosso Futuro Comum*.

Apresentava como objetivos: reexaminar as questões críticas relativas ao meio ambiente e reformular propostas realísticas para abordá-las; propor novas formas de cooperação internacional nesse campo de modo a orientar as políticas e ações no sentido de fazer as mudanças necessárias, e dar a indivíduos, organizações voluntárias, empresas, institutos e governos uma maior compreensão dos problemas existentes, auxiliando-os e incentivando-os a uma atuação mais firme (COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1988).

O relatório *Nosso Futuro Comum* contém o conceito de desenvolvimento sustentável:

O desenvolvimento sustentável é aquele que atende as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade das gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades (COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1988).

f) Conferência das Nações Unidas para Meio Ambiente e Desenvolvimento - conhecida como a Cúpula da Terra, Conferência do Rio ou Rio-92 – 1992

Essa conferência reuniu 178 países e produziu: a) A Declaração do Rio sobre Meio Ambiente; b) Agenda 21; c) Duas grandes convenções internacionais; d) Comissão de desenvolvimento sustentável; e) Um acordo para negociar uma convenção mundial sobre desertificação; f) A Declaração de Princípios para o Manejo Sustentável de Florestas (DIAS,2009).

g) Rio +5 – 1997

Encontro realizado em New York pela comunidade internacional para rever os compromissos assumidos pelos países na Conferência Rio 92, principalmente no que diz respeito à implementação da Agenda 21. A conclusão a que se chegou foi que muitas das metas da Agenda 21 ainda não tinham sido atingidas.

h) Rio +10 – 2002

Conferência realizada em Joanesburgo, África do Sul, em 2002. A partir do evento foram produzidos dois documentos que compreendem uma declaração política sobre a busca do desenvolvimento sustentável e um plano de ação para orientar a implementação dos compromissos assumidos conjuntamente pelos países participantes.

2.4.2 Noção de sustentabilidade

A noção de sustentabilidade necessita ser bem assimilada pela comunidade, pois a cidade tem que ser um local apto a proporcionar uma qualidade de vida sadia para seus habitantes (DIAS, 2009).

A expressão sustentabilidade está atrelada às idéias de conservação, manutenção, sobrevivência, bem como à noção de continuidade e de durabilidade e deve ser entendida através de aspectos ambientais, sociais, políticos, econômicos, demográficos, cultural e espacial, os quais serão explicitados tendo por base uma breve conceituação (NOVAES, 2000):

- A *sustentabilidade ambiental* está atrelada à manutenção da capacidade de sustentação dos ecossistemas.
- A *sustentabilidade social* tem como referência o desenvolvimento e como objetivo a melhoria da qualidade de vida da população.
- A *sustentabilidade política* diz respeito ao processo de construção da cidadania e visa garantir a plena incorporação dos indivíduos ao processo de desenvolvimento.
- A *sustentabilidade econômica* implica numa gestão eficiente dos recursos e na regularização de investimentos públicos e privados.
- A *sustentabilidade demográfica* revela os limites da capacidade de suporte dos territórios.
- A *sustentabilidade cultural* relaciona-se à capacidade de manter a diversidade de culturas, valores e práticas no planeta.
- A *sustentabilidade espacial* é norteada pela busca de maior equidade nas relações inter-regionais.

2.4.3 Resíduos

Lixo é tudo aquilo que não se quer mais e se joga fora, englobando coisas inúteis, velhas e sem valor.

Entende-se como resíduo sólido, material, substância, objeto ou bem descartado, resultante de atividades humanas em sociedade, cuja definição se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólidos ou semissólidos, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis

em face da melhor tecnologia disponível (LEI 12.305/2010).

Resíduos são o resultado de processos de diversas atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, de construção e demolição de obras, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e ainda da varrição pública. Os resíduos apresentam-se nos estados sólido, gasoso e líquido (KRAEMER, 2005).

A geração de resíduos sólidos domiciliares no Brasil é cerca de 0,6/hab/dia e mais 0,36 kg/hab/dia de resíduos de varrição, limpeza de logradouros e entulhos. Grande parte dos resíduos gerados no país não é coletada, permanecendo junto às habitações, vazando em logradouros públicos, terrenos baldios ou cursos d'água (MONTEIRO; ZVEIBIL, 2001).

Os resíduos de construção e demolição (RCD) representam 50 % da massa dos resíduos sólidos urbanos (RSU). Uma estimativa aponta para um montante de 68,5 milhões de toneladas por ano, visto que aproximadamente 137 milhões de brasileiros vivem no meio urbano (ÂNGULO, 2005).

No Brasil, a geração de RCD *per capita* foi estimada em 500 kg/hab.ano, mediana para algumas cidades brasileiras (PINTO, 1999).

2.4.3.1 Classificação dos resíduos

Os resíduos podem ser classificados quanto a sua origem e quanto a sua periculosidade.

Quanto à origem, segundo a Lei 12.305/2010, os resíduos podem ser provenientes de domicílios, limpeza pública, estabelecimentos comerciais, indústrias, serviços de saúde, construção civil, agrossilvopastoril, serviços de transportes, mineração, entre outros.

A NBR 10004/2004 – Resíduos Sólidos – Classificação diferencia os resíduos em quatro classes de periculosidade, sendo:

- a) *Resíduo Classe I – Perigosos* - São rejeitos que, em função de suas propriedades físico-químicas e infecto-contagiosas, podem apresentar riscos

à saúde pública e ao meio ambiente. Devendo apresentar pelo menos umas das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade.

- b) *Resíduo Classe II – Não-Perigosos* – São resíduos representados por restos de alimentos, resíduos de papel e papelão, de plásticos polimerizados, de madeira, de borracha, de bagaço de cana, de areia de fundição.
- c) *Resíduo Classe II A – Não-Inertes* - Aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I ou classe III. Apresentam propriedades de combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.
- d) *Resíduo Classe II B – Inertes* - Quaisquer resíduos que submetidos a um contato estático ou dinâmico com água, não tenham nenhum de seus componentes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água definidos pelo Anexo G da Norma NBR 10004/2004.

2.4.4 Resíduos Industriais

Resíduos Industriais são rejeitos gerados nos processos produtivos e nas instalações industriais (Lei 12.305/2010).

O manejo e a disposição final dos resíduos industriais, apesar de menos discutidos pela população que os resíduos domésticos, constituem um problema atual e continuarão a trazer sérias consequências ambientais e para a saúde das gerações futuras (MONTEIRO; ZVEIBIL, 2001).

O IBGE investigou 5.560 municípios brasileiros e constatou que o despejo de resíduos industriais, óleos ou graxas (inclusive derramamento de petróleo) foi apontado por 521 municípios como uma das principais causas de poluição da água. Na região sudeste foi verificada a maior proporção desses municípios (31%), seguida de perto pela norte (28 %). Os estados de Rondônia (45%), Espírito Santo (43 %), Rio de Janeiro (41 %) e Sergipe (39 %) apresentaram as maiores proporções (IBGE, 2005).

Ainda é comum, nas cidades, verificar que indústrias iniciam suas atividades sem a instalação das medidas de prevenção e controle de danos ambientais e

ampliam seus negócios, modernizam suas máquinas, contratam mais empregados, sem, contudo, realizar o mínimo necessário para prevenir, controlar e recuperar os danos ambientais (DIAS, 2009).

Uma atividade utilizadora de recurso ambiental, considerada efetivamente ou potencialmente poluidora ou capaz de causar degradação ambiental, tem, necessariamente, que computar e arcar com os custos da proteção ambiental.

O *Princípio do Poluidor-Pagador*, estampado como Princípio 16 na Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, prega que os responsáveis pelas atividades potencialmente poluidoras devem realizar todas as diligências necessárias para impedir consequências danosas ao meio ambiente decorrentes das suas atividades. Essas diligências, por sua vez, precisam ser avaliadas tecnicamente e devem ser tomadas providências de forma antecipada, não em momento posterior ao dano (CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE O MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1997).

Portanto, os geradores dos resíduos industriais são obrigados a cuidar do gerenciamento, transporte, tratamento e destinação final destes (KRAEMER, 2005).

2.4.5 Reciclagem e Reutilização

A reciclagem é o processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos (LEI 12.305/2010).

Já a reutilização é o processo de aproveitamento de resíduos sólidos sem haver sua transformação física, físico-química ou biológica (LEI 12.305/2010).

O ato de reutilizar os resíduos de corte de botão em poliéster (RCBP) diminui o acúmulo de rejeitos e economiza energia, além de assumir um papel importante na preservação do meio ambiente.

Reutilizar botões não parece algo muito relevante, porém ao que se percebe o volume de resíduo gerado pela fabricação desse artefato, vê-se que cerca de 45 %

a 50 % da matéria-prima utilizada no processo é transformada em resíduo que, por ser um plástico termofixo, não é reciclável. Daí é possível entender a importância dessa reutilização (MEDEIROS, 2005).

Com uma produção de resíduo de 1 tonelada por dia é possível a construção de 3400 blocos de enchimento para laje pré-moldada e mais, misturando gesso ao resíduo de botão é possível também produzir 1500 m² de revestimento texturizado em alvenaria (MEDEIROS, 2005).

Uma das empresas fabricantes desse material está localizada no município de Parnamirim/RN e produz em média 200 toneladas de resíduo por ano, tendo como seu destino final o Aterro Metropolitano de Natal.

O RCBP utilizado nesse trabalho foi do tipo poliéster insaturado termofixo. A Figura 3 apresenta resíduos de corte de botão para diferentes fases da fabricação do artefato.

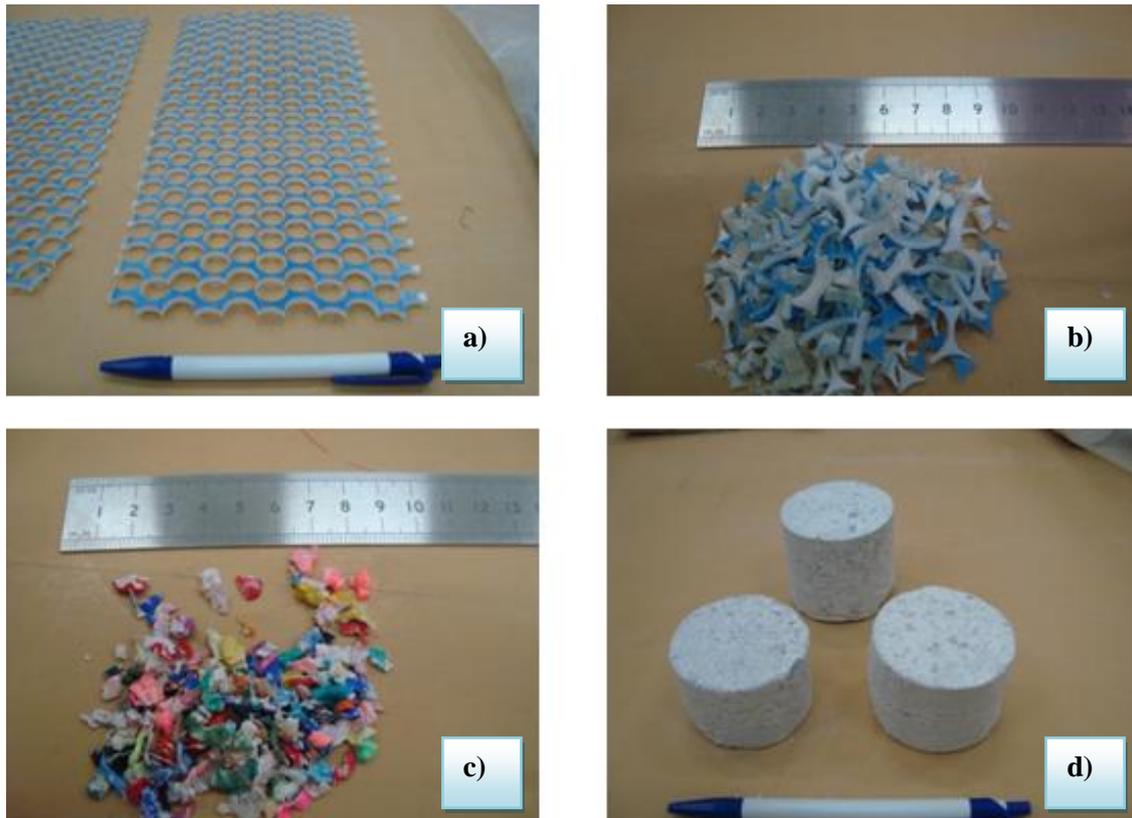


Figura 3- a) Manta pós-corte; b) e c) Manta com granulometria menor; d) Pó compactado proveniente do polimento do botão.

A resina de poliéster insaturado termofixo é comercialmente chamada de Polydine ®5067. Apresenta-se na forma de um líquido incolor levemente azulado e tem como principais características a alta transparência, alta viscosidade e baixa reatividade. Esse produto pode ser utilizado para fabricação de botões, bijuterias, cabines telefônicas, confecção de banheiras, entre outros.

Para a fabricação de botão, caso da pesquisa, essa resina é misturada com outros insumos, tais como monômero de estireno, catalisador e corantes, conforme a Tabela 9, demonstra a seguir.

Tabela 9 - Composição química do botão em poliéster.

Elemento	Composição
Resina	Anidrido maleico (C ₄ H ₂ O ₃) Anidrido ftálico (C ₈ H ₄ O ₃) MET (monoetilenoglicol) DEG (Dietilenoglicol) Monômero de estireno
Aditivo	Hidroquinoma TBC (Paraterciário butil catecol)
Catalisador	MEKP (Peróxido de metil etil cetona)
Acelerador	Cobalto (Nartanalto de cobalto)

Fonte: Empresa fornecedora do RCBP.

2.4.5.1 Polímeros

A palavra polímero origina-se do grego *poli* (muitos) e *mero* (unidade de repetição). Essencialmente, os polímeros são materiais de origem natural, artificial ou sintética, de natureza orgânica ou inorgânica, constituídos por muitas macromoléculas, sendo cada uma delas possuidora de uma estrutura interna em que há a repetição de pequenas unidades (meros) (HIEMENZ; LODGE, 2007; MORTON-JONES, 1989; NUNES *et al.*,2002).

O monômero é a matéria-prima que dá origem ao polímero. Os abundantes tipos de polímeros podem ser diferenciados através da estrutura química e física dos meros. Quando originados de animais ou plantas, os polímeros podem ser chamados de *naturais*, como é o caso do couro, da seda, da lã, da madeira, da borracha e do algodão. Outro exemplo é a celulose cuja origem advém das plantas. Com o avanço científico foi gerada uma gama de polímeros para atender as mais diversas áreas de aplicações, dando origem aos polímeros *sintéticos*. Esses incluem os plásticos, borrachas e fibras (CANEVAROLO, 2002).

2.4.5.1.1 Caracterização dos polímeros

Quanto ao comportamento mecânico, os polímeros podem ser classificados

em elastômeros, plásticos ou fibras.

Os elastômeros são polímeros que apresentam características elásticas. Assim, submetidos a esforços solicitantes podem se deformar por, no mínimo, duas vezes o seu comprimento inicial, mesmo na temperatura ambiente, retornando ao seu tamanho original quando a solicitação é retirada. As aplicações dos elastômeros são apresentadas na Tabela 10, a seguir.

Tabela 10 -Aplicação dos elastômeros.

Polímero	Aplicações
Borracha natural	Pneus, peças de máquinas.
Polissiloxano	Isolamentos térmicos para temperaturas altas e baixas, tubos para utilização com alimentos e para fins comerciais.
Cloropreno	Fios e cabos, revestimentos de tanques para produtos químicos , mangueiras, vedações.

Fonte: OSSWALDO; MENGES, 2003; ANDRADE, 2007.

Os polímeros plásticos são materiais sólidos na temperatura ambiente. Podem ser do tipo *termoplásticos* quando, sob o efeito da temperatura e pressão, amolecem e fluem, podendo ser moldados nessas condições. Posteriormente, é possível a reiniciação do processo com a remodelagem por meio de aplicação combinada de pressão e temperatura, tornando um material reciclável. Ex: Polietileno, Polipropileno, Poliestireno. Também podem ser *termofixos*, ou termorrígidos, que são polímeros que quando submetidos a aplicações de temperatura e pressão, amolecem e fluem adquirindo a forma do molde. Por não amolecerem com o aumento da temperatura, um vez produzidos, não podem retornar ao processo, tornando com isso materiais insolúveis, infusíveis e não-recicláveis. Como exemplo, tem-se o poliéster insaturado, resina epóxi e formaldeído (NUNES *et al.*, 2002). As aplicações dos plásticos são apresentadas na Tabela 11, a seguir.

Tabela 11 - Aplicação dos plásticos.

Polímero	Aplicações
<i>Termoplásticos</i>	
Poliestireno	Isolantes térmicos e elétricos, fabricação de objetos plásticos.
Polycarbonato	Óculos de sol, CDs, janelas à prova de balas, faróis de carro.
Polipropileno	Brinquedos, copos plásticos, seringas de injeção, tubos.
<i>Termofixos</i>	
Epóxi	Pranchas de surfe, rejuntas, tintas anticorrosivas.
Poliéster insaturado	Botões, bijuterias, torradeiras, disco de antena parabólica.

Fonte: OSSWALDO; MENGES, 2003.

As fibras são termoplásticos orientados. Essa característica aumenta a resistência mecânica desta classe de materiais, a exemplo de nylons e poliéster saturado (PET). Atualmente o PET é um dos polímeros mais reciclados. Em virtude do aumento na produção de garrafas descartáveis, contribuem para a poluição devido à quantidade de resíduo gerado.

2.4.5.2 Caracterização do RCBP

Está apresentada na Tabela 12 a caracterização química do RCBP.

Tabela 12 - Composição química do RCBP.

Tipo	Amostra	Ensaio	Especificação	Resultado	Unidade	Limite de Quantif.
Massa Bruta	1	Mercúrio Total (Hg)	s/especificação	não detectado	mg/kg	0,0001
		pH	s/especificação	5,97	-	0,00
		Enxofre	máx. 500,00	não detectado	mg/kg	3,00
		Umidade	s/especificação	4,18	% massa / massa	0,01
		Cromo hexavalente	s/especificação	1,87	mg/kg	0,02
		Fenóis Totais	s/especificação	1,38	mg/kg	0,01
		Cádmio (Cd)	s/especificação	não detectado	mg/kg	20,00
Massa Bruta	2	Arsênio Total	s/especificação	não detectado	mg/kg	10,00
		Chumbo Total	s/especificação	não detectado	mg/kg	0,02
		Cianeto	máx. 250,00	não detectado	mg/kg	0,50
						20,00
		Bário	s/especificação	não detectado	mg/kg	
Lixiviado	3	Cádmio (Cd)	máx. 0,5	não detectado	mg/L	0,02
		Cromo Total (Cr)	máx. 5,0	0,04	mg/L	0,01
		Mercúrio Total (Hg)	máx. 0,1	não detectado	mg/L	0,0001
		Prata (Ag)	máx. 5,0	não detectado	mg/L	0,02
		Cloretos	s/especificação	4,03	mg/L	1,00
		pH	2 - 12,5	5,05	mg/L	0,00
		Manganês Total (Mn)	s/especificação	0,04	mg/L	0,04
		Fluoreto Total	máx. 150	não detectado	mg/L	0,10

FONTE: Empresa fornecedora do RCBP.

2.4.6 Impactos ambientais causados pela produção e utilização do botão

O meio ambiente se modifica continuamente devido a causas naturais sobre as quais o homem tem pouco controle. São exemplos as estações do ano, as manchas na superfície do Sol, as erupções vulcânicas, os terremotos, os maremotos, os furacões, as inundações e as queimadas em florestas (GOLDEMBERG; LUCON, 2008).

Quando o RCBP é incinerado, libera gases, como ácido acrílico, tolueno, fenol, dioxinas e furanos, que provocam efeitos extremamente danosos para os seres vivos (CHANG *et al.*, 2001).

A Tabela 13 apresenta alguns efeitos sobre a saúde humana causados pelos gases que são liberados na queima do RCBP.

Tabela 13 - Poluentes x Efeitos sobre a saúde humana.

Poluentes	Efeitos sobre a saúde
Tolueno	Irritações das mucosas, dos brônquios e da laringe Bronquite Broncoespasmo Edema pulmonar Afeta o sistema nervoso, causando fadiga, depressão e tontura
Fenol	Irritação das mucosas Afeta o sistema nervoso central, fígados e rins
Dioxinas	Distúrbios hormonais Redução das defesas Câncer Teratogenia

Fonte: GREENPEACE, 1998; CARVALHO *et al.*, 2001.

O desenvolvimento da pesquisa foi motivado pela busca de alternativas para a destinação final do RCBP por meios de soluções de cunho ambiental, técnica e economicamente viáveis para o problema de destinação do resíduo proveniente do corte de botão em poliéster.

2.4.7 Resíduos incorporados aos materiais

Novas tecnologias e estudos têm sido desenvolvidos para a produção de argamassas e concretos com incorporação de resíduos, tais como o do RCBP, do polimento do porcelanato, do pó de pedra, da cinza de casca de arroz, da borracha de pneu, da fibra de aço, entre outros.

MEDEIROS (2005) constatou a viabilidade técnica e econômica do uso do RCBP como carga de blocos de solo-cimento, confinamento em blocos cerâmicos convencionais e em blocos de argamassa de cimento Portland.

MELO (2009) estudou um desenvolvimento de um concreto celular com propriedades especiais de baixa densidade e boa resistência mecânica, em função da utilização conjunta do RCBP e da espuma biodegradável incorporadora de ar.

PHAIBOON e MALLIKA (2008) realizaram uma pesquisa sobre a reutilização do resíduo de plástico termofixo adicionado ao concreto celular, juntamente com pó de alumínio, cinza de carvão e areia. O estudo teve como resultado a obtenção de um traço favorável de 1:0,8:0,3:0,9 (cimento:areia: cinza de carvão: plástico termofixo) para um concreto celular não estrutural de densidade e resistência à compressão de 1395 kg/m³ e 4,14 N/mm², respectivamente.

SOUZA (2007) investigou as principais características do concreto a partir da adição de resíduo de porcelanato com traços variando de 10 % a 50 % de incorporação de resíduo em relação à massa de cimento, observando que com a utilização do resíduo houve um aumento de 40 % na resistência à compressão.

SÁ (2006) analisou a influência do pó de pedra em substituição à areia natural para concretos de 20 MPa e 40 MPa. Percebeu que os concretos com resistência de 20 MPa contendo pó de pedra em sua composição, apresentaram melhor desempenho do que o que continha areia natural, viabilizando o seu uso.

BARBOSA (2006) abordou a aplicação da tecnologia dos concretos de alto desempenho (CAD) para a produção de concretos com substituição em massa de parte do material aglomerante por resíduos de cinza de casca de arroz e com adição de borracha de pneu substituindo parcialmente o volume do agregado miúdo. Concluiu que, com a incorporação de cinzas e borrachas, o concreto apresentou superioridade das propriedades mecânicas, boa resistência à abrasão e ao impacto, em relação ao concreto convencional.

GIACOBBE (2008) desenvolveu estudos a partir de ensaios em concretos dosados com diferentes teores de borracha de pneu incorporada em substituição à massa da areia, comparando-os com os de um concreto de referência. Deduziu,

com os resultados, que quanto maior o teor de borracha incorporado ao concreto, maior é a redução das suas propriedades em comparação ao concreto de referência, no que se refere à resistência à compressão, resistência à tração na flexão e módulo de elasticidade.

NUNES (2006) estudou sobre o comportamento dos elementos de superfície de concreto quanto à fissuração e seu controle pelo uso das fibras de aço.

SANTOS (2008) investigou a utilização do resíduo de pedreira de rocha calcária e resíduo do polimento do porcelanato, em substituição parcial do cimento na argamassa e observou que as argamassas executadas com adições desses resíduos não sofreram alterações significativas no que se refere ao índice de consistência, densidade de massa no estado fresco, retenção de água, teor de ar incorporado e densidade de massa aparente no estado endurecido. Quanto à resistência à tração na flexão e à resistência à compressão, além da absorção de água por capilaridade, houve comprometimento dos desempenhos.

MODRO *et al.*(2009) analisou o comportamento mecânico do concreto com incorporação de poli (tereftalato de etileno) – PET, nas concentrações de 10 %, 20%, 30 % e 40 % desse resíduo em substituição de parte dos agregados. Verificou que os traços obtidos podem ser utilizados em obras para fabricação de artefatos não estruturais.

CAPÍTULO 3

Procedimento Experimental

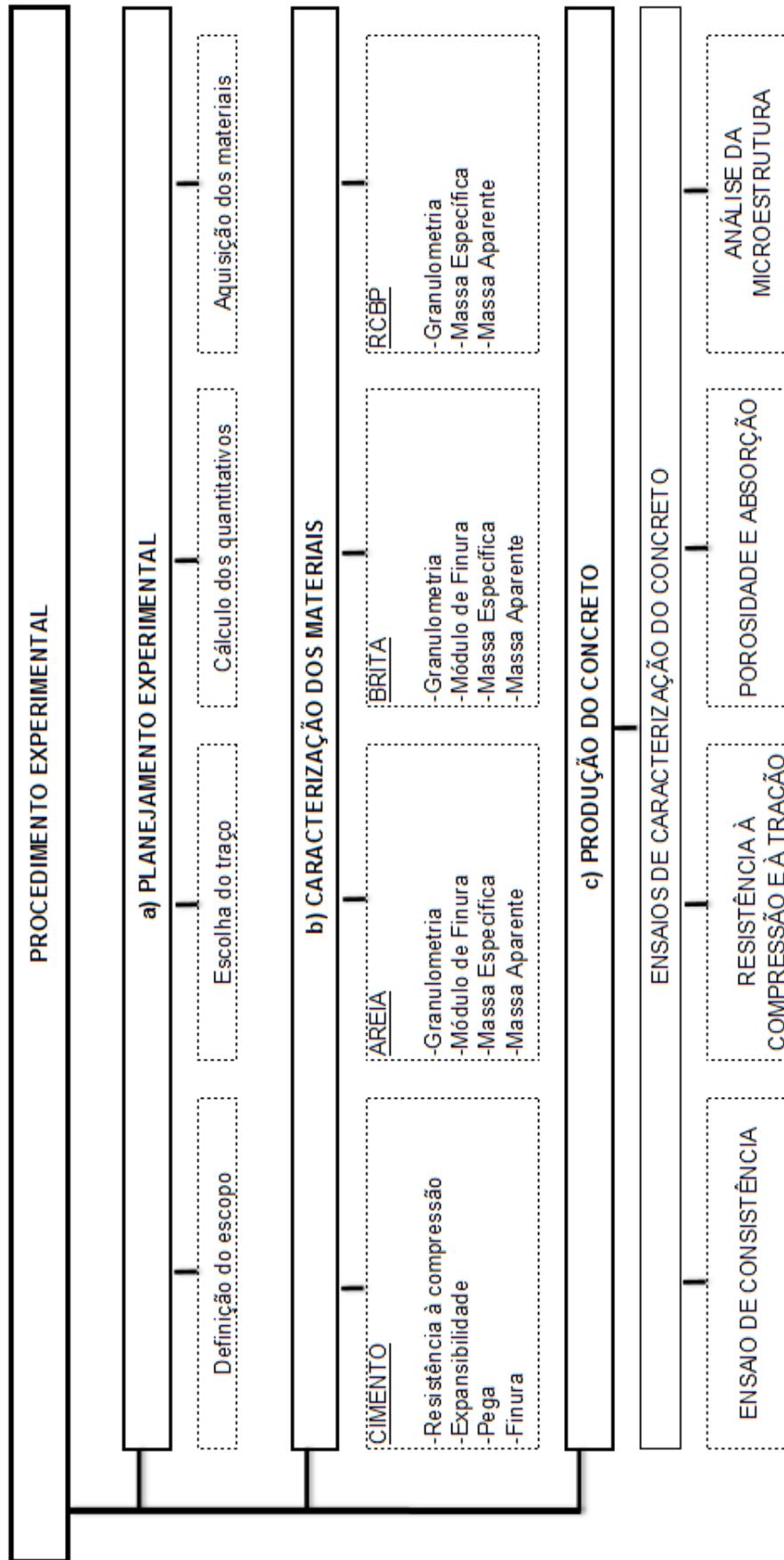
As análises experimentais podem ser observadas, neste capítulo, através de ensaios realizados no concreto com incorporação do RCBP, onde são apresentados os materiais que foram utilizados, a definição do traço e a metodologia para a verificação do comportamento plástico e mecânico do concreto com essa adição.

Os procedimentos experimentais foram desenvolvidos baseados nas normas técnicas da ABNT.

A caracterização dos materiais e a confecção dos corpos-de-prova de concreto foram executadas no Laboratório de Materiais de Construção do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

A microestrutura do concreto foi observada através do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) do Laboratório Institucional de Microscopia Eletrônica de Varredura do Núcleo de Estudo de Petróleo e Gás Natural da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

O Esquema 1 apresenta todo o procedimento experimental da dissertação.



Esquema 1 – Procedimento Experimental.

3.1 Planejamento Experimental

3.1.1 Escolha do traço

Entende-se por traço a proporção dos componentes do concreto ou argamassa utilizados na mistura.

Foram ensaiadas em laboratório, as proporções de 0 %, 5 %, 10 %, 15 % e 20 % de incorporação do RCBP em relação à massa de cimento, nas quais as quantidades de cimento, areia, brita e água foram mantidas constantes.

O traço de referência do concreto utilizado na pesquisa apresentou a seguinte proporção: 1:1,33:2,45:0,50 (cimento:areia:brita:água/cimento). Este foi obtido através de uma dosagem de concreto baseada no método da ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. Para essa dosagem foi necessário fazer, preliminarmente, os ensaios de caracterização dos materiais utilizados, tais como massa específica real e massa unitária do cimento, da areia e da brita. A Tabela 14 apresenta a formulação dos concretos.

Tabela 14 - Formulação dos concretos.

Nomenclatura	Traço do concreto (cimento:areia:brita)	Fator a/c	Teor do RCBP (%)
CP00r	1:1,33:2,45	0,5	0
CP05r	1:1,33:2,45	0,5	5
CP10r	1:1,33:2,45	0,5	10
CP15r	1:1,33:2,45	0,5	15
CP20r	1:1,33:2,45	0,5	20

Nota: CP00r – corpo-de-prova com 0% de resíduo.

3.1.2 Cálculo dos quantitativos

Diante do traço de referência e das proporções do RCBP que foram

adicionadas no concreto e com consulta às normas que foram utilizadas para realização dos ensaios, foram sugeridas na Tabela 15 as quantidades de corpos-de-prova.

Tabela 15 - Quantidade de corpos-de-prova.

Ensaio	Quantidade de Corpos-de-prova
Resistência à compressão	
3º dia	4
7º dia	4
28º dia	4
Resistência à tração	
28º dia	2
Porosidade e absorção	3
Análise microscópica	1

Considerando a moldagem de 16 corpos-de-prova cilíndricos de 100x200mm, 02 prismáticos de 150 x 150 x 500 mm e 01 para o ensaio do abatimento, para cada traço, tem-se um volume estimado do concreto de acordo com a Tabela 16, a seguir.

Tabela 16 - Volume estimado do concreto por traço.

Ensaio	Quantidade	Volume Unitário (litros)	Volume Parcial (litros)
Corpo-de-prova cilíndrico	16	1,57	25,12
Corpo-de-prova prismático	2	11,25	22,50
Slump Test	1	5,50	5,50
Volume Total			53,12 litros

A Tabela 17, a seguir, apresenta a quantidade de material que foi utilizada nos ensaios da produção do concreto, podendo-se observar que a quantidade de RCBP não entrou nos cálculos do volume do concreto produzido.

Tabela 17 - Volume total do concreto produzido por traço.

	Proporção em massa			
	Cimento	Areia	Brita	Água
Traço de referência	1	1,33	2,45	0,50
Fator multiplicador	30	30	30	30
Traço aumentado	30,00	39,90	73,50	15,00
Massa esp. real estimada (kg/dm ³)	3,10	2,63	2,73	1,00
Volume dos materiais (litros)	9,68	15,17	26,92	15,00
Volume do concreto produzido com o traço aumentado			66,77 litros	

Considerando as proporções do RCBP adotadas de 0 %, 5 %, 10 %, 15 % e 20 % e da produção do concreto, foram produzidos cinco traços diferentes, totalizando aproximadamente 335 litros de concreto produzido. A quantidade de materiais que foi necessária para a produção do concreto e para a caracterização dos materiais está apresentada na Tabela 18, adiante.

Tabela 18 - Quantidade de materiais para os ensaios.

	Quantidade dos materiais (kg)			
	cimento	Areia	brita	RCBP
Produção do concreto	150,00	199,50	367,50	75,00
Caracterização dos materiais	5,00	10,00	15,00	10,00
Total	155,00	209,50	382,50	85,00

3.2 Caracterizações dos Materiais

O concreto foi confeccionado utilizando cimento, areia, brita, água e RCBP.

3.2.1 Cimento

O cimento utilizado na pesquisa foi o cimento Portland CP IV-32 RS RRAA, da marca Nassau, de um mesmo lote. Adquirido em Natal/RN, trata-se de um cimento largamente utilizado na região.

Foram comprados 200 kg de cimento, cujo saco foi vedado com lona plástica, armazenado suspenso do chão e afastado das paredes.

Foram realizados, para caracterização do cimento Portland, os ensaios de início de pega, finura, expansibilidade e resistência à compressão.

3.2.1.1 Ensaio de Início de Pega

A norma utilizada para o ensaio de início de Pega foi a NBR NM 65/2003 – Cimento Portland – Determinação do tempo de pega.

O tempo de início de pega é o intervalo de tempo transcorrido desde a adição da água ao cimento até o momento em que a agulha de Vicat correspondente penetra na pasta até uma distância de 4 ± 1 mm da placa da base (NBR NM 65/2003). A Figura 4 apresenta o aparelho de Vicat.



Figura 4 - Agulha de Vicat.

O ensaio consiste em, primeiramente, encontrar a quantidade de água para a pasta, através do ensaio da consistência, conforme a NBR NM 43/2003 – Determinação da pasta da consistência normal.

Prepara-se a pasta de acordo com a NBR NM 43/2003. Após um intervalo de, no mínimo, 30 minutos, depois do enchimento do molde, desce a agulha suavemente até que haja seu contato com a pasta. Faz-se a leitura indicada na escala. Quando essa indicação estiver a 4 ± 1 mm da placa da base, anota-se a leitura na escala e o tempo contado a partir do instante em que a água e o cimento

entram em contato.

O resultado é expresso em horas e minutos, com uma aproximação de 5 minutos.

3.2.1.2 Ensaio de Expansibilidade

O ensaio de expansibilidade foi embasado na norma NBR 11582/1991 – Cimento Portland – Determinação da expansibilidade de Le Chatelier – Método de ensaio. A Figura 5, adiante, mostra a Agulha de Le Chatelier utilizada nesse ensaio.



Figura 5 - Agulha de Le Chatelier.

O ensaio, consiste em preparar uma pasta com 500 g de cimento e água necessária para a consistência normal, de acordo com a NBR NM 43/2003. Apoiada pela base do cilindro, colocar-se a agulha sobre a placa de vidro lubrificada com óleo mineral e, com a ajuda de uma espátula fina, passa-se a preenchê-la com a pasta de cimento e água. Moldam-se três corpos-de-prova destinados ao ensaio a frio.

A cura inicial se faz colocando o conjunto imerso em água potável à temperatura de 23 ± 2 °C por 20 ± 4 horas.

Terminada a cura inicial, retiram-se as placas de vidro e colocar-se a agulha de “Le Chatelier” no tanque de água à temperatura de 23 ± 2 °C, durante seis dias, em posição tal, que as extremidades de suas hastes fiquem fora da água.

Os afastamentos das extremidades das agulhas devem ser medidos logo

após a moldagem dos corpos-de-prova e após sete dias consecutivos em água a 23 ± 2 °C. A expansibilidade a frio será a diferença desses afastamentos.

3.2.1.3 Ensaio de Finura

A norma NBR 11579/1991 – Cimento Portland - Determinação da finura por meio da peneira 75 μm (nº 200) - foi utilizada como referência para a realização do ensaio.

A finura do cimento é caracterizada pelo índice de finura, que é o material retido na peneira nº 200, expresso em porcentagem de massa, calculado até os décimos. A Figura 6, a seguir, apresenta a peneira do ensaio com os acessórios como tampa e fundo.



Figura 6 - Peneira com acessórios.

Coloca-se $50 \pm 0,05$ g de cimento sobre a tela da peneira e move-se a peneira no movimento de vaivém, de maneira que o cimento se espalhe sobre a superfície da tela. Peneira-se até que os grãos mais finos passem pelas malhas da peneira. Retiram-se os grãos que passaram pela peneira e limpa-se o fundo da malha. Continua o peneiramento durante 15 a 20 minutos. O material passante deve ser desprezado. A massa do passante tem que ser inferior a 0,05 g (0,1 % da massa inicial). Após esse procedimento, o cimento retido é pesado.

O valor do ensaio é o valor obtido em uma única determinação calculado pela Equação 3.1.

$$F = \left(\frac{R \times C}{M} \right) \times 100 \quad (3.1)$$

Sendo,

F – índice de finura de cimento, em porcentagem.

R – resíduo do cimento na peneira nº 200, em g.

M – massa inicial do cimento, em g.

C – fator de correção da peneira utilizada no ensaio, devendo estar compreendido no intervalo de $1,00 \pm 0,20$.

3.2.1.4 Ensaio de Resistência à compressão

O método compreende a determinação da resistência à compressão de corpos-de-prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura. Foram moldados quatro corpos-de-prova para cada idade de rompimento.

Tal ensaio foi baseado na norma NBR 7215/1997- Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão e serviu para confirmar a resistência à compressão indicada pelo fabricante.

Em suma, o ensaio consiste em colocar no misturador toda a quantidade de água e adicionar o cimento. A mistura destes materiais deve ser feita com o misturador na velocidade baixa, durante 30 segundos. Após o tempo determinado, colocam-se as quatro frações de areia normal, previamente misturadas. Imediatamente após a adição da areia, mudar-se a velocidade para alta, durante 30 segundos. Desliga-se o aparelho por 1 min e 30 s e, logo após esse tempo, liga-se novamente o misturador por 1 minuto. na velocidade alta. A Figura 7, adiante, apresenta a areia normalizada.



Figura 7 - Areia Normalizada.

A colocação da argamassa no molde deve ser feita em quatro camadas recebendo 30 golpes. A Figura 8, a seguir, mostra os moldes do corpo-de-prova.



Figura 8 - Moldes do corpo-de-prova.

Os corpos-de-prova ficarão em câmara úmida por 20 h a 24 horas. Terminado esse período, é feita a desforma e, excetuando os que serão rompidos na idade de 24 h, serão colocados no tanque de água até a data do ensaio.

3.2.2 Areia

A areia utilizada na pesquisa, para a produção do concreto, foi doada pela Concreteira Somix. Nesse agregado foi, previamente, feita uma inspeção quanto ao módulo de finura para saber se estava dentro dos padrões que a norma exigia para a produção de concreto.

O agregado foi coletado em 06 sacos de aniagem e, posteriormente, todo o material foi seco em estufa e armazenado em recipientes plásticos.

3.2.2.1 Massa Específica Real e Massa Unitária

O ensaio de massa específica real teve como referência a norma NBR NM 52/2009 – Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do Frasco de Chapman.

Nesse ensaio, a *massa específica* é determinada colocando-se 200 ml de água e 500 g do agregado no Frasco de Chapman. Registra-se o volume final do conjunto, agregado mais a água. A Figura 9 mostra o Frasco de Chapman.



Figura 9 - Frasco de Chapman.

O valor do ensaio é dado pela Equação 3.2, a seguir.

$$\rho_{esp} = \left(\frac{M}{L - L_o} \right) \quad (3.2)$$

Sendo,

ρ_{esp} – Massa Específica;

M – Massa do agregado, em kg;

L – Leitura final da escala, dm^3 ;

L_o – Leitura da escala do frasco somente com água, dm^3 ;

A *massa unitária* é a relação da massa do agregado lançado no recipiente e o volume desse recipiente.

O ensaio da massa unitária foi baseado na NBR NM 45/2006 – Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Tal ensaio consiste em encher o recipiente até que o mesmo transborde. Registrando-se a massa do recipiente mais o conteúdo.

O valor do ensaio é obtido através da Equação 3.3, a seguir:

$$\rho_{ap} = \left(\frac{M_{ar} - M}{V} \right) \quad (3.3)$$

Sendo,

ρ_{ap} – Massa Unitária;

M_{ar} – Massa do recipiente + agregado, em kg;

M – Massa do recipiente, em kg;

V – Volume do recipiente, em dm^3 .

3.2.2.2 Composição granulométrica

A granulometria do agregado é um método de análise que tem por objetivo classificar as partículas de uma amostra através de seus tamanhos e de suas frações correspondentes a cada tamanho.

O ensaio da granulometria teve como referência a NBR NM 248/2003 – Agregados – Determinação da composição granulométrica.

Para esse ensaio é necessário que o agregado seja previamente seco em estufa. Pesa-se no mínimo 500 g do material e o coloca na série de peneiras. Pesa-se a fração que ficou retida em cada peneira e calcula-se a porcentagem retida, em

massa.

Através das informações da granulometria, é possível determinar a dimensão máxima ($D_{m\acute{a}x}$) do agregado miúdo, como sendo, a abertura da malha, em milímetros, da peneira que contém uma porcentagem retida acumulada igual ou inferior a 5 %. Também é possível determinar o módulo de finura, que se refere à soma das porcentagens acumuladas retidas nas peneiras, conforme Equação 3.4, a seguir.

$$MF = \left(\frac{\sum \text{acumulado}}{100} \right) \quad (3.4)$$

As areias são classificadas de acordo com o seu módulo de finura, da seguinte maneira:

- a) Areia fina – $MF < 2,4$;
- b) Areia média – $2,4 < MF < 3,9$;
- c) Areia grossa – $MF > 3,9$.

3.2.3 Brita

A brita 19 mm foi adquirida em uma jazida no município de Taipu/RN, na região de Serra Pelada. Foi coletado um volume de 1 m^3 para realizações dos ensaios.

O agregado utilizado na pesquisa foi peneirado, anteriormente, com o objetivo de rejeitar os finos.

3.2.3.1 Massa Específica Real e Massa Unitária

A determinação da massa específica é obtida pelo método da balança hidrostática, através da NBR NM 53/2009 – Agregado Graúdo – Determinação da massa específica, massa específica unitária e absorção da água.

A quantidade mínima de material foi de 3000 g. O agregado foi, anteriormente, seco em estufa e depois colocado submerso em água pelo período de 72 horas.

O volume é obtido, na balança hidrostática, pela diferença de massa do material ao ar e submerso.

O ensaio para obtenção da massa unitária da brita ocorreu de acordo com a NBR NM 45/2006 – Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Os procedimentos foram os mesmos já citados no item 3.2.2.1.

3.2.3.2 Composição granulométrica

O ensaio da granulometria foi baseado na NBR NM 248/2003 – Agregados – Determinação da composição granulométrica.

De acordo com a norma, é necessário um volume de 5000 g para a realização do ensaio.

Pesa-se o material e o coloca na série de peneiras. Pesa-se a fração que ficou retida em cada peneira e calcula-se a porcentagem retida, em massa.

3.2.4 Resíduo de corte de botão em poliéster

O RCBP foi doado por uma empresa de fabricação de botão localizada no município de Parnamirim/RN. O material foi coletado em um saco de aniagem e mantido longe de intempéries.

3.2.4.1 Massa Específica Real e Massa Unitária

A massa específica real e a unitária foram obtidas através dos procedimentos já citados no item 3.2.3.1.

3.2.4.2 Composição granulométrica

O RCBP foi anteriormente peneirado e sua granulometria usada foi a que estava compreendida entre a que passava na peneira 19 mm e a que ficava retida na 12,5 mm.

Após ensaios preliminares, constatou-se que a granulometria fina do resíduo influenciava no abatimento do concreto. Com isso, a faixa granulométrica 19/12,5mm foi escolhida para que o resíduo utilizado tivesse o diâmetro mais próximo da brita, descartando assim a parte fina do RCBP.

3.3 Caracterização do Concreto

3.3.1 Produção do concreto

O concreto pode ser misturado de três formas: manualmente, em betoneiras e em central de concreto. Para esse trabalho, o concreto foi produzido em betoneira, com a seguinte sequência de colocação de materiais e procedimentos:

- a) Com a betoneira ligada e limpa (livre de pó e água), coloca-se 50 % da água;
- b) Em seguida, o agregado graúdo é adicionado;
- c) Logo após, o cimento é introduzido;
- d) Coloca-se o agregado miúdo. Para os traços com resíduo, a areia é misturada ao resíduo anteriormente;
- e) Acrescenta-se, por fim, o restante da água;
- f) A betoneira deve permanecer em movimentos giratórios durante 5 minutos, após a introdução de todos os materiais;
- g) A descarga do concreto fresco se dá na bandeja metálica e com uma colher de pedreiro é feita a homogeneização dos materiais;
- h) Determina-se a consistência do concreto pelo abatimento do tronco de cone, de acordo com a NBR NM 67/1998;
- i) Moldam-se os corpos-de-prova cilíndricos 100 x 200 mm para posterior ensaio de resistência à compressão, porosidade e análise microestrutural

e os corpos-de-prova prismáticos 150 x 150 x 500 mm para posterior ensaio de resistência à tração na flexão, conforme NBR 5738/2008;

- j) Até a idade de ensaio, os corpos-de-prova devem ser mantidos em cura úmida ou saturada, de acordo com a NBR 9479/2006.

3.3.2 Ensaio no concreto

Após a produção do concreto, foram realizados os ensaios para a caracterização do concreto produzido, como o Ensaio do Abatimento (Slump Test), da Resistência à compressão, da Resistência à tração na flexão e a Análise da microestrutura.

3.3.2.1 Ensaio do abatimento

A consistência do concreto fresco foi determinada pelo ensaio do abatimento do tronco de cone, conforme a NBR NM 67/1998.

A consistência é usada como um índice de mobilidade ou da fluidez do concreto fresco, dependendo do tipo de construção e dos métodos de lançamento, adensamento e acabamento.

Os equipamentos utilizados para realização dos ensaios são os seguintes:

- a) Molde metálico com diâmetro da base inferior de 200 mm, diâmetro da base superior de 100 mm e altura de 300 mm;
- b) Haste de aço com diâmetro de 16 mm e comprimento de 600 mm;
- c) Placa de base para apoio do molde;
- d) Régua graduada.

O ensaio consiste em preencher o cone em 03 camadas iguais e compactar cada camada com 25 golpes, retirar o molde e medir o deslocamento do material desenformado. Esse ensaio deverá ser repetido a cada betonada e a amostra utilizada deverá ser desprezada, não podendo ser utilizada para outro ensaio. A Figura 10 apresenta o molde metálico do ensaio.



Figura 10 - Ensaio de abatimento (Fonte: SOUZA, 2007).

3.3.2.2 Resistência à compressão

O conhecimento da resistência do concreto é um dado importante na engenharia, pois traduz de certa forma sua qualidade, que influenciará diretamente na durabilidade da estrutura. Os fatores como a relação água/cimento, idade e tipo de cimento podem afetar essa resistência mecânica.

A resistência à compressão foi determinada pelo ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos conforme NBR 5739/2007, ensaiados na idade de 3, 7 e 28 dias a partir da moldagem e procedimentos de cura.

Foram moldados 04 corpos-de-prova e rompidos aos 3, 7 e 28 dias, totalizando 60 corpos-de-prova para o ensaio da resistência à compressão axial. Sendo assim preparados 12 corpos-de-prova para cada traço do concreto.

Os corpos de prova foram moldados em cilindros com diâmetro 100x200 mm e por 24 horas ficaram em repouso. Logo após esse período foram desmoldados e permaneceram na cura submersa para a cura. A Figura 11 mostra o concreto moldado em corpos-de-prova.



Figura 11 – Corpos-de-prova moldados.

O equipamento utilizado para a realização do ensaio de resistência à compressão foi uma Máquina Universal de Ensaio Mecânico da marca AMSLER, suíça nº 699/474, com capacidade de carga de 100 t, no Laboratório de Concreto do Núcleo de Tecnologia da UFRN, conforme a Figura 12 demonstra.



Figura 12 - Máquina de Ensaio Mecânico AMSLER.

3.3.2.3 Resistência à tração na flexão

Em virtude do RCBP ter uma forma alongada, como uma fibra, foi sugerida a verificação da resistência à tração na flexão.

O ensaio de resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos foi realizado, conforme NBR 12142/2010, na Máquina Universal de Ensaio Mecânico no Laboratório de Materiais de Construção Civil. Os corpos-de-prova prismáticos 150x150x500 mm foram ensaiados aos 28 dias na prensa hidráulica, onde foram

carregados com uma carga P no meio do vão. A Figura 13 apresenta os equipamentos utilizados nesse ensaio.

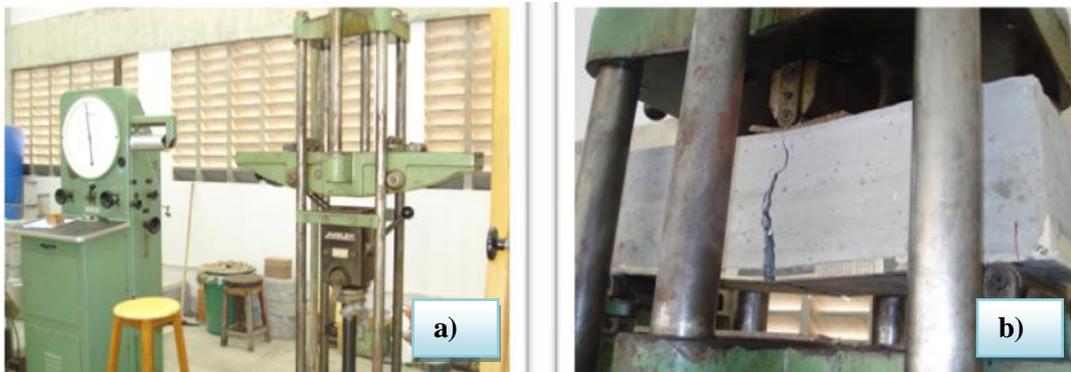


Figura 13 - a) Máquina de Ensaio Mecânico AMSLER. b) Corpo-de-prova com aplicação de carga no centro do prisma.

Para o ensaio de resistência à tração na flexão foram moldados, para cada traço, 02 corpos-de-prova prismáticos 150 x 150 x 500 mm que foram rompidos aos 28 dias, totalizando a moldagem de 10 prismas para o referido ensaio.

3.3.2.4 Absorção e porosidade

A absorção da água pelo concreto endurecido foi determinada de acordo com a NBR 9778/2009. Para tanto, foi necessária a moldagem de 3 corpos-de-prova, para cada traço, que foram ensaiados aos 28 dias, a partir da moldagem.

Completados os 28 dias dos corpos-de-prova sob cura submersa e após isso passarem 72 horas em estufa a 105 ± 5 °C, a massa foi medida na balança. Em seguida, os corpos-de-prova foram mergulhados em água por mais 72 horas e novamente mediu-se a massa.

Os valores da absorção e da porosidade são obtidos a partir das equações, a seguir.

$$A = \left(\frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \right) \times 100 \quad (3.5)$$

$$e = \left(\frac{m_{sat} - m_s}{m_{sat} - m_{imersa}} \right) \times 100 \quad (3.6)$$

$$\rho_{real} = \left(\frac{m_s}{m_s - m_{imersa}} \right) \times 100 \quad (3.7)$$

Sendo,

A – Absorção após imersão em água, em porcentagem.

e – Índice de vazios após saturação em água, em porcentagem.

ρ_{real} – Massa específica real, g/cm³.

M_{sat} – Massa saturada do concreto.

M_s - Massa seca do concreto.

M_{imersa} - Massa imersa do concreto.

3.3.2.5 Análise microestrutural

Para desenvolver novos materiais e compreender os já existentes, é necessário o estudo da microestrutura.

A análise da microestrutura do concreto foi realizada por meio do microscópio eletrônico de varredura (MEV), equipamento que permite informações microestruturais da amostra, localizado no Laboratório Institucional de Microscopia Eletrônica de Varredura do Núcleo de Estudo de Petróleo e Gás Natural.

Para cada traço de concreto com diferentes concentrações do RCBP foram extraídas duas amostras. A moldagem dos corpos-de-prova foi no cilindro 100x200mm do mesmo molde utilizado para o ensaio de resistência à compressão.

Os corpos-de-prova foram cerrados através de um equipamento com disco

diamantado, com precisão a laser, em uma marmoraria localizada no município de Natal/RN. Inicialmente, foi cerrada uma amostra do centro do cilindro, tendo com isso uma forma de “bolacha” e livre do excesso da pasta de cimento, conforme a Figura 14 ilustra.



Figura 14 - Bolacha de concreto retirada dos corpos-de-prova (Fonte:SOUZA,2007).

Em seguida, essas bolachas foram novamente cerradas em formas prismáticas 20 x 20 x 80 mm e identificadas conforme concentrações de RCBP. A Figura 15, adiante, apresenta as amostras de concreto.



Figura 15 - Barra de concreto identificada.

As barras de concreto foram submetidas a um processo de criogenia, utilizando-se nitrogênio líquido. Esse tratamento possibilitou a quebra da seção, a partir da amostra congelada, evitando, fraturas nas zonas de transição entre a matriz e o agregado graúdo das amostras analisadas. A Figura 16 mostra as barras sendo

colocadas para congelamento no nitrogênio e a quebra da seção da amostra.

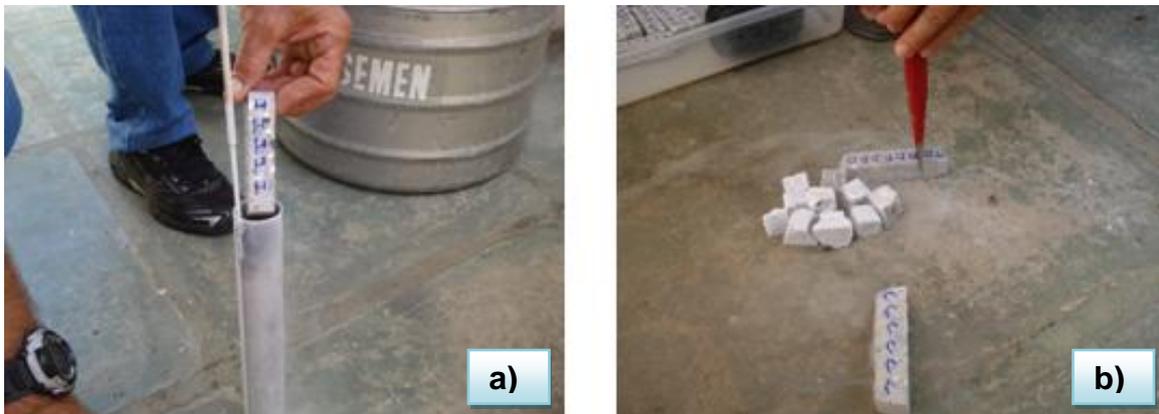


Figura 16 - a) Congelamento da amostra. b) Quebra da seção.

Por fim, a superfície analisada no MEV foi a da área interna que ficou livre de atrito de instrumentos de corte e que posteriormente foi metalizada para visualização. A Figura 17 apresenta as amostras que foram escolhidas para análise, conforme concentrações distintas do RCBP.



Figura 17 - Amostras metalizadas para análise da microestrutura.

A Tabela 19, a seguir, mostra a identificação das amostras analisadas a partir das concentrações do RCBP. Tais concentrações foram escolhidas para analisar o concreto com o traço de referência, com o máximo de resíduo e com uma proporção intermediária.

Tabela 19 - Amostras selecionadas para análise no MEV.

Nomenclatura	Identificação das amostras
CP00r	B
CP10r	E
CP20r	I

CAPÍTULO 4

Resultados e Discussões

Neste capítulo serão apresentados os resultados e discussões relativos às comparações entre o concreto com o traço de referência e com as devidas incorporações do RCBP. Inicialmente, apresenta-se o resultado da caracterização dos materiais utilizados e posteriormente, o resultado da caracterização do concreto.

4.1 Caracterização dos Materiais

4.1.1 Cimento

4.1.1.1 Ensaio de Início de pega

A Tabela 20 apresenta os resultados do ensaio de início de pega.

Tabela 20 - Ensaio de início de pega do cimento Portland.

Consistência da pasta		Pega (hora e minuto)	
Água	150ml	I	09:00
a/c	0,3	T	12:15
		Pega	03:15

A adição de 150 ml de água em uma amostra de 500 g de cimento obteve como resultado de início de pega para essa pasta o tempo de 3 h e 15 minutos. Apresentando um resultado positivo de acordo com a norma que exige tempo superior a uma hora.

4.1.1.2 Ensaio de Expansibilidade

A pasta de 500 g de cimento e 150 ml de água não apresentou expansibilidade, estando, dentro do valor sugerido pela norma que é 5 mm, no máximo.

4.1.1.3 Ensaio de Finura

O resultado do Ensaio de Finura está apresentado na Tabela 21.

Tabela 21 - Ensaio de Finura do cimento Portland.

FINURA		
	Amostra 1	Amostra 2
M (g)	50	50
RC (g)	1,2	1,3
F (%)	2,4	2,6

A finura do cimento Portland foi, em média, 2,5 %, apresentando-se dentro do valor ≤ 12 %, proposto pela NBR 11578/1991.

4.1.1.4 Resistência à compressão

A Tabela 22 apresenta o resultado médio da resistência à compressão do cimento Portland.

Tabela 22 - Ensaio de Resistência à compressão.

Idade (dias)	Resistência à compressão (MPa)
3	22,60
7	26,67
28	31,34

Os resultados estão em conformidade com a norma, que especifica, para a idade de 3 dias, um valor da resistência de no mínimo 10 MPa. Já para as idades de 7 e 28 dias, esse valor sobe para 20 MPa e 30 MPa, respectivamente.

4.1.2 Areia

4.1.2.1 Composição granulométrica

Com vistas a classificar as partículas de acordo com as frações correspondentes a cada tamanho, foi utilizada uma amostra de 1000 g do agregado miúdo seco em estufa. A Tabela 23 descreve o resultado da composição granulométrica.

Tabela 23 -Composição granulométrica do agregado miúdo.

Diâmetro (mm)	Retido (g)	Porcentagem (%)	
		Retida	Acumulada
4,8	16,60	1,66	1,66
2,4	67,70	6,77	8,43
1,2	115,50	11,55	19,98
0,6	212,90	21,29	41,27
0,3	376,10	37,61	78,88
0,15	163,10	16,31	95,19
<0,15	48,10	4,81	100,00
Total	1000,00		

A Figura 18 mostra a disposição granulométrica do agregado miúdo.

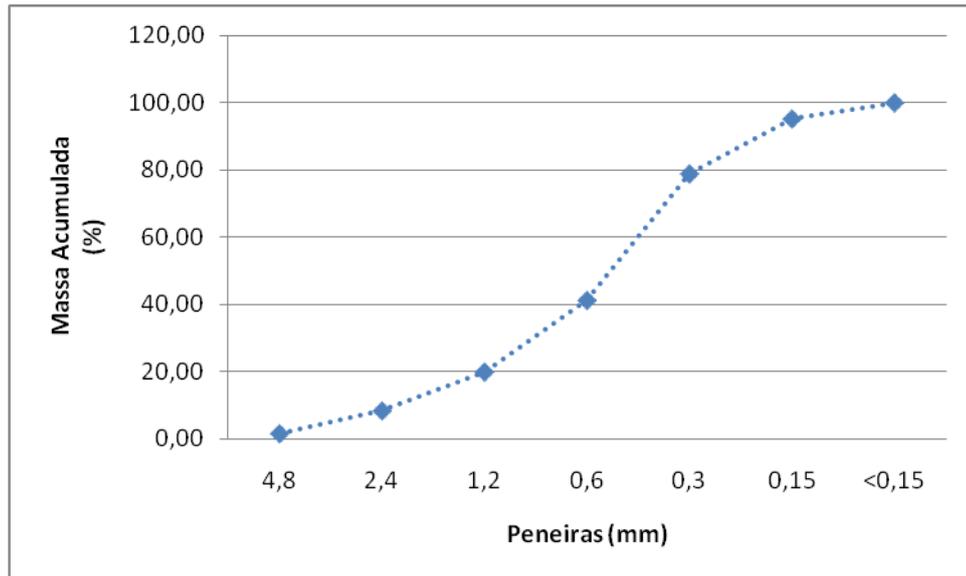


Figura 18 - Curva granulométrica do agregado miúdo.

Diante da composição granulométrica foi possível obter o diâmetro máximo de 4,8 mm e o módulo de finura do agregado de 2,45, classificando-o como um agregado miúdo de granulometria média.

4.1.2.2 Massa específica real e Massa unitária

Para a determinação da massa específica real e da unitária foram utilizadas 02 amostras para cada ensaio. Os resultados dessas massas estão dispostos na Tabela 24.

Tabela 24 - Massa Específica Real e Massa Unitária da areia.

Massa específica real (kg/dm ³)		Massa unitária (kg/dm ³)	
Amostra		Amostra	
1	2,63	1	1,554
2	2,63	2	1,553
Média	2,63	Média	1,554

4.1.3 Brita

4.1.3.1 Composição granulométrica

A Tabela 25 apresenta o resultado do ensaio de granulometria do agregado graúdo.

Tabela 25 - Composição granulométrica da brita.

Diâmetro (mm)	Retido (g)	Porcentagem (%)	
		Retida	Acumulada
19	65,00	1,30	1,30
9,5	4570,00	91,40	92,70
6,3	290,00	5,80	98,50
4,8	55,00	1,10	99,60
< 0,48	20,00	0,40	100,00
Total	5000,00		

A curva granulométrica da brita é demonstrada através da Figura 19 a seguir.

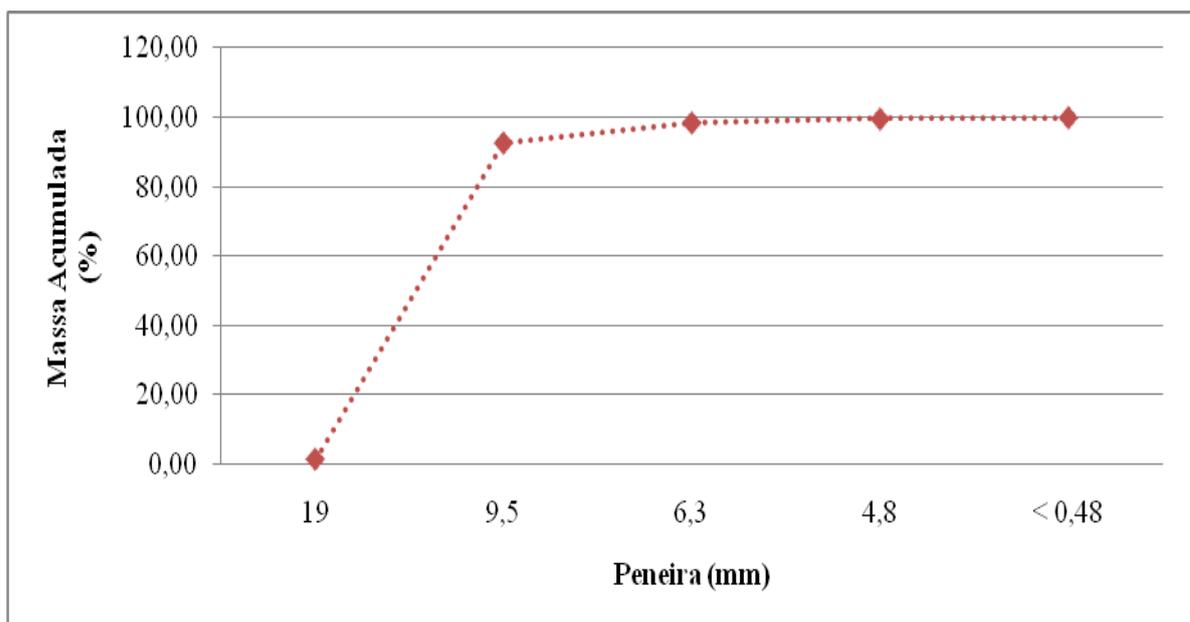


Figura 19 - Curva granulométrica da brita.

Por apresentar uma massa retida acumulada de 0 % a 10 % na peneira 19mm, de 80 % a 100 % na peneira 9,5 mm, de 92 % a 100 % na peneira 6,5 mm e 95 % a 100 % na peneira 4,8 mm, a brita é classificada como de 19 mm, segundo a análise granulométrica.

4.1.3.2 Massa específica real e Massa unitária

Foram ensaiadas 02 amostras para cada determinação da massa específica real e da unitária. Os resultados dessas massas estão dispostos na Tabela 26.

Tabela 26- Massa Específica Real e Massa Unitária da brita.

Massa específica		Massa unitária	
Amostra	real (kg/dm³)	Amostra	(kg/dm³)
1	2,73	1	1,417
2	2,68	2	1,427
Média	2,71	Média	1,422

A brita apresentou massa específica real e unitária dentro dos intervalos normalmente utilizados, que variam de 2,60 kg/dm³ a 2,70 kg/dm³ e 1,3 kg/dm³ a 1,75 kg/dm³, respectivamente.

4.1.4 Resíduo do corte de botão de poliéster (RCBP)

4.1.4.1 Massa específica real e Massa unitária

Para cada determinação da massa específica real e da unitária, foram ensaiadas 02 amostras. Estão dispostos, na Tabela 27, os resultados dessas massas.

Tabela 27 - Massa Específica Real e Massa Unitária do RCBP.

Massa específica real		Massa unitária	
Amostra	(kg/dm³)	Amostra	(kg/dm³)
1	1,23	1	0,551
2	1,24	2	0,553
Média	1,24	Média	0,55

O RCBP apresentou sua massa específica real de 1,24 kg/dm³ e massa unitária de 0,55 kg/dm³. Esses resultados são 47 % e 35 % do valor das massas da areia, respectivamente.

4.1.4.2 Absorção e Porosidade

O ensaio de absorção do RCBP teve como resultado 1,68 % e o da porosidade foi 2,03 %.

Observou-se, através do ensaio da absorção de água, que o RCBP aprisiona uma quantidade do líquido em suas partículas. Esse comportamento influencia diretamente no abatimento do concreto.

4.2 Caracterização do Concreto

4.2.1 Ensaio da consistência

O ensaio de abatimento do tronco de cone foi realizado para cada traço, conforme resultados apresentados na Tabela 28 na sequência.

Tabela 28 - Ensaio de consistência.

Nomenclatura	Abatimento (mm)
CP00r	95
CP05r	85
CP10r	75
CP15r	70
CP20r	40

A Figura 20 apresenta a correlação entre o abatimento e as concentrações do RCBP no concreto.

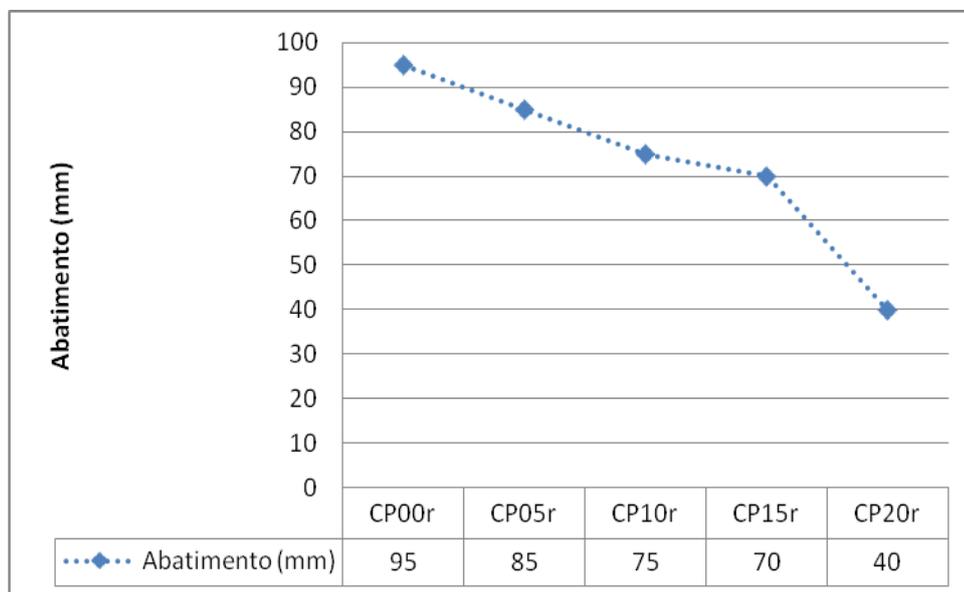


Figura 20 – Correlação entre o abatimento do concreto com diferentes concentrações do RCBP.

Analisando o comportamento do concreto fresco, é possível observar que houve um decréscimo do abatimento à medida que a concentração de RCBP foi aumentando. O traço de referência (CP00r) apresentou um abatimento de 95mm. Observou-se que para a incorporação de 5 % e 10 % do resíduo, a diminuição do índice de consistência variou entre 10 % e 21 %. Já a concentração de 20 % de RCBP (CP20r) incorporada ao concreto decresceu em 58 % do abatimento em relação ao concreto de referência.

A diminuição do índice de consistência pode estar relacionada com a estrutura superficial do RCBP, pelo fato de ser irregular e apresentar pequenos poros, deixando o concreto menos trabalhável.

4.2.2 Ensaio da resistência à compressão axial

A Tabela 29 demonstra as devidas resistências à compressão dos corpos-de-prova que foram rompidos nas idades de 3, 7 e 28 dias.

Tabela 29 - Resistência média à compressão axial.

Nomenclatura	Resistência à compressão (MPa)		
	Idade (dias)		
	3	7	28
CP00r	20,34	24,33	32,36
CP05r	19,11	23,14	30,83
CP10r	18,03	22,00	28,75
CP15r	17,05	20,81	26,58
CP20r	15,12	18,90	25,44

Aos 3 dias, o concreto sem RCBP (CP00r) apresentou uma resistência média à compressão de 20,34 MPa. De acordo com a Tabela 29, a resistência mecânica foi diminuindo à medida que a concentração do resíduo foi aumentando. Observou-se que para uma concentração de 5 % (CP05r) do resíduo, a resistência diminuiu em média 6 % em relação ao traço de referência. Já para a maior concentração produzida, a de 20 % (CP20r), essa resistência decresceu em 26 %, atingindo um valor de 15,12 MPa.

Aos 28 dias, como já previsto aos 3 e 7 dias, todas as resistências médias diminuiram em relação ao traço de referência. O concreto sem a incorporação de resíduo (CP00r) teve como resistência média à compressão um valor de 32,36 MPa. Com o traço contendo 5 % do resíduo (CP05r), essa resistência foi, em média, 30,83MPa. Para o traço de 10 % de incorporação (CP10r), esse ensaio teve como resultado 28,75 MPa. Com 15 % de resíduo (CP15r), o concreto teve como

resistência à compressão 26,58 MPa. Por fim, com a adição de 20 % do RCBP (CP20r), essa resistência diminuiu para 25,44 MPa. Comparando o traço de referência (CP00r) com o concreto com incorporação máxima de RCBP, isto é, o de 20 % (CP20r), pode-se observar um decréscimo de 21 % da resistência à compressão axial.

A Figura 21 apresenta as comparações das resistências médias dos concretos com diferentes teores de RCBP.

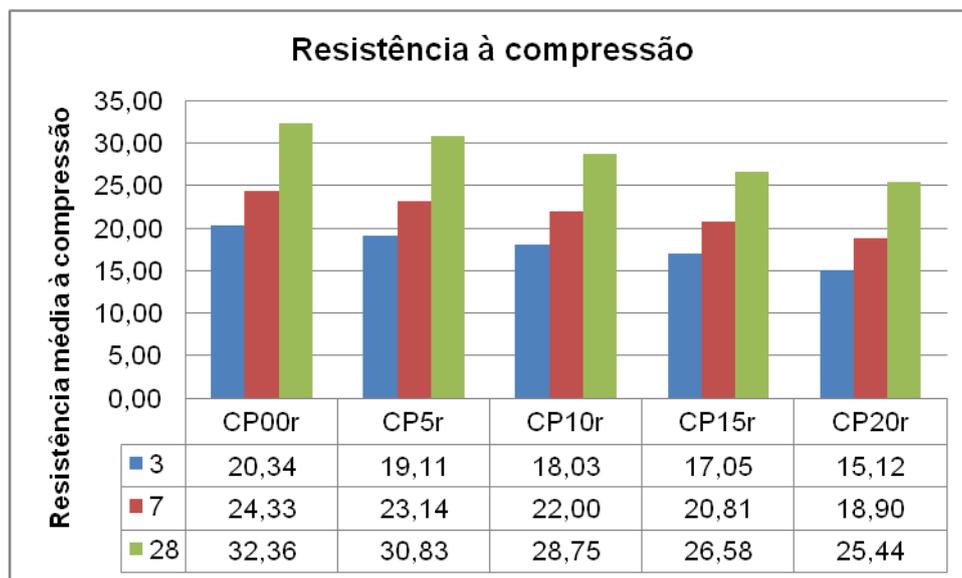


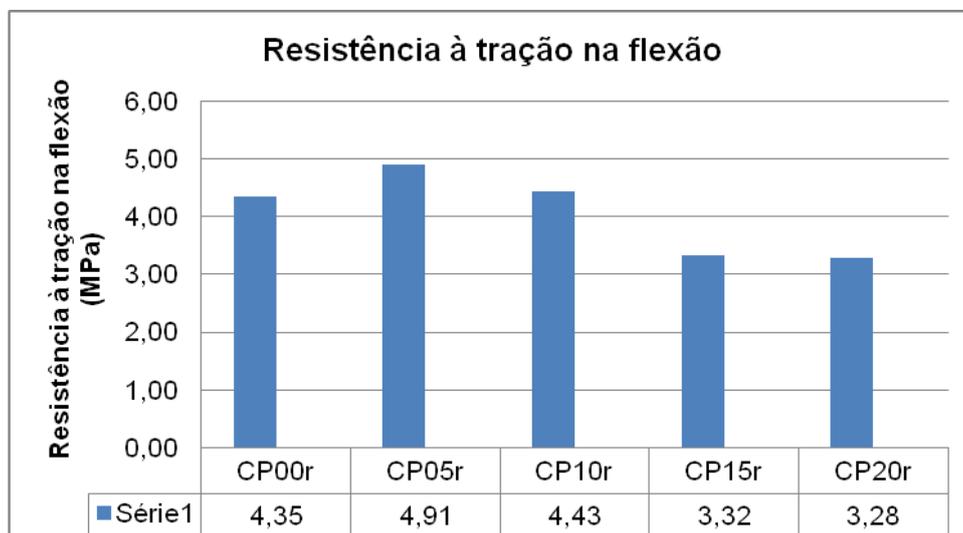
Figura 21 - Média da Resistência à compressão.

4.2.3 Ensaio de resistência à tração na flexão

A Tabela 30 e a Figura 22 apresentam os resultados da resistência média à tração na flexão.

Tabela 30 - Resistência média à tração na flexão aos 28 dias.

Nomenclatura	Resistência à tração na flexão	
	(MPa)	
CP00r	4,35	
CP05r	4,91	
CP10r	4,43	
CP15r	3,32	
CP20r	3,28	

**Figura 22** - Resistência média à tração na flexão.

A resistência à tração na flexão para o traço de referência (CP00r) teve como resultado 4,35 MPa. Com uma concentração de RCBP de 5 % (CP05r) e 10% (CP10r), essa resistência atingiu 4,91 MPa e 4,43 MPa, respectivamente. Já para o traço com 15 % desse resíduo (CP15r), o valor decresceu para 3,32 MPa. Por fim, com uma concentração máxima do RCBP, ou seja, 20 % do resíduo (CP20r), a resistência à tração na flexão diminuiu para 3,28 MPa. Esses resultados comprovam que a incorporação do RCBP no concreto tem um resultado positivo para as concentrações de 5 % e 10 % da adição. Já para os traços com 15% e 20 % de RCBP, a resistência mecânica tem valores negativos em relação ao concreto de referência.

Os resultados da tração na flexão obtidos foram acima do sugerido pela NBR 6118/2003, conforme Figura 23. Essa norma sugere uma correlação da resistência à tração na flexão com a resistência à compressão através da Equação 4.1 apresentada a seguir.

$$f_{ct,m} = 0,3 f_{ck}^{2/3} \quad (4.1)$$

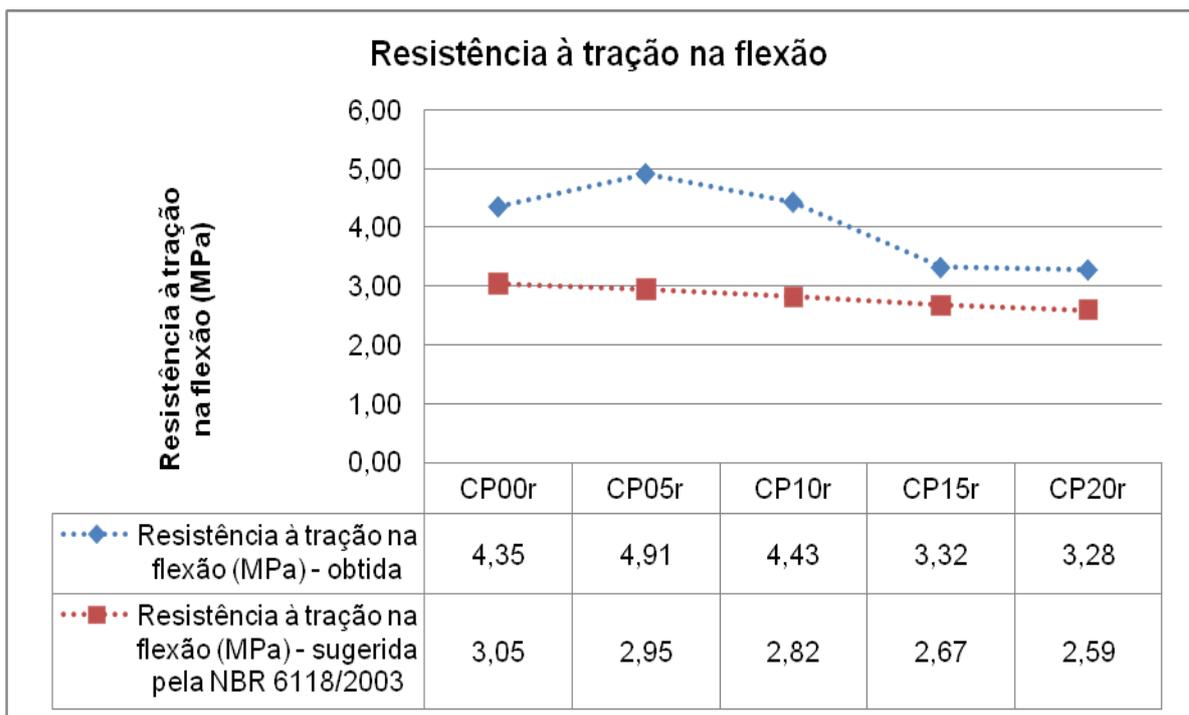


Figura 23 - Correlação da resistência à tração na flexão obtida nos ensaios e sugerida pela NBR 6118/2003.

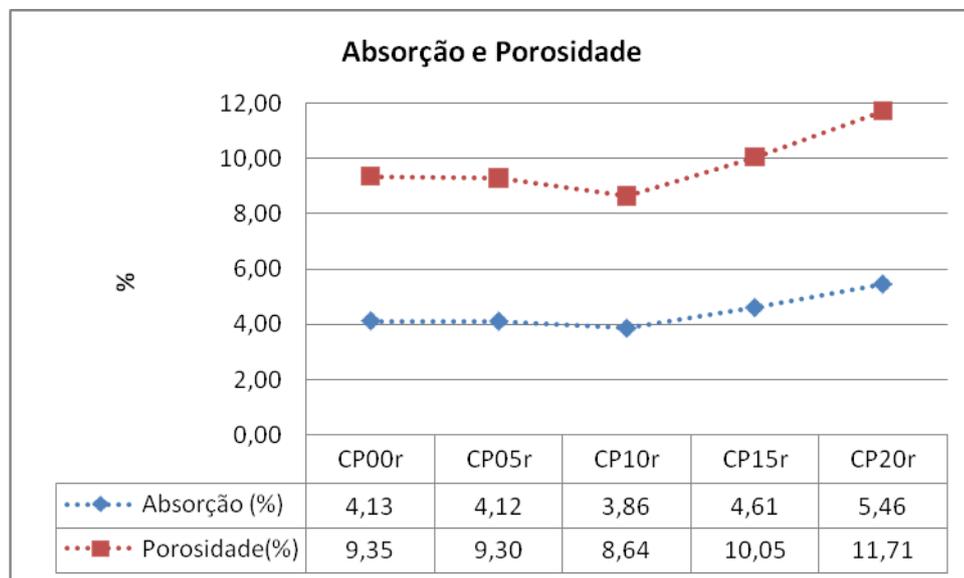
4.2.4 Ensaio de Absorção, Porosidade e Massa específica real

Para os ensaios de Absorção, Porosidade e Massa Específica Real foram destinados 03 corpos-de-prova cilíndricos, isso para cada traço de concreto.

A Tabela 31 e a Figura 24 mostram a média desses resultados para as concentrações, variando de 0 % a 20 % de incorporação do RCBP.

Tabela 31 - Ensaio de Absorção, Porosidade e Massa Específica Real.

Nomenclatura	Absorção (%)	Porosidade(%)	Massa Esp. Real(kg/dm ³)
CP00r	4,13	9,35	2,50
CP05r	4,12	9,30	2,49
CP10r	3,86	8,64	2,45
CP15r	4,61	10,05	2,42
CP20r	5,46	11,71	2,43

**Figura 24** - Comparação da absorção e da porosidade do concreto.

Observou-se que para os traços de referência e o de concentração de 5% não houve uma mudança significativa, onde os resultados de absorção de água atingiram valores de 4,13 % e 4,12 %, respectivamente. Já para o traço de 10 %, houve um decréscimo de 6 % em relação ao concreto de referência. Por fim, nas concentrações de 15 % e 20 % de RCBP, observou-se um aumento na absorção de 11,6 % e 32,2 %, respectivamente.

A porosidade do concreto sem incorporação do RCBP teve como valor 9,35%. Nos traços que utilizaram 5 % e 10 % desse resíduo, observou-se que a porosidade diminuiu para 9,30 % e 8,64 %, respectivamente. Já para as concentrações de 15 % e 20 % houve um aumento da porosidade, atingindo os valores de 10,05 % e

11,71%, respectivamente.

4.2.5 Análise microestrutural

Para a análise microestrutural feita a partir do microscópio eletrônico de varredura (MEV), foi destinado 01 corpo-de-prova para cada traço de concreto. Essa análise possibilitou observar a morfologia do RCBP, as fissuras no concreto e a zona de transição entre a matriz e o agregado.

A Figura 25 apresenta a partícula do RCBP, observa-se uma superfície irregular com face enrugada e pequenos poros, justificando com isso a absorção da água.

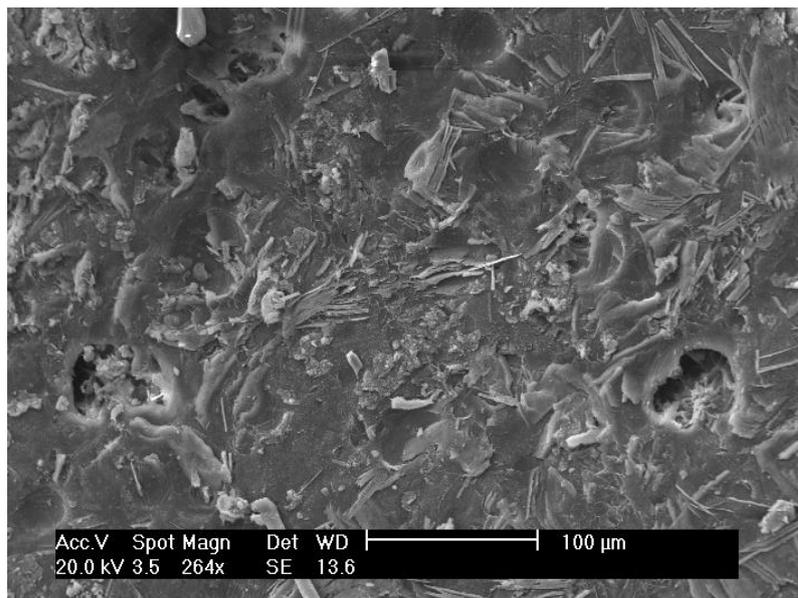


Figura 25 - Micrografia da partícula do RCBP.

A Figura 26 mostra a zona de transição entre a matriz e a partícula do RCBP no concreto com concentração de 10 % de resíduo (CP10r). Já a Figura 27 ilustra a zona de transição matriz-agregado no concreto com traço de referência (CP00r).

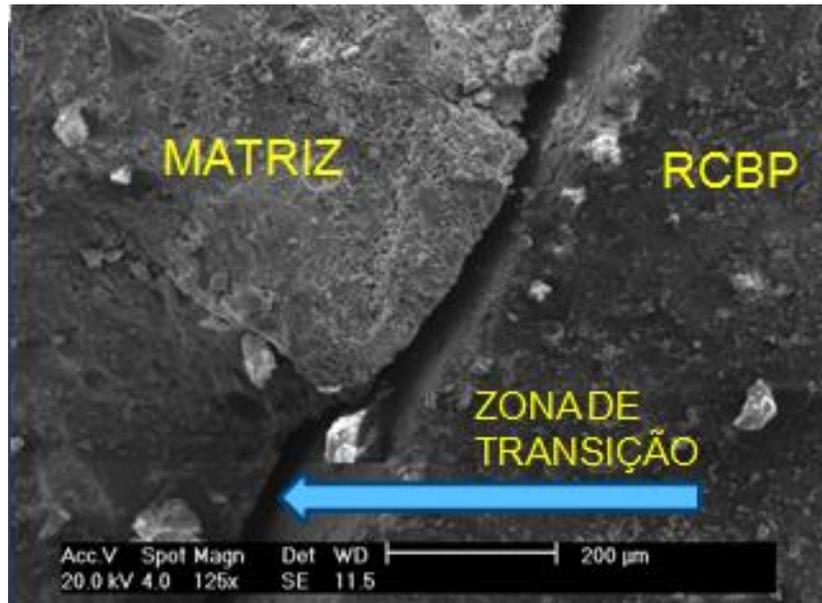


Figura 26 - Micrografia da zona de transição matriz-RCBP no concreto CP10r.

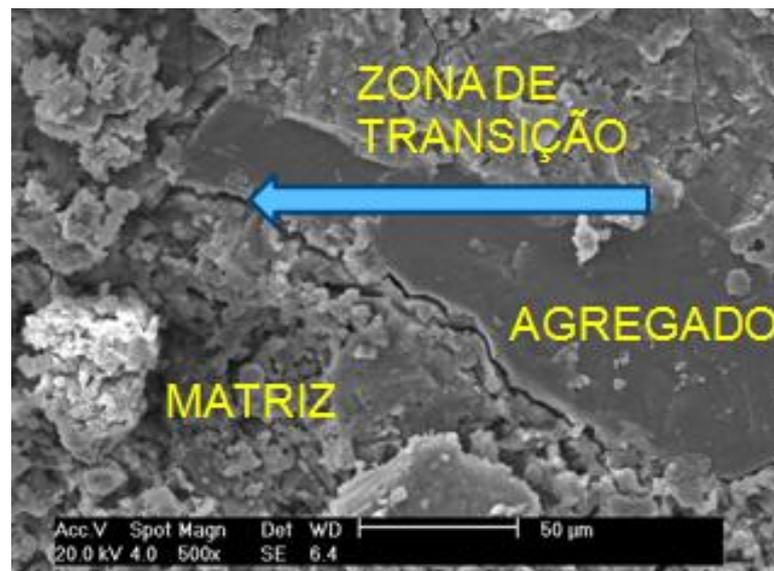


Figura 27 - Micrografia da zona de transição matriz-agregado no concreto CP00r.

CAPÍTULO 5

Considerações Finais

As principais conclusões obtidas no Programa Experimental e as sugestões para trabalhos futuros estão apresentadas neste capítulo.

5.1 Conclusões

O objetivo científico e original desta pesquisa foi encontrar um caminho para introduzir o resíduo de corte de botão na Indústria da Construção Civil. Analisou-se o comportamento do concreto frente à incorporação desse rejeito industrial, verificando a resistência mecânica e o comportamento plástico dessa massa de concreto.

As principais conclusões relacionadas às propriedades do concreto no estado fresco foram as seguintes:

- A incorporação do RCBP na massa do concreto diminuiu sua consistência. Observou-se que para os traços entre 5 % e 10 % de incorporação de resíduo, o abatimento decresceu em torno de 10 %, em relação ao traço anterior;
- A diminuição do índice de consistência pode estar relacionada com a estrutura superficial do RCBP, pois o mesmo apresenta uma superfície irregular e pequenos poros;
- A trabalhabilidade se mostrou aceitável, mesmo com altas concentrações do RCBP. Essa viabilidade é justificada pelo fato de somente concretos com abatimentos abaixo de 50 mm se tornarem inviáveis devido à baixa trabalhabilidade.

Já para o concreto no estado endurecido, as principais conclusões relacionadas às propriedades foram:

- O concreto com incorporação do RCBP teve uma tendência de redução da resistência à compressão em relação ao concreto sem a incorporação do resíduo. Observou-se que esse decréscimo obedeceu a uma linearidade, pois quando se acrescentou 5 % do RCBP a resistência diminuiu em torno de 5 % em relação ao concreto de referência; quando se acrescentou 10 % do RCBP esse índice foi para 10 %, da mesma forma para as outras concentrações;
- Os concretos contendo 5 % e 10 % tiveram suas resistências à tração na flexão aumentadas em relação ao concreto de referência. Esse acréscimo foi de aproximadamente 12,87 % e 1,84 %, respectivamente;
- Os resultados obtidos nos ensaios de resistência à tração na flexão foram superiores aos sugeridos pela NBR 6118/2203 através de uma correlação da resistência à compressão com a resistência à tração;
- A presença do resíduo na mistura modificou a densidade da massa do concreto, deixando-a mais leve à medida que iria aumentando a concentração do RCBP.

Na análise microestrutural, foi possível observar o resíduo na massa do concreto, como também, permitiu a verificação dos poros e da superfície irregular do RCBP, podendo com isso ser um motivo para a retenção de água no concreto à medida que a proporção do resíduo iria sendo aumentada.

De um modo geral e tomando por base o abatimento, a resistência à compressão e a resistência à tração na flexão, os concretos com incorporações de 5% e 10 % de RCBP poderão ser utilizados, pois atenderam os critérios de no mínimo 50 mm de abatimento, 25 MPa de resistência à compressão e resultados das resistências à tração na flexão superiores aos do traço de referência.

5.2 Contribuições para o conhecimento

Como contribuição para o conhecimento se pode dizer que:

- O único beneficiamento no RCBP para utilizá-lo é o descarte do resíduo que fica retido na peneira de 19 mm e o que passa na de 12,5mm. Esse intervalo foi definido para que o RCBP ficasse numa granulometria graúda evitando a redução no abatimento;
- O concreto com incorporação do resíduo poderá ser utilizado em concretos não estruturais para fins secundários. E é possível utilizá-lo para fins estruturais desde que outras propriedades sejam investigadas, como a presença de cloreto;
- O concreto com RCBP pode e deve ser utilizado na construção civil, visando assim a preservação ambiental. Contanto que o governo conceda um incentivo fiscal às empresas que utilizá-lo.

5.3 Sugestões para Trabalhos Futuros

Considerando a abrangência do tema e a impossibilidade do estudo de todo o comportamento desse material, sugere-se:

- Pesquisar a utilização de diferentes traços do concreto com incorporação do RCBP;
- Investigar o comportamento desses concretos em relação ao cloreto para verificar a possibilidade de utilização desse material em estruturas armadas;
- Avaliar a influência de aditivos superplastificantes na massa do concreto com o RCBP;
- Analisar o comportamento do concreto com substituição parcial de seus componentes pelo RCBP com granulometria mais fina;
- Investigar o comportamento da argamassa com incorporação do RCBP com granulometria fina;
- Realizar um estudo mais profundo sobre a caracterização do RCBP;
- Utilizar e avaliar o RCBP em concreto para pavimento rígido.

REFERÊNCIAS

ALVES, José D. **Manual de tecnologia do concreto**. 3. ed. rev. Goiânia: Editora da UFG, 1993.

ANDRADE, Jairo J. O. Propriedades dos Polímeros. In: ISAIA, G.C. (Org.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais**. ed. G. C. Isaia. 2v. 1 ed. São Paulo: IBRACON, 2007. 1712p. cap. 38.

ANDRIOLO, F. R. **Construções de concreto**. São Paulo: Pini, 1984. 738p.

ÂNGULO, Sérgio C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos**. Tese. Departamento de Engenharia de Construção Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005. 167p.

ARAÚJO, Regina C. L.; RODRIGUES, Edmundo H. V.; FREITAS, Edna G. A. **Materiais de construção** – Seropédica, RJ: Editora Universidade Rural, 2000. 203p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Manual de ensaios de agregados, concreto fresco, concreto endurecido**. Associação Brasileira de Cimento Portland. São Paulo, 1998. 116p.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5733**: Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5735**: Cimento Portland de alto-forno. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5736**: Cimento Portland pozolânico. Rio de Janeiro, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7214**: Areia normal para ensaio de cimento. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Ensaio de cimento Portland. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9479**: Argamassa e concreto - Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11578**: Cimento Portland composto – Especificação. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11579**: Cimento Portland - Determinação da finura por meio da peneira 75 μm (n° 200) - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11582**: Cimento Portland - Determinação da expansibilidade de Le Chatelier - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12142**: Concreto — Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931**: Execução de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 43**: Cimento Portland - Determinação da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53**: Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 65**: Cimento Portland - Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

BARBOSA, Michele B. **Utilização de resíduos de cinza de casca de arroz e borracha de pneu em concreto de alto desempenho**. Dissertação. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. 2006. 147f.

BAUER, Luiz A.F. **Materiais de Construção**. v1. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000. 447p.

BRASIL. Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União: Brasília, 03 ago. 2010.

CANEVAROLO Jr, Sebastião V. **Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. São Paulo: Artliber Editora, 2002.

CARVALHO, C.M.L.; CAMPOS, E.S.T.; MARTINS, D.S.; RAPOSO, A.M.F.; VIVEIROS, A.P.R.;BATÓREU, M.C.C. **Dioxinas: origens e efeitos na população humana**. Laboratório de Toxicologia. Faculdade de Farmácia da Universidade de Lisboa, 2001

CHANG, MOO BEEN; LIN, Jung-Jeng; CHANG, Shu-Hao. **Characterization of dioxin emissions, from two municipal solid waste incinerators in Taiwan**. Graduate Institute of Environmental Engineering, National Central University. Chungli, Taiwan 320, Republic of China: 2001.

CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE O MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Agenda 21: Conferência das nações unidas sobre o meio ambiente e desenvolvimento**. 2ed. Brasília: Senado Federal; Subsecretarias de edições técnicas, 1997.

DIAS, Gilka da Mata. **Cidade Sustentável – Fundamentos legais, Política Urbana , Meio Ambiente, Saneamento Básico**. Natal: Ed. Do Autor, 2009. 383p.

FARIAS, Márcio M.; PALMEIRA, Ennio M. **Agregados para Construção Civil**. In: Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais. Ed. G. C. Isaia. 2v. 1 ed. São Paulo: IBRACON, 2007. 1712p. cap.16.

GIACOBBE, Silvia. **Estudo do comportamento físico-mecânico do concreto de cimento Portland com adição de borracha de pneus**. Dissertação - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2008. 105f.

GIAMUSSO, Salvador E. **Manual do Concreto**. São Paulo: Pini, 1992.162p.

GOLDEMBERG, J., LUCON O. – **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. 3. ed. rev. ampl. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2008. 400p.

GREENPEACE. **Critérios técnicos para destruição de poluentes orgânicos persistentes**. 1998. ISBN 90-73361-47-8.

HELENE, Paulo; ANDRADE, Tibério. Concreto de Cimento Portland. In: ISAIA, G. C. (Org.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais**. ed. G. C. Isaia. 2v. 1 ed. São Paulo: IBRACON, 2007. 1712p. cap. 27.

HIEMENZ, Paul C.; LODGE, Tim. **Polymer Chemistry**. 2007. 587p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **IBGE investiga o meio ambiente de 5.560 municípios brasileiros**. 2005. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=363&id_pagina=1>. Acesso em: 18 fev. 2011.

KRAEMER, Maria E. P. **A questão ambiental e os resíduos industriais**. XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Porto Alegre, 2005.

MEDEIROS, Otoniel M. **Alternativas de Ultimação de Resíduo Plástico Termofixo**. Tese. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. 2005. 113f.

MELO, Guilherme F. **Concreto celular polimérico: influência na adição de resíduo de poliéster insaturado termofixo**. Tese. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. 2009. 100f.

METHA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais** – São Paulo: IBRACON, 2008. 674 p.

MINDESS, S. et al. Water permeability of cement paste. **Cement and Concrete Research**, v.19, p. 727-736, 1989.

MODRO, N. L. R.; MODRO, N. R.; MODRO, N.R.; OLIVEIRA, A. P. N.; Avaliação de concreto de cimento Portland contendo resíduos de PET. **Revista Matéria**, v.14, n.1, pp.725 – 736, 2009.

MONTEIRO, José Henrique P.; ZVEIBIL, Victor Z. **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 200p.

MORTON – JONES, David H. **Polymer processing**. London: Chapman and Hall, 1989.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**. São Paulo: Pini, 1997. 828p.

NOBRE, Marcos; AMAZONAS, Maurício de Carvalho. **Desenvolvimento Sustentável: a institucionalização de um conceito**. Brasília: Ed. IBAMA, 2002.

NÓBREGA, A. K. C. **Materiais cimentantes de pega rápida à base de metacaulim**. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. 2006. 93f.

NOVAES, Washington (Coord.). **Agenda 21 Brasileira: bases para discussão**. Brasília: MMA/PNUD, 2000.

NUNES, Luciano R.; JUNIOR, Antônio R.; ORMANJI, Wagner. **Tecnologia do PVC**. São Paulo: ProEditores / Braskem, 2002. 400p.

NUNES, Nelson L. **Contribuição para a aplicação do concreto reforçado com fibras de aço em elementos de superfície restringidos**. Tese. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2006. 253f.

NUNES, Nelson L. **Retração do concreto de cimento Portland**. São Paulo: EPUSP, 2007. 59p. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil).

OSSWALDO, Tim A.; MENGES, George. **Materials Science of Polymers for Engineers**. 2 ed. Ohio: Hanser, 2003. 622p.

PETRUCCI, Eladio G. R. **Concreto de cimento Portland**. 6 ed. Atualizada e revisada por Vladimir Antônio Paulon. Porto Alegre: Globo, 1978. 307p.

PETRUCCI, Eladio G. R. **Materiais de Construção**. 11 ed. São Paulo: Globo, 1998. 435p.

PHAIBOON, P; MALLIKA, P. **Reuse of thermosetting plastic waste for lightweight concrete**. Waste Management. v.28, p.1581-1588, 2008.

PINTO, T. de P. **Metodologia para gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. Tese. Departamento de Engenharia de Construção Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999. 189p.

SÁ, Maria das V. V. A. **Influência da substituição de areia natural por pó de pedra no comportamento mecânico, microestrutural e eletroquímico de concretos**. Tese. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. 2006. 141f.

SANTOS, Maria L. L. O. **Aproveitamento de resíduos minerais na formulação de argamassa para a construção civil**. Tese. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. 2008. 163f.

SOUZA, Paulo A. B. F. **Estudo do comportamento plástico, mecânico, microestrutural e térmico do concreto produzido com resíduo de porcelanato**. Tese. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. 2007. 230f.

TARTUCE, Ronaldo. **Dosagem experimental de concreto**. São Paulo, PINI, 1990. 115p.

TARTUCE, Ronaldo; GIOVANNETTI, Edio. **Princípios Básicos sobre Concreto de Cimento Portland**. São Paulo: PINI: IBRACON, 1990. 107p.

TEIXEIRA, Cristina. O desenvolvimento sustentável em unidade de conservação: a naturalização do social. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**. vol 20 n59. São Paulo. 2005.

VERÇOZA, Enio J. **Materiais de Construção**. 2ed. Porto Alegre: Sagra, 1984. 153p.