

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

“Análise experimental da durabilidade de concretos de alto desempenho com adição de resíduo de borracha de pneu e cinza da casca de arroz”

ANTONIO ROGÉRIO BRIZANTE DE VASCONCELOS

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luís Akasaki

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia, UNESP – Campus de Ilha Solteira, para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil.
Área de Conhecimento: Materiais de Construção Civil

Ilha Solteira SP
Junho / 2009

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da UNESP - Ilha Solteira.

V331a	<p>Vasconcelos, Antonio Rogério Brizante de. Análise experimental da durabilidade de concretos de alto desempenho com adição de resíduo de borracha de pneu e cinza da casca de arroz / Antonio Rogério Brizante de Vasconcelos. -- Ilha Solteira : [s.n.], 2009. 107 f. : il.</p> <p>Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Materiais de Construção Civil, 2009</p> <p>Orientador: Jorge Luís Akasaki Bibliografia: p. 92-101</p> <p>1. Durabilidade (Engenharia). 2. Concreto de alto desempenho. 3. Cinza de casca de arroz. 4. Borracha de pneu.</p>
-------	--



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

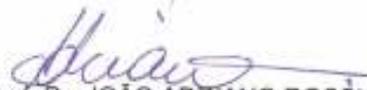
TÍTULO: Análise experimental da durabilidade de concretos de alto desempenho com adição de resíduo de borracha de pneu e cinza da casca de arroz

AUTOR: ANTONIO ROGÉRIO BRIZANTE DE VASCONCELOS
ORIENTADOR: Prof. Dr. JORGE LUIS AKASAKI

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE em ENGENHARIA CIVIL, Área: ESTRUTURAS, pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. JORGE LUIS AKASAKI
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. HAROLDO DE MAYO BERNARDES
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. JOÃO ADRIANO ROSSIGNOLO
Departamento de Arquitetura e Urbanismo / Escola de Engenharia de São Carlos - USP

Data da realização: 10 de junho de 2009.

Aos meus pais Rogério e Tilza e minha Namorada Camila, por todo apoio e compreensão que tanto ajudaram a superar meus obstáculos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por minha vida, por tudo que sou hoje, a cada dia que posso ver o sol nascer e se pôr e a todas as oportunidades que estou tendo em minha vida.

Aos meus pais por todos os ensinamentos, por todo o apoio nestes longos anos de caminhada. Nunca esquecendo de prezar a educação, honestidade e simplicidade, e sempre me lembrando que desistir de tudo é muito fácil, mas só persistindo se pode realizar, conquistar e vencer na vida.

A minha namorada Camila a qual me ensinou a lutar por meus ideais, a buscar ser o melhor e me fazer digno disto. A todo o apoio nas minhas decisões, me ajudando todos os dias na superação dos nossos obstáculos.

Aos meus amigos e familiares, em especial a Douglas, Gustavo, Everton, Lidiane, Rodrigo, Tiago e Welington.

Ao meu Orientador, professor Jorge Luis Akasaki, por todo apoio e ajuda, desde meu estágio curricular e depois por me receber como orientado de mestrado, mesmo não tendo feito uma Iniciação Científica.

Ao engenheiro Flávio Moreira Salles do Laboratório CESP de Engenharia Civil por todo o conhecimento passado em nossas conversas, auxiliando muito no meu aprimoramento profissional e em minha pesquisa.

A todos os professores que passaram por minha vida acadêmica, em especial aos que tive mais contato, Haroldo, Dib, Tsunao, Tangerino, Nascimento, Luzenira, Melges, Bertolino e Jefferson.

Aos técnicos do Laboratório de Engenharia Civil da UNESP, Mario, Gilson, Ronaldo, Cavassano e Sílvio.

Aos técnicos do Laboratório CESP de Engenharia Civil, Anderson, Paschoalim, Jorge, Branco, Sérgio, Sumie, Bertollucci, Michelan, Lana, Chico, Iverson, Marquinhos, Joaquim, Euclides, Gilmar, os quais acabaram se tornando grandes amigos.

Ao Laboratório CESP de Engenharia Civil – LCEC, pelo apoio na realização e discussão dos ensaios e análises.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo apoio dado através da bolsa de estudo para o mestrado, possibilitando aos muitos alunos o apoio técnico-financeiro para a realização de seu aprimoramento profissional.

*“O único lugar onde o sucesso vem antes do
trabalho é no dicionário.”
Albert Einstein*

RESUMO

Desde a década de 70 o Brasil vem apresentando uma maior quantidade de estruturas de concreto armado em deterioração. A preocupação com a durabilidade destas estruturas tornou-se motivo de inúmeras pesquisas visando contribuir com a qualidade e com a redução dos custos com manutenção e reparos.

Este trabalho avaliou a durabilidade do concreto de alto desempenho com adições, substituindo parte de cimento e agregados presentes no concreto pela cinza da casca de arroz e borracha de pneu respectivamente.

Os ensaios de durabilidade submeteram os concretos a diversos processos de degradação, como a ação da água, temperatura, sais e solução ácida. Com a análise dos resultados foi possível verificar a interferência das adições no combate às ações deletérias no concreto para os traços dosados com Sílica Ativa, Cinza da Casca de Arroz e estes dois com a adição de borracha de pneu.

Em geral o estudo mostrou que a durabilidade não foi comprometida com adição dos resíduos, além disso, a borracha mostrou-se muito eficaz no combate a ação de agentes químicos, a altas temperaturas e a entrada de água. A CCA mesmo com maior diâmetro de suas partículas conseguiu resultados similares à relação à Sílica Ativa.

Os resultados também mostraram os tipos de aplicação para os concretos produzidos, em relação a sua durabilidade. Para obras que necessitam de elevada resistência à compressão, expostas à água sob pressão e com contenção à entrada de íons cloreto, os traços sem borracha foram mais favoráveis. Para obras hidráulicas com baixa pressão hidrostática, que necessitam de resistência ao ataque químico e contenção de fissurações por altas temperaturas, os traços contendo borracha apresentaram melhores resultados.

Palavras Chaves: Durabilidade, Concreto de Alto Desempenho, Cinza da Casca de Arroz, Borracha de Pneu.

ABSTRACT

Since the decade of 70 Brazil is presenting a growing degradation in their structures of armed concrete. The concern with the durability of these structures became motivate of countless researches seeking to contribute with the quality and with the reduction of the costs with maintenance and repairs.

This work evaluated the behavior of the durability of the high-performance concrete with additions, substituting part of cement and aggregates, in the concrete, for the rice husk ash and tire rubber respectively.

The rehearsals of durability submitted the concretes to several degradation processes, as the action of the water, temperature, salts and acid solution. With the analysis of the results it was possible to verify the interference of the additions in the combat to the harmful actions in the concrete for the mixes with silica fume, rice husk ash and these two with the addition of tire rubber.

In general the study showed that the durability was not committed with addition of the residues, besides, the tire rubber showed very effective in the combat of action of chemical agents, to high temperatures and the entrance of water. Same rice husk ash with larger diameter of their particles had similar results to the silica fume.

The results also showed the application types for the produced of those concretes, in relation to durability. For works that need high resistance to the compression, exposed to the water under pressure and with contention to the entrance of chlorides, the lines without tire rubber were more favorable. For hydraulic works with low water pressure, that need resistance to the chemical attack and contention of cracks for high temperatures, the lines containing tire rubber presented better results.

Key Words: Durability, High Performance Concrete, Rice Husk Ash, Tire Rubber.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Efeito fíler da sílica ativa.	10
Figura 2. Resistência à compressão.	12
Figura 3. Efeito da adição de Borracha na resistência a compressão.	16
Figura 4. Efeito da adição de Borracha sob altas temperaturas.	16
Figura 5. Efeito dos tipos de granulometria na resistência a compressão.	18
Figura 6. Classes de agressividade.	20
Figura 7. Relação água/cimento para as classes de agressividade.	20
Figura 8. Cobrimento mínimo para as classes de agressividade.	21
Figura 9. Efeito do cobrimento na durabilidade.	21
Figura 10. Temperatura Média e Chuva Acumulada Anual no Brasil.	22
Figura 11. Umidade Relativa Anual no Brasil.	23
Figura 12. Formação de Ilhas de Calor.	23
Figura 13. Efeito da abrasão em pisos industriais.	26
Figura 14. Efeito da variação brusca de temperatura.	26
Figura 15. Efeito da deterioração de uma viga em indústria química.	26
Figura 16. Efeito da deterioração por Cloretos em estrutura próxima ao mar.	26
Figura 17. Efeito do contato com a água em galerias pluviais.	26
Figura 18. Efeito da umidade em túnel de indústria de vinho.	26
Figura 19. Classificação dos poros.	27
Figura 20. Efeito da agressão química.	31
Figura 21. Perda de massa por agressão com ácido láctico.	31
Figura 22. Absorção Capilar aos 7 dias.	32
Figura 23 Absorção Capilar aos 28 dias.	33
Figura 24. Concreto armado exposto à água do mar.	34
Figura 25. Esquema Geral do Programa Experimental.	35
Figura 26. Composição dos tipos de cimento.	36
Figura 27. Caracterização do Agregado Graúdo.	38
Figura 28. Caracterização do Agregado Miúdo.	40
Figura 29. Gráfico da Variação da temperatura de queima da CCA.	42

Figura 30. Casca de Arroz antes da queima.	42
Figura 31. Casca de arroz após a queima.	42
Figura 32. Difratoograma de Raio-X da CCA.....	43
Figura 33. Difratoograma de Raio-X da SA.....	43
Figura 34. Estrutura da Casca de Arroz antes da queima.....	43
Figura 35. Estrutura da Casca de arroz após a queima.....	43
Figura 36. Granulometria a Laser da CCA após 40 minutos de moagem.....	44
Figura 37. Comparação entre a CCA, SA e CCA tratada.....	44
Figura 38. Borracha de pneu.....	46
Figura 39. Detalhe borracha de pneu.....	46
Figura 40. Caracterização da Borracha de Pneu.....	47
Figura 41. Traços realizados.....	53
Figura 42. Moldagem corpos-de-prova para ensaios.....	55
Figura 43. Armazenamento em câmara úmida.....	55
Figura 44. Ensaio de Consistência do concreto.....	56
Figura 45. Acompanhamento da temperatura do concreto.....	57
Figura 46. Moldagem do ensaio incorporação de ar.....	57
Figura 47. Retirada do excesso de concreto.....	57
Figura 48. Realização do ensaio.....	57
Figura 49. Capeamento dos CPs com enxofre.....	58
Figura 50. Ruptura dos CPs.....	58
Figura 51. Fôrma para ensaio de Penetração de água.....	60
Figura 52. Ensaio de Penetração de água sobre pressão.....	60
Figura 53. Esquema para ensaio de profundidade de penetração de cloretos.....	63
Figura 54. Forma ensaio de Abrasão.....	64
Figura 55. Posição do CP para ensaio.....	64
Figura 56. Inserção das pás giratórias para início do ensaio.....	64
Figura 57. Consistência do concreto.....	65
Figura 58. Concreto antes da adição do aditivo.....	66
Figura 59. Ação do aditivo.....	66
Figura 60. Consistência do concreto com adição de CCA.....	66
Figura 61. Consistência do concreto com adição de Sílica Ativa.....	66
Figura 62. Consistência do concreto com adição de Sílica Ativa e Borracha.....	66

Figura 63. Consistência do concreto com adição de CCA e Borracha.....	66
Figura 64. Incorporação de ar no concreto.	67
Figura 65. Massa Específica.....	68
Figura 66. Resistência à Compressão.....	69
Figura 67. Ruptura do CP com Borracha.	70
Figura 68. Ruptura sem estilhaçamento do CP com Borracha.....	70
Figura 69. Ruptura do CP sem adição de borracha.	70
Figura 70. Fragmentação do CP sem borracha após ruptura.....	70
Figura 71. Absorção de Água por Imersão.....	71
Figura 72. Estufa para ensaio de Absorção.	72
Figura 73. Tanque de Imersão.	72
Figura 74. CPs após saírem do tanque de imersão.	72
Figura 75. Pesagem dos CPs.	73
Figura 76. Absorção de Água por Capilaridade.....	73
Figura 77. Demarcação da profundidade de imersão em água.....	74
Figura 78. Aparato para realização do ensaio de Absorção por Capilaridade.....	75
Figura 79. Detalhe da altura d'água e do suporte para impedir contato do CP com o fundo do aparato de ensaio.	75
Figura 80. Lâmina d'água para CPs com CCA.	75
Figura 81. Lâmina d'água para CPs com SA.	75
Figura 82. Lâmina d'água para CPs com CCA e Borracha.....	75
Figura 83. Lâmina d'água para CPs com SA e Borracha.....	75
Figura 84. Resultados da Permeabilidade.....	76
Figura 85. Queda de profundidade de penetração.	77
Figura 86. Lâmina d'água para CPs com CCA	78
Figura 87. Lâmina d'água para CPs com SA	78
Figura 88. Lâmina d'água para CPs com CCA e Borracha.....	79
Figura 89. Lâmina d'água para CPs com SA e Borracha.....	79
Figura 90. Resistência à compressão após ensaio de ciclagem.	81
Figura 91. CCA - Ensaio de Ciclagem	82
Figura 92. SA - Ensaio de Ciclagem	82
Figura 93. CCA e Borracha - Ensaio de Ciclagem.....	82
Figura 94. SA e Borracha - Ensaio de Ciclagem.....	82

Figura 95. Perda de Massa por Ataque Químico.....	83
Figura 96. CCA - após a retirada do cálcio da superfície.....	83
Figura 97. SA - após a retirada do cálcio da superfície.....	83
Figura 98. CCA e Borracha - após a retirada do cálcio da superfície.	84
Figura 99. SA e Borracha - após a retirada do cálcio da superfície.	84
Figura 100. Secagem dos CPs à temperatura ambiente.....	84
Figura 101. Exposição em ambiente bem iluminado.	85
Figura 102. Início da reação com o nitrato de prata.	85
Figura 103. Presença de íons cloretos.	85
Figura 104. Desenvolvimento da penetração de cloretos ao longo do tempo.	86
Figura 105. Perda de Massa por Abrasão/Erosão.....	87
Figura 106. Abrasão/Erosão SA – Referência.....	88
Figura 107. Abrasão / Erosão CCA.....	88
Figura 108. Abrasão/Erosão SA – Borracha.	88
Figura 109. Abrasão/Erosão CCA – Borracha.	88
Figura 110. Dosagem do traço Sílica Ativa.....	103
Figura 111. Dosagem do traço CCA.	104
Figura 112. Dosagem do traço Sílica Ativa com Borracha.	105
Figura 113. Dosagem do traço CCA com Borracha.....	106
Figura 114. Variação de massa na ciclagem água/estufa.	107
Figura 115. Amostra de perda de resistência por ataque químico.....	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Ensaio de Absorção de água.....	18
Tabela 2. Fatores de degradação no concreto.....	25
Tabela 3. Variação da Temperatura de Queima da CCA	41
Tabela 4. Densidade, Massa e Área Específica.....	45
Tabela 5: Composição granulométrica do resíduo de borracha de pneu	45
Tabela 6. Caracterização do Cimento.....	49
Tabela 7. Caracterização da Sílica Ativa.....	51
Tabela 10. Traços dos Concretos de Alto Desempenho.....	54
Tabela 11. Intervalos de Amostragem para o Ensaio de Absorção de água.....	71
Tabela 12. Intervalos de Amostragem para o Ensaio de Absorção por Capilaridade.	74

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAD	Concreto de Alto Desempenho
CCA	Cinza da Casca de Arroz
CCA e Borracha	Cinza da Casca de Arroz e Borracha de Pneu
CESP	Companhia Energética de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP	Corpo-de-prova
CPV ARI PLUS	Cimento Portland de Alta Resistência inicial
HPC	High Performance Concrete
LCEC	Laboratório CESP de Engenharia Civil
NBR	Norma Brasileira Registrada
NM	Norma Mercosul
RHA	Rice Husk Ash
S	Área transversal em contato com a água
SA	Sílica Ativa
SA e Borracha	Sílica Ativa e Borracha de Pneu
SCA	Sílica de Casca de Arroz
SF	Sílica Fume
SFS	Sílica de Ferro Silício
UNESP	Universidade Estadual Paulista

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Massa do CP saturado
a/agl	Relação água/aglomerante
a/c	Relação água/cimento
B	Massa do corpo-de-prova seco em estufa
C	Absorção por capilaridade
CaCl₂	Cloreto de Cálcio
CaCO₃	Gesso
Ca(OH)₂	Hidróxido de Cálcio
C-H	Hidróxido de Cálcio
Cl	Íon Cloreto
CO₂	Dióxido de Carbono – Gás Carbônico
C-S-H	Silicato de Cálcio Hidratado
Kg	Kilograma
mm	Milímetros
MPa	Mega Pascal
Ms	Massa do CP seco em estufa
Msat	Massa do CP saturado
O₂	Oxigênio
SO₃	Sulfeto
X_c	Cobrimento mínimo na estrutura

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	IMPORTÂNCIA DA PESQUISA.....	1
1.2	OBJETIVO	3
1.3	ESTRUTURA DA PESQUISA.....	4
2	CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO	5
2.1	HISTÓRICO	5
2.2	PRODUÇÃO DO CAD	6
2.3	MICROESTRUTURA E PROPRIEDADES.....	6
3	CINZA DA CASCA DE ARROZ.....	8
3.1	DEFINIÇÃO E GENERALIDADES	8
3.2	EFEITOS DA ADIÇÃO DA CCA	9
3.2.1	Efeito Pozolana	9
3.2.2	Efeito Partícula	9
3.2.3	Efeito Microfíler	10
3.2.4	Efeito dos Pontos de Nucleação.....	11
3.3	CONCRETO PRODUZIDO COM CCA	11
4	BORRACHA DE PNEU.....	14
4.1	DEFINIÇÃO E GENERALIDADES	14
4.2	CONCRETO PRODUZIDO COM BORRACHA DE PNEU.....	15
5	DURABILIDADE	19
5.1	GENERALIDADES	19
5.2	TIPOS DE AÇÕES DELETÉRIAS AO CONCRETO	24
5.2.1	Mecanismo de transporte de água, íons e gases no concreto.....	27

5.3	DURABILIDADE DO CONCRETO COM ADIÇÕES	28
6	PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	35
6.1	MATERIAIS.....	37
6.1.1	Agregado Graúdo.....	37
6.1.2	Agregado miúdo	39
6.1.3	Cinza da Casca de Arroz.....	41
6.1.4	Borracha de Pneu	45
6.1.5	Cimento.....	48
6.1.6	Sílica Ativa	50
6.1.7	Superplastificante.....	52
6.1.8	Água.....	52
6.2	MÉTODOS PARA A REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS	52
6.2.1	Preparação do Traço dos concretos de Alto Desempenho.....	54
6.2.2	Consistência	56
6.2.3	Incorporação de ar	56
6.2.4	Compressão Axial de Corpos-de-prova de concreto	57
6.2.5	Absorção de Água.....	58
6.2.6	Absorção por capilaridade	59
6.2.7	Permeabilidade a Água	60
6.2.8	Ciclagem Água/Estufa	61
6.2.9	Resistência ao ataque químico	61
6.2.10	Frente de Penetração de Cloretos – explicar mais	62
6.2.11	Ensaio de Abrasão/Erosão	63
7	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	65
7.1	CONSISTÊNCIA DO CONCRETO	65

7.2	INCORPORAÇÃO DE AR NO CONCRETO	67
7.3	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO NO CONCRETO	68
7.4	ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	70
7.5	PERMEABILIDADE	75
7.6	CICLAGEM ÁGUA ESTUFA	80
7.7	RESISTÊNCIA AO ATAQUE QUÍMICO	82
7.8	FRENTE DE PENETRAÇÃO DE CLORETOS NO CONCRETO	84
7.9	ABRASÃO/EROSÃO NO CONCRETO	87
8	CONCLUSÕES.....	89
8.1	CONCLUSÃO	89
8.2	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	91
9	REFERÊNCIAS.....	92
10	ANEXOS.....	102

1 INTRODUÇÃO

A cada ano a construção civil vem apresentando inovações no mercado, em busca de mais qualidade e velocidade nas construções, aumentando a preocupação com segurança e durabilidade das estruturas de concreto.

Os materiais de construção são responsáveis pela caracterização de cada obra, sendo fundamentais para a determinação da sua qualidade e durabilidade.

Para atender toda a demanda do mercado são necessários avanços na tecnologia dos materiais, buscando constantemente soluções para os problemas encontrados nas edificações.

Em função da busca por novas tecnologias, a pesquisa em questão foca a durabilidade dos concretos com adições de resíduos, considerando-os como prováveis materiais de construção, contribuindo com a diminuição do seu descarte de forma imprópria na natureza.

1.1 IMPORTÂNCIA DA PESQUISA

Segundo Mehta e Monteiro (2008) 40% dos investimentos na construção civil, nos países industrialmente desenvolvidos são destinados para a manutenção das estruturas e apenas 60% são para a realização de novas estruturas. Este fato estimula os profissionais a dar soluções adequadas para cada tipo de construção com a preocupação voltada para a sua durabilidade e funcionalidade.

Uma das iniciativas para aumentar a durabilidade das estruturas de concreto no Brasil deu-se pela revisão da NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2007) no ano de 2003. A preocupação com o tamanho dos cobrimentos para as armaduras e com a classificação dos meios de

agressividade foi melhorada, entendendo que o desempenho de um material se dá pelo seu desempenho mecânico, acústico, estético e químico, dentre outros.

As manifestações públicas em diversos países vêm alertando sobre as modificações climáticas ocasionadas, principalmente, pela poluição, resultando no aumento da temperatura global e na ocorrência de constantes enchentes, furacões, nevascas, etc. Estas modificações também aumentam a responsabilidade dos engenheiros, uma vez que as ações deletérias no concreto serão maximizadas e as estruturas deverão estar preparadas para resistir a estas ações.

Em conjunto com a durabilidade dos concretos, mas com um ponto de vista voltado para a parte ecológica, a pesquisa propõe que resíduos fossem inseridos no concreto para a análise da durabilidade, uma vez que foram comparados com um traço produzido com Sílica Ativa (SA), utilizada comumente na produção de concretos com necessidade de alto desempenho nas suas propriedades.

Segundo o Arroz (2008), o país possui uma das maiores safras mundiais de arroz, sendo que a safra de 2007/8 atingiu mais de 11 milhões de toneladas de grãos em casca produzidos. Somente com a safra dos dez maiores produtores de arroz no mundo são mais de 600 milhões de toneladas por ano. Para ressaltar a importância da utilização deste resíduo, a cinza da casca de arroz (CCA) corresponde a 4 % do peso do arroz em casca, aparentemente um valor não expressivo, mas em relação à produção mundial nota-se a sua grandeza e potencialidade.

Os pneus quando descartados a céu aberto, representam danos à natureza sendo que o tempo para sua decomposição é por volta de 600 anos, além do acúmulo de água gerando doenças (COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DO CEARÁ - CAGECE, 2007). O Brasil ainda encontra um grande desafio para conseguir dar finalidade adequada aos pneus em seu território, pois são mais de 40 milhões produzidos a cada ano e quase a metade acaba sendo descartado (AMBIENTE BRASIL, 2007).

Segundo Foletto et al. (2005), utilizar a geração de energia através da queima da casca de arroz é uma boa alternativa tecnológica, viável do ponto de vista econômico e ética do ponto de vista ecológico, uma vez que exista uma tecnologia para o reaproveitamento e matéria-prima em abundância. Assim todo CO₂ produzido na queima voltará para o ciclo de carbono da biosfera terrestre.

A incorporação de resíduos industriais ao concreto, como a Cinza da Casca de Arroz, pode ser uma importante forma de conduzi-los a uma finalidade nobre e ambientalmente correta, tornando-se uma das soluções para o aproveitamento de subprodutos poluentes (PRUDÊNCIO JUNIOR et al., 2003).

As propostas que são descritas nesta pesquisa referem-se à utilização do Concreto de Alto Desempenho (CAD), com adições de resíduos para todos os tipos e tamanhos de obras, tornando-as mais ecologicamente corretas e buscando aumentar a vida útil das estruturas, numa busca por estruturas mais duráveis e econômicas, minimizando o custo de manutenção.

Os resultados de durabilidade poderão dar margem para se propor a aplicação destes traços nas obras de maior conveniência, como barragens, edifícios altos, pavimentos industriais, pilares expostos a condições de extrema agressão, obras próximas ao mar, verificando a qualidade dos concretos quando submetidos aos agentes agressores.

A pesquisa não buscou entrar em questões mais profundas como o custo envolvido na realização dos traços praticados neste trabalho. A substituição de materiais comuns utilizados na construção civil, por resíduos, às vezes pode não minimizar gastos. Sendo assim, a questão custo foi apenas citada para enfatizar que concretos mais duráveis podem diminuir os gastos com a manutenção das estruturas ao longo dos anos.

1.2 OBJETIVO

O objetivo da pesquisa consiste em avaliar experimentalmente o comportamento das adições de Cinza da Casca de Arroz em substituição a parte da massa de cimento e da Borracha de Pneu em substituição a parte da massa de agregado miúdo, nas propriedades do Concreto de Alto Desempenho que podem contribuir na durabilidade dos traços de concreto produzidos.

A avaliação da durabilidade será realizada pelas propriedades do concreto de alto desempenho, que de uma maneira geral possam qualificar a potencialidade do concreto, tendo como traço referência um concreto produzido com Sílica

Ativa, pozolana de uso comercial e a partir destas propriedades indicar as obras que possam vir a utilizar estes tipos de concreto.

1.3 ESTRUTURA DA PESQUISA

A divisão da pesquisa em etapas promove a melhor compreensão dos assuntos e conceitos abordados, sendo então, distribuída em 10 capítulos.

- O primeiro capítulo abrange a introdução ao tema abordado, sua importância, objetivo e estrutura da pesquisa.
- O segundo, terceiro, quarto e quintos capítulo, abordam a revisão da literatura, compreendendo tópicos de interesse específico desta pesquisa: concreto de alto desempenho, cinza de casca de arroz, borracha de pneu e, durabilidade do concreto.
- No sexto capítulo constam as atividades experimentais, planejamento e execução dos ensaios para caracterização dos materiais, moldagem dos corpos-de-prova, ensaios preliminares e durabilidade.
- O sétimo capítulo constitui a apresentação, a análise e a discussão dos resultados obtidos.
- O oitavo capítulo aborda as conclusões, apresentações das considerações finais dos resultados obtidos.
- E o nono capítulo, consta as referências bibliográficas, que serviram de base para esta pesquisa.
- No décimo capítulo estão os anexos da pesquisa

2 CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO

2.1 HISTÓRICO

A definição de Concreto de Alto Desempenho foi se modificando a cada avanço na tecnologia do concreto, com novas propostas disseminadas e discutidas, alterando nomenclaturas e procedimentos antigos ou que de certa forma já estivessem ultrapassados.

Com o passar das décadas o consumo de cimento no concreto vem decrescendo para as classes de resistência. Na década de 50 um concreto considerado de alta resistência chegava a 35 MPa, passada uma década o aumento foi para 50 MPa de resistência à compressão e a nomenclatura de concreto de alta resistência começou a ser difundida. Na década de 80 com a utilização de aditivos superplastificantes e pozolonas artificiais como a Sílica Ativa, os resultados mostraram concretos de até 100 MPa, alterando os conceitos e aumentando o desempenho de algumas propriedades.

Em Neville (1997), o conceito de alto desempenho destaca concretos com altas resistências à compressão, mas que também possuam outras propriedades como alto módulo de elasticidade, alta massa específica, baixa permeabilidade e boa resistência aos ataques dos agentes agressores do meio externo.

Por ter uma ampla definição e várias formas de definição o Concreto de Alto Desempenho para pesquisa em questão foi considerado como o concreto com a resistência à compressão mínima de 50 Mpa.

2.2 PRODUÇÃO DO CAD

A seleção criteriosa dos materiais e das etapas de dosagem, de mistura, de adensamento, de transporte e de cura, aliado ao uso preciso de aditivos químicos e minerais, influenciam no processo de hidratação, na consistência, na resistência e nas demais propriedades dos concretos fresco e endurecido.

Para Aïtcin (2000, p. 181-184) não há especificação ideal para o tipo de cimento em relação à produção do concreto de alto desempenho.

O uso de aditivos superplastificantes permite a obtenção de CAD de alta consistência com abatimento de até 20 ± 2 cm com coesão adequada para o lançamento e com pouco risco de segregação. A consistência do CAD é determinada através do ensaio do abatimento do tronco de cone, mas a sua avaliação torna-se difícil pelo fato de ser um concreto muito fluido, fazendo com que o cone de concreto entre em colapso (AITCIN, 2000, p.394).

Neville (1997) afirma que a relação a/c deve ser sempre menor que 0,35, e desta forma, junto com as adições minerais pode trazer inúmeros benefícios técnicos, como a menor entrada dos agentes agressivos, íons cloreto ou carbonatação, à pasta de cimento endurecido, devido ao tamponamento dos poros.

2.3 MICROESTRUTURA E PROPRIEDADES

Como a quantidade de água no concreto de alto desempenho é baixa as partículas de cimento acabam por não hidratar em sua totalidade, pois a união de pequenas partículas de cimento impede a hidratação por não ter também água em abundância para auxiliar na separação dos grãos de cimento. Sendo assim, torna-se quase indispensável o uso de superplastificantes para uma maior dispersão dos grãos dos aglomerantes e agregados (AÏTCIN, 2000).

O CAD possui massa específica em torno de 2500 kg/m^3 , dado seu alto consumo de cimento e sua baixa quantidade de água, que possibilita a diminuição da porosidade do concreto e aumentando sua massa específica.

Segundo Aïtcin (2000, p. 393 - 398) a variação da massa específica foi de 50 a 100 Kg/m^3 dependendo da quantidade de ar incorporado ao concreto de alto

desempenho, sendo que este geralmente apresenta teores entre 1 a 3% de ar aprisionado. Os valores aumentam à medida que a relação água/aglomerante é reduzida através de combinações de cimento/superplastificante, com a possibilidade da obtenção de teores de ar incorporados entre 1% e 1,5% para relações água/aglomerante de 0,30, contribuindo para o aumento da resistência a compressão no CAD.

3 CINZA DA CASCA DE ARROZ

3.1 DEFINIÇÃO E GENERALIDADES

A CCA é um composto orgânico proveniente da queima da casca do grão de arroz que após este processo apresenta propriedades químicas semelhantes à Sílica Ativa.

A Sílica é uma combinação de silício e oxigênio na forma SiO_2 e na cinza de casca de arroz aparece em abundância, em valores próximos a 90% de sua composição química. Junto à sílica pode ter até 15% em peso de carbono dependendo do tipo de queima empregado em sua produção o que pode ocasionar a desvalorização comercial do produto.

O uso da cinza da casca de arroz tem como grande parte de sua potencialidade ligada à forma e temperatura de queima, estas responsáveis pela cristalização ou não de seu arranjo molecular bem como nas suas propriedades químicas e físicas.

Ao invés de se realizar uma queima com temperatura controlada, optou-se por construir um forno que pudesse maximizar o potencial da CCA com um baixo custo, e seu estudo foi sendo aprimorado ao longo dos anos por vários autores e cada vez mais o seu potencial está se aprimorando.

A queima sem controle trouxe pequena perda de qualidade para o material, se comparados a outros estudos, mas o grande mérito de sua utilização está em se produzir uma CCA com tamanha qualidade a um baixo custo produzindo uma cinza amorfa, clara, com baixo teor de carbono e sem controle de temperatura.

Uma outra forma de obtenção da CCA seria basicamente, em submeter cascas de arroz a um tratamento químico, geralmente utilizando ácido clorídrico, ácido sulfúrico ou hidróxido de sódio, seguida por aquecimento que varia de 600 a 800 °C, dependendo do processo.

Segundo Della (2006), algumas propriedades da CCA podem ser enaltecidas por meio deste tratamento realizado na CCA, valorizando ainda mais o produto e melhorando suas características de pureza.

A partir destes processos poderia se obter uma sílica de alta pureza, em torno de 99,0% de SiO_2 e com superfície específica elevada, caracterizando uma boa reatividade, mas todo este processo encarece o produto final, estando no sentido contrário da pesquisa que busca reutilizar os resíduos sem que estes representem custos maiores para a produção de concreto.

3.2 EFEITOS DA ADIÇÃO DA CCA

A CCA por ser um material muito fino e com características químicas análogas a Sílica ativa promove grandes mudanças na reologia do concreto, alterando e melhorando várias características e propriedades.

3.2.1 Efeito Pozolana

O efeito pozolana da CCA consiste na característica química, que por ser semelhante à sílica ativa e ter praticamente só sílica amorfa, reage com grande rapidez com hidróxido de cálcio (C-H) produzindo o silicato de cálcio hidratado (C-S-H), gerado do processo de hidratação do cimento e, desta forma contribui para o aumento da resistência à compressão e da resistência química.

3.2.2 Efeito Partícula

O efeito partícula ocorre pela adição de uma pozolana muito fina em contato com o cimento. Esta adição de uma pozolana muito fina contribui com o processo de hidratação do cimento a curtas idades, produzindo maiores quantidades de hidróxido de cálcio (C-H).

3.2.3 Efeito Microfíler

O efeito físico ou efeito microfíler acontece pelo reduzido tamanho das partículas ($\sim 0,1 \mu\text{m}$), que se introduzem entre os grãos de cimento e se alojam nos interstícios da pasta de cimento, reduzindo o espaço disponível para a água, atuando como ponto de nucleação, resultando num melhor empacotamento entre todas as partículas, o que aumenta a compacidade dos concretos (VIEIRA et al., 2008).

Em decorrência da utilização de sílica ativa ou outra pozolana muito fina, ocorre a minimização da zona de interface. Este fato pode ser observado pelos resultados de Mehta e Monteiro (1994, p.18) nos quais verificaram que a espessura da zona de transição variou em torno de $50 \mu\text{m}$, para os traços sem adição de sílica, enquanto nos concretos com sílica ativa os valores foram inferiores a $10 \mu\text{m}$.

A figura 1 mostra o efeito fíler da sílica ativa e outros materiais muito finos.

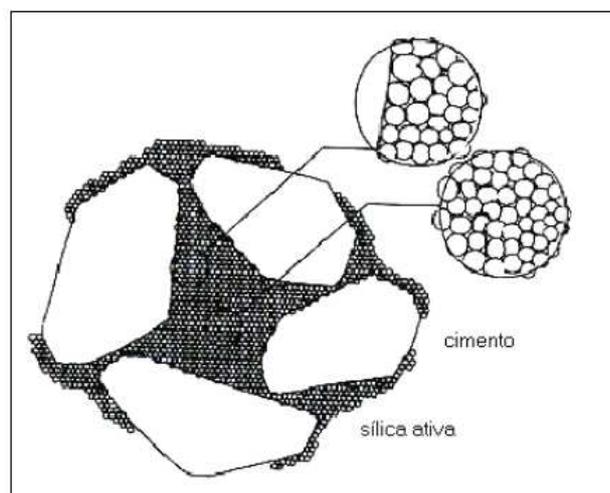


Figura 1. Efeito fíler da sílica ativa.
Fonte: Aïtcin (2000).

3.2.4 Efeito dos Pontos de Nucleação

As partículas são atraídas para lugares onde possuam volumes de água tal como capilares e regiões de interface entre agregados e pasta de cimento, substituindo os cristais grandes e orientados, de hidróxido de cálcio, por inúmeros cristais, pequenos e menos orientados. Este posicionamento em regiões porosas nas primeiras idades, e durante os primeiros períodos do processo de hidratação, auxilia formando barreiras no interior dos poros, interrompendo a continuidade dos poros capilares ou densificando a zona de interface pasta/agregado. Deste modo distribui o estado de tensão negativa, evitando retrações danosas (GRIGOLI; HELENE, 2008).

3.3 CONCRETO PRODUZIDO COM CCA

Mehta (1977) já realizava estudos com a utilização da CCA e mostrou em um de seus estudos iniciais que a CCA era um material compatível na utilização com cimento, dada sua composição química, que em quase sua totalidade era a base de sílica, e em substituição de até 70% de cimento ainda conseguia atingir resistências próximas ao traço referência, com cimento convencional. Nesta mesma pesquisa o autor já se referia a CCA com grande entusiasmo mostrando que além do potencial na construção civil, o material ainda seria de grande valia numa contribuição ecológico-financeira e que a queima da casca de arroz ainda poderia gerar energia.

Zhang e Malhotra (1996) realizaram seus trabalhos comparando a substituição cimento por sílica ativa e CCA, mostrando que a CCA teve comportamento similar aos resultados de resistência à compressão da Sílica Ativa. A CCA atingia grandes resultados após os 180 dias sendo muito próxima aos valores encontrados para SA, sendo ainda excelente no combate a penetração de íons cloreto, na resistência a ciclos de congelamento/descongelamento e somente como contraponto o uso de altas doses de superplastificantes e a incorporação de ar.

Segundo Zhang, Lastra e Malhotra (1996) a incorporação da CCA para o uso em concreto tem grande eficiência, pois consegue reduzir a porosidade do concreto e a quantidade de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ na interface da zona de transição, reduzindo

a largura entre o agregado e a pasta de cimento, entretanto, a porosidade da CCA na zona de transição foi maior que quando utilizou-se Sílica Ativa.

A figura 2 mostra a resistência à compressão nos traços com sílica ativa e cinza da casca de arroz.

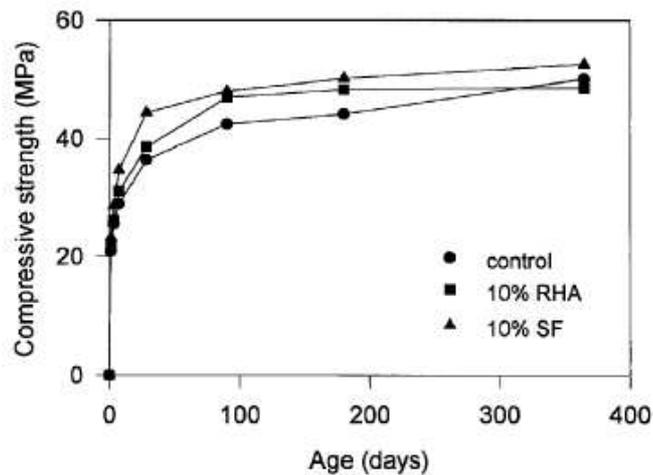


Figura 2. Resistência à compressão.
Fonte: Zhang, Lastra e Malhotra (1996).

Segundo Silva (2004), o efeito do tempo de moagem na cinza amorfa para o ensaio de resistência à compressão de argamassas mostrou que para 30 minutos de moagem houve uma melhora significativa nos resultados. A resistência à compressão da argamassa foi maior para com o teor de substituição entre 5% e 10%.

Para Teixeira (2008), a adição da CCA em substituição ao cimento, mesmo em altas porcentagens, 15% e 25% manteve resultados próximos ou até superiores ao concreto controle, realizado com apenas cimento, para o ensaio de resistência a compressão.

Costenaro e Libório (2003) mostraram em seus estudos que a incorporação da CCA no concreto, em substituição a parte do cimento, contribuiu com algumas propriedades mecânicas e o traço mais pobre apresentou resistências superiores a 60 MPa, mesmo para um cimento com 30% de escória de alto forno em sua composição, e adição de 10% da CCA.

Para Pedrozo et al. (2007) as adições de 15 e 25% de CCA moída e de 15% de CCA natural com relação à resistência à compressão axial apresentaram

valores superiores ou muito próximos daqueles obtidos pelo traço referência, em todas as idades de ensaio, porém aos 91 dias, a mistura com 25% de CCA natural apresentou desempenho inferior ao de referência. Já no ensaio de absorção de água não houve variação significativa para as adições estudadas pelos autores.

Para Ribeiro et al. (2006), os concretos produzidos com teor de substituição de cimento por CCA entre 5 e 10% obtiveram os melhores resultados para a resistência à compressão, sendo que para valores mais elevados de relação água/aglomerante, o traço com melhor desempenho foi com 5% de CCA. O autor ainda relatou o bom desempenho na propriedade de absorção de água para o concreto, sendo que, seus traços mantiveram menos de 10% de absorção de água por imersão.

Segundo Cordeiro, Toledo Filho e Fairbairn (2006), apesar da necessidade de uma quantidade maior de aditivo para manter a mesma consistência no concreto, os valores da tensão cisalhante de escoamento para os traços com CCA foram menores, a cinza da casca de arroz mesmo tendo alta quantidade de carbono promoveu aumento na resistência à compressão e reduziu a penetração de cloretos.

Hasparik (2003) notou que a adição de CCA contribuiu para a diminuição da permeabilidade do concreto, classificando como de baixa permeabilidade ou impermeável segundo o ensaio de percolação de água sob pressão.

O traço estudado por Barbosa (2006) mostrou a influência das adições na absorção de água do CAD. As incorporações de CCA e resíduo de RBP obtiveram valores da ordem de 1,68% aos 28 dias, sendo este valor bem inferior ao concreto controle. O efeito de microfíler contribuiu para o tamponamento dos poros, dada a granulometria fina da cinza auxiliando na diminuição da permeabilidade do concreto.

4 BORRACHA DE PNEU

A reutilização dos resíduos de borracha na construção civil é uma das várias formas de aproveitar o seu potencial, na melhoria de algumas propriedades do concreto e fazer com que esteja inerte num local, sem ocasionar mal a sociedade.

4.1 DEFINIÇÃO E GENERALIDADES

A borracha é um composto originário do látex presente nas árvores denominadas de seringueiras e que após passar por um processo de industrialização dá origem a diversos produtos, sendo um deles o pneu de borracha dos veículos rodoviários, o qual é composto pelo próprio látex e junto a este outros produtos como o negro de fumo e também o enxofre.

A borracha de pneu que será utilizada na pesquisa é proveniente de pneus inservíveis que são passados pelo processo de recauchutagem e neste tem a sua camada exterior chamada de banda de rodagem, raspada dando origem os fragmentos pequenos que podem ser separados em diversas granulometrias.

Com a determinação do Ministério do Meio Ambiente (2007) e sua modificação pelo Ministério do Meio Ambiente (2007a) “as empresas fabricantes e importadoras de pneumáticos para uso em veículos automotores e bicicletas ficam obrigadas a coletar e dar destinação final, ambientalmente adequada, aos pneus inservíveis existentes no território nacional, na proporção definida nesta resolução relativamente às quantidades fabricadas e/ou importadas”. Estas resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA) são medidas que estão sendo implantadas para ajudar no desenvolvimento da nação em conjunto com a sua sustentabilidade, minimizando as agressões ao meio ambiente.

4.2 CONCRETO PRODUZIDO COM BORRACHA DE PNEU

Para Bignozzi e Sandrolini (2005), a utilização de borracha de pneu para a confecção de concreto necessitou de uma maior quantidade de água para se conseguir uma consistência que possibilitasse a este ser classificado como auto-adensável.

Segundo Turatsinze (2006) a adição de borracha proveniente de pneu foi apontada como uma solução para diminuir a fragilidade em ensaios com barras de argamassa, tendo como desvantagem a diminuição nas resistências à tração e compressão. O comportamento é promissor para a melhoria da durabilidade da estrutura, pois melhora a resistência à fissuração devido à aplicação de tensões.

Para Trigo (2008) a realização de concretos com adição de resíduo de borracha de pneu, com mesma resistência à compressão aos 28 dias que o traço referência foi possível através da adição de 15% mais de cimento no traço com borracha.

Segundo Minatel et al. (2008), a incorporação da borracha de pneu em barras de argamassa fez com que os resultados de resistência à compressão decrescessem até 50% do traço referência, mas, a queda na resistência não repercutiu de forma tão negativa, pois os resultados de absorção de água por imersão mostraram-se satisfatórios.

Segundo Akasaki et al. (2003) a diminuição da massa específica tornando a estrutura mais leve, juntamente com o aumento da resistência ao desgaste por abrasão são indícios que viabilizam a execução do concreto com adição de borracha de pneu para pavimentação e para peças pré-moldadas e, deste modo, também contribui para a durabilidade da estrutura.

Para César et al. (2006) a resistência à compressão do concreto com substituição de parte dos agregados por borracha de pneu representou queda superior a 40% em relação ao concreto controle, e, tendo apenas no ensaio de tração na flexão resultados próximos entre os traços com adição de borracha e o concreto de referência.

Segundo Vita et al. (2007) os valores do ensaio de módulo de elasticidade dos concretos de alto desempenho com adição de resíduos de borracha de pneu, mesmo sendo inferiores aos do traço referência, ainda foram elevados. A relação

entre a tração e a compressão apresentou a mesma ordem de proporcionalidade quando comparado com o CAD convencional. A resistência à abrasão/erosão também apresentou bons resultados com a inserção de borracha, auxiliando para o ganho de durabilidade.

Os resultados de Hernández-Olivares e Barluenga (2003) mostraram que o teor de 3% em volume de borracha no concreto obteve melhor resultado que as demais porcentagens de substituição, para o ensaio de resistência à compressão. Já para avaliação do efeito da alta temperatura no concreto, a adição de 3% de borracha reduziu a fissuração e o destacamento superficial.

As figuras 3 e 4 mostram os resultados dos ensaios realizados pelos autores Hernández-Olivares e Barluenga (2003).

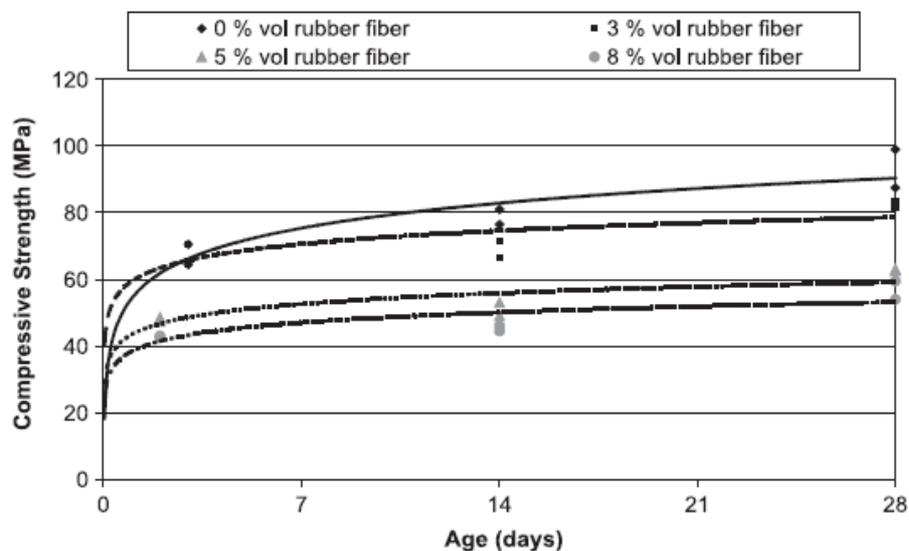


Figura 3. Efeito da adição de Borracha na resistência a compressão.
Fonte: Hernández-Olivares e Barluenga (2003).

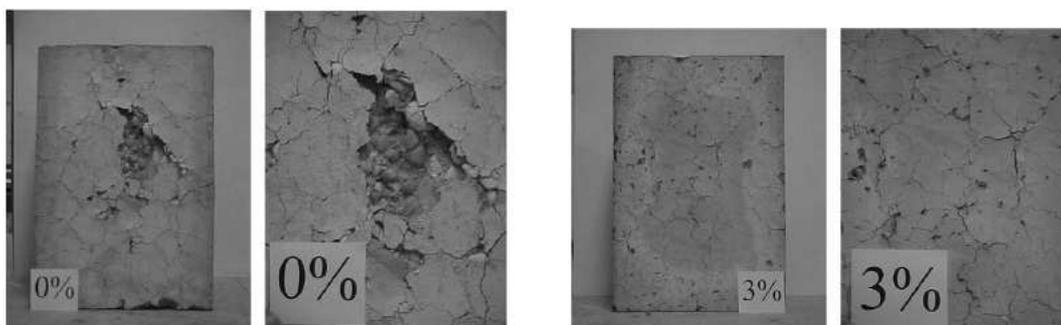


Figura 4. Efeito da adição de Borracha sob altas temperaturas.
Fonte: Hernández-Olivares e Barluenga (2003).

Segundo Martins (2005), a ruptura dos corpos-de-prova de CAD com adição de resíduos de borracha de pneu, em relação traço sem esta adição, quando submetidos à compressão, tração ou ao impacto, mostrou significativas mudanças de comportamento. A borracha de pneu teve efetiva participação física na contenção do estilhaçamento dos CPs após a ruptura, e também o aumentou a capacidade de absorção de energia para os ensaios de resistência ao impacto.

Barbosa et al. (2007) verificou que o comportamento de ruptura dos CAD com Borracha mostrou significativas mudanças de comportamento, quando submetidos ao ensaio de resistência à compressão e de resistência ao impacto, evidenciando uma grande redução da fragilidade e o aumento da capacidade de absorção de energia.

Segundo Marques 2005 o efeito do aquecimento até altas temperaturas no CAD com borracha afetou fortemente o módulo de elasticidade promovendo queda superior a 90% nos resultados. A diferença entre os resultados do concreto referência e o concreto com borracha também foram mantidas com uma ordem de 30% menor para o concreto com borracha. A queda da consistência foi notada nos ensaios com borracha e para sua correção aumentou-se a relação água/cimento da mistura.

Marques 2005 também estudou o efeito do aquecimento dos CPs de concretos na resistência à compressão. A perda de resistência entre concreto referência e concreto com borracha foi da ordem de 44%.

Segundo Vita et al. (2006), os concretos de alto desempenho com adição de RBP na porcentagem de 3%, apresentaram valores de resistência à compressão bastante próximos, independentemente da granulometria de borracha empregada, como mostra a figura 5 a seguir.

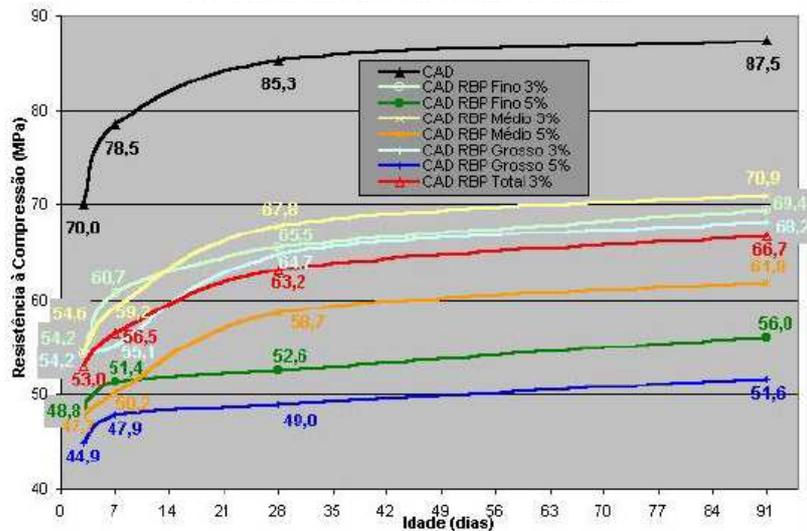


Figura 5. Efeito dos tipos de granulometria na resistência a compressão.

Fonte: Vita et al. (2006).

Segundo Rossignolo (2007) a adição da sílica ativa no concreto proporciona diminuição da zona de transição entre o agregado e a pasta de cimento. No traço com sílica ativa e a latex juntos, a queda no tamanho da zona de transição foi de 50 % em comparação ao concreto controle, além de melhorar a qualidade dos produtos de hidratação do cimento Portland nesta região, diminuindo o teor de C-H.

Para Rossignolo (2005) o bom desempenho da atuação da sílica ativa e do látex em pastas de cimento, foi evidenciado pela redução da porosidade e do teor de C-H, favorecendo a impermeabilização.

Para Nascimento, Trindade e Formagini (2007) uma alta substituição da areia do concreto por resíduo de borracha de pneu, entre 20 e 40%, ocasiona grande queda nos valores de resistência à compressão e à tração, mas para os ensaios de absorção de água por capilaridade e por imersão os resultados foram significativamente melhores que o concreto controle, como mostra a tabela 1.

Tabela 1. Ensaio de Absorção de água.

Fonte: Nascimento, Trindade e Formagini (2007).

Ensaio	Concreto controle	20% Borracha	40% de Borracha
Absorção Capilar (g/cm ²)	1,13	0,61	0,81
Absorção por imersão (%)	6,21	4,04	4,78
Massa específica (g/cm ³)	2,36	2,32	2,23

5 DURABILIDADE

5.1 GENERALIDADES

A expressão durabilidade do concreto geralmente é empregada para mostrar de forma ampla o comportamento do concreto aos agentes agressores do meio ambiente.

Segundo Mehta e Monteiro (1994), a durabilidade pode ser expressa como capacidade de uma estrutura em manter um desempenho mínimo num determinado período de tempo, sob a influência de agentes agressivos. Para tanto é necessário saber o tipo finalidade e os agentes agressores desta estrutura, para analisar o seu comportamento ao longo do tempo.

A durabilidade de uma estrutura está relacionada com materiais que a constituem. Exemplos na construção civil são o agregado, o cimento, o aço, a água e as adições utilizadas na confecção dos concretos. O processo construtivo é outra parcela de contribuição para a durabilidade, assim uma obra bem executada tem grande influência na durabilidade da estrutura.

A durabilidade do concreto não é uma grandeza a ser medida com exatidão. No país e no mundo há vários modelos empíricos e outros experimentais que podem ser realizados para mensurar a durabilidade do concreto, mas as condições de contorno são muitas e geralmente específicas para cada tipo, localização e agentes agressivos nos arredores das obras.

Com o surgimento de inovações tecnológicas dos sistemas construtivos e modelos de cálculo, a esbeltez das estruturas foi aumentada, reduzindo as dimensões das peças estruturais que por sua vez contribuíram negativamente para a construção civil no aspecto de durabilidade, dada a diminuição do cobrimento das armaduras.

As figuras 6, 7 e 8 mostram as classes de agressividade, a relação água/cimento respectivamente e os cobrimentos mínimos a serem adotados para cada classe de agressividade, respectivamente.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{1), 2)}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹⁾	Grande
		Industrial ^{1), 2)}	
IV	Muito forte	Industrial ^{1), 3)}	Elevado
		Respingos de maré	

¹⁾ Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

²⁾ Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

³⁾ Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Figura 6. Classes de agressividade.

Fonte: NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2007, p. 16).

Concreto	Tipo	Classe de agressividade (tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

NOTAS

1 O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

2 CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

3 CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Figura 7. Relação água/cimento para as classes de agressividade.

Fonte: NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2007, p. 18).

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ³⁾
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ²⁾	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50
Concreto protendido ¹⁾	Todos	30	35	45	55

¹⁾ Cobrimento nominal da armadura passiva que envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão fragilizante sob tensão.

²⁾ Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros tantos, as exigências desta tabela podem ser substituídas por 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

³⁾ Nas faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Figura 8. Cobrimento mínimo para as classes de agressividade.

Fonte: NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2007, p. 19).

Com o aumento do cobrimento mínimo das estruturas o ganho de vida útil será maximizado melhorando a durabilidade e diminuindo o custo com reparos e a entrada de agentes agressores. A figura 9 mostra a probabilidade de início de corrosão em relação ao cobrimento mínimo adotado.

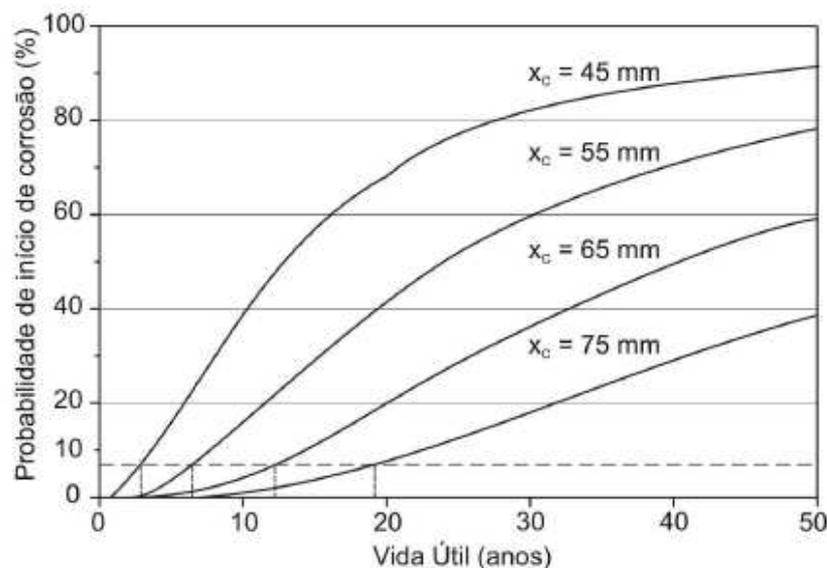


Figura 9. Efeito do cobrimento na durabilidade.

Fonte: Ferreira (2006).

Uma das formas mais abrangentes de análise está na realização de ensaios comparativos abordando propriedades intrínsecas referentes à durabilidade.

Outra forma de se mensurar a durabilidade é através do tipo de exposição a que o material vai ser submetido, e assim, verificar o modo mais apropriado para combater os agentes agressivos.

No Brasil a durabilidade do concreto tem como fator de grande influência o clima. O país encontra-se contido praticamente em toda sua extensão em uma porção de clima tropical, onde a amplitude térmica, a temperatura e a umidade são, na maioria dos dias do ano, muito elevadas e as estruturas de concreto acabam por sofrer com a ação da água.

A figura 10 mostra a temperatura média anual e chuva acumulada no Brasil e a figura 11 a umidade relativa do ar média para o Brasil.

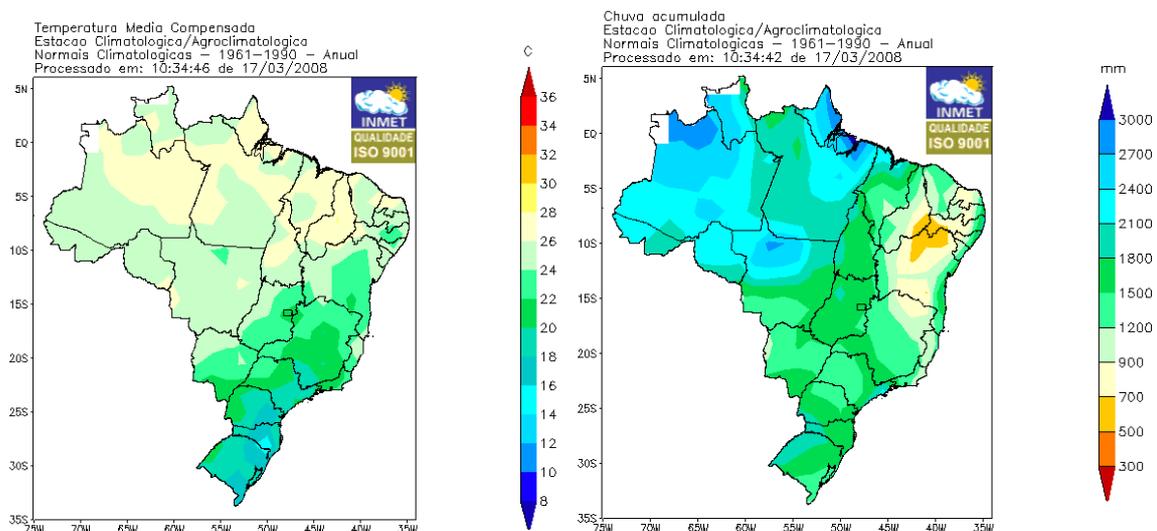


Figura 10. Temperatura Média e Chuva Acumulada Anual no Brasil.
Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2008).

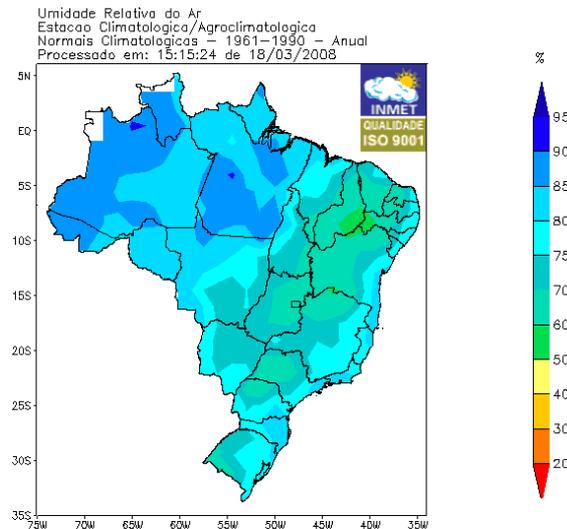


Figura 11. Umidade Relativa Anual no Brasil.
 Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2008).

O ambiente de implantação da obra também tem um grande valor para a avaliação da durabilidade. Para cada construção, no interior dos estados ou em uma área da capital, com grande fluxo de pessoas e veículos, os cuidados sobre a durabilidade devem ser verificados.

Principalmente nas grandes cidades a influência da temperatura em regiões distintas pode ser verificada pela formação de Ilhas de Calor conforme mostra a figura 12.

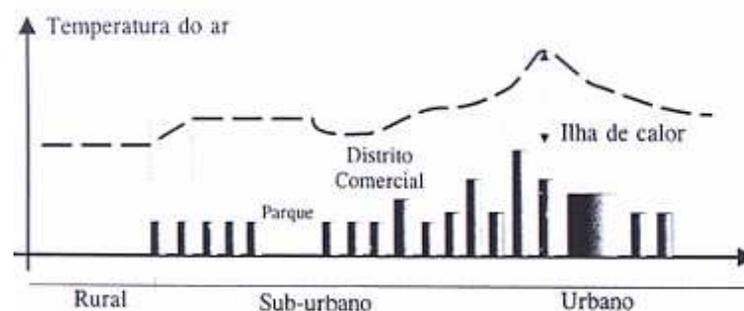


Figura 12. Formação de Ilhas de Calor.
 Fonte: Isaia (2005a)

5.2 TIPOS DE AÇÕES DELETÉRIAS AO CONCRETO

Na natureza encontram-se diversos fatores responsáveis pela degradação do concreto, podendo dividi-los em agentes agressivos físicos, químicos e mecânicos.

Considerando o modelo holístico de deterioração do concreto, entendendo o concreto como um todo e a noção de um conjunto de fatores onde as interconexões entre o quadro fissurativo superficial e as fissuras internas, microfissuras e poros do concreto agem como caminhos preferenciais para a entrada de agentes agressores que na maioria das vezes vem acompanhada pela água (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Grande causa de patologias no concreto está relacionada à água, esta é considerada como solvente universal, sendo responsável na maioria das vezes, por trocas químicas e físicas, produzindo uma ação degenerativa a partir da dissolução dos compósitos do concreto.

Diversos outros fatores são causas de degradação no concreto como mostra a tabela 2 a seguir.

Tabela 2. Fatores de degradação no concreto.

Fonte: Ferreira (2000).

Fator de degradação	Processo	Degradação
Mecânicos		
Carregamento estático	Deformação	Deflexão, fissuração, ruptura
Carregamento cíclico	Fadiga, deformação	Deflexão, fissuração, ruptura
Carregamento por impacto	Fadiga	Vibração, deflexão, fissuração, ruptura
Biológicos		
Microorganismos	Produção de ácido	Lixiviação
Bactéria	Produção de ácido	Lixiviação
Químicos		
Água pura	Lixiviação	Desagregação do concreto
Ácido	Lixiviação	Desagregação do concreto
Ácido e gases ácidos	Neutralização	Despassivação do aço
Dióxido de carbono	Carbonatação	Despassivação do aço
Cloretos	Penetração, destruição da camada de passivação	Despassivação do aço
Despassivação do aço + $H_2O + O_2$	Corrosão	Expansão do aço, perda de aderência
Tensão + cloretos	Corrosão do aço	Ruptura dos tendões de pré-esforço
Sulfatos	Pressão dos cristais	Desagregação do concreto
Agregados (sílica) + alcalis	Reação da sílica	Expansão, desagregação
Agregados (carbonato) + alcalis	Reação do carbonato	Expansão, desagregação
Físicos		
Variação de temperatura	Expansão / Contração	Deformação restringida
Variação de umidade	Retração e expansão	Deformação restringida
Baixa temperatura + água	Formação do gelo	Desagregação do concreto
Sal descongelante + geada	Transferência de calor	Destacamento do concreto
Gelo (mar)	Abrasão	Destacamento, fissuração
Trânsito	Abrasão	Desgaste e ruptura
Água corrente	Erosão	Danos superficiais
Água turbulenta	Cavitação	Cavidades
Eletromagnéticos		
Eletricidade	Corrosão	Expansão do aço, perda de aderência
Magnetismo	Corrosão	Expansão do aço, perda de aderência

Diante de tantos mecanismos de deterioração a pesquisa em questão abordará alguns casos específicos e verificará o comportamento dos concretos à exposição destes agentes agressores. As figuras de 13 a 18 mostram alguns tipos de deterioração (FERREIRA, 2000).



Figura 13. Efeito da abrasão em pisos industriais.



Figura 14. Efeito da variação brusca de temperatura.

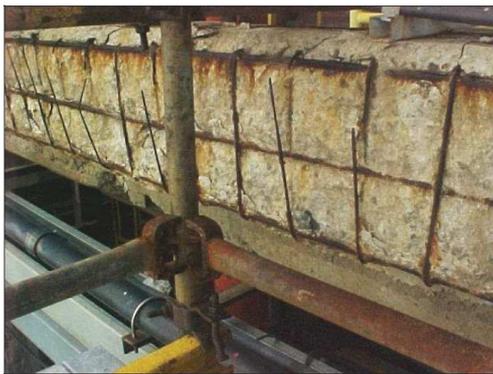


Figura 15. Efeito da deterioração de uma viga em indústria química.



Figura 16. Efeito da deterioração por Cloretos em estrutura próxima ao mar.



Figura 17. Efeito do contato com a água em galerias pluviais.



Figura 18. Efeito da umidade em túnel de indústria de vinho.

5.2.1 Mecanismo de transporte de água, íons e gases no concreto

A sucção capilar ou absorção é o processo pelo qual os líquidos, particularmente a água, podem ser transportados no concreto através dos poros capilares devido à tensão superficial. O teor de umidade do concreto tem uma grande influência na sucção capilar.

O tamanho dos poros e a conexão entre eles podem classificá-los como macroporos, poros capilares e microporos. Os poros capilares e os macroporos têm grande importância na durabilidade, pois, em termos gerais, a resistência do concreto às influências químicas e físicas é significativamente reduzida com o aumento dos poros capilares (FERREIRA, 2000).

A figura 19 mostra a classificação dos poros em relação ao seu tamanho e continuidade.

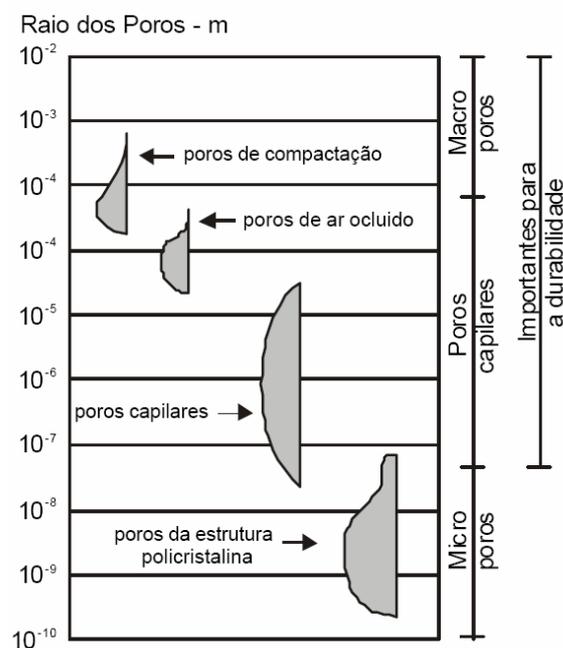


Figura 19. Classificação dos poros.
Fonte: Ferreira (2000)

A permeabilidade de um material se caracteriza por sua atitude de deixar-se atravessar por um fluido submetido a um gradiente de pressão. Em relação à corrosão das armaduras, o líquido de maior interesse é a água, mas as estruturas também podem ser permeáveis a gases como CO₂ e O₂.

A difusão é a transferência de massa por movimento aleatório de moléculas ou íons na solução dos poros, desde as regiões com altas concentrações até regiões com baixas concentrações da substância que difunde. Este processo está relacionado tanto com a absorção de água quanto para a permeabilidade, pois quando a água que entrou no concreto retorna ao meio ambiente leva consigo estes íons e moléculas, e portanto, é um mecanismo de transporte fundamental para as análises dos ensaios de absorção, de penetração de água e cloretos, de ciclagens e de ataque químico.

Para Medeiros (2005) a presença de microfissuras na pasta endurecida, em conjunto com as ações de absorção e difusão do concreto, permitem a entrada de agentes agressores que geram reações com Ca(OH)_2 , que é solúvel na presença de água, produzindo gesso (CaCO_3) e para SO_3 , CO_2 ou Cl^- e produzindo CaCl_2 .

5.3 DURABILIDADE DO CONCRETO COM ADIÇÕES

Segundo Isaia (2005b) as obras construídas no século XX tiveram queda na durabilidade, pois se buscou apenas aumentar a velocidade de construção das obras. Para tal usou-se mais cimentos com maior resistência inicial e uma maior quantidade de aglomerante por metro cúbico, aumentando o calor de hidratação, que por consequência gerou fissuração e deixou as estruturas sujeitas à ação dos agentes agressores.

Segundo Chan e Wu (2000) a durabilidade de concretos com substituição de cimento por resíduos teve como requisitos básicos a comparação dos resultados de absorção, de permeabilidade a água, de resistência à compressão e de consistência. Seus estudos indicaram que os concretos podem ser duráveis mesmo com a substituição de parte da massa de cimento por resíduos. O aumento da resistência à compressão teve relação direta com o decréscimo da absorção de água e da permeabilidade e utilizou superplastificantes para resolver o problema do consumo de água por materiais mais finos, para manter a consistência do concreto.

Santos (2006) verificou em seus estudos que o concreto com baixa permeabilidade e alta resistência à compressão teve comportamento satisfatório sob a ação de ácidos, no local de aplicação de seu estudo de caso. O pH da estrutura apresentou apenas alteração numa faixa próxima à superfície, não ocasionando queda de resistência à compressão significativa e também não compromete a durabilidade da estrutura de curto em médio prazo.

Segundo Akasaki et al. (2008) o efeito da adição de 5 e 10% de CCA no concreto ocasionou a queda na profundidade de penetração de água, embora seus resultados de absorção de água mostrassem que com apenas 10% de CCA houve queda na absorção de água por imersão. No referente ao ensaio de abrasão, a adição de CCA mostrou, para todos os teores de substituição, resultados melhores que o concreto de referência.

Para Carbonari et al. (2002), nas situações de emprego do concreto onde há a possibilidade de penetração de água no mesmo, faz-se a necessidade de utilização de um concreto de alto desempenho, dada suas propriedades de permeabilidade e absorção de água serem mais eficientes, quando comparado com os concretos convencionais.

Para os ensaios de permeabilidade e absorção capilar, a adição da cinza casca de arroz se mostra favorável à durabilidade do concreto, resultando em valores inferiores para estes ensaios, quando comparados a um concreto de referência (CARBONARI et al., 2002).

Sensale e Dal Molin (2001) relataram em seu trabalho que o quesito durabilidade, avaliado pelos ensaios de absorção capilar e permeabilidade mostrou que a cinza da casca de arroz contribuiu para a queda da permeabilidade e da capilaridade em relação ao traço referência.

Em relação à resistência à abrasão, os valores encontrados para os concretos dosados com adições de CCA e resíduo de borracha juntos apresentaram perda de massa bem inferiores quando comparados aos concretos confeccionados apenas com sílica ativa, assumindo valores de 0,29% e 1,73% respectivamente. O fato pôde ser explicado pela ação do efeito do microfíler juntamente com as reações pozolânicas da CCA e a absorção da energia de impacto pelo resíduo de borracha, melhorando a resistência à abrasão destes CADs (BARBOSA, 2006).

Segundo Liu, Yen e Hsu (2005) os materiais componentes do concreto têm papel fundamental nos resultados do ensaio de abrasão/erosão, outro fator de relevância pode ser observado no aumento da relação água/aglomerante que passando de 0,28 para 0,50 aumentou 76% na perda de massa.

Segundo Andrade et al. (2003), a degradação do concreto por origem ácida não mantém uma relação direta com a resistência mecânica. As adições minerais podem ser benéficas para auxiliar contra a degradação de origem química melhorando as propriedades do concreto.

Segundo Aguiar (2006, p.45) o ataque por ácidos age dissolvendo e removendo parte da pasta de cimento Portland endurecido, que não é resistente a este tipo de ataque. Para pH entre 3 e 6 a velocidade do ataque é proporcional à raiz quadrada do tempo, dissolvendo o Ca(OH)_2 . A velocidade de ataque depende não só do pH, mas também da capacidade dos íons serem transportados.

Segundo Possan et al. (2007) com vistas à durabilidade, o processo de corrosão nas armaduras pôde ser melhor combatido com o acréscimo da CCA, que auxiliou impedindo a penetração de cloretos no concreto de maneira satisfatória, embora seu uso não seja eficiente para as reações do processo de degradação causado pela ação da carbonatação.

Segundo Vieira et al. (2007) a análise dos seus resultados indicou que tanto a diminuição do fator água/aglomerante quanto a adição de sílica ativa melhoraram consideravelmente a resistência do concreto frente à ação de agentes agressores e as maiores perdas de massa ocorreram para os CPs imersos em solução de ácido láctico, conforme mostra a figura 20 a seguir.

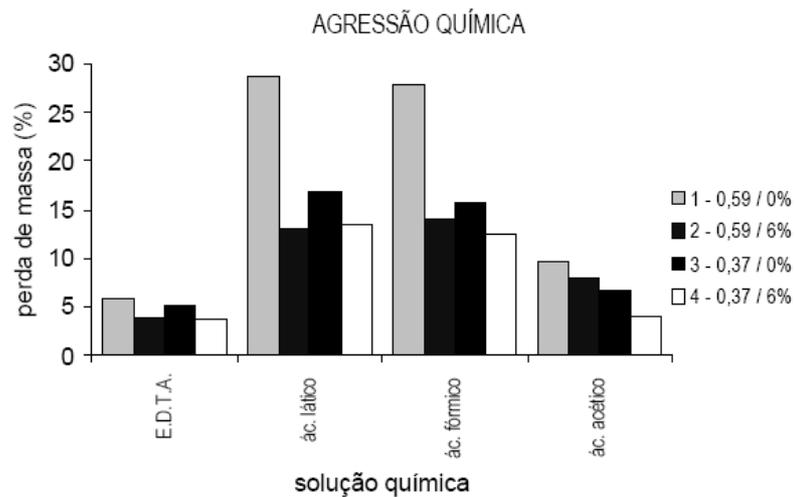


Figura 20. Efeito da agressão química.
 Fonte: Vieira et al. (2007).

O efeito da adição da Sílica ativa também foi verificado por Dal Molin (1996), onde a maior perda de massa, para o ensaio de resistência ao ataque químico com ácido láctico foi para o maior a/c e para o traço sem adição de sílica ativa, como mostra a figura 21 a seguir.

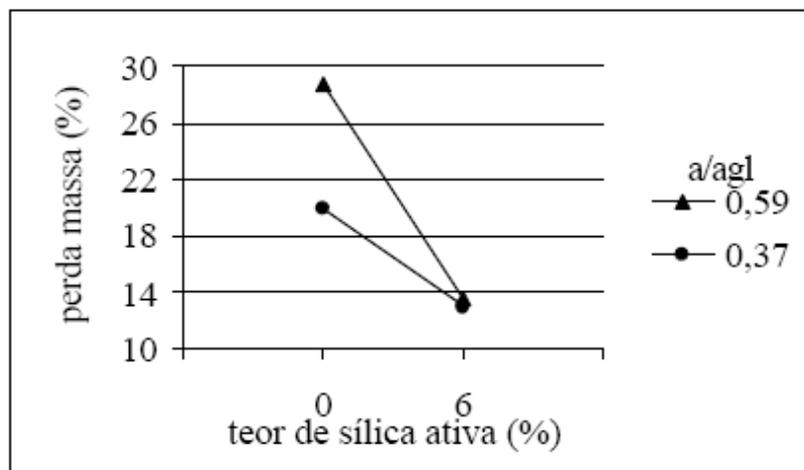


Figura 21. Perda de massa por agressão com ácido láctico.
 Fonte Dal Molin (1996).

Segundo Silva e Libório (2004) não houve muita modificação na absorção por capilaridade, comparando os resultados de 7 e 28 dias de ensaio, mas a introdução

de sílica de ferro-silício apresentou queda de 48% em relação ao traço referência, enquanto a sílica da casca de arroz diminuiu em 12% a absorção capilar. Os autores notaram que quanto menor o diâmetro dos poros capilares, maior a pressão, e assim, maior a profundidade de penetração da água no concreto. Portanto, quanto maior o diâmetro dos poros capilares, menor a profundidade do concreto atingida pela água absorvida.

A figuras 22 e 23 mostram uma comparação entre os resultados de 7 e 28 dias para absorção capilar.

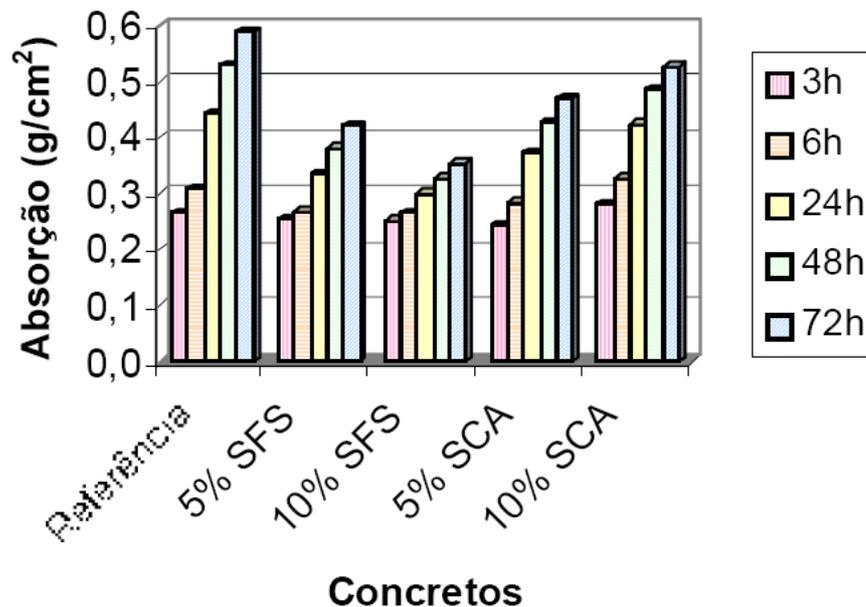


Figura 22. Absorção Capilar aos 7 dias.
Fonte: Silva e Libório (2004).

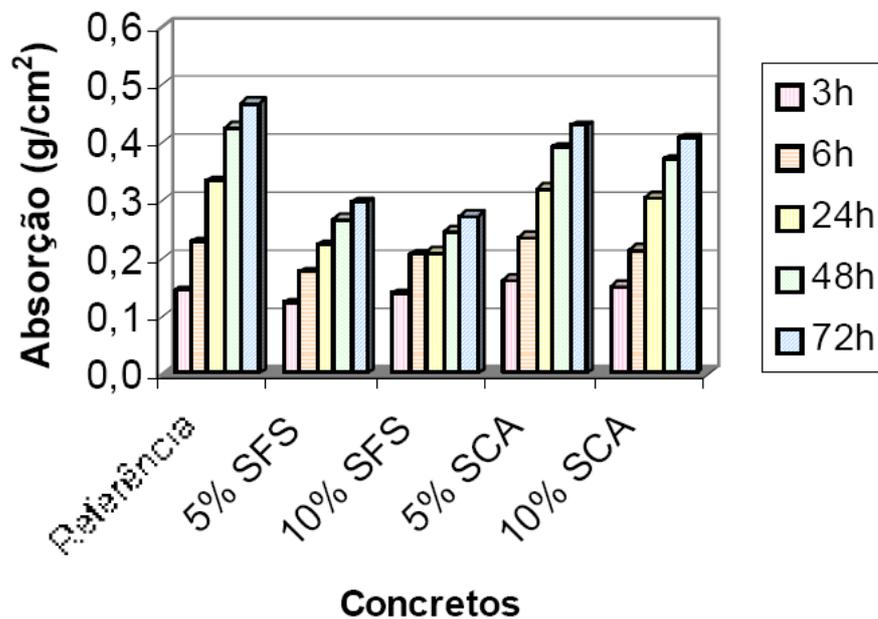


Figura 23 Absorção Capilar aos 28 dias.
Fonte: Silva e Libório (2004).

Pereira, Figueiredo e Bauer (2005) relatam que a facilidade da entrada de água e substâncias no concreto com fibras pode ser explicada pela alteração na sua microestrutura, pois a adição de fibras pode ter gerado um caminho preferencial na zona de transição entre a fibra e a matriz. Como esta interface é mais porosa, facilita o ingresso de substâncias no concreto.

Um dos fatores que também afeta a durabilidade das estruturas nos dias atuais é a reação álcali agregado, que segundo Silva et al. (2006) pode ter seu efeito reduzido se, junto à pasta de cimento ou ao concreto, for utilizado CCA em teores elevados para diminuir as expansões. A CCA estudada reduziu as expansões, mas não conseguiu com que estas fossem classificadas como material inócuo pela ASTM 1260.

Para Aguiar 2006 os melhores ensaios para a qualificação do desempenho de durabilidade de uma estrutura foram a Ultra-sonografia e o ensaio de absorção capilar, pois apresentaram faixas bem distintas entre os concretos das diversas obras avaliadas pelo autor, mostrando uma sensibilidade maior.

Segundo Mehta citado por Mehta e Monteiro (2008) a severidade da agressão ao concreto pela água do mar também dependem do tipo exposição em que se encontra a estrutura, o efeito de degradação pode ser tanto pelo contato dos

íons cloreto com a armadura como a carga abrasiva em um local de Zona de Maré como é mostrado na figura 24 a seguir.

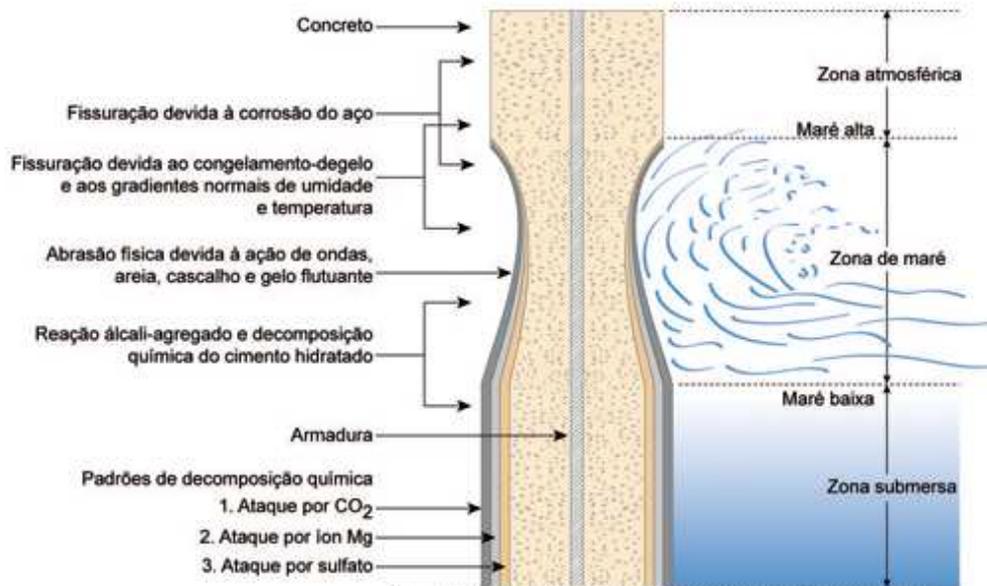


Figura 24. Concreto armado exposto à água do mar.

Fonte :Mehta apud Mehta e Monteiro (2008)

Segundo Pereira (2001) vários fatores podem ser sensíveis para a diminuição ou aumento da entrada dos íons cloreto no concreto e deste modo acelerar processos de degradação que diminuem a durabilidade deste, segundo a autora, quanto maior o tempo de cura, menor a relação água/cimento e maior resistência à compressão, para um mesmo tipo de cimento, melhoram a durabilidade do concreto frente a este tipo de agressão.

Segundo Saciloto et al. (2008), as adições minerais em substituição a parte do cimento por CCA, o período de cura prolongado e a diminuição da relação água/aglomerante foram os fatores que permitiram a menor entrada dos íons cloreto no concreto.

6 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental na figura 25 mostra os materiais utilizados para a confecção dos traços de concreto, bem como os procedimentos adotados para a realização dos ensaios de caracterização dos materiais e dos ensaios de durabilidade.

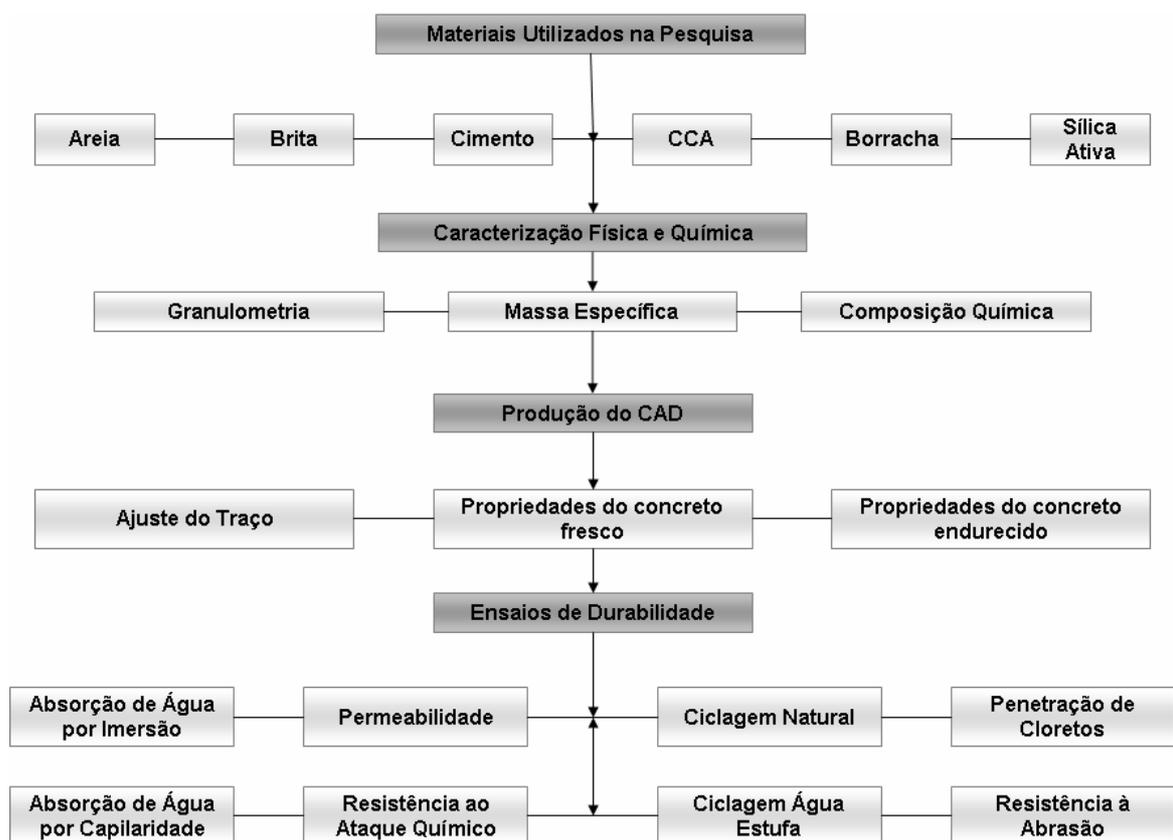


Figura 25. Esquema Geral do Programa Experimental.

A primeira etapa da pesquisa constituiu em definir os materiais de estudo, bem como a forma de análise a ser empregada na pesquisa.

Os agregados utilizados são da região próxima a localidade da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP. O Cimento CPV ARI PLUS teve como requisito para sua escolha a baixa quantidade de adições, possibilitando verificar com maior certeza a influência de cada uma das adições realizadas na pesquisa, conforme mostra a figura 26.

Tipo	Classe Resist. MPa					Norma Brasileira
		Clinker + Gesso	Escória Alto Forno	Pozolana	Materiais Carbonáticos	
CP I CPI - S	25	100	0	0	0	NBR 5732
	32					
	40					
CP II - E CP II - Z CP II - F	25	56 - 94	6 - 34	6 - 14	0 - 10	NBR 11578
	32	76 - 94			0 - 10	
	40	90 - 94			6 - 10	
CP III	25	25 - 65	35 - 70	0	0 - 5	NBR 5735
	32					
	40					
CP IV	25	45 - 85	0	15 - 50	0 - 5	NBR 5736
	32					
CP V - ARI		95 - 100	0	0	0 - 5	NBR 5733
CP V - ARI - RS		95 - 100	*	*	0 - 5	NBR 5737

Figura 26. Composição dos tipos de cimento.

O próximo passo da pesquisa foi realizar a caracterização física e química de modo a dar melhores especificações aos materiais utilizados, favorecendo seu uso.

Com os resultados da caracterização pode-se iniciar a confecção experimental do traço de concreto de alto desempenho, tendo como ponto de partida o traço utilizado por Barbosa (2006). A partir do ajuste deste traço realizaram-se os ensaios para obtenção das propriedades do concreto no estado fresco e também no estado endurecido.

Os ensaios referentes a propriedades que remetem à durabilidade foram escolhidos dentro das possibilidades oferecidas pelo Laboratório de Engenharia Civil da UNESP – Campus de Ilha Solteira e das amplas instalações do LCEC - Laboratório CESP de Engenharia Civil de Ilha Solteira.

Como base nos processos mais intensos de deterioração optou-se por utilizar ensaios que basicamente dependam da água para sua realização, sendo esta

um dos grandes mecanismos de propagação das intempéries que agem sobre o concreto.

Os ensaios também foram escolhidos com base em diversos estudos realizados por diversos autores e pelos relatos contidos no livro “**Concreto: ensino, pesquisa e realizações**” (ISAIA, 2005a).

6.1 MATERIAIS

6.1.1 Agregado Graúdo

O agregado graúdo utilizado foi uma brita de origem basáltica, proveniente da Mineração Grandes Lagos da região de Monções. Os ensaios de caracterização realizados foram:

- Composição granulométrica segundo a NBRNM 248 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2003);
- Massa unitária pela NBRNM 45 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2006);
- Massa específica, massa específica aparente e absorção de água seguindo as recomendações da NBRNM 53 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2003);
- Quantidade de materiais pulverulentos NBR 7218 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1987);

A figura 27 mostra os ensaios de caracterização que foram realizados para o agregado graúdo.

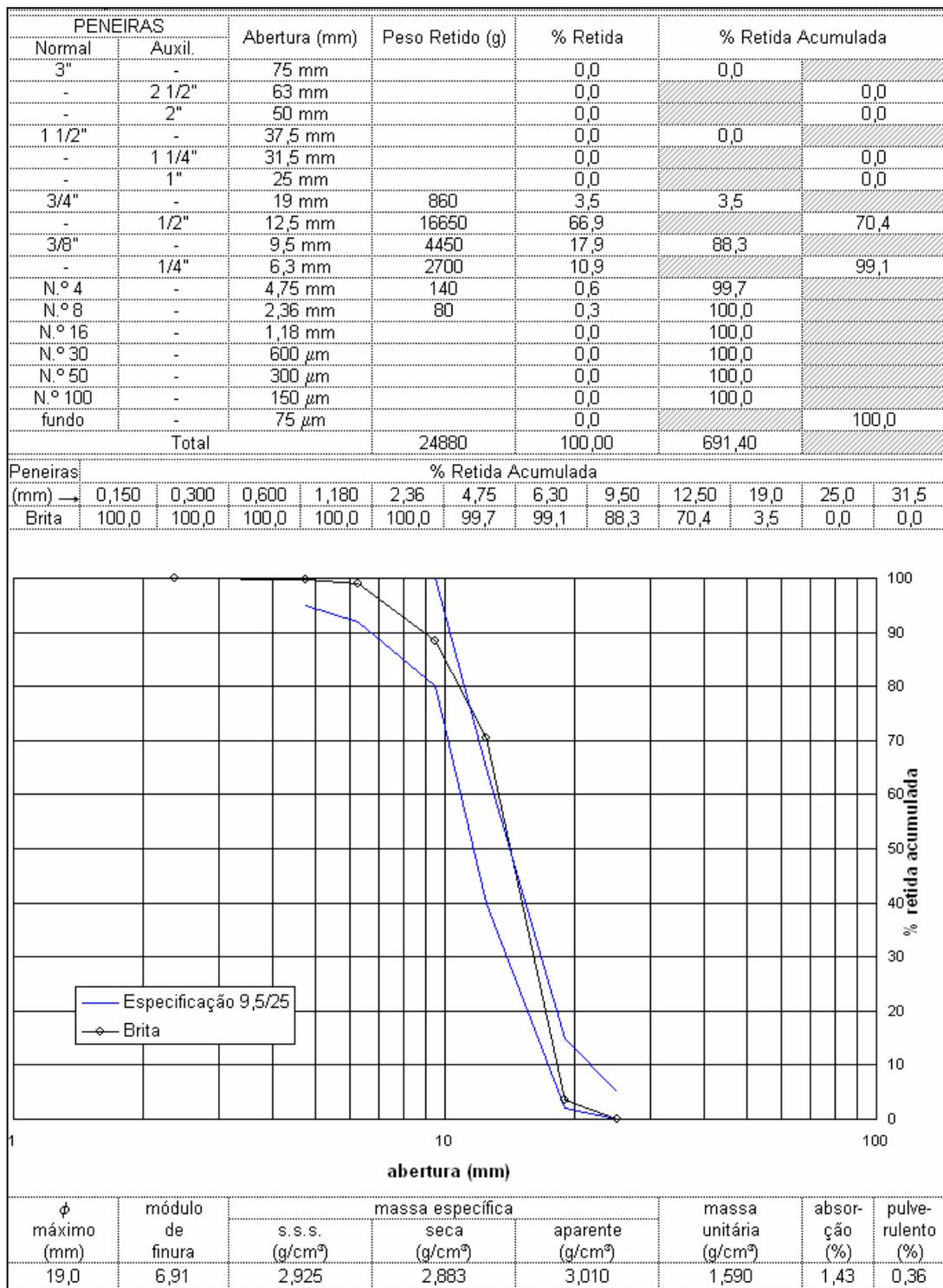


Figura 27. Caracterização do Agregado Graúdo.
 Fonte: COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO – CESP.

6.1.2 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado foi a areia natural do Porto de Areia São Judas Tadeu, passando pelos ensaios de caracterização:

- Composição granulométrica pela NBRNM 248 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2003).
- Teor de materiais pulverulentos pela NBR 7218 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1987);
- Massa específica e massa específica aparente e absorção de água pela NBRNM 52 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2003);
- Teor de matéria orgânica pela NBRNM 49 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2001);

A figura 28 mostra os ensaios de caracterização que foram realizados para o agregado miúdo.

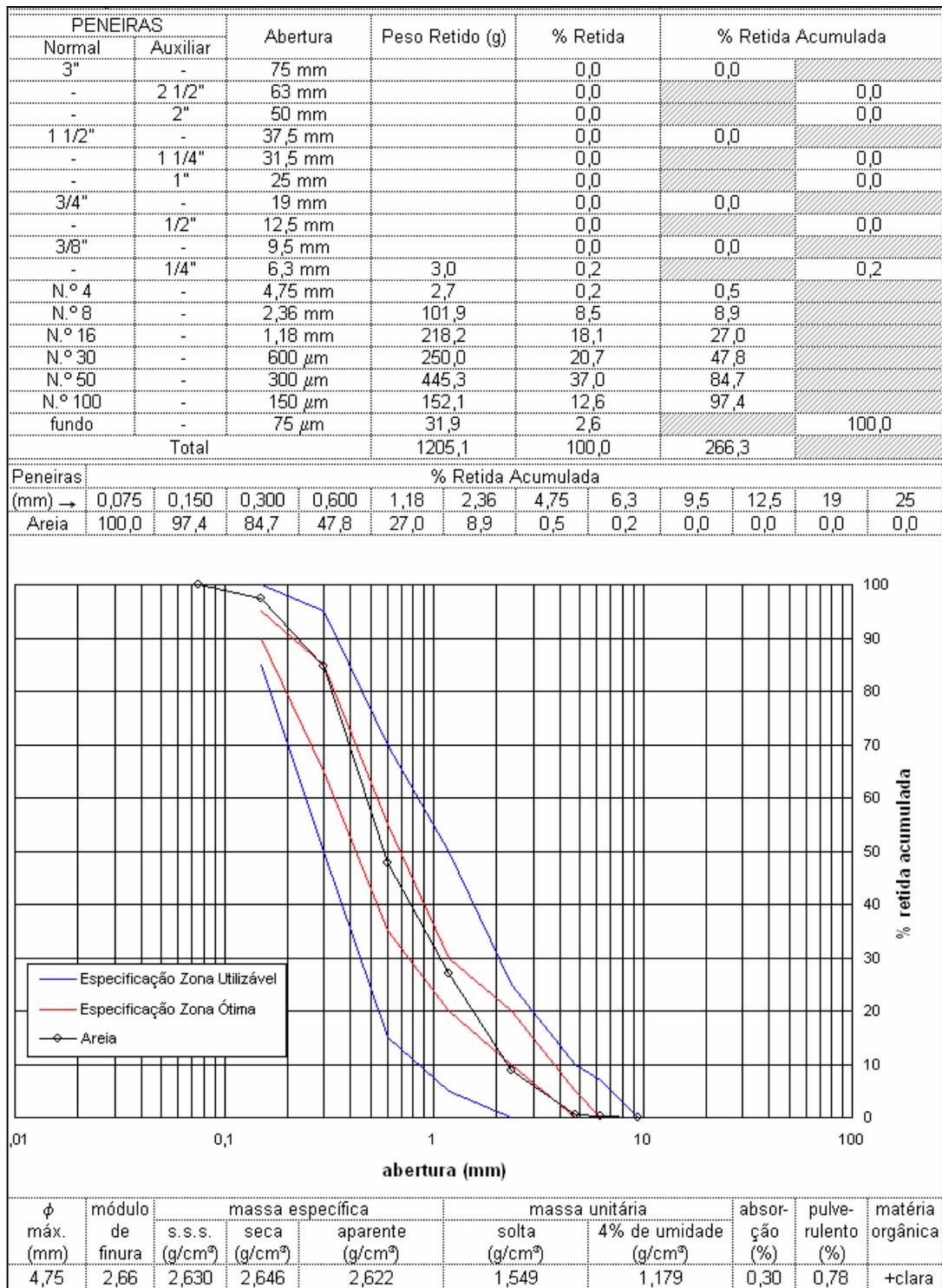


Figura 28. Caracterização do Agregado Miúdo.
 Fonte: COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO – CESP.

6.1.3 Cinza da Casca de Arroz

A casca de arroz foi fornecida pela empresa de beneficiamento de arroz da cidade de Três Lagoas/MS tendo como região de origem de plantio a cidade de Dourados/MS.

O processo de queima da casca de arroz já foi monitorado para que a temperatura durante a queima fosse registrada, embora a queima em si não possua controle de temperatura. A tabela 3 mostra o desenvolvimento da temperatura no interior do forno e para uma melhor visualização desta, a figura 4 mostra a variação de temperatura por meio de um gráfico TemperaturaXTempo.

Tabela 3. Variação da Temperatura de Queima da CCA

Tempo (Horas)	Temperatura (°C)
-	28,8
2 ^a	378,9
4 ^a	576,8
6 ^a	636,7
8 ^a	711,2
10 ^a	755,1
12 ^a	782,3
14 ^a	824,4
16 ^a	847,5
18 ^a	622,3
20 ^a	593,4
22 ^a	517,3
24 ^a	435,2
26 ^a	286,4
28 ^a	135,2
30 ^a	65,1
32 ^a	35,2
34 ^a	31,7
36 ^a	30,4

Fonte: Barbosa (2006).

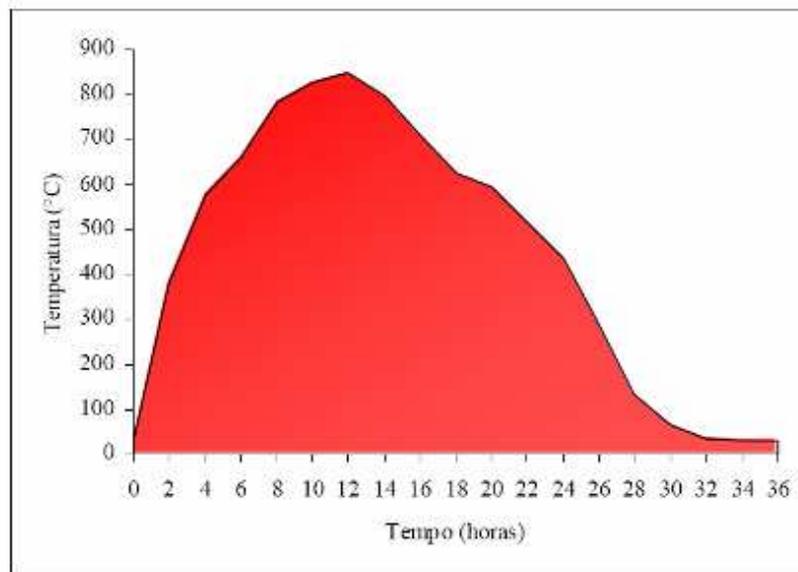


Figura 29. Gráfico da Variação da temperatura de queima da CCA
Fonte: Tashima (2006).

As figuras 30 e 31 mostram a CCA antes e depois do processo de queima.

O resultado do processo de queima é uma CCA de coloração cinza claro que por Difração de Raio-X mostra um desvio da linha de base entre 15 e 17 graus demonstrando a sua característica de cinza amorfa conforme mostram as figura 33 e 34.



Figura 30. Casca de Arroz antes da queima.



Figura 31. Casca de arroz após a queima.

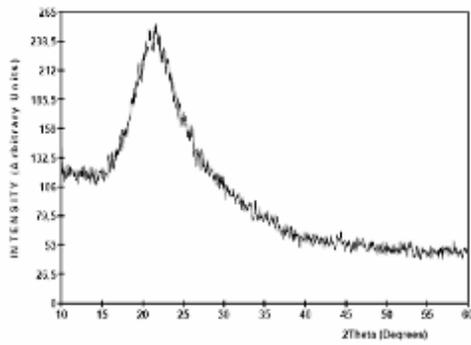


Figura 32. Difratoograma de Raio-X da CCA.

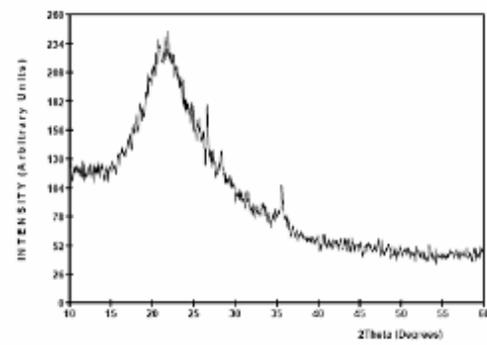


Figura 33. Difratoograma de Raio-X da SA.

As figuras 34 e 35 mostram a estrutura porosa da CCA antes e após a sua queima.

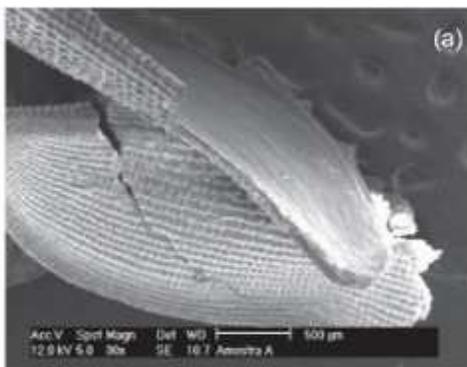


Figura 34. Estrutura da Casca de Arroz antes da queima.
Fonte: Della (2006).

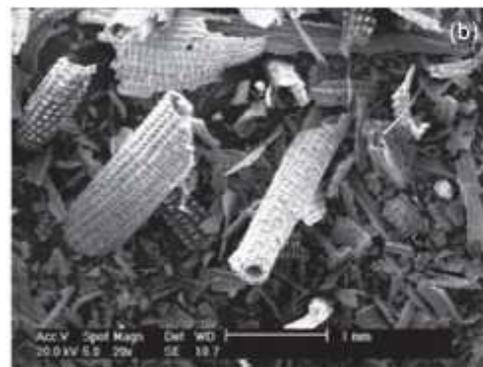


Figura 35. Estrutura da Casca de arroz após a queima.
Fonte: Della (2006).

A figura 36 mostra a curva granulométrica obtida por granulometria a laser.

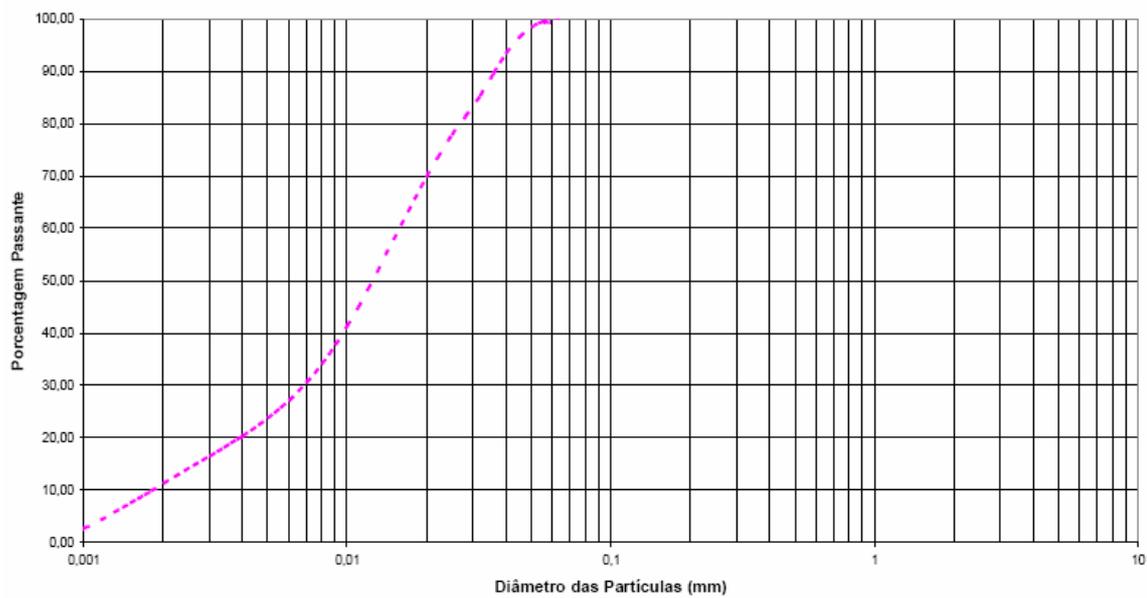


Figura 36. Granulometria a Laser da CCA após 40 minutos de moagem.

A figura 37 mostra a comparação, em termos de massa específica e análise química, da cinza da casca de arroz produzida no campus de Ilha Solteira e utilizada neste trabalho, com uma marca comercial de Sílica Ativa da Silmix.

Materiais		CCA	Sílica Ativa
Massa Específica (g/cm ³)		2,15	2,18
Análise Química(%)	Perda ao Fogo	3,79	4,34
	SiO ₂	90,37	91,73
	Fe ₂ O ₃	0,43	0,14
	Al ₂ O ₃	0,12	0,29
	CaO	1,25	0,37
	MgO	0,27	0,36
	SO ₃	0,17	0,54
	Na ₂ O	0,02	-
	K ₂ O	0,48	-

Figura 37. Comparação entre a CCA, SA e CCA tratada.

A Tabela 4 mostra os diâmetros dos grãos de CCA para os vários tempos de moagem.

Tabela 4. Densidade, Massa e Área Específica.
Fonte: Tashima (2006).

	Diâmetro Médio (μm)	Massa Específica (g/cm^3)	Área Específica (cm^2/g)
CCA 2,5min.	20,026	2,16	3946,72
CCA 5,0min.	15,725	2,14	5032,96
CCA 10,0min.	12,672	2,14	6631,68
CCA 15,0min.	11,371	2,13	7714,81
CCA 20,0min.	11,076	2,14	8077,61
CCA 60,0min.	13,274	2,13	8563,51
Sílica ativa	23,251	2,28	3541,80

6.1.4 Borracha de Pneu

O resíduo de borracha de pneu foi fornecido pela indústria REGIGANT – Recauchutadora de Pneus, localizada na cidade de Ilha Solteira – SP, a qual faz recauchutagem em pneus fora de estrada e máquinas pesadas.

A pesquisa usou de borracha que procede de pneus inservíveis, apresentando um formato alongado. Primeiramente este resíduo passou por uma seleção prévia de granulometria onde ocorreu a classificação por meio de peneiras, classificando-o em muito grossa, grossa, média e fina. A granulometria média foi utilizada para a pesquisa em questão, pois apresentou as melhores combinações para confecção de concreto, diante da observação nos trabalhos de Martins (2005), Barbosa (2006).

Baseado nos estudos de Martins (2005), a pesquisa em questão utilizará a mesma faixa granulométrica e porcentagem de resíduos de borracha de pneu, 3% de borracha Média para um metro cúbico de concreto. A tabela 5 mostra como é a classificação dos resíduos de borracha por sua composição granulométrica.

Tabela 5: Composição granulométrica do resíduo de borracha de pneu

Denominação	Abertura (mm)	% Retida
1/4"	6,3	1,9
N.º 8	2,38	45,9
N.º 16	1,19	27,2
Fundo	0,075	25,0

Os ensaios realizados foram:

- A análise granulométrica NBRNM 248 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2003), sendo realizada com apenas 250 gramas do material dada a grande diferença de massa específica entre a borracha de pneu e os demais agregados;
- Determinação da massa específica pela NBR NM 52 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2003), optou-se por realiza o ensaio com álcool, pois a densidade da borracha de pneu é muito próxima ao da água;
- Massa unitária seguindo a NBRNM 45 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2006).

As figuras 38 e 39 mostram o formato alongado da fibra do resíduo de borracha de pneu.



Figura 38. Borracha de pneu.

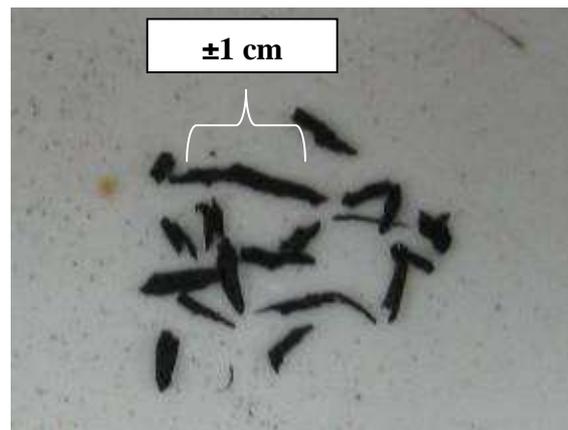


Figura 39. Detalhe borracha de pneu.

A figura 40 mostra os ensaios realizados para o resíduo de borracha de pneu.

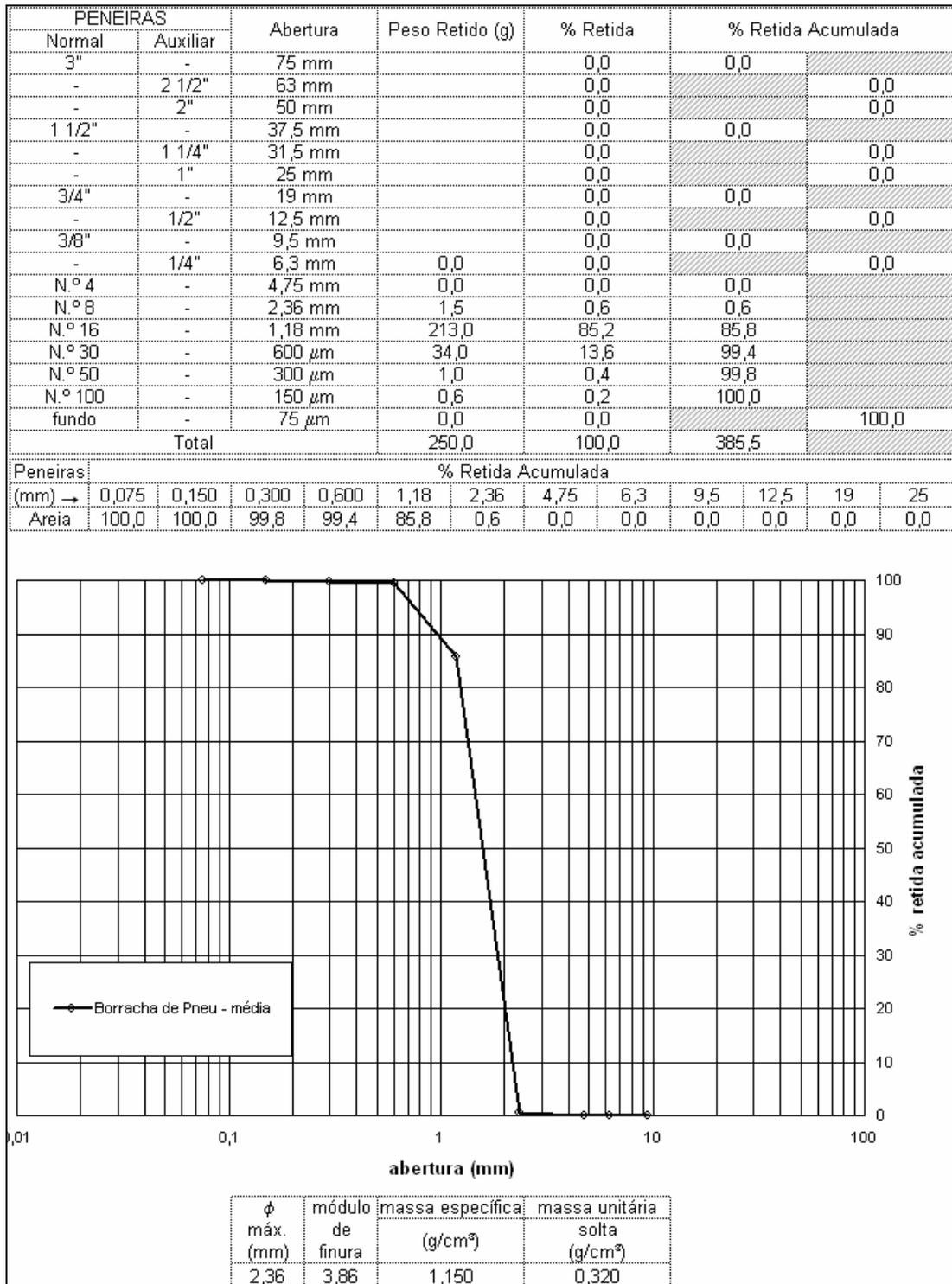


Figura 40. Caracterização da Borracha de Pneu.
 Fonte: COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO – CESP.

6.1.5 Cimento

O cimento utilizado foi o CP V ARI – PLUS, que em sua composição química possui uma pequena quantidade de adições, possibilitando uma melhor análise da substituição de parte da massa de cimento no concreto por Sílica Ativa e CCA.

A caracterização deste material foi realizada logo após sua estocagem em local adequado e protegido de umidade, tendo como ensaios físicos e químicos:

- Determinação da finura pelo Método de Blaine seguindo as recomendações da NBRNM 76 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1998);
- Determinação do tempo de pega pela NBRNM 65 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2003);
- Massa específica pela NBRNM 23 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2001);
- Resistência à compressão do cimento pela NBR 7215 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1996);
- Análise química segundo a NBR 11578 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1991).
- Especificações para Cimento de alta resistência inicial segundo a NBR 5733 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1991).

Na tabela 6 estão os ensaios realizados para o cimento.

Tabela 6. Caracterização do Cimento.
 Fonte: COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO – CESP.

Análise química e física de cimento Portland CP VARIPLUS						
Referência		23068	Especificações			
Amostra		63	NBR 5733			
Data da coleta /03		26.03.2008	Min.	máx.		
Finura peneira 200 (% retida)		1,53	-	6		
Finura peneira 350 (% retida)		6,14	-	-		
Superf. espec. Blaine (cm ² /g)		3766	3000	-		
Densidade aparente (g/cm ³)		1,05	-	-		
Densidade absoluta (g/cm ³)		3,03	-	-		
Água de consistência da pasta	Gramas	152	-	-		
	(%)	30,4	-	-		
Início de pega (h:min)		02:05	01:00	-		
Fim de Pega (h:min)		03:04				
Expansão em auto-clave (%)		0,016	-	-		
Resistência a Compressão Axial	Consistência da argamassa	gramas	150	-	-	
		a / c	0,48	-	-	
	Data da moldagem		01.04.2008	-	-	
	Tensão (MPa)	03 dias	38,7	24	-	
		07 dias	39,8	34	-	
		28 dias	51,7	-	-	
Análise Química (%)	Perda ao fogo		4,07	-	4,5	
	Insolúveis		0,24	-	1	
	SiO ₂		18,16	-	-	
	Fe ₂ O ₃		2,57	-	-	
	Al ₂ O ₃		7,01	-	-	
	CaO		62,95	-	-	
	MgO		0,7	-	6,5	
	SO ₃		3,11	-	3,5	
	Na ₂ O		0,18	-	-	
	K ₂ O		0,77	-	-	
	Equiv alcalino Na ₂ O		0,69	-	-	
Cal livre em CaO		1,67	-	-		

6.1.6 Sílica Ativa

Como subproduto da reação entre quartzo de alta pureza e carvão na produção de silício metálico e de outras ligas, como ferro-silício, ferro-cromo e ferro-manganês, a sílica ativa possui partículas com formato esférico com diâmetros que podem variar de 0,02 a 0,5 μm e área superficial em torno de 20 m^2/g .

O produto usado neste trabalho foi da marca Silmix S/A, passando pelos ensaios de caracterização física e química:

- Determinação da finura pelo segundo a NBRNM 76 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1998);
- Determinação da massa específica pela NBRNM 23 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2001);
- Especificação para materiais pozolânicos segundo a NBR 12653 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1992).

Na tabela 7 estão os resultados dos ensaios realizados para a Sílica Ativa.

Tabela 7. Caracterização da Sílica Ativa.
 Fonte: COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO – CESP.

Referência		5486	Especificações	
Amostra		-	NBR-12653	
Data da coleta /02		16.07	min.	máx.
Densidade aparente	(g/cm ³)	0,47	-	-
Densidade absoluta	(g/cm ³)	2,18	-	-
Finura Peneira 325	(% retida)	-	-	34,0
Superf. espec. Blaine	(cm ² /g)	3093	-	-
Diâmetro dos grãos (micras)		9,1	-	-
Reatividade	Redução expansão (%)	-	75,0	-
c/ álcalis	Expansão argamassa (%)	-	-	0,020
Índices atividade	Água requerida (%)	-	-	110,0
	com cimento (%)	-	75,0	-
pozolânica	com cal (MPa)	-	6,0	-
Retração por secagem (%)		-	-	0,050
Umidade da amostra (%)		1,22	-	3,00
Análise Química (%)	Perda ao fogo	4,34	-	6,00
	SiO ₂	91,73	-	-
	Fe ₂ O ₃	0,14	-	-
	Al ₂ O ₃	0,29	-	-
	CaO	0,37	-	-
	MgO	0,36	-	-
	SO ₃	0,54	-	5,00
	Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	0,43	-	-
	SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	92,16	70,00	-
	Equiv alc. em Na ₂ O (disp.)	0,40	-	-

6.1.7 Superplastificante

O superplastificante usado foi o Viscocrete 20HE, devido ao seu uso nas demais pesquisas do grupo de estudo de materiais alternativos, e permitindo que se obtenha um CAD com o abatimento do tronco de cone de 200 ± 20 mm, com coesão adequada para o lançamento e sem risco de segregação.

- Teor de sólidos: 35%;
- Dosagem máxima: 2% em relação ao peso do cimento;
- pH: $4,3 \pm 0,5$;
- Massa específica: 1,08 kg/l a 20°C.

6.1.8 Água

A água a ser utilizada nos ensaios é a água de abastecimento público da cidade de Ilha Solteira-SP.

6.2 MÉTODOS PARA A REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

O concreto realizado na pesquisa veio de estudos anteriores referentes às dissertações de Martins (2005), Tashima (2006), Barbosa (2006), nos quais já abordaram a utilização dos resíduos de borracha de pneu, cinza da casca de arroz e os dois juntos respectivamente, em adições para argamassas e concretos.

Os trabalhos anteriores foram utilizados como base para escolha do traço inicial e para os teores de substituição que foram adotados.

Para todos os métodos de ensaio foram feitos quatro tipos diferentes de composições de traço para concreto:

- CAD referência com adição de sílica ativa;
- CAD somente com CCA;
- CAD com adições de CCA e resíduo de borracha de pneu;

- CAD com resíduo de borracha e sílica ativa.

Os traços de concreto de alto desempenho realizados na pesquisa partiram dos estudos de Barbosa (2006), onde foram propostas as quantidades ótimas de aditivo, de granulometria e de substituição de cimento, sendo assim, maiores detalhes sobre estes aspectos não foram discutidos neste trabalho.

Barbosa (2006) produziu os traços do CAD baseando-se no método proposto por Aïtcin (2000, p.265) que através de resultados empíricos e com a seleção das características requeridas para o traço, como relação a/c, resistência à compressão, teor de água, teor de agregado graúdo e teor de ar incorporado.

A Figura 41 mostra os traços dos concretos de alto desempenho realizados nos estudos de Barbosa (2006).

Material	5% S.A	5% CCA	SA Borracha	CCA Borracha
Cimento (kg/m ³)	433,33	433,33	433,33	433,33
Sílica Ativa (kg/m ³)	23,33	-	23,33	-
CCA (kg/m ³)	-	23,33	-	23,33
Agregado graúdo (kg/m ³)	1125	1125	1125	1125
Agregado miúdo (kg/m ³)	801,27	801,99	722,56	722,28
Borracha de pneu (Kg/m ³)	-	-	34,5	34,5
Água (l/m ³)	140	140	140	140
Aditivo (kg/m ³)	5,35	5,35	5,35	5,35
Água/Aglomerante (a/agl.)	0,3	0,3	0,3	0,3
Slump (cm)	22	23	16	17

Figura 41. Traços realizados.
Fonte: Barbosa (2006).

Na reconstituição destes traços, optou-se realizar um ajuste na dosagem visando melhorar a consistência e diminuir o consumo de aditivo, a fim de melhorar as condições de aplicação deste.

Assim, com o auxílio dos técnicos do Laboratório CESP de Engenharia Civil de Ilha Solteira foi possível melhorar a consistência do concreto aumentando a relação água/cimento de 0,30 para 0,355 e melhorando a quantidade de argamassa no traço.

O ajuste realizado conseguiu melhorar a consistência do concreto como também reduziu a quantidade de aditivo de 1,50% para 0,40%, para um abatimento do tronco de cone em torno de 20 ± 2 cm. A facilidade de movimentação do concreto também teve grande avanço, melhorando a mobilidade com a diminuição da força para tal e evitando a segregação do concreto.

A tabela 10 mostra os novos traços definitivos após os ajustes realizados.

Tabela 10. Traços dos Concretos de Alto Desempenho.

Material	5% SA Referência	5% CCA	SA Borracha	CCA Borracha
Cimento (kg/m ³)	428,8	428,8	428,8	428,8
Sílica Ativa (kg/m ³)	16,0	-	16,0	-
CCA (kg/m ³)	-	15,72	-	15,72
Agregado graúdo (kg/m ³)	1081,1	1081,1	1081,1	1081,1
Agregado miúdo (kg/m ³)	812,6	812,6	733,1	733,1
Borracha de pneu (Kg/m ³)	-	-	34,5	34,5
Água (l/m ³)	170,9	170,9	170,8	170,8
Aditivo (kg/m ³)	2,257	2,257	2,257	2,257
Água/Aglomerante(a/agl.)	0,355	0,355	0,355	0,355
Abatimento (cm)	21,3	20,0	21,0	19,8

6.2.1 Preparação do Traço dos concretos de Alto Desempenho

A ordem de colocação dos materiais na betoneira seguiu as recomendações utilizadas para a realização de concretos de alto desempenho descrita por vários autores, e realizada por Barbosa (2006):

- 1 minuto batendo na betoneira o agregado graúdo a sílica ou CCA e aproximadamente 90% da água de amassamento;
- com a conclusão da etapa anterior acrescentou-se o cimento e areia e bate-se na betoneira por mais 2 minutos;
- ao final acrescentou-se o aditivo superplastificante com a betoneira em movimento deixando-a ligada por mais 10 minutos.

Após a retirada do concreto da betoneira realizaram-se os ensaios de Abatimento do tronco de cone e de incorporação de ar.

Com a finalização dos ensaios de Abatimento do Tronco de Cone e Incorporação de Ar no concreto moldou-se os corpos-de-prova referentes a cada um dos ensaios necessários para a pesquisa, seguindo as recomendações da NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2008). No dia seguinte foram desmoldados os CPs e levados para a câmara úmida para permanecerem em processo de cura até o dia agendado para cada um dos ensaios.

As figuras 42 e 43 mostram a moldagem e armazenamento dos CPs.



Figura 42. Moldagem corpos-de-prova para ensaios.



Figura 43. Armazenamento em câmara úmida.

6.2.2 Consistência

A consistência foi um dos fatores pré-selecionados para confecção dos CADs e teve o intuito de verificar se as quantidades de água, de aditivo e de argamassa estavam satisfatórios para poderem ser empregados em qualquer tipo de obra, sem que estes requisitassem muito esforço ou dificuldade para a aplicação nas obras. O ensaio seguiu as recomendações da NBRNM 67 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1998). A figura 44 mostra a realização do ensaio de Abatimento do tronco de cone.



Figura 44. Ensaio de Consistência do concreto.

6.2.3 Incorporação de ar

De posse da temperatura do concreto realizou-se o ensaio de ar incorporado no concreto com o intuito de verificar a quantidade real de ar que os traços dosados com CCA, Sílica Ativa e Borracha de pneu estavam incorporando.

O ensaio seguiu as recomendações da NBRNM 47 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2002), colocando o concreto em recipiente de dimensão pré-determinada para a mensuração da massa específica do concreto.

Após o ensaio de abatimento do tronco de cone foi medida a temperatura do concreto e realizado o ensaio de ar incorporado. As figuras de 45 a 48 mostram os procedimentos da realização do ensaio para obtenção da massa específica do concreto no estado fresco.



Figura 45. Acompanhamento da temperatura do concreto.



Figura 46. Moldagem do ensaio incorporação de ar.



Figura 47. Retirada do excesso de concreto.



Figura 48. Realização do ensaio.

6.2.4 Compressão Axial de Corpos-de-prova de concreto

O ensaio de resistência à compressão foi realizado segundo a NBR 5739 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2007), com a realização do capeamento dos CPs por meio de um composto de enxofre e pozolanas, como mostram as figuras 49 e 50.



Figura 49. Capeamento dos CPs com enxofre.



Figura 50. Ruptura dos CPs

6.2.5 Absorção de Água

Uma grande absorção de água na estrutura pode acarretar maior facilidade de transporte de íons, ocasionando o processo chamado de lixiviação, que retira partículas do interior das estruturas, pelas inúmeras vezes com que a água entra e sai da estrutura. O processo ainda pode ser agravado se estes íons chegarem às armaduras e derem por início processos corrosivos.

Para a execução do ensaio de Absorção de água e Porosidade foi usada a norma NBR 9778 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2005), utilizando as denominações normativas descritas nesta, pela moldagem de três corpos-de-prova com dimensões de 10x20cm avaliando nas idades de 7 e 28 dias. Os corpos-de-prova foram curados em câmara úmida por um período de 7 ou 28 dias, depois, retirados e secos à temperatura ambiente por 24 horas.

Para a secagem dos corpos-de-prova em estufa, pesou-se cada um deles em intervalos de 24h até que a variação de massa seja inferior a 0,5%, o próximo passo foi imergi-los totalmente em um recipiente com água por um período de até 72 horas em intervalos de 24h, até que a variação de massa seja inferior a 0,5%.

Depois de retirados do recipiente, foram pesados novamente em intervalos de 24 horas, até que duas pesagens consecutivas não apresentem diferenças superiores a 0,5% da menor massa. Assim a quantidade de água absorvida por cada corpo-de-prova foi definida pela Equação 1:

$$\text{Absorção} = [(M_{\text{sat}} - M_s)/M_s] \times 100 \quad (1)$$

Onde:

M_{sat} - massa do CP saturado

M_s - massa do CP seco em estufa

6.2.6 Absorção por capilaridade

O ensaio seguiu as recomendações da NBR 9779 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1995).

O processo é bem similar ao recomendado para a avaliação da absorção de água por imersão. Três corpos-de-prova cilíndricos com dimensões de 10x20cm foram utilizados. Os corpos-de-prova foram curados em câmara úmida até o início do ensaio, 7 e 28 dias, depois, retirados e secos em estufa na temperatura de 106,5°C por 24, 48 e 72 horas para obtenção do peso seco com uma variação inferior a 0,5%. Após a secagem dos corpos-de-prova em estufa, pesou-se cada um deles. Em seguida colocou-os sobre em uma lâmina de água de 5 mm por um período de 24, 48 ou 72 horas, pesados em intervalos de 24 horas, até que duas pesagens consecutivas não apresentassem diferenças superiores a 0,5% da menor massa. A absorção por capilaridade foi expressa pela equação 2 que será apresentada a seguir:

$$C = \frac{(A - B)}{S} \quad (2)$$

Onde:

C – absorção por capilaridade

A – massa do CP saturado

B – massa do CP seco em estufa

S – área transversal em contato com a água

6.2.7 Permeabilidade a Água

Para avaliação da permeabilidade do concreto foi utilizado o método descrito pela norma NBR 10787 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1994).

O parâmetro caracteriza o concreto do ponto de vista da durabilidade, pela conectividade dos poros no concreto, no entanto, a determinação da permeabilidade supõe que o concreto esteja numa situação de corpo-de-prova saturado, condição essa pouco comum numa estrutura real.

A utilidade do ensaio remete-se a obras hidráulicas e barragens onde ocorrem a atuação de grandes pressões, ou mesmo estruturas afetadas constantemente por ciclos de molhagem e secagem.

O ensaio foi realizado com dois corpos-de-prova (CPs) com dimensão 25x25x12,5cm, este por sua vez, implica na aplicação de uma pressão de água sobre o CP, começando com o valor de $0,1 \pm 0,01$ MPa durante 48 horas, depois aumentando para $0,3 \pm 0,03$ MPa durante 24 horas e em seguida, para $0,7 \pm 0,07$ MPa por mais 24 horas. Após este procedimento, o CP foi levado até a prensa hidráulica para o rompimento, separando-o em duas partes iguais, no sentido em que foi exercida a pressão da água. Então, anotaram-se as profundidades de penetração da água em milímetros.

A penetração máxima foi considerada como a média das penetrações, o registro das penetrações será observado ao longo de uma faixa central de 100 mm.

As figuras 51 e 52 mostram a fôrma e o aparato de ensaio.



Figura 51. Fôrma para ensaio de Penetração de água.



Figura 52. Ensaio de Penetração de água sobre pressão.

6.2.8 Ciclagem Água/Estufa

O mesmo ensaio de ciclagem também foi realizado de forma acelerada com ciclagens água/estufa, de forma análoga ao ensaio para agregados da norma NBR12696 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1992) num período de 4 meses contendo 120 ciclos alternados de permanência na câmara úmida e secagem em estufa, a fim de observar o comportamento dos corpos-de-prova a essa condição tão adversa.

Os corpos-de-prova tiveram dimensão 10x20cm, sendo três corpos-de-prova para cada traço. Após o período de cura em câmara úmida foram deixados em local com umidade ambiente para a realização da pesagem inicial e depois imersos em água por 14 horas, na sequência secos em estufa por 8 horas e deixados para resfriamento em temperatura ambiente por 1 hora, concluindo um ciclo.

O procedimento de ensaio foi recommençado pela nova pesagem e a avaliação de fissuras e perda de massa.

6.2.9 Resistência ao ataque químico

Segundo Andrade et al. (2003), a relação água/cimento e o processo de cura são fatores de influência contra o ataque de agentes agressores no concreto.

Quanto a qualidade dos concretos, os autores ainda citam que as adições minerais podem ser benéficas a esses ataques devido a fixação do Ca(OH)_2 , produto mais vulnerável na pasta de cimento.

O procedimento adotado para análise da resistência do CAD com adições de CCA e resíduo de borracha em comparação a um CAD referência não possui especificações normativas para avaliação da resistência ao ataque químico sob a ação de ácidos. Assim as avaliações constarão de resultados de perda de massa, aspecto visual e queda de resistência mecânica, quando os corpos-de-prova forem submetidos a ciclos de imersão e secagem em ácido láctico.

Os corpos-de-prova foram cilíndricos, sendo seis CPs para cada traço, de dimensão de 10x20cm e foram inseridos em soluções contendo ácido láctico, em

uma concentração igual a 14%, seguindo os procedimentos já adotados pelos autores citados.

O ácido láctico é encontrado em indústrias de laticínio, a partir da fermentação da lactose, ou em indústrias de produtos químicos. A ação deletéria deste agente agressivo sobre o concreto consiste na dissolução do Ca(OH)_2 , a partir da superfície do concreto, levando à lixiviação deste produto de hidratação (BICZÓK, 1964 apud DAL MOLIN, 1996).

O modelo de ensaio terá como base as pesquisas de Andrade et al. (2003), Dal Molin et al. (1996). Após 24h os mesmos foram desmoldados colocados em câmara úmida para a realização da cura por 28 dias.

Terminado o período estipulado para a cura, os espécimes foram retirados e secos ao ar por 24 horas e, logo após, pesados. Após a pesagem, foram totalmente imersos nos respectivos ácidos por 5 dias.

A fim de acelerar o processo de degradação, estes corpos-de-prova foram retirados do recipiente contendo ácido e lavados, para retirar os resíduos de concreto, além dos sais solúveis resultantes das trocas químicas entre o cimento e a solução ácida depositados na sua superfície, deixando-os secar ao ar livre por seis dias. Passado este período, fecha-se um ciclo com 11 dias iniciando-se outro. É realizada uma nova pesagem e a imersão novamente, até que os corpos-de-prova completassem 2 ciclos de ensaio.

As pesagens realizadas indicarão a perda de massa para cada ciclo para um mesmo corpo-de-prova.

6.2.10 Frente de Penetração de Cloretos – explicar mais

O ensaio foi realizado pelo método colorimétrico de aspersion de nitrato de prata, observados após 4 ciclos de molhagem e secagem, iniciados após 28 dias de cura.

A exposição a esse tipo de ataque em ambiente marinho seria por volta de 3,5% de NaCl de concentração, mas segundo os ensaios realizados por Silva (2006), a observação da frente de penetração nesse período de tempo do ensaio seria muito pequena. Assim a concentração utilizada foi de 10% de NaCl. Cada traço teve três corpos-de-prova, sendo estes analisados após o 4º ciclo de ensaio.

Após o período de cura os corpos-de-prova são deixados em local com umidade ambiente por 4 dias. Na seqüência foram colocados, com metade da altura, imersos na solução de NaCl por 3 dias. Após este período os CPs passaram por secagem por 4 dias completando um ciclo, conforme mostra a figura 53 abaixo.

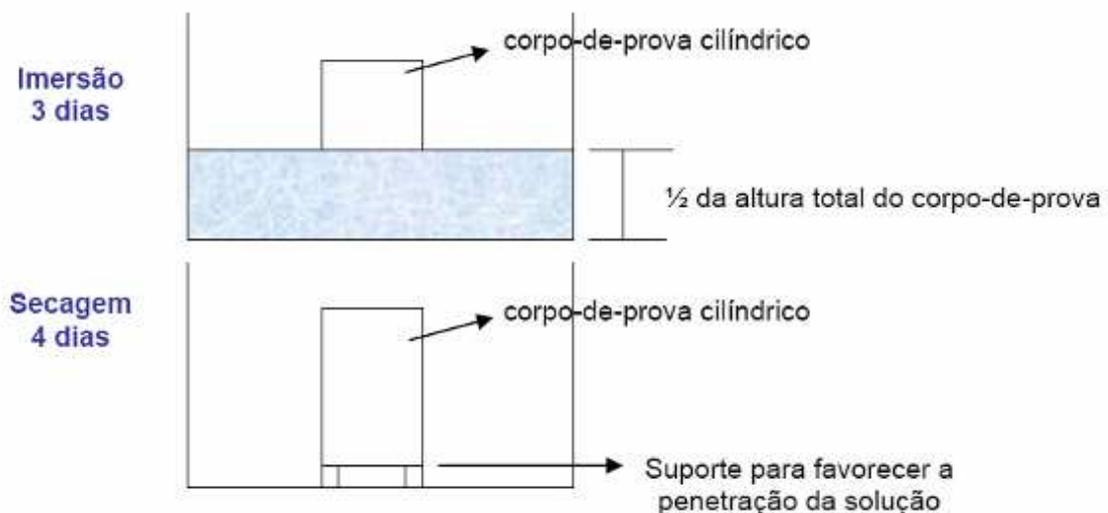


Figura 53. Esquema para ensaio de profundidade de penetração de cloretos.
Fonte: Silva (2006).

6.2.11 Ensaio de Abrasão/Erosão

A perda de material por deterioração da estrutura por desgaste superficial será expressa pelo valor percentual de perda de massa conseqüente do desgaste exposto pelas esferas de aço em contato com o corpo-de-prova de dimensão 30x10 cm que é colocado numa espécie de cilindro onde fica imerso em água.

O sistema constitui de motor, correia e roldanas que foram dimensionados para manter a pá de agitação em movimento circular constante com a água, movimentando as esferas.

O desgaste do corpo-de-prova é verificado através do atrito das esferas na superfície deste, causando abrasão sua superfície. O desgaste é calculado atra-

vés da porcentagem da massa inicial do corpo-de-prova, no decorrer de 71 horas de ensaio, sendo pesado antes de iniciar o ensaio e após 10, 24, 48 e 71 horas.

O ensaio realizado pelo Laboratório CESP de Engenharia Civil (LCEC) é uma referência ao método “Corps of Engineers” inserido no texto “Abrasion-Erosion Resistance of Concrete – Technical Report C-78-4”, o estudo foi realizado com a confecção de um CP por traço para 7 dias e para 28 dias.

As figuras de 54 a 56 mostram os aparatos para a realização do ensaio.



Figura 54. Forma ensaio de Abrasão.



Figura 55. Posição do CP para ensaio.



Figura 56. Inserção das pás giratórias para início do ensaio.

7 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

7.1 CONSISTÊNCIA DO CONCRETO

A influência das adições na consistência do concreto pôde ser primeiramente observada pela diferença entre os tipos de grãos, tanto da sílica ativa quanto da cinza da casca de arroz.

O traço dosado com sílica ativa, cujas partículas são esféricas, apresentou um abatimento de tronco de cone um pouco superior ao traço dosado com CCA, que possui partículas porosas.

O formato alongado da fibra de borracha diminuiu o abatimento dos traços com esta adição, conforme mostra a figura 57.

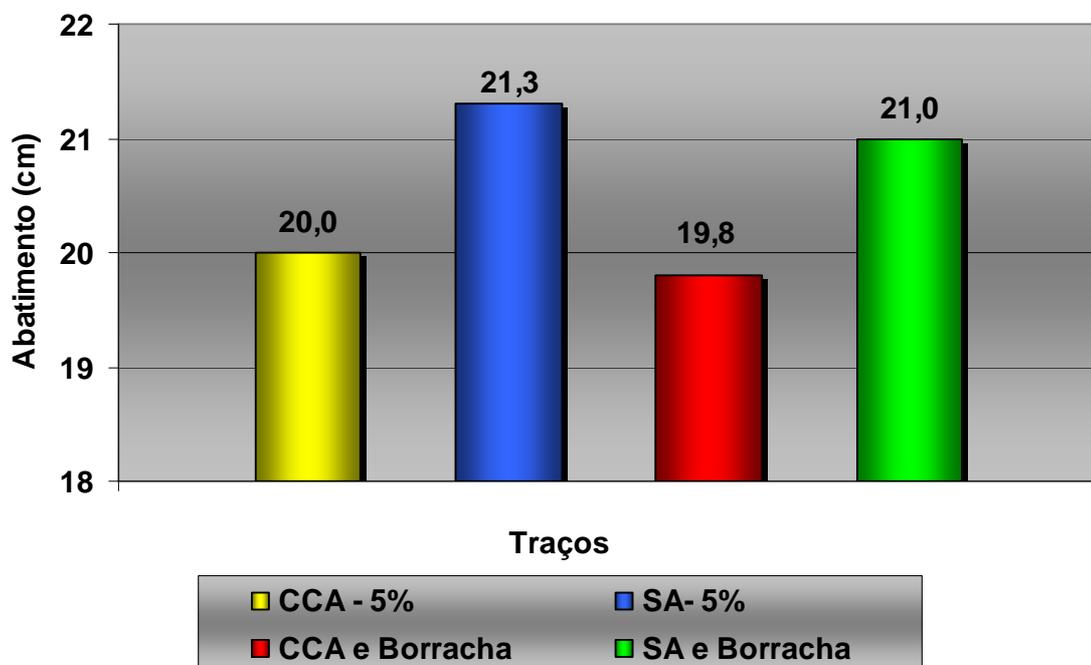


Figura 57. Consistência do concreto.

As figuras de 58 a 63 mostram a consistência do concreto realizado na pesquisa.



Figura 58. Concreto antes da adição do aditivo.



Figura 59. Ação do aditivo.



Figura 60. Consistência do concreto com adição de CCA.



Figura 61. Consistência do concreto com adição de Sílica Ativa.



Figura 62. Consistência do concreto com adição de Sílica Ativa e Borracha.



Figura 63. Consistência do concreto com adição de CCA e Borracha.

7.2 INCORPORAÇÃO DE AR NO CONCRETO

O formato alongado do resíduo da borracha de pneu e sua superfície áspera contribuem para o aprisionamento de bolhas de ar, conseqüentemente, os traços com a adição de borracha de pneu aumentaram a porcentagem de ar incorporado no concreto, como mostra a figura 64.

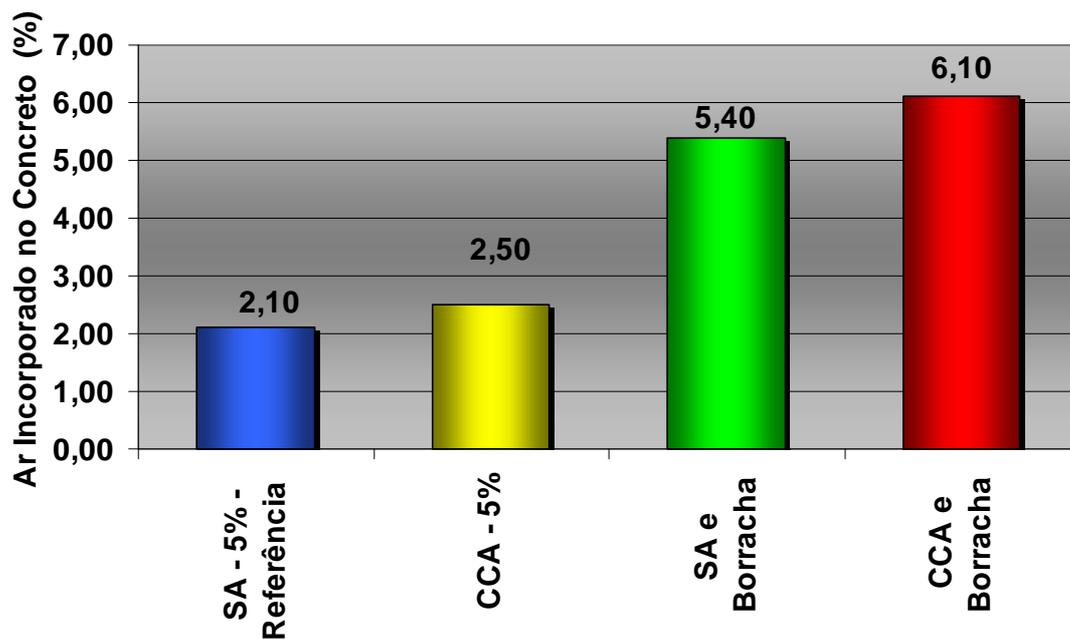


Figura 64. Incorporação de ar no concreto.

Como a porcentagem de substituição foi a mesma para SA e CCA e como a borracha de pneu tem massa específica inferior a da areia, a realização de traços dosados com estas adições apresentaram massa específica diferentes para os concretos confeccionados como mostra a figura 65.

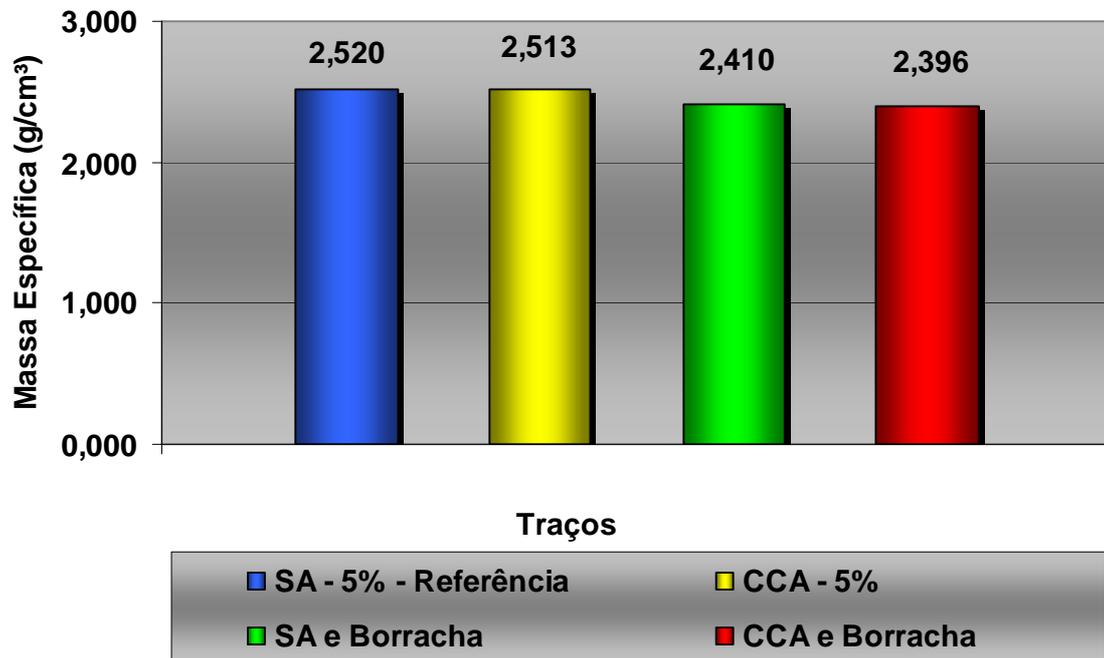


Figura 65. Massa Específica.

7.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO NO CONCRETO

O ensaio de resistência à compressão foi feito para acompanhar o desempenho dos traços realizados, classificando-os como concretos de alto desempenho, e, também evidenciar as possíveis influências das adições dos resíduos. A figura 66 contém os resultados das resistências à compressão para cada um dos traços nas respectivas idades de ruptura.

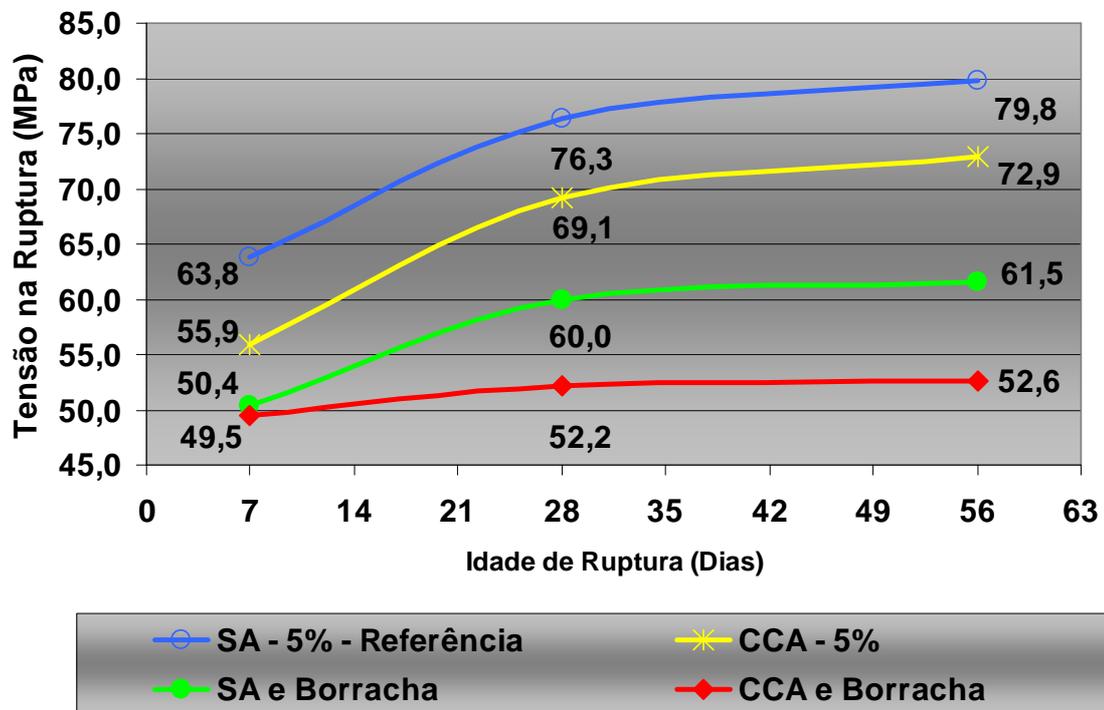


Figura 66. Resistência à Compressão.

Estes resultados mostraram queda de 10% quando se substituiu a Sílica Ativa pela Cinza da Casca de Arroz para a confecção do CAD.

Quando parte da areia foi substituída por borracha de pneu houve queda de 21% para o traço contendo a Sílica Ativa.

A substituição de parte da massa de cimento para o acréscimo de CCA mostrou um decréscimo próximo a 10% na resistência, nota-se que o traço com as adições de CCA e Borracha de Pneu juntos, no mesmo traço, tiveram desempenho 30% menor na resistência à compressão.

A queda de resistência à compressão nos traços dosados com borracha de pneu pode ser um fator limitante para algumas aplicações deste traço, mas a adição de borracha contribui com outras propriedades, como na contenção do estilhaçamento na ruptura do CAD. As figuras de 67 a 70 mostraram os CPs após a ruptura.



Figura 67. Ruptura do CP com Borracha.



Figura 68. Ruptura sem estilhaçamento do CP com Borracha.



Figura 69. Ruptura do CP sem adição de borracha.



Figura 70. Fragmentação do CP sem borracha após ruptura.

7.4 ABSORÇÃO DE ÁGUA

Para os traços adicionados de borracha de pneu, a absorção entre 7 e 28 dias foi praticamente da mesma ordem.

A adição de borracha junto à SA mostrou resultados dentro de uma mesma faixa do intervalo de amostragem do traço com apenas SA, indicando um comportamento semelhante, como pode ser observado pelos valores da figura 71 e da Tabela 11.

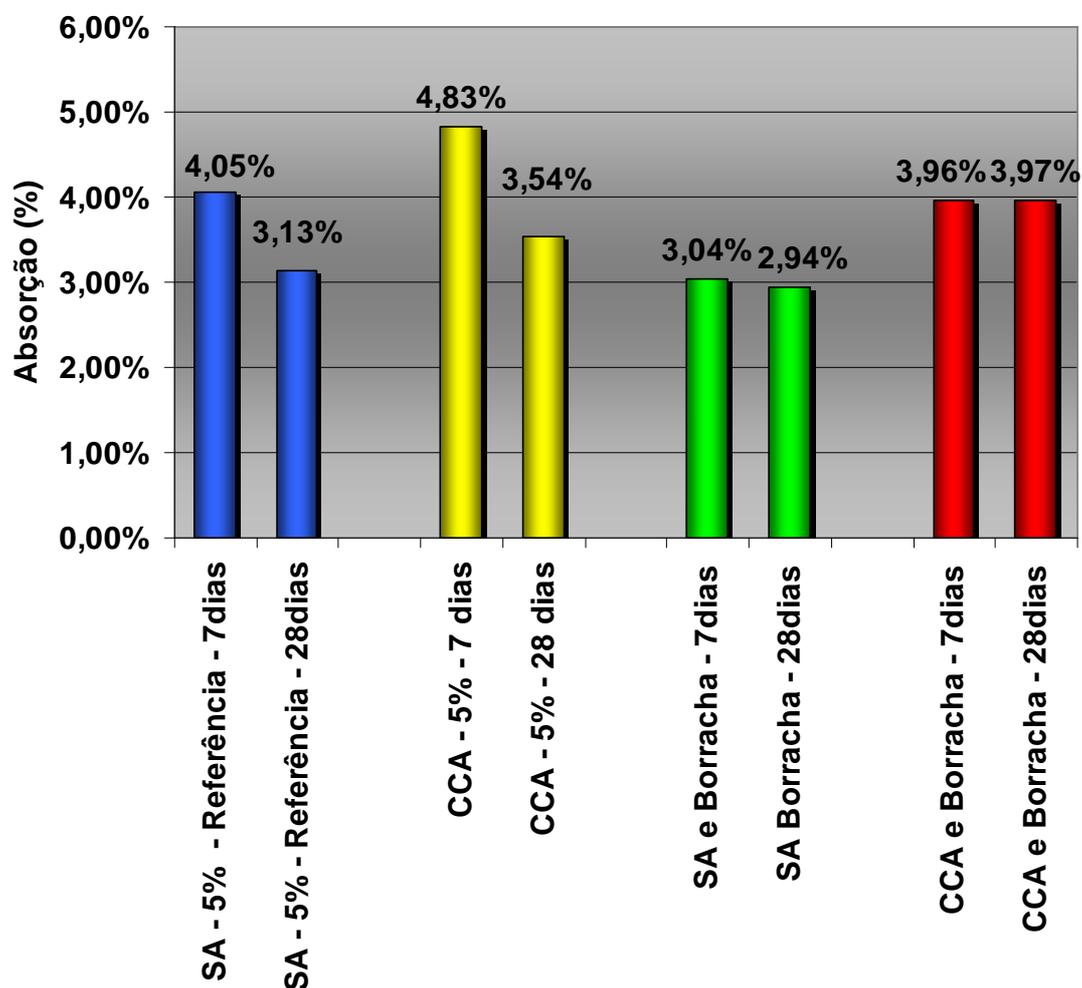


Figura 71. Absorção de Água por Imersão.

A tabela 11 apresenta a distribuição dos resultados do ensaio, uma vez que estes tiveram valores muito próximos e pudessem ser melhor analisados.

Tabela 11. Intervalos de Amostragem para o Ensaio de Absorção de água.

TRAÇO	DIAS	INTERVALO DE AMOSTRAGEM	MÉDIA (%)	DESVIO PADRÃO (6%)	NOVO INTERVALO
Sílica Ativa - 5% Referência	7	(3,90 - 4,13)	4,05	0,24	(3,81 - 4,29)
	28	(2,96 - 3,31)	3,13	0,19	(2,94 - 3,32)
CCA - 5%	7	(4,68 - 4,95)	4,83	0,29	(4,54 - 5,12)
	28	(3,50 - 3,59)	3,54	0,21	(3,33 - 3,75)
Sílica Ativa - 5% e Borracha	7	(2,94 - 3,21)	3,04	0,18	(2,86 - 3,22)
	28	(2,86 - 3,05)	2,94	0,18	(2,76 - 3,12)
CCA - 5% e Borracha	7	(3,79 - 4,10)	3,96	0,24	(3,72 - 4,20)
	28	(3,81 - 4,21)	3,97	0,24	(3,73 - 4,21)

As figuras de 72 a 75 mostram as etapas do ensaio de absorção de água.



Figura 72. Estufa para ensaio de Absorção.



Figura 73. Tanque de Imersão.



Figura 74. CPs após saírem do tanque de imersão.



Figura 75. Pesagem dos CPs.

A figura 76 e a Tabela 12 mostram os resultados do ensaio de absorção por capilaridade no concreto, mostrando comportamento similar para todos os traços.

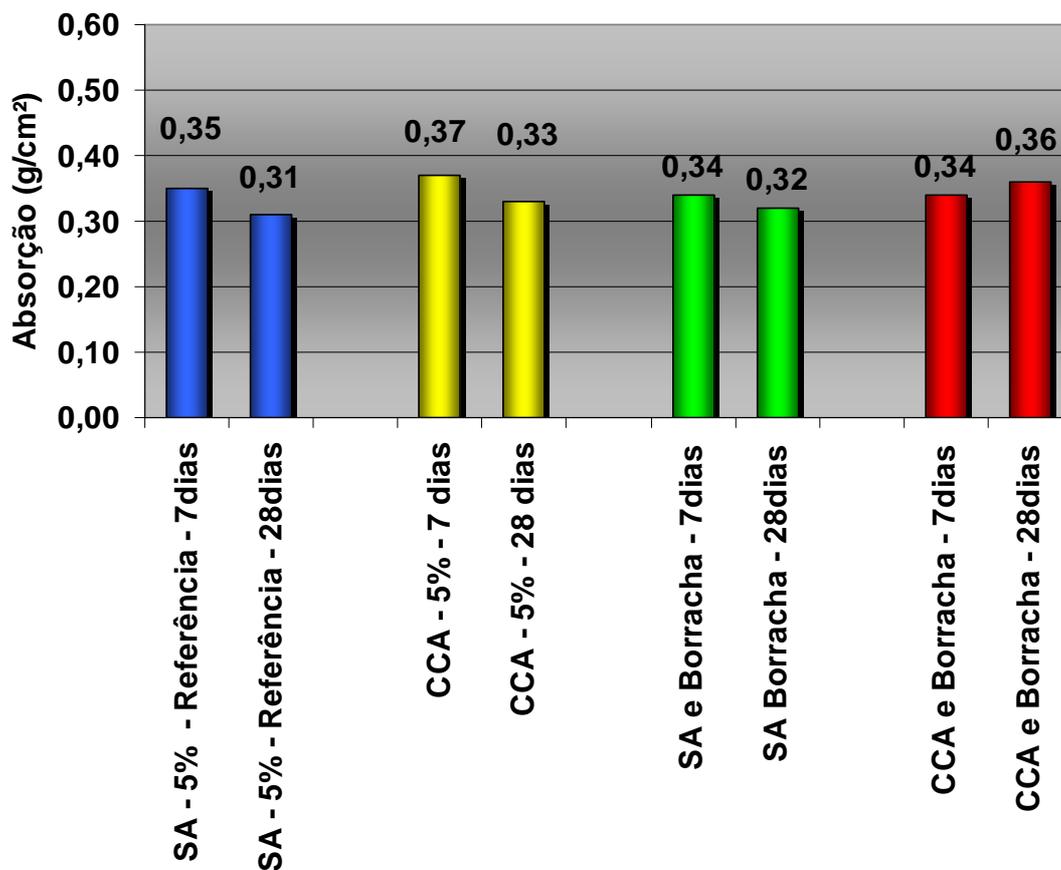


Figura 76. Absorção de Água por Capilaridade.

A distribuição do intervalo de amostragem do ensaio mostra que tanto a substituição da SA pela CCA quanto a adição da borracha de pneu não mostraram influência significativa para este ensaio.

Tabela 12. Intervalos de Amostragem para o Ensaio de Absorção por Capilaridade.

TRAÇO	DIAS	INTERVALO DE AMOSTRAGEM	MÉDIA (%)	DESVIO PADRÃO (6%)	NOVO INTERVALO
Sílica Ativa - 5% Referência	7	(0,34 - 0,37)	0,35	0,02	(0,33 - 0,37)
	28	(0,29 - 0,32)	0,31	0,02	(0,29 - 0,33)
CCA - 5%	7	(0,36 - 0,38)	0,37	0,02	(0,35 - 0,39)
	28	(0,32 - 0,34)	0,33	0,02	(0,31 - 0,35)
Sílica Ativa - 5% e Borracha	7	(0,33 - 0,36)	0,34	0,02	(0,32 - 0,36)
	28	(0,30 - 0,33)	0,32	0,02	(0,30 - 0,34)
CCA - 5% e Borracha	7	(0,33 - 0,35)	0,34	0,02	(0,32 - 0,36)
	28	(0,33 - 0,37)	0,36	0,02	(0,34 - 0,38)

A lâmina de água é outra forma de representação do ensaio de absorção por capilaridade, onde um maior refinamento dos poros é indicado por uma maior ascensão capilar.

As figuras 77, 78 e 79 mostram os detalhes da realização do ensaio de absorção de água por capilaridade.

As figuras de 80 a 83 mostram as lâminas d' água depois da realização da última pesagem e após a ruptura por compressão diametral.



Figura 77. Demarcação da profundidade de imersão em água.



Figura 78. Aparato para realização do ensaio de Absorção por Capilaridade.



Figura 79. Detalhe da altura d'água e do suporte para impedir contato do CP com o fundo do aparato de ensaio.



Figura 80. Lâmina d'água para CPs com CCA.

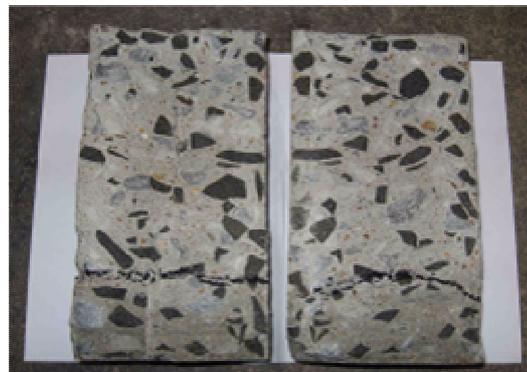


Figura 81. Lâmina d'água para CPs com SA.



Figura 82. Lâmina d'água para CPs com CCA e Borracha.



Figura 83. Lâmina d'água para CPs com SA e Borracha.

7.5 PERMEABILIDADE

O ensaio de penetração de água sobre pressão mostrou que as penetrações nos CPs foram muito próximas a 5 mm. A figura 84 mostra as profundidades de penetração de água no concreto.

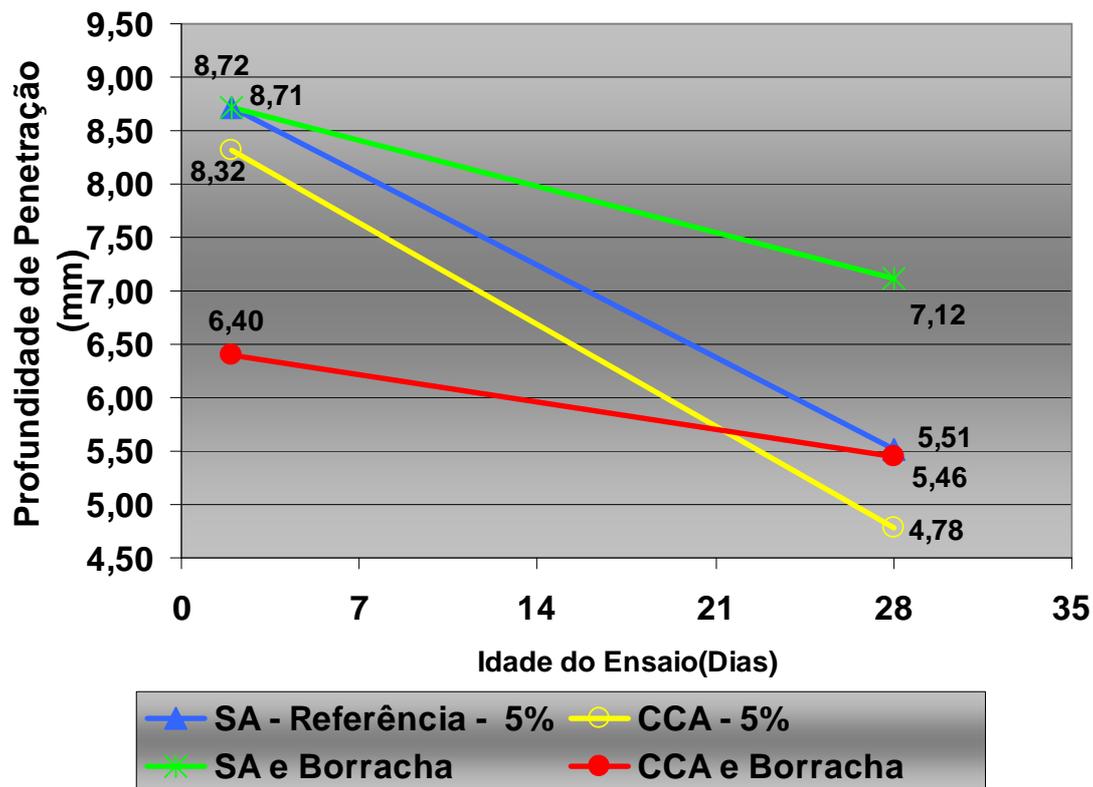


Figura 84. Resultados da Permeabilidade.

O melhor resultado foi observado para o traço com a adição apenas de CCA, com redução na profundidade de penetração de 42,47%, embora, a diferença de profundidade, comparando com o traço dosado com sílica ativa, seja de aproximadamente 1 mm.

O resultado de desempenho da adição de CCA junto com a borracha de pneu mostrou-se mais favoráveis no tamponamento dos poros, na penetração de água aos 3 dias. Ao mesmo tempo, este traço não apresentou valores percentuais, de diminuição na profundidade de penetração de água aos 28 dias, como os traços sem adição de borracha.

A figura 85 mostra a redução percentual de queda da profundidade de penetração de água aos 28 dias.

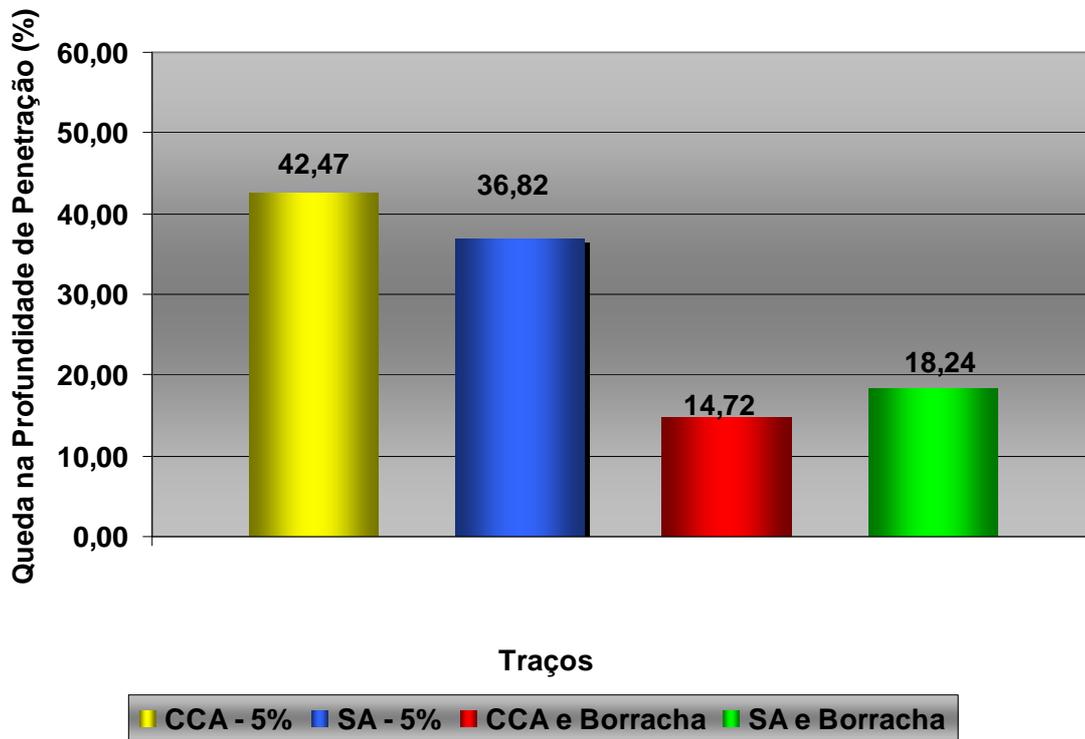


Figura 85. Queda de profundidade de penetração.

As figuras de 86 a 89 mostram as pequenas lâminas d'água que penetraram nos concretos.



Figura 86. Lâmina d'água para CPs com CCA



Figura 87. Lâmina d'água para CPs com SA

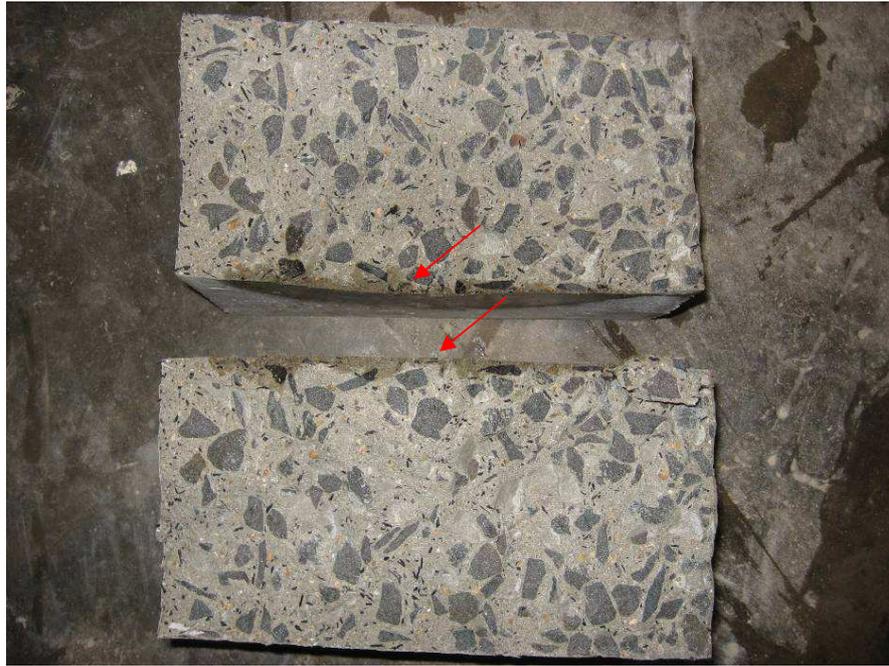


Figura 88. Lâmina d'água para CPs com CCA e Borracha.



Figura 89. Lâmina d'água para CPs com SA e Borracha.

7.6 CICLAGEM ÁGUA ESTUFA

A primeira constatação foi que as massas dos corpos-de-prova mantiveram-se praticamente constantes no decorrer do ensaio.

O quadro de desagregação também foi um dos pontos avaliados pelo ensaio, mas como o concreto utilizado na pesquisa tem uma resistência muito alta, chegando a valores próximos a 80 MPa, para os traços sem borracha, e valores próximos a 60 MPa, para os traços com borracha, a desagregação não foi observada em nenhuma das composições do traço.

Para aumentar o efeito da mudança de temperatura e de clima, optou-se durante a fase de realização do ensaio por retirar os CPs da estufa, que estava a 105°C, e imergi-los na seqüência num tanque com água.

O choque térmico proveniente da mudança brusca de temperatura favoreceu a formação do quadro de fissuração no concreto, e estas, mesmo não tendo uma grande abertura ocasionaram a lixiviação de material carbonático do interior do concreto para a superfície.

A ação prolongada da alta temperatura no concreto também favoreceu a perda de elasticidade das partículas fibrosas de borracha de pneu na camada superficial do concreto.

O maior comprimento das fissuras longitudinais foi observado nos CPs sem adição de borracha de pneu.

A figura 90 mostra o resultado da compressão axial no concreto após a realização dos 120 ciclos.

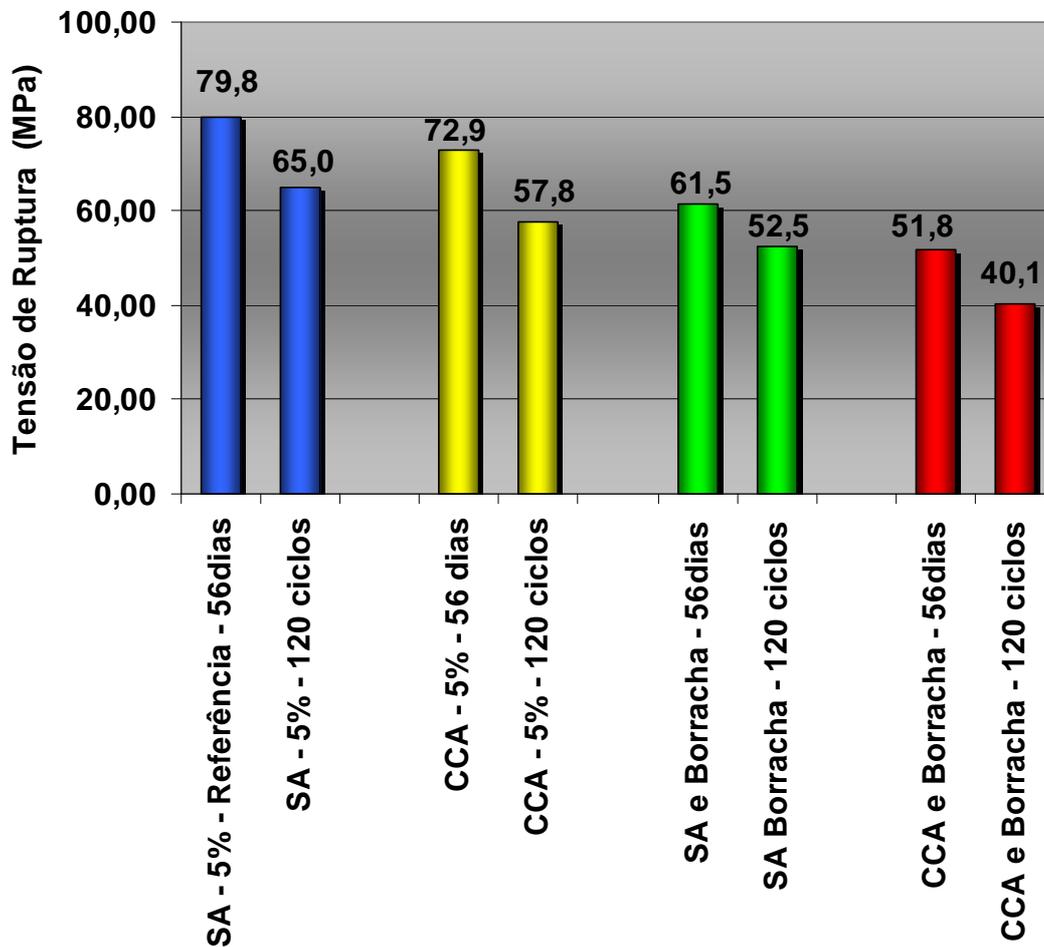


Figura 90. Resistência à compressão após ensaio de ciclagem.

A ação química do CO_2 , que interage com o material lixiviado formando carbonato de cálcio (CaCO_3), segue a equação (3):



Esta equação é conhecida como eflorescência, onde a lixiviação do Ca(OH)_2 , retirando o carbonato de cálcio que é solúvel, do interior do concreto e levando-o para a superfície, se caracteriza por depósitos de crostas brancas, como se verifica nas figuras de 91 a 94.



Figura 91. CCA - Ensaio de Ciclagem



Figura 92. SA - Ensaio de Ciclagem



Figura 93. CCA e Borracha - Ensaio de Ciclagem.



Figura 94. SA e Borracha - Ensaio de Ciclagem.

7.7 RESISTÊNCIA AO ATAQUE QUÍMICO

O traço contendo apenas CCA apresentou maior porcentagem de perda de massa, enquanto os traços que tiveram a adição de borracha conseguiram impedir com maior sucesso a entrada de agentes agressores, mostrando sua maior capacidade de impermeabilização.

Como o resultado dos traços com borracha foi bom, optou-se por realizar mais um ciclo do ensaio para estes traços. Mesmo após o 3º ciclo de ensaio, os traços contendo borracha não apresentaram a diminuição da massa como os traços do 2º ciclo e sem adição de borracha, como é mostrado na figura 95.

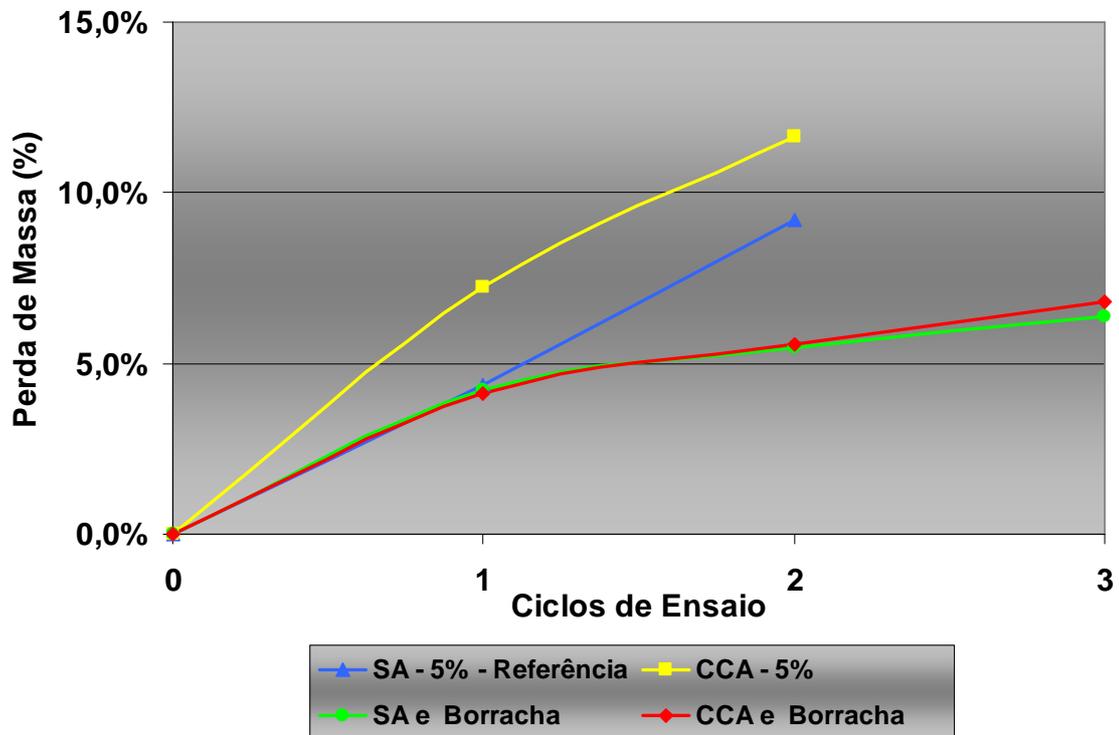


Figura 95. Perda de Massa por Ataque Químico.

As figuras de 96 a 99 mostram os CPs após a realização do ensaio de resistência ao ataque químico no concreto.



Figura 96. CCA - após a retirada do cálcio da superfície.



Figura 97. SA - após a retirada do cálcio da superfície..



Figura 98. CCA e Borracha - após a retirada do cálcio da superfície.



Figura 99. SA e Borracha - após a retirada do cálcio da superfície.

7.8 FRENTE DE PENETRAÇÃO DE CLORETOS NO CONCRETO

Para a realização da secagem exigida nos ciclos do ensaio optou-se por um local arejado, com boa ventilação e protegido de intempéries como chuva e sol. A figura 100 mostra a secagem dos CPs à temperatura ambiente.



Figura 100. Secagem dos CPs à temperatura ambiente.

Após os CPs passarem pelo 4º ciclo de ensaio foi realizado um procedimento de corte do CP por meio de ruptura diametral e após esta aplicou-se a solução

de nitrato de prata a 0,1 M, seguindo para um local de boa iluminação. As figuras 101 e 102 mostram a montagem da verificação da penetração de cloretos no local com boa iluminação e a formação da coloração mais clara evidenciando a presença de íons cloreto.



Figura 101. Exposição em ambiente bem iluminado.



Figura 102. Início da reação com o nitrato de prata.

A figura 103 mostra o detalhe na faixa vermelha identificando a intersecção entre o local com penetração dos íons cloretos no concreto, parte mais clara, e o local sem a presença de íons cloreto, mostrada na parte mais escura.



Figura 103. Presença de íons cloretos.

A figura 104 a mostra a penetração de cloretos para este ensaio.

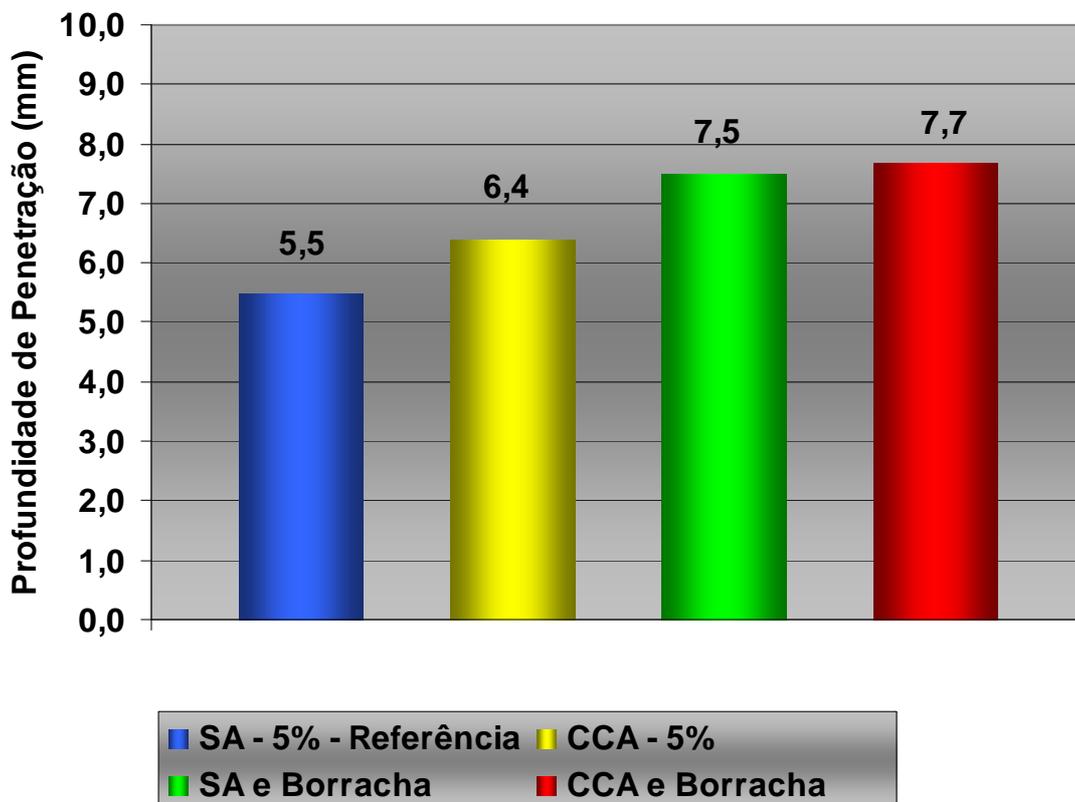


Figura 104. Desenvolvimento da penetração de cloretos ao longo do tempo.

A análise destes resultados nos leva a verificar que a presença de pozolanas apresentando-se mais finas em granulometria que o cimento promovem boa resistência à penetração dos íons cloreto e que adição de borracha de pneu não reagiu satisfatoriamente a este ensaio, aumentando a profundidade da penetração dos cloretos n em mais de 10 mm no concreto.

Para uma abordagem mais específica em relação às características impostas pela NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2007), as penetrações não apresentam risco eminente de corrosão para as armaduras em concreto, estando com valores inferiores aos limites especificados na norma citada e apresentada na página 22, figura 9.

7.9 ABRASÃO/EROSÃO NO CONCRETO

A boa qualidade da argamassa foi observada no ensaio de abrasão e erosão, mostrando pequena variação de perda de massa entre os traços estudados, com diferenciação para os traços com borracha apresentando menor perda de massa apresentados na figura 105.

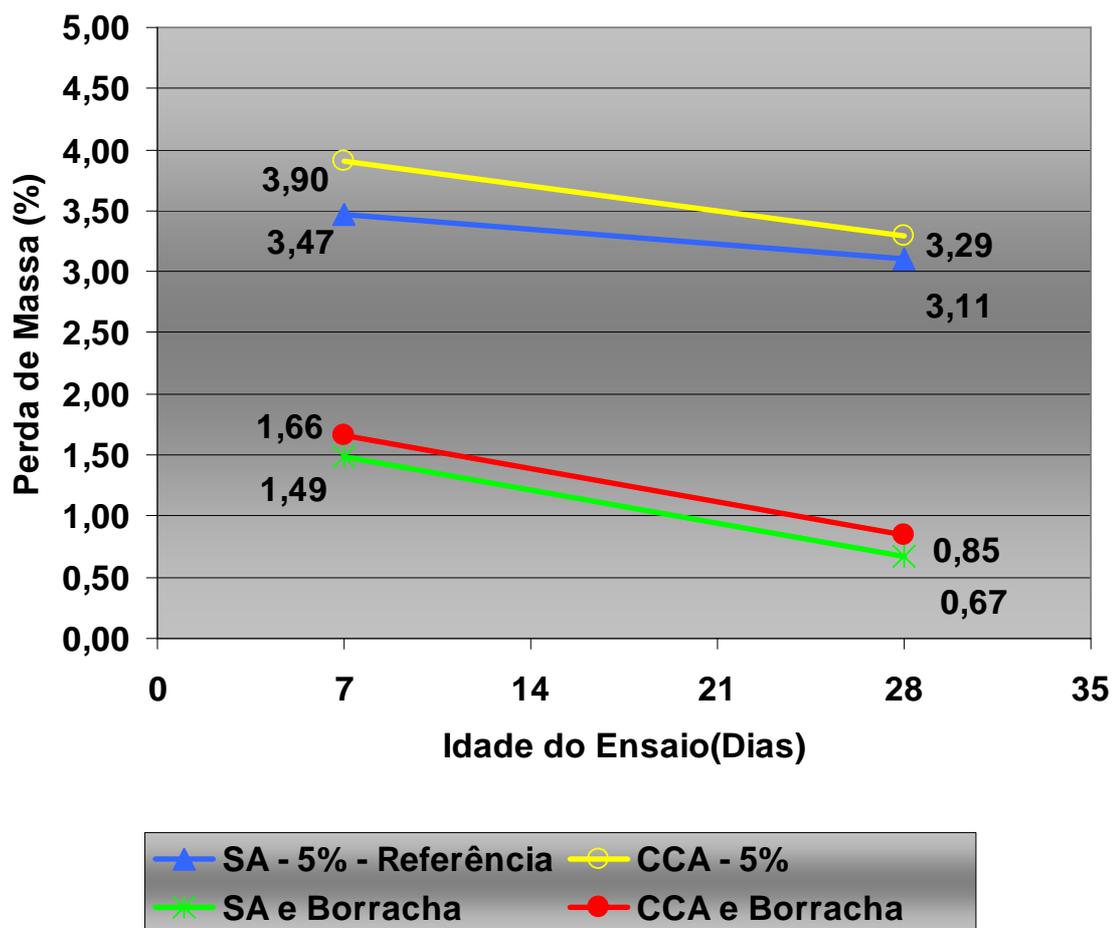


Figura 105. Perda de Massa por Abrasão/Erosão.

As figuras de 106 a 109 mostram o estado dos CPs após as 72 horas de ensaio de abrasão/erosão com o devido desgaste sofrido.



Figura 106. Abrasão/Erosão SA – Referência.



Figura 107. Abrasão / Erosão CCA.



Figura 108. Abrasão/Erosão SA – Borracha.



Figura 109. Abrasão/Erosão CCA – Borracha.

8 CONCLUSÕES

8.1 CONCLUSÃO

A queda de resistência à compressão nos traços estudados foi observada tanto para as adições de CCA quanto para a Borracha de Pneu, sendo a queda de 10% quando adicionada a CCA, 20% para Borracha de Pneu e 30% para as duas no mesmo traço, em relação ao traço referência com Sílica Ativa.

A comparação destes resultados com o traço referência evidencia ainda a superioridade da sílica ativa na produção do CAD, sabendo-se que a SA comercial possui uma granulometria bem mais fina que a CCA, o que pode justificar a queda de resistência, uma vez que a composição química de ambas é semelhante e à base de SiO_2 .

Os resultados do ensaio de absorção de água por imersão mostraram aumento na absorção para os traços com a adição de CCA em substituição à SA. Os traços com SA e Borracha tiveram os resultados dentro de uma mesma faixa do intervalo de amostragem, sem poder afirmar a influência desta adição.

A absorção de água por capilaridade não mostrou influência significativa para as adições em estudo.

O ensaio de penetração de água sobre pressão mostrou resultados muito dispersos, tendo como melhor forma de avaliação deste ensaio a análise individual dos traços em relação a sua idade de ensaio. Todos os traços apresentaram resultados inferiores a 10mm de penetração de água sob pressão.

O quadro de fissuração no ensaio de Ciclagem mostrou que a borracha de pneu teve a ação de impedir a continuidade das fissuras e também auxiliou a contenção da lixiviação de material carbonático, o que foi mais evidenciado nos traços sem adição de borracha.

A queda na resistência à compressão apresentou valores semelhantes para SA e CCA, 14MPa e 15MPa, respectivamente, e a borracha de pneu obteve as menores quedas, 11MPa para ambos os traços com Borracha e SA e Borracha e CCA sendo mais resistente a esta solicitação.

Em relação ao ensaio de ataque químico por ácido láctico, os traços contendo Borracha de Pneu mostraram que esta adição proporciona uma menor perda de massa nos CPs. Já o traço contendo apenas CCA apresentou perda de massa superior quando comparado à Sílica Ativa.

Em relação à penetração de cloretos, uma diferença entre a microestrutura dos concretos pode ter apresentado caminhos preferenciais nos traços com borracha, de maneira que a água tenha entrado com mais facilidade, mas em pequena quantidade. Sendo assim, ocorreu uma maior entrada dos íons cloreto nos traços contendo a adição de borracha, embora a diferença de penetração entre os traços com e sem borracha fosse próximas de 1 mm.

Em geral a durabilidade não foi comprometida com adição dos resíduos propostos no trabalho, além disso, a borracha de pneu mostrou, mesmo com massa específica inferior a dos traços sem esta adição, valores similares para absorção de água e muito eficaz no combate à ação de agentes químicos e aos ciclos de água/estufa.

Em relação ao tipo de obras para utilização dos traços e a durabilidade destes, a pesquisa pode sugerir que para obras com necessidade de grandes resistências à compressão, contenção de água com pressão e contenção do ingresso de íons cloreto, os traços sem borracha são mais favoráveis. Para obras hidráulicas com pouca pressão de água, resistência ao ataque químico, contenção de fissuração por altas temperaturas, os traços contendo borracha poderão ser empregados sem diminuir a durabilidade.

Para os traços com CCA, vale ressaltar que mesmo com maior diâmetro de suas partículas conseguiu resultados similares aos da Sílica Ativa, lembrando que o resíduo foi processado sem controle de temperatura.

8.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Diante do trabalho, entende-se que a necessidade do aproveitamento de resíduos seja uma maneira de auxiliar o meio ambiente, sendo assim, fazem-se necessários novos estudos com estes resíduos, cinza da casca de arroz e borraça de pneu, em quantidades maiores nos traços de concreto, de forma a reduzir ainda mais a quantidade de agregados e cimento no concreto.

O estudo inicial desta pesquisa consistiu em utilizar um traço que já foi estudado por outros autores no campus de Ilha Solteira, mas para trabalhos futuros, sugere-se a realização de um estudo específico de traços de concreto de alto desempenho com as quantidades ótimas de adição de CCA e Borracha e também da influência microestrutural das adições no CAD.

Também como sugestão para novos estudos pode-se realizar uma tentativa de reproduzir o ensaio de ciclagem artificial água/estufa com os novos traços e inserir uma nova abordagem, com um mecanismo que pudesse deixar os CPs carregados com uma determinada carga e estes participassem do ensaio com esta carga, verificando então o comportamento do concreto a exposição dos ciclos de água/estufa e do carregamento junto, deixando o ensaio mais próximo das estruturas reais como fundações, vigas e pilares.

A grande preocupação com o fator custo na construção civil também poderá ser alvo de trabalhos futuros, avaliando o custo de manutenção ao longo dos anos e assim fazer um levantamento de custos envolvidos para a realização de concretos convencionais, de menor resistência, comparando-os com o custo dos concretos praticados nesta pesquisa.

9 REFERÊNCIAS

AGUIAR, J. A. **Avaliação dos ensaios de durabilidade do concreto armado a partir de estruturas duráveis**. 2006. 173 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

AITCIN, P. C. **Concreto de alto desempenho**. São Paulo: PINI, 2000. p 334.-.398.

AKASAKI, J. L.; SERNA ROS, P.; REYES, B. MARQUES, A. C.; TRIGO, A. P. M. Avaliação das características do concreto quando submetido à degradação de origem química. In: SIMPÓSIO EPUSP SOBRE ESTRUTURAS DE CONCRETO, 5., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP, 2003. 1 CD-ROM.

AKASAKI, J. L.; RICCI, E. C.; MACEDO, P. C.; VASCONCELOS, A. R. B. Avaliação do resíduo agroindustrial como alternativa ecologicamente correta para construção civil. In: JORNADAS SULDAMERICANAS DE INGENIERIA ESTRUCTURAL, 33., 2008, Santiago. **Jornada...** Chile:Santiago, 2008. 1 CD-ROM.

AMBIENTE BRASIL. **Reciclagem de pneu**. Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br>>. Acesso em: 26 mar. 2007.

ANDRADE, J. J. O.; TISBIEREK, F. T.; RATHER, L. P. R.; NOBRE, T. R. S. Avaliação das características do concreto quando submetido à degradação de origem química. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 45., 2003, Vitória. **Anais...** São Paulo: Ibracon, 2003. p. 1 - 12. 1 CD-ROM.

ARROZ. **Arroz em Foco**. Disponível em: <<http://www.arroz.agr.br>>. Acesso em: 25 ago. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5733**: cimento portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2008. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: concreto – ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto - procedimento. Rio de Janeiro, 2007. 221p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: cimento portland – determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7218**: agregados – determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro, 1987. 2p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: argamassa e concreto endurecidos – determinação da absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9779**: argamassa e concreto endurecidos – determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 1995. 2p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10787**: concreto endurecido – determinação da penetração de água sob pressão. Rio de Janeiro, 1994. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11578**: cimento portland composto: especificação. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653**: materiais pozolânicos. Rio de Janeiro, 1992. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12696**: agregados – verificação do comportamento mediante ciclagem artificial água-estufa. Rio de Janeiro, 1992. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBRNM 23**: cimento Portland e outros materiais em pó – determinação de massa específica. Rio de Janeiro, 2001. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBRNM 45**: agregados - determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBRNM 47**: concreto - Determinação do teor de ar em concreto fresco - método pressométrico . Rio de Janeiro, 2002. 23p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBRNM 49**: agregado fino – determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro, 2001. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBRNM 52**: agregado miúdo – determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBRNM 53**: agregado graúdo – determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2003. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBRNM 65**: cimento Portland – determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 2003. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBRNM 67**: concreto – determinação da consistência pelo abatimento o tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBRNM 76**: cimento Portland – determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (método de blaine). Rio de Janeiro, 1998. 12p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBRNM 248**: agregados - determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003. 6p.

BARBOSA, M. B. **Utilização de resíduos de cinza de casca de arroz e borracha de pneus em concreto de alto desempenho**. 2006. 161f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2006.

BARBOSA, M. B.; AKASAKI, J. L.; ALCÂNTARA, M. A. M. Estudo da resistência ao impacto em concreto de alto desempenho com resíduos cinza de casca de arroz e borracha de pneu. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 49., 2007, Bento Gonçalves. **Anais...** São Paulo: Ibracon, 2007. 1 CD-ROM.

BIGNOZZI, M. C.; SANDROLINI, F. Tyre rubber waste recycling in self-compacting concrete. **Cement and Concrete Research**, Elmsford, v. 36, n. 4, p. 735-739., 2005.

BRASIL. **Resolução CONAMA n. 258, de 26 de agosto de 1999.** MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/conama>>. Acesso em: 26 ago. 2007.

COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DO CEARÁ - CAGECE. **Tempo de decomposição dos resíduos sólidos.** Disponível em:<http://www.cagece.com.br/meioambiente/coleta/curso_coletaseletiva/cap09>. Acesso em: 26 ago. 2007.

CARBONARI, B.M.T. et al.. Análise do desempenho de durabilidade entre concretos normais e concretos de alto desempenho. In: JORNADAS SUL AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 30., 2002, Brasília. **Jornadas...** Brasil: Brasília, 2002. 1 CD-ROM.

CÉSAR, S. A. B. M.; MOSCA, A. M. A.; LINTZ, R. C. C.; CARNIO, M. A. Estudo das propriedades mecânicas do concreto com adição de borracha de pneu. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 48., 2006, Rio de Janeiro. **Anais...** São Paulo: Ibracon, 2006. 1 CD ROM.

CHAN, W. W. J.; WU, C. M. L. Durability of concrete with high cement replacement. **Cement and Concrete Research**, Elmsford, v. 30, n. 6, p. 865-879., 2000.

CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRBAIRN, E. M. R. Produção de cinza ultrafina da casca de arroz com elevado teor de carbono para emprego em concreto de alto desempenho. In: JORNADAS SUL AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 32., 2006, Campinas. **Jornada...** Brasil: Campinas, 2006. 1 CD-ROM.

COSTENARO, F. F.; LIBORIO, J.B.L. Efeito da adição de cinza e sílica da casca de arroz em concretos. In: CONGRESSO BRASILEIRO IBRACON, 45., 2003, Vitória. **Anais...** São Paulo: Ibracon, 2003. 1 CD-ROM.

DAL MOLIN, D. et al. Estudo de concretos com adição de sílica ativa (Microsílica) frente ao ataque de agentes agressivos para emprego em pisos especiais. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON HIGH-PERFORMANCE CONCRETE AND PERFORMANCE AND QUALITY OF CONCRETE STRUCTURES, 1., 1996, Florianópolis. **Proceedings...** Florianópolis: UFSC, 1996. p. 590-598.

DELLA, V. P.; HOTZA, D.; JUNKES, J. A.; OLIVEIRA, A. P. Estudo comparativo entre sílica obtida por lixívia ácida da casca de arroz e sílica obtida por tratamento térmico da cinza de casca de arroz. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 6, p. 12, 2006.

FERREIRA, R. M. **Avaliação dos ensaios de durabilidade do betão**. 2000. 246f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, 2006.

FERREIRA, R. M. Optimização da vida útil das estruturas de betão armado. In: JORNADAS PORTUGUESAS DE ENGENHARIA DE ESTRUTURAS, 4., 2006, Lisboa. **Jornada...** Portugal: LNEC, 2006. Disponível em: <<https://repositorium.sdum.uminho.pt>>. Acesso em: 2 jul. 2008.

FOLETTTO, E. L.; HOFFMANN, R.; HOFFMANN, R. S.; PORTUGAL JUNIOR., U. L.; JAHN, S. L. Aplicabilidade das cinzas da casca de arroz. **Química Nova**, Santa Maria, v. 28, n. 6, p. 1055-1060, 2005.

GRIGOLI, A. S.; HELENE, P. **Comportamento das adições minerais inertes em poros e zona de transição em concretos**. Disponível em: <http://www.scobinengenharia.com.br/?secao=artigos_palestras>. Acesso em: 19 ago. 2008.

HASPARYK, N. P. et al. Estudo da influência da cinza de casca de arroz amorfa nas propriedades do concreto. CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 45., 2003, Espírito Santo. **Anais...** São Paulo: Ibracon, 2003. 1 CD ROM.

HERNÁNDEZ, F. O.; BARLUENGAB, G. Fire performance of recycled rubber-filled high-strength concrete. **Cement and Concrete Research**, Elmsford, v. 34, n. 1, p. 109-117., 2003.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Climatologia**: normais climatológicas. Disponível em: <<https://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 2 jul. 2008.

ISAIA, G. C. (Ed.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005a. 2 v., 1600p.

ISAIA, G. C. Questões de ensino e pesquisa na durabilidade das estruturas do concreto. **e-Mat**, Santa Maria, v. 2, n. 2, p. 92-104, 2005b.

LIU, Y. W.; YEN, T., HSU, T. H. Abrasion erosion of concrete by water-borne sand. **Cement and Concrete Research**, Elmsford, v. 36, n. 10, p. 1814-1820., 2006.

MARQUES, A. C. **Estudo da influência da adição de borracha vulcanizada em concreto à temperatura ambiente e elevada temperatura**. 2005. 117 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2005.

MARTINS, I. R. F.; AKASAKI, J. L. Avaliação da adição de fibras de borracha de pneus no comportamento do CAD. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 47., 2005, Recife. **Anais...** São Paulo: Ibracon, 2005. 1 CD-ROM.

MARTINS, I. R. F. **Concreto de alto desempenho com adição de resíduos de borracha de pneu**. 2005. 144 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2005.

MEDEIROS, B. L. **Estruturas subterrâneas de concreto**: levantamento de manifestações patológicas na região metropolitana de Curitiba e análise de sistemas de reparo. 2005. 143f. Dissertação (Mestrado) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

MEHTA, P. K. Properties of blended cements made form rice husk ash. **ACI Materials Journal**, New York, v. 74, n. 9, p. 440-442., 1977.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 1994. 580p.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 3.ed. São Paulo: IBRACON, 2008. 674p..

MINATEL, M. A. F; PRADO, B. S.; AKASAKI, J. L.; MARQUES, M. L.; MACEDO, P. C. Waterproof covering study using tire rubber residue. In: SYMPOSIUM BRAZIL-

JAPAN IN ECONOMY, n1, 2008, São Paulo. **Proceedings...** São Paulo: Ibracon, 2008. 1 CD-ROM.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA n. 301, de 21 de março de 2002. **Ministério do meio ambiente** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/conama>>. Acesso em: 26 ago. 2007.

NASCIMENTO, J. F. H.; TRINDADE, C. A.; FORMAGINI, S. Propriedades de concretos dosados com resíduos de borracha de pneus Usados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 49., 2007, Bento Gonçalves. **Anais...** São Paulo: Ibracon, 2007. 1 CD-ROM.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2.ed. São Paulo: Pini, 1997. 828 p.

PEDROZO, É. C. et al. Absorção de água em concretos compostos com diferentes teores de cinza de casca de arroz ao natural e moída. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 49., 2007, Bento Gonçalves. **Anais...** São Paulo: Ibracon, 2007. 1 CD-ROM.

PEREIRA, V. G. A. **Influência do coeficiente de difusão de cloretos em concretos**: influência do tipo de cimento, da relação a/c, da temperatura e do tempo de cura. 2001. 154f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

PEREIRA, C. H. A. F.; FIGUEREDO, E. J. P.; BAUER, E. Influência da adição de fibras sintéticas ao concreto quanto ao ingresso de íons cloreto. **Vetor**, Rio Grande, v.2, n.15, p.7-17, 2005.

POSSAN, E.; VENQUIARUTO, S. D.; DAL MOLIN, D. C. C. Adição de cinza de casca de arroz no concreto: benefícios de durabilidade. In: ENCONTRO TECNOLÓGICO DA ENGENHARIA CIVIL E ARQUITETURA, 6., 2007, Maringá. **Anais...** Maringá: Enteca, 2007. 10p.

PRUDÊNCIO JUNIOR, L. R; SANTOS, S.; DAFICO, D. A. Utilização de resíduos na construção habitacional. cinza de casca de arroz. **Coletânea HABITARE**, Santa Catarina, v.4, n.8, p.240-261, 2003.

RÊGO, J.H.S. et al. Análise da microestrutura e da estrutura porosa de pastas de cimentos compostos com cinzas de casca de arroz (CCAs) amorfa e cristalina . In:

CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 48., 2006, Rio de Janeiro. **Anais...** São Paulo: Ibracon, 2006. 1 CD ROM.

RIBEIRO, F. H. M.; ARANTE, J.; CASSOL, V. Avaliação da influência da cinza de casca de arroz produzida no estado do Tocantins nas propriedades do concreto nos estados plástico e endurecido. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRAMA DA CIENCIA-SBPC, 58., 2006, Florianópolis. **Anais...** Santa Catarina: Florianópolis, 2006. 3p.

ROSSIGNOLO, J. A. avaliação da porosidade e do teor de ch de pastas de cimento portland com sílica ativa e látex sbr. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 3, p.437-442, 2005.

ROSSIGNOLO, J. A. Avaliação da zona de transição interfacial pasta-agregado leve em concretos com sílica ativa e látex SBR. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 3, p.532-540, 2007.

SACILOTO, A. P.; GASTALDINI, A. L. G.; ISAIA, G. C.; HOPPE, T. F.; MISSAU, F. Influência no período de cura na resistência a penetração de cloretos em concretos compostos com cinza de casca de arroz. In: JORNADAS SULDAMERICANAS DE INGENIERIA ESTRUCTURAL, 33., 2008, Santiago. **Jornada...** Chile: Santiago, 2008. 1 CD-ROM.

SANTOS, G. R. S.; ANDRADE T.; XIMENES, A. A.; TORRES, L. A.; BARBOSA, I. J. Avaliação da intensidade de deterioração de uma estrutura de concreto armado localizada em ambiente marinho e exposta à ação de solução ácida: estudo de caso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 48., 2006, Rio de Janeiro. **Anais...** São Paulo: Ibracon, 2006. CD ROM.

SENSALE, G. R; DAL MOLIN, D. C. C. Estudo comparativo entre as propriedades mecânicas e durabilidade de concretos de alta resistência e convencionais com cinza de casca de arroz. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 43., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São Paulo: Ibracon, 2001. 1 CD ROM.

SILVA, C. A. R. **Estudo da influência da incorporação da cinza de casca de arroz no concreto**. 2004. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2004.

SILVA, F. G., LIBÓRIO, J.. Estudo da penetração de íons cloreto em concretos de alto desempenho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 46., 2004, Florianópolis. **Anais...** São Paulo: Ibracon, 2004. 1 CD ROM.

SILVA, F. G. **Estudos de concretos de alto desempenho frente à ação de cloretos**. 2006. 236 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

SILVA, E.; RICCI, E. C.; TASHIMA, M. M.; AKASAKI, J. L.; BARBOSA, M. B.; AL-CANTARA, M. A. M. Influência da adição de cinza de casca de arroz (CCA) no combate à reação álcali-agregado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 48., 2006, Rio de Janeiro. **Anais...** São Paulo: Ibracon, 2006. 1 CD ROM.

TASHIMA, M. M. **Casca de cinza de arroz altamente reativa**: método de produção, caracterização físico-química e comportamento em matrizes de cimento Portland. 2006. 81f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2006.

TEIXEIRA, J. V. B.; GASTALDINI, A. L. G.; ISAIA, G. C.; CERVO, T. C.; SENSALE, G. R.; ZERBINO, R.; PEDROZO, É. C.; FERRARI, M. N. Resistividade elétrica de concretos compostos com cinza de casca de arroz com e sem beneficiamento. In: JORNADAS SULDAMERICANAS DE INGENIERIA ESTRUCTURAL, 33., 2008, Santiago. **Jornada...** Chile: Santiago, 2008. 1 CD-ROM.

TRIGO, A. P. M. **Estudo de lajes com adição de resíduo de pneu**. 2008. 112f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2008.

TURATSINZE, A.; BONNET, S.; GRANJU, J.L. Mechanical characterization of cement-based mortar incorporating rubber aggregates from recycled worn tyres. **Sustainable Waste Management and Recycling: Challenges and Opportunities**, Reston, v.40, n 2, p. 221-226, 2005.

TURATSINZE, A.; GRANJU, J.-I.; BONNET, S. Positive synergy between steel-fibres and rubber aggregates: effect on the resistance of cement-based mortars to shrinkage cracking. **Cement And Concrete Research**, Elmsford, v. 36, n. 9, p.1692-1697, 2006.

VIEIRA, F. P.; KULAKOWSKI, M. P.; DAL MOLIN, D. C.C.; VILELA, A. C. F. **Estudos de durabilidade em concretos e argamassas com adição de microssílica**. Disponível em: < <http://www.allquimica.com.br>>. Acesso em: 12 abr. 2007.

VITA, M. O. ; AKASAKI, J. L. ; MARTINS, I. R. F. ; BARBOSA, M.B. Influência de diferentes granulometrias de resíduos de borracha pneus no comportamento do concreto de alto desempenho. In: WORKSHOP CONCRETO: DURABILIDADE, QUALIDADE E NOVAS TECNOLOGIAS, 2., 2006, Ilha Solteira. **Simpósio....** Ilha Solteira : IBRACON NOROESTE PAULISTA, 2006. p. 1-9.

VITA, M. O.; MACEDO, P. C. ; Akasaki, J. L.; FAZZAN, J. V.; MARTINS, I. R. F. Influência da adição de resíduo de borracha pneumática em concreto de alto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 49., 2007, Bento Gonçalves. **Anais...** São Paulo: Ibracon, 2007. 1 CD ROM.

ZHANG, Min-hong; LASTRA, R.;MALHOTRA, V. M. Rice-husk ash paste and concrete: some aspects of hydration and the microstructure of the interfacial zone between the aggregate and paste. **Cement and Concrete Research**, Elmsford, v.26, n. 6, p. 963-977, 1996.

ZHANG, Min-hong; MALHOTRA, V. M. High-performance concrete incorporating rice husk ash as a supplementary cementing material. **ACI Materials Journal**, New York, v. 93, n. 6, p. 629-636., 1996.

10 ANEXOS

Laboratório CESP de Engenharia Civil									
APLICAÇÃO: Unesp - Antônio Rogério		Data:		9/1/2008					
Ensaio de durabilidade		Calculado por:		Michelan					
Relação (1:m) 1: 4,68		Teor de Argamassa Seca		46,7					
Volume de Argamassa				62,5					
	VOLUME	PESO							
AR	15,0								
AGREGADO	681,4								
AGLOMERANTE	145,6	451,4							
ÁGUA	158,0	158,0							
TOTAL	1000,0								
		CIMENTO		Holcim CP V ARI Plus					
		SÍLICA		Silmix					
		AGREGADO Graúdo		B1 - Min. Grandes Lagos - Três Fronteiras					
		AGREGADO Miúdo		Areia Natural - Porto São Judas Tadeu					
		SLUMP (cm)		18,0 a 22,0					
		AR (%)							
A/C		Aditivos		Polifuncional	Viscocrete 20HE				
A/C Equivalente	0,350			Superplastificante					
				Incorporador de Ar					
		Retard.	Super.	Incorp.					
% Volume Comb.									
Componentes									
% Vol. Agregado									
Volume por M3									
Densidade S.S.S.									
Peso S.S.S. por M3									
Absorção %									
Umidade %									
Água Livre %									
Peso de Água Livre									
Peso por M3									
Conversões:									
20 L		54,16							
				21,6	16,3				
				8,58	0,32				
				3,42					
Correção na Água - g	Temp. Concreto	Slump	Ar Lib/in ²	Ar (%)	Peso Conc. Fresco	Dens. Ap.	Dens. Ap. Integra	Módulo de Finura	
	27,3 °C	21,3	18,5	2,1	24580		2,520		
Datas de Rupturas:						25130		2,602	
Número C.P.	Data Ruptura	Idade Dias	Carga Ton	Média Ton	Número C.P.	Data Ruptura	Idade Dias	Tensão MPa	Média MPa
81882	22/1	7	46,0	47,9	81882	22/1	7	61,3	63,8
81883			48,7		81883			64,9	
81884			49,0		81884			65,3	
81885	12/2	28	54,5	57,3	81885	12/2	28	72,6	76,3
81886			57,8		81886			76,9	
81887			59,6		81887			79,3	
81888	11/3	56	62,5	60,0	81888	11/3	56	83,1	79,8
81889			60,0		81889			79,8	
81890			57,4		81890			76,4	

Figura 110. Dosagem do traço Sílica Ativa.

Laboratório CESP de Engenharia Civil											
APLICAÇÃO: Unesp - Antônio Rogério		Data:		9/1/2008							
Ensaio de durabilidade		Calculado por:		Michelan							
Relação (1:m) 1: 4,68		Teor de Argamassa Seca 46,7		Volume de Argamassa 62,5							
	VOLUME	PESO									
AR	15,0										
AGREGADO	681,4										
AGLOMERANTE	145,6	451,4									
ÁGUA	158,0	158,0									
TOTAL	1000,0										
		CIMENTO		Holcim CP V ARI Plus							
		SÍLICA		Silmix							
		AGREGADO Graúdo		B1 - Min. Grandes Lagos - Três Fronteiras							
		AGREGADO Miúdo		Areia Natural - Porto São Judas Tadeu							
		SLUMP (cm)		18,0 a 22,0							
		AR (%)									
A/C		Aditivos		Polifuncional							
A/C Equivalente	0,350			Superplastificante		Viscocrete 20HE					
				Incorporador de Ar							
		Retard.	Super.	Incorp.							
% Volume Comb.					45,0						
Componentes											
% Vol. Agregado				B1	Areia	Borr.	Cim.	Sílica	Água		
Volume por M3				55,0	40,6	4,4	95,0	5,0			
Densidade S.S.S.				374,8	276,6	30,0	138,3	7,3	158,0		
Peso S.S.S. por M3				2,925	2,657	1,150	3,10	2,20	1,00		
Absorção %				1096	735	34,5	428,8	16,0	158,0		
Umidade %				1,43	0,30						
Água Livre %				0,05	0,04						
Peso de Água Livre				1,38	0,26						
Peso por M3				15,1	1,9		17,0		12,8		
				2,708							
				1081	733	34,5	428,8	16,0	170,8		
Conversões:											
20 L			54,16			21,6	14,7	0,69	8,58	0,32	3,42
Correção na Água - g	Temp. Concreto	Slump	Ar Lib/in ²	Ar (%)	Peso Conc. Fresco	Dens. Ap.	Dens. Ap. Integra	Módulo de Finura			
	26,0 °C	21,8	15,5	5,4	23830		2,410				
Datas de Rupturas:											
Número C.P.	Data Ruptura	Idade Dias	Carga Ton	Média Ton	Número C.P.	Data Ruptura	Idade Dias	Tensão MPa	Média MPa		
81891	7/1	7	36,3	37,8	81891	16/1	7	48,5	50,4		
81892			39,7		81892			53,0			
81893			37,3		81893			49,8			
81894	28/1	28	44,4	45,0	81894	6/2	28	59,2	60,0		
81895			46,2		81895			61,6			
81896			44,3		81896			59,1			
81897	25/2	56	45,9	46,1	81897	5/3	56	61,2	61,5		
81898			45,7		81898			60,9			
81899			46,8		81899			62,4			

Figura 112. Dosagem do traço Sílica Ativa com Borracha.

Laboratório CESP de Engenharia Civil										
APLICAÇÃO: Unesp - Antônio Rogério		Data:		9/1/2008						
Ensaio de durabilidade		Calculado por:		Michelan						
Relação (1:m) 1: 4,68		Teor de Argamassa Seca		46,7						
Volume de Argamassa				62,5						
	VOLUME	PESO								
AR	15,0									
AGREGADO	681,4									
AGLOMERANTE	145,6	451,4								
ÁGUA	158,0	158,0								
TOTAL	1000,0									
		CIMENTO		Holcim CP V ARI Plus						
		CCA		CCA						
		AGREGADO Graúdo		B1 - Min. Grandes Lagos - Três Fronteiras						
		AGREGADO Miúdo		Areia Natural - Porto São Judas Tadeu						
		SLUMP (cm)		18,0 a 22,0						
		AR (%)								
A/C		Aditivos		Polifuncional Viscocrete 20HE 0,60%						
A/C Equivalente	0,350			Superplastificante						
				Incorporador de Ar						
		Retard.	Super.	Incorp.						
% Volume Comb.				45,0						
Componentes				B1	Areia	Borr.	Cim.	CCA	Água	
% Vol. Agregado				55,0	40,6	4,4	95,0	5,0		
Volume por M3				374,8	276,6	30,0	138,3	7,3	158,0	
Densidade S.S.S.				2,925	2,657	1,150	3,10	2,16	1,00	
Peso S.S.S. por M3				1096	735	34,5	428,8	15,7	158,0	
Absorção %				1,43	0,30					
Umidade %				0,05	0,04					
Água Livre %				1,38	0,26					
Peso de Água Livre				15,1	1,9		17,0		12,8	
Peso por M3	2,708			1081	733	34,5	428,8	15,7	170,8	
Conversões:										
20 L		54,16			21,6	14,7	0,69	8,58	0,31	3,42
Correção na Água - g	Temp. Concreto	Slump	Ar Lib/in ²	Ar (%)	Peso Conc. Fresco	Dens. Ap.	Dens. Ap. Integra	Módulo de Finura		
	26,1 °C	19,8	15,0	6,1	23740		2,396			
Datas de Rupturas:										
Número C.P.	Data Ruptura	Idade Dias	Carga Ton	Média Ton	Número C.P.	Data Ruptura	Idade Dias	Tensão MPa	Média MPa	
81912	7/1	7	37,0	37,0	81912	16/1	7	49,4	49,5	
81913			36,0		81913			48,1		
81914			38,1		81914			50,9		
81915	28/1	28	38,3	39,1	81915	6/2	28	51,1	52,2	
81916			39,0		81916			52,1		
81917			39,9		81917			53,3		
81918	25/2	56	41,1	39,4	81918	5/3	56	54,8	52,6	
81919			40,0		81919			53,4		
81920			37,0		81920			49,4		

Figura 113. Dosagem do traço CCA com Borracha.

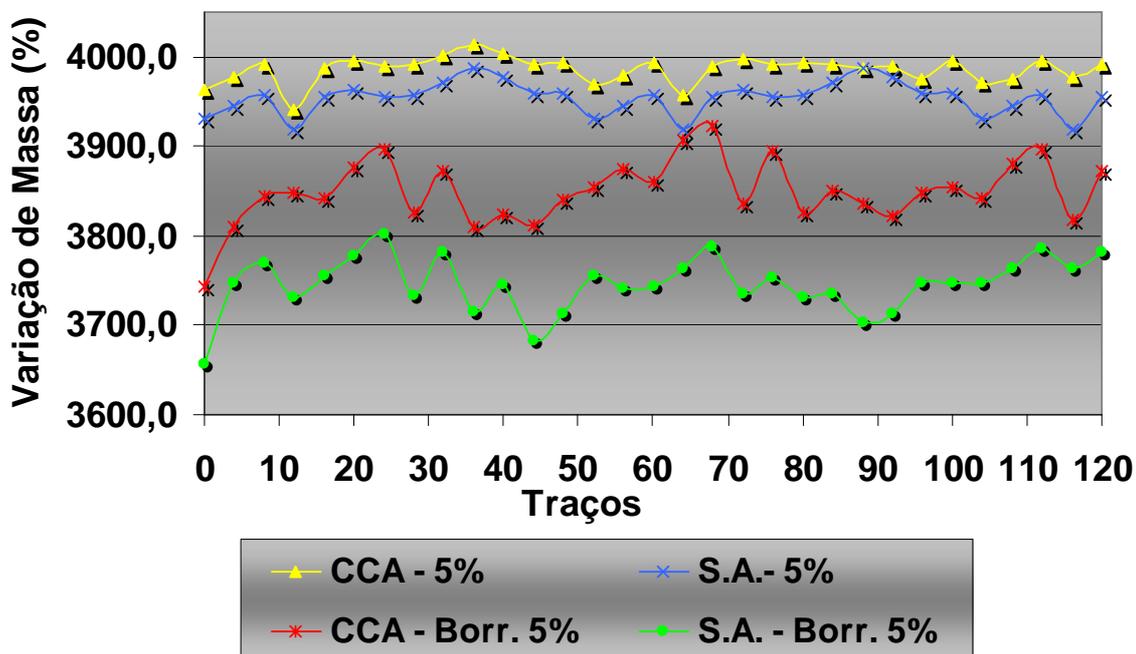


Figura 114. Variação de massa na ciclagem água/estufa.

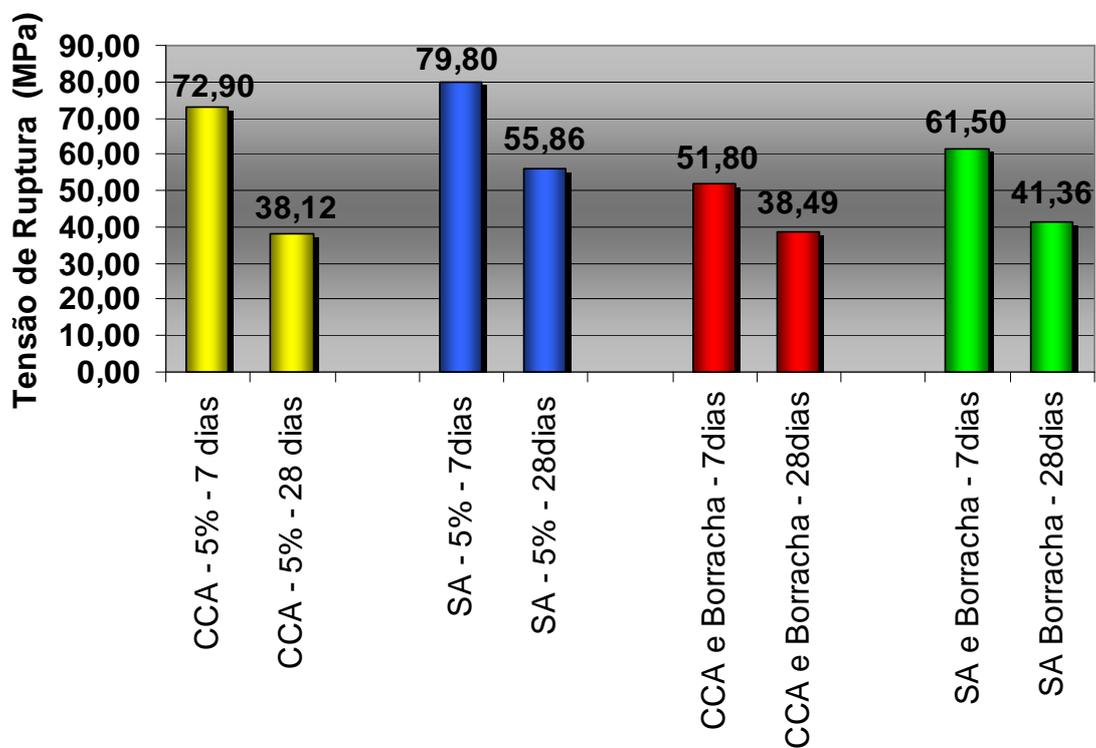


Figura 115. Amostra de perda de resistência por ataque químico.