

COMPORTAMENTO DO CONCRETOS EM AMBIENTES COM PRESENÇA SIMULTÂNEA DE CLORETOS E SUBSTÂNCIAS ÁCIDAS

Pablo FERREIRA (1); Heliana BARROS (2); Gibson MEIRA (3); Munique LIMA (4)

(1) Centro Federal de Educação Tecnológica da Paraíba, e-mail: pablo.r06@hotmail.com

(2) Centro Federal de Educação Tecnológica da Paraíba, e-mail: helianabarrosh@hotmail.com

(3) Centro Federal de Educação Tecnológica da Paraíba, e-mail: gibson@jpa.neoline.com.br

(4) Centro Federal de Educação Tecnológica da Paraíba, e-mail: munique10@gmail.com

RESUMO

As estruturas em concreto estão submetidas aos mais diversos ambientes. Ambientes industriais caracterizam um ótimo alvo de patologias para o concreto, pois, a presença simultânea de íons cloreto e substâncias ácidas, pode provocar a deterioração do concreto e a despassivação das armaduras. O contato do concreto com substâncias ácidas provoca a dissolução da matriz cimentícia e o aumento da porosidade. Nesse sentido, este trabalho analisa a resistência mecânica e a perda de massa sofrida por concretos submetidos a ambientes com a presença simultânea de cloretos e ácido sulfúrico. Foram moldados corpos de prova em concreto, cilíndricos, nas dimensões 10 x 20 cm com fator água/cimento 0,5. Os mesmos foram expostos a duas soluções: uma com presença de cloreto de sódio (1M) e ácido sulfúrico a 2 %, e a segunda apenas com cloreto de sódio (referência). Essa exposição ocorreu através de ciclos de imersão e secagem, sendo três dias de imersão e quatro dias de secagem em ambiente de laboratório. Os resultados indicam uma perda de massa evolutiva para os concretos expostos à solução com ácido sulfúrico, bem como a redução da sua resistência mecânica. Para os corpos de prova expostos a solução apenas com cloreto de sódio, a perda de massa não ocorreu e houve um pequeno ganho de resistência.

Palavras-chave: ácido, ambientes industriais, cloretos, concreto, corrosão, perda de massa.

1. INTRODUÇÃO

Devido à larga escala de uso e aos mais diversos tipos de empregabilidade, as estruturas em concreto armado estão submetidas a inúmeros tipos de ambiente. Conhecer as propriedades dos materiais empregados e suas condições de exposição refletirá diretamente na durabilidade e no desempenho desta estrutura. Segundo Nevilli (1997) e Brandão (1998) os ambientes aos quais estão submetidos tais estruturas podem ser classificados, do ponto de vista da sua agressividade, em ambientes de agressividade física, mecânica e/ou química.

Os ambientes com agressividade química mostram-se um bom alvo de estudo pois a deterioração podem acontecer de diversas formas e mecanismos. A carbonatação, a lixiviação, o ataque ácido, ataque por cloretos são alguns exemplos destes mecanismos. O ataque ácido pode ser desencadeado por diversos ácidos como, por exemplo, o ácido sulfúrico (H_2SO_4), o ácido nítrico (HNO_3), o ácido láctico ($C_3O_2H_6$), o ácido acético ($C_2O_2H_4$), o clorídrico (HCl), etc. (BRANDÃO, 1998). Porém devido a sua relativa frequência em ambientes industriais, o metabolismo de bactérias (principalmente anaeróbias) e a chuva ácida, o ácido sulfúrico mostra-se como um dos principais agentes de ataque ácido.

O concreto de cimento Portland mostra-se pouco resistente ao ataque ácido pelo fato de serem altamente alcalinos e permeáveis (BELIE, 1996). Desta forma, o ácido reagem com compostos hidratados do cimento: CH e CSH de modo a obter com produtos da reação o gesso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) e a etringita ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2O$). A dissolução da matriz cimentícia, reflete-se consideravelmente na microestrutura do material que, por consequência, acarretará a diminuição da resistência axial a compressão, além de potencializar o aumento da porosidade e da fissuração do concreto.

Por outro lado, à penetração de cloretos, advindos da água do mar, de ambientes industriais, da atmosfera marinha e do uso de materiais de limpeza, com o ácido clorídrico pode provocar a despassivação da armadura. Este processo é iniciado quando uma certa quantidade de íons cloretos, oxigênio e água atingem as proximidades da armadura, o que gera acidificações localizadas que conduzem a desestabilização pontual da película passivadora (BAKKER, 1988). O transporte desses agentes para o interior do concreto pode ocorrer principalmente através de dois processos: a absorção capilar e a difusão.

O comportamento de estruturas com a presença simultânea de cloretos e substâncias ácidas desencadeia a sobreposição desses efeitos, onde o ácido sulfúrico reduz a massa e a resistência a compressão, além de aumentar a porosidade e reduzir o pH do meio, potencializando a velocidade de despassivação da armadura.

A velocidade com que ocorre este processo depende, principalmente, da concentração do ácido e íons cloretos no ambiente, bem como da permeabilidade do concreto.

Nesse sentido, realiza-se um trabalho que se propõe a estudar o comportamento do concreto em meio ácido, com a presença simultânea de cloretos, como agentes desencadeadores da corrosão. Apresentam-se, aqui, os resultados da sua fase inicial, onde avalia-se apenas o comportamento da matriz de concreto.

2. METODOLOGIA

2.1. Materiais utilizados:

Para a confecção dos corpos de provas de concreto, utilizou-se o cimento Portland CPV- ARI e uma dosagem em massa 1: 1.16: 2.24: 0,5 (cimento: areia: brita: água), com agregados gráudo de origem granítica e areia lavada de leito de rio..

As soluções empregadas para submeter os corpos de prova ao ambiente agressivo foram soluções de NaCl - 1M (referência) e NaCl - 1M + 2% H_2SO_4 .

2.2. Ensaio realizados

2.2.1. Determinação da composição granulométrica e índices físicos

Na determinação da composição granulométrica foram usadas as orientações da NBR 7217 (ABNT, 1987) e as normas complementares dispostas na mesma. Para os índices físicos, utilizou-se a NBR 9776 (ABNT, 1987) que trata da massa específica real e a NBR 7251 (ABNT, 1981) que trata da massa unitária.

2.2.2. Resistência á compressão

Na determinação da resistência mecânica do concreto, foram seguidas as orientações da NBR 7215(ABNT,1996). Para cada idade pré-determinada (56, 140 dias), foram ensaiados dois corpos de prova e calculada a média dos resultados obtidos. Para a regularização da superfície dos corpos de prova cilíndricos, foi realizado o capeamento de cada corpo de prova com uma mistura à base de cimento e água.

2.2.3. Ensaio de absorção total

Foi realizada a determinação da absorção de água por imersão índice de vazios e Massa específica do concreto, através da NBR 9778(ABNT, 2005). Este ensaio foi realizado com amostra de três corpos de provas para cada idade estabelecida.

2.2.4. Perda de massa

O ensaio de perda de massa foi realizado com o intuito de avaliar o comportamento do concreto diante dos ambientes de exposição. Após o processo de cura por 7 dias em câmara úmida, e 46 dias em ambiente de laboratório, completado o total de 53 dias, os corpos de prova foram submetidos a saturação por 72 horas. Em seguida os corpos de prova foram pesados obtendo-se a sua massa inicial (m_i) a partir da qual se iniciaram os ciclos de 7 dias.

Foram utilizados 3 corpos de prova por idade, para cada solução, para os ensaios de absorção e 2 corpos de provas por idade, para cada solução, para os ensaios de Resistência. O volume de solução correspondeu a 1,6 vezes o volume total dos corpos de prova.

Os ciclo compreenderam a colocação dos corpos de prova em imersão nas soluções químicas por três dias, após o eram retirados da solução, eram pesados e permaneciam secando, em ambiente de laboratório, por 4 dias. Ao serem retirados da solução química, os corpos de prova são escovados suavemente para eliminar eventuais desgastes superficial. Ao final da etapa de secagem, os corpos de prova eram novamente pesados, completando o ciclo de 7 dias. A cada novo ciclo, a solução de agente agressivo era controlada através de medidas do seu pH para fins de revitalizá-la. Foram previstos 14 ciclos de agressão. A figura 1 apresenta o esquema do ciclo de agressão.

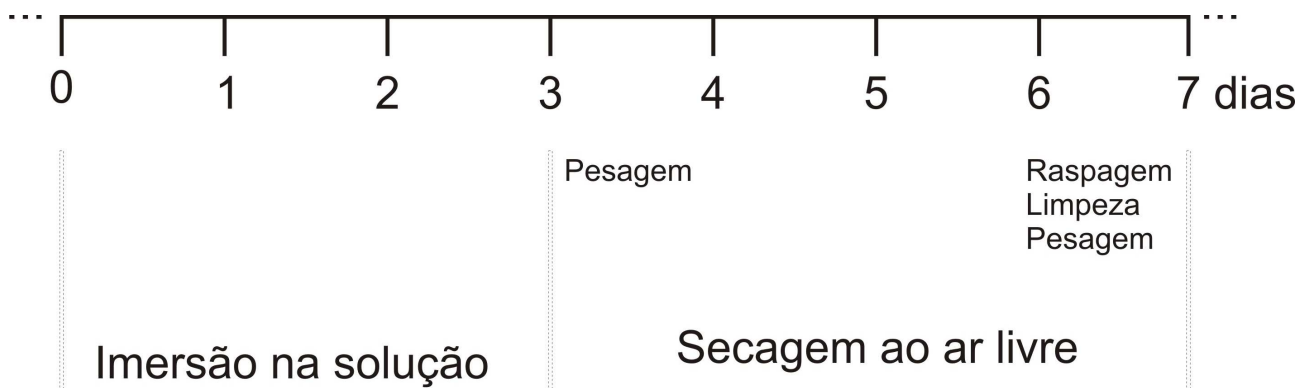


Figura 1 - Detalhe do ciclo de agressão

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise granulométrica

Os agregados são tão importantes quanto os demais componentes do concreto, apesar de não se realizar maior controle tecnológico sobre o mesmo. Ocupando cerca de 60 a 80 % do volume total do concreto convencional, este material influencia em diversas propriedades como, por exemplo, massa unitária, módulo de elasticidade, estabilidade dimensional, durabilidade, trabalhabilidade e resistência mecânica (MEHTA, 1994).

Nesse estudo foi determinada a curva granulométrica dos agregados (miúdo e graúdo) de acordo com a NBR -7211 (1987). Conforme expõem a Figuras 2 e 3. A areia e a brita apresentaram modulo de finura e dimensão máxima característica de 3,03 e 4,80 mm, para areia e 6,95 e 19 mm para a brita.

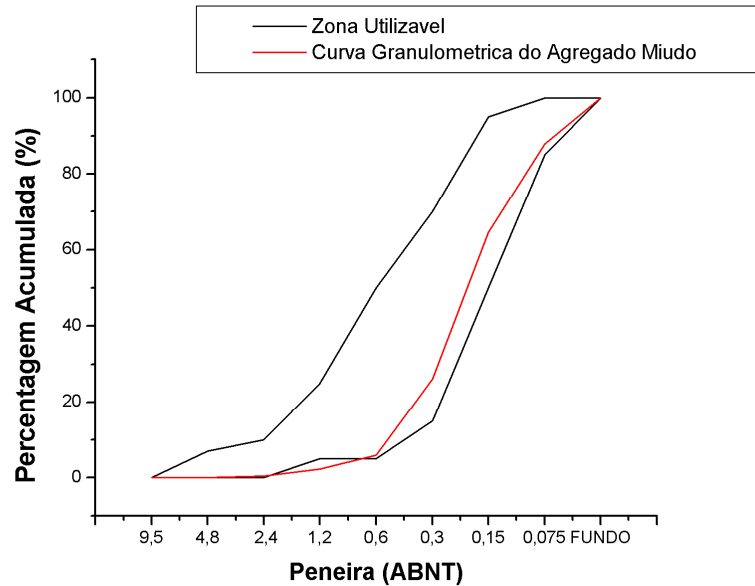


Figura 2 - Analise Granulométrica do Agregado Miúdo

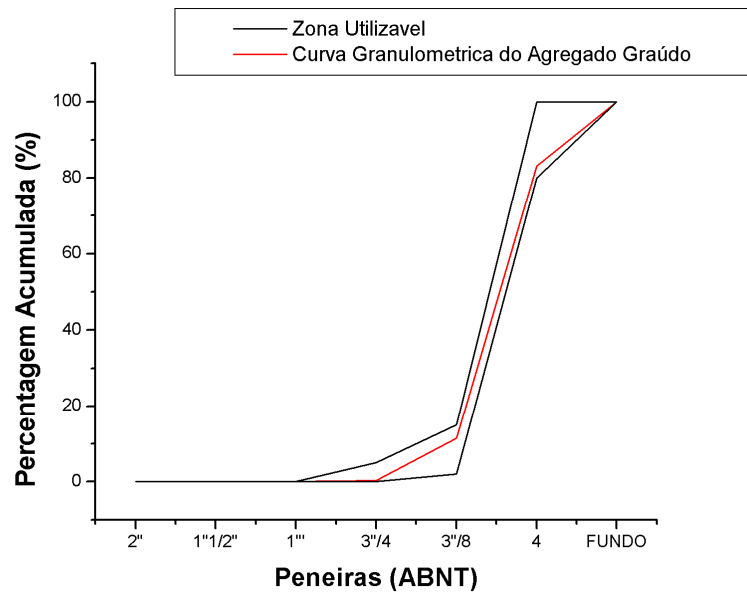


Figura 3 - Analise Granulométrica do Agregado Graúdo

Tabela 1, as massas específica e unitária para os materiais trabalhados.

Tabela 1- características físicas dos agregados

Característica física	Agregado Miúdo	Agregado Graúdo
Massa Especifica Real (g/cm ³)	2,58	2,63
Massa Unitária (g/cm ³)	1,71	1,20

3.2. Resistência à compressão

Nesse estudo não evidenciou-se uma redução considerável na seção transversal do corpo de prova e muito menos no volume para a solução com o ácido sulfúrico (abaixo de 0.8702%), Portanto, os resultados apresentados neste trabalho não levam em consideração a pequeníssima variação de dimensões.

A Tabela 2 mostra os resultados dos ensaios à compressão obtidos a partir da média de dois resultados individuais de corpos de prova. Nesse estudo, foram analisados, concretos com fator água/cimento 0,5 sem ataque em meio ácido com 56 dias (antes da imersão em solução) e após quatorze ciclos de imersão e secagem em solução de cloreto de sódio. Também foram analisados os concretos após quatorze ciclos de imersão e secagem em solução ácida.

Tabela 2 – Resistência à compressão axial

Idade	Resistência mecânica a compressão axial (MPa)
56 dias	43,10
56 dias + 14 ciclos (NaCl)	51,71
56 dias + 14 ciclos (NaCl + 2% de H ₂ SO ₄)	45,98

Percebe-se na análise dos resultados a resistência a compressão axial apresentados na Tabela 1 que com o ataque de 14 ciclos em solução ácida houve uma redução de 11,08 % da resistência à compressão se comparado a os corpos de prova sem ataque (apenas NaCl), o que constata que a frente de ataque ácido provoca a deterioração do CSH, principal componente que garante a resistência mecânica do concreto a longo tempo, e a mudança significativa da microestrutura do concreto.

Para a solução com apenas cloreto, de sódio uma resistência de 51,71 MPa mostra-se bem favorável, já que a resistência de concretos após 28 dias cresce a taxa razoavelmente pequena. Comparando a soluções sem ataque temos um aumento de cerca de 20 %, considerando uma diferença de 94 dias entre os rompimentos dos corpos de prova.

3.3 Absorção

A Tabela 3 mostra os índices físicos determinados a partir do ensaio da NBR 9778 (ABNT, 2005).

Tabela 3 – Índices Físicos

Idade	Porosidade (%)	Ind. de Vazios (%)	Massa Esp. Real (g/cm ³)	Massa Esp. da Amostra Seca (g/cm ³)
56 dias	10,17	11,32	2,53	2,24
56 dias + 14 ciclos (NaCl)	10,41	11,61	2,57	2,27
56 dias + 14 ciclos (NaCl + 2% de H ₂ SO ₄)	10,65	11,92	2,51	2,21

Para a solução de NaCl + 2% de H₂SO₄ . após quatorze ciclos, constata-se através dos índices, um aumento na porosidade e no índice vazios fato que potencializa o efeito da penetração de cloretos que desencadeará a despassivação da armadura. Com relação à massa específica, a redução de 0,79 % é explicada pela perda de massa do material.

Para a solução de NaCl , há um aumento de 0,24 % na porosidade e de 0,31% no índice de vazios, o que pode ser explicado pela variabilidade das características do material. A massa específica aumentou 0,04 g/cm³. Além de não ter um grande significado em reação ao valor inicial, pode ser justificado pelo pequeno ganho de massa dos corpos de prova e reações de hidratação posteriores..

3.4 Perda de massa

Com relação à perda de massa o concreto analisado apresentou uma perda de massa de 2,11 % em quatorze ciclos em ataque ácido, enquanto os corpos de provas contidos em solução de NaCl não apresentaram significativa variação de massa e fecharam o estudo com um ganho de 0,09 % em relação a sua massa no ciclo zero (Figura 4).

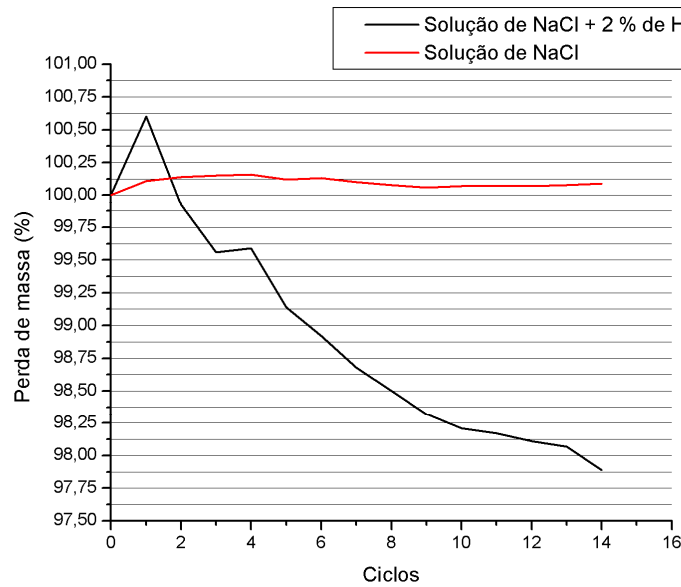


Figura 4 - Perda de massa

Um caso peculiar que aconteceu nos primeiros ciclos foi que ao invés de uma perda houve um ganho de massa dos corpos de prova submetidos à solução de NaCl + 2 % de H₂SO₄. Isso pode ser explicado, pela formação inicial de gesso e etringita ficaram aderidas firmemente à superfície do concreto (Figura 5).



Figura 5 - Detalhe da Formação dos Produtos do Ataque

A velocidade média de degradação dos corpos de prova foram de 4,183 g/ciclo, uma perda de massa que esta associada a diversos fatores entre eles: a quantidade de cimento, a porosidade inicial do concreto e o pH da solução. Com relação ao pH da solução durante os ensaios a solução apenas com NaCl praticamente não apresentou variação, ficando em torno de 10,0, já a solução com ácido teve grande variação durante os ensaios, constata-se na figura 6.

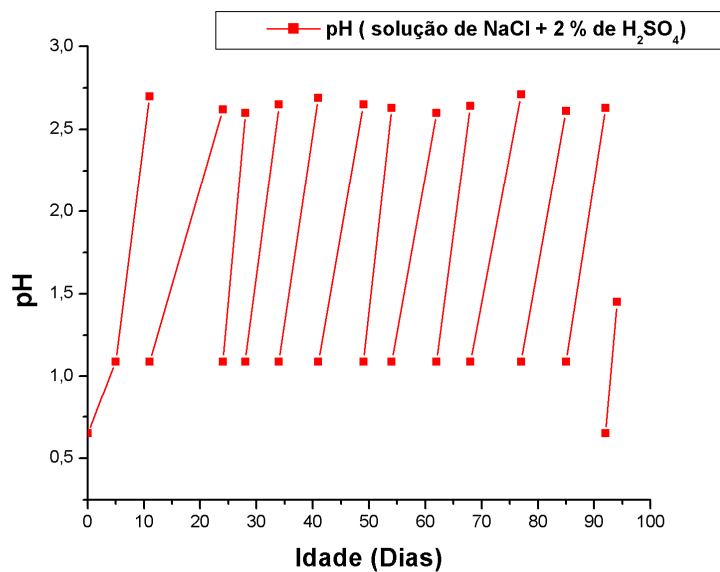


Figura 6 - pH da solução versus Tempo

Após quatorze ciclos de imersão e secagem, as aparências dos corpos de prova foram as apresnetadas na Figura 7, onde à esquerda se posicionam os corpos de prova submetidos à solução de NaCl e, à direita, os corpos de prova submetidos ao ataque ácido.



Figura 7 - Aparência dos CP's apos 14 ciclos

4. CONCLUSÃO

Para o presente trabalho percebe-se claramente que o ataque ácido ao concreto processa-se de fora para dentro de forma a lixiviar a camada mais superficial do concreto, conduzindo à perda de massa, redução da resistência mecânica e aumento da porosidade. O tempo e a renovação do ambiente agressivo, mantendo as características do ataque, podem reduzir de forma importante o desempenho das estruturas de concreto nesse meio.

Neste caso a durabilidade do concreto fica altamente comprometida já que há a redução da resistência a compressão e o aumento da porosidade, que potencializará a penetração de cloretos, reduzindo o tempo de vida útil da estrutura de concreto armado.

BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 9776**: Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 9937**: Determinação da massa específica de agregados graúdos. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 7251**: Determinação da massa unitária do agregado miúdos em estado solto. Rio de Janeiro, 1982.

_____. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecido – Determinação da absorção de água por imersão (Índice de vazios e massa específica). Rio de Janeiro, 2005.

BAKKER, R. F. M. Initiation period. In: SCHIESSL, P. (Ed.) **Corrosion of steel in concrete**. New York, RILEM / Chapman and Hall, p. 22-55, 1988.

BELIE, N.; et. al.. Influence of the cement type on the resistance of concrete to feed acids. **Cement and Concrete Research**, v.26, p.1717-1725, 1996.

BRANDÃO, A. M. S. **Qualidade e durabilidade das estruturas de concreto armado – Aspectos relativos ao projeto**. 1998. B817q . Tese (Mestrado em engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

MEHTA, P.K. ; MONTEIRO, P.J. **Concreto, estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo, Pini, 1994.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2^a edição revisada e atualizada. Tradutor Salvador E. Gammusso. São Paulo: Pini, 1997