

CARBONATAÇÃO DE CONCRETOS EM ATMOSFERA URBANA NA REGIÃO DE JÃO PESSOA

Rubens MAX (1); Gibson MEIRA (2); Marcos PADILHA (3)

(1) Centro Federal de Educação Tecnológica da Paraíba, Rua Antônio Assunção de Jesus - 480 Bancários CEP 58052-230 João Pessoa - PB, (00xx83) 8803-8911, e-mail: rubens.max@gmail.com

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

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

RESUMO

A deterioração de estruturas de concreto armado em ambiente urbano é algo preocupante em nos centros de maior ocupação. O fenômeno da carbonatação, como agente desencadeador do processo de corrosão de armaduras assume especial importância nesse cenário. Os trabalhos realizados neste âmbito se baseiam, em sua maioria, em ensaios laboratoriais acelerados, os quais nem sempre retratam bem a realidade, onde uma multiplicidade de agentes atuam de modo simultâneo e com dinâmica distinta. Este trabalho objetiva analisar alguns desses agentes, a saber, as características de concretos feitos com diferentes tipos de cimento e fator a/c além das condições meio ambiente da atmosfera urbana de João Pessoa em relação à carbonatação e comparar os resultados obtidos com as informações disponíveis na literatura. Foram estudados concretos feitos com CP-V ARI e CP-IV em diferentes relações a/c e analisados segundo a sua capacidade de absorção e resistência à compressão, ambas relacionadas ao meio-ambiente (temperatura, umidade relativa, concentração de CO_2), retratando e comparando os resultados com a literatura disponível.

Palavras-chave: carbonatação, concreto, corrosão, absorção capilar, fator a/c .

1. INTRODUÇÃO

Há duas décadas que estudos na área da durabilidade do concreto não param de aumentar (JOHN, 1987; HELENE 1993; CEB 238, 1997), uma vez que o avanço industrial e a urbanização provocaram ambientes muito mais agressivos. Edifícios que outrora eram considerados com vida útil quase infinita depararam-se com uma deterioração cada vez mais precoce. Principalmente se tratando da degradação das estruturas do concreto frente ao problema da corrosão que afeta a construção civil em todo o mundo, com repercussões em função do volume de casos registrados, da precocidade, bem como do montante de recursos envolvidos.

No cenário internacional, estudos como o de Hadley (1948), realizado na costa do pacífico nos Estados Unidos, na primeira metade do século XX, mostram estruturas marítimas, com idade entre 20 e 30 anos, com elevado grau de deterioração, demonstrando que este problema remonta de muitos anos. Chandra et al. (1994), em estudo realizado na Suécia, apresentam vários casos de deterioração de pontes, destacando a ponte de Öland, a qual, com pouco mais de 20 anos de construção, teve 112 dos 154 pilares reparados. Em estudo realizado pelo Grupo Espanhol do Concreto – GEHO (1992), a deterioração de estruturas decorrente da corrosão de armaduras também ocupou posição de destaque no que se refere ao número de incidências, bem como em relação à precocidade com que ocorrem.

No cenário nacional, a problemática da deterioração de estruturas de concreto, devido à corrosão de armaduras, se estende por todo o território nacional. Nesse sentido, vários são os estudos que demonstram este comportamento. Na região Norte, Aranha (1994) observou que 46% das manifestações patológicas se referiam à corrosão de armaduras. No Nordeste, Andrade (1997) chegou a percentuais de 64%. No centro-oeste, Nince e Clímaco (1996) observaram que 30% das incidências se referiam à corrosão de armaduras, assemelhando-se ao valor apresentado por Carmona e Marega (1988) para a região sudeste. Por fim, na região sul, Dal Molin (1988) chegou ao patamar de 40% das manifestações patológicas.

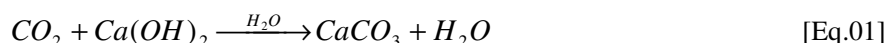
Do ponto de vista econômico, os custos de manutenção envolvidos são bastante significativos. Frangopol et al. (1997) destacam que os gastos com manutenção das estruturas de 600.000 pontes rodoviárias nos Estados Unidos representam despesas anuais de manutenção da ordem de 5 bilhões de dólares. Chandra et al. (1994) apresentam valores anuais de 55 milhões de dólares para a manutenção de 9.500 pontes na Suécia. Andrade e González (1981) destacam que as perdas, devido ao fenômeno da corrosão, podem ser da ordem 1,25 a 3,5% do PIB (Produto Interno Bruto) de países em desenvolvimento.

A deterioração de estruturas de concreto armado por corrosão de armaduras ocorre, principalmente, pela ação dos cloretos ou pela carbonatação do concreto. Em ambos os casos, muitos são os estudos que tentam avaliar o comportamento dos materiais e do ambiente com o objetivo de estabelecer parâmetros de projeto ou fazer estimativas de vida útil da estrutura. Pesquisas envolvendo condições de exposição distintas e características dos materiais, como influência de adições minerais, relação água/aglomerante, tipo de cimento, condições de cura, etc, foram realizadas em diversos centros de pesquisa, sob o foco da durabilidade (HO e LEWIS, 1987; ANDRADE, 2001; MEIRA et al., 2003).

Nesse sentido, ainda persiste o seguinte questionamento: “em que medida as características dos materiais e do meio ambiente interferem na carbonatação de concretos?”. Este trabalho objetiva analisar as características de concretos feitos com diferentes tipos de cimento e fator a/c além das condições meio ambiente da atmosfera urbana de João Pessoa em relação à carbonatação e comparar os resultados obtidos com as informações disponíveis na literatura.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O processo de carbonatação é uma importante fonte de degradação das estruturas de concreto armado. Ela ocorre devido às reações do CO₂, presente no ar, com os hidróxidos alcalinos presentes no material. Isso ocorre especialmente com o hidróxido de cálcio, em meio aquoso, formando o carbonato de cálcio e reduzindo o pH, inicialmente em torno de 13, para valores próximos a 8 (TUUTTI, 1982; ANDRADE, 1992; BENTUR et al., 1997). A Eq. (1) apresenta, de forma simplificada, as reações de carbonatação.



Essa reação ocorre de forma lenta, formando duas zonas de pH diferentes, uma de alcalinidade alta, no interior do concreto, onde este ainda não foi carbonatado, e uma frente de menor alcalinidade, caracterizada por uma região mais externa onde o concreto já sofreu os efeitos da carbonatação (BAKKER, 1988).

A velocidade com que a frente de carbonatação avança depende da estrutura da rede de poros do material, bem como das suas condições de umidade (BAKKER, 1988). Se os poros estiverem secos, o CO_2 penetra no concreto, mas a carbonatação não ocorre, pois falta água. Se os poros estiverem saturados, a carbonatação fica comprometida pela baixa velocidade de difusão do CO_2 na água, que é cerca de 10^4 vezes menor do que através do ar (NEVILLE, 1997). Se os poros estiverem parcialmente preenchidos por água, o que é comum nos concretos de cobrimento, a frente de carbonatação avança até onde os poros mantêm essa condição favorável.

Nesse sentido, a literatura indica a faixa de 50% - 70% de umidade relativa como aquela na qual o processo de carbonatação é mais favorecido (ANDRADE, 1992; PARROTT, 1987). No entanto, o grau de saturação dos poros do concreto representa de forma mais direta a presença de água nos poros do concreto, além de variar pouco em relação às variações das condições ambientais em curto prazo (MEIRA et al., 2005).

Sobre a influência da temperatura, ensaios acelerados indicam que a velocidade de carbonatação não é muito alterada sob temperaturas usuais (KAZMIERCZAK, 1995). Contudo, temperaturas elevadas aumentam a velocidade de carbonatação, desde que sejam mantidas as condições de umidade internas (NEVILLE, 1997), uma vez que a temperatura é um fator preponderante na definição das condições de umidade interna do material.

Como fonte de alimentação das reações de carbonatação, a concentração de CO_2 também é outro parâmetro que influencia diretamente o fenômeno analisado. Em estudo sob condições aceleradas, Uomoto e Takada (1993) observaram incrementos na velocidade de carbonatação superiores a 100% quando a concentração de CO_2 subiu de 1% para 10%, em ambiente com temperatura e umidade controladas ($T=20^\circ\text{C}$ e $UR=55\%$).

A composição química do cimento está diretamente relacionada com o aporte de compostos alcalinos presentes na matriz de concreto, os quais consomem o CO_2 nas reações de carbonatação. Assim, os cimentos que aportam menor quantidade de compostos alcalinos geram concretos que podem estar sujeitos à maior velocidade de avanço da frente de carbonatação, dependendo das suas características de porosidade (BAKKER, 1988; ISAIA, 1999). Em relação à porosidade do material, a relação água/aglomerante é a propriedade citada na literatura mais relacionada com a rede porosa do material hidratado. Nesse sentido, várias pesquisas indicam a forte influência da relação água/aglomerante na carbonatação de concretos (TUUTTI, 1982; HO E LEWIS, 1987; BAUER, 1995). O aumento da relação água/aglomerante leva a um aumento da porosidade da pasta hidratada, facilitando o acesso de CO_2 e, conseqüentemente, as reações de carbonatação (MEHTA e MONTEIRO, 1994; BAUER, 1995).

Avaliando o efeito simultâneo da redução no aporte de compostos alcalinos e da redução de porosidade da matriz a partir da adição de sílica ativa, Kulakowski (2002) chegou a uma faixa entre 0,45 e 0,50 para relação água/aglomerante, onde acima da mesma, a carbonatação é fortemente influenciada pela presença ou não de compostos alcalinos. Abaixo da mesma, a carbonatação é regida, principalmente, pela porosidade do material.

Com o avanço da frente de carbonatação, há uma redução no pH no concreto. Esta redução gera um comprometimento da estabilidade da película de passivação e o aço pode iniciar o processo de corrosão (POURBAIX, 1974). Dessa forma, a carbonatação do concreto constitui-se em uma importante fonte de degradação de estruturas de concreto armado, em função da corrosão de armaduras.

3. METODOLOGIA

3.1. Variáveis envolvidas

Um grupo de variáveis envolve os parâmetros climatológicos: *temperatura e umidade relativa*, bem como a *concentração de CO_2 na atmosfera* e têm o objetivo de qualificar os ambientes nos quais foram expostos os corpos de prova de concreto. Outro segundo grupo de variáveis se refere ao *tipo de cimento, resistência à compressão e absorção capilar*. Buscando avaliar a influência das características dos materiais na carbonatação do concreto. A Tabela 1 dispõe as composições que foram empregadas.

Tabela 1: Composições dos concretos que foram empregados.

Cimento	a/c	Cimento	a/c
CPIV	0,40	CPV – ARI	0,40
	0,50		0,50
	0,57		0,57
	0,65		0,65

5.2. Procedimentos experimentais

Foram moldados oito corpos-de-prova cilíndricos de 10x20cm para cada fator a/c de seu respectivo tipo de cimento. Uma vez moldados, os corpos-de-prova foram desmoldados com 24 horas e, em seguida, sofreram cura por imersão até o sétimo dia, em seguida, foram expostos em ambiente de laboratório até a idade de 28 dias.

O agregado miúdo utilizado foi uma areia média, de natureza quartzosa, adquirida de depósitos naturais da região. Os ensaios realizados para caracterização da areia foram: composição granulométrica (NBR 7217:1987); massa específica (Frasco de Chapman – NBR 9776:1987), massa unitária no estado solto (NBR 7251:1982); O agregado graúdo utilizado foi uma pedra britada de natureza granítica, adquirida na região. Os ensaios realizados para caracterização da pedra britada foram os seguintes: composição granulométrica (NBR 7217:1987), massa específica (NBR 9937:1987), massa unitária no estado solto (NBR 7251:1982).

Os concretos elaborados foram caracterizados em relação à resistência mecânica (NBR 7215:1996) e a sua capacidade de absorção (NBR 9779:1995), seguindo procedimentos de ensaio normalizados pela ABNT.

As variáveis temperatura e umidade relativa foram monitoradas através de medidas diárias, segundo referências internacionais, através de termo-higrômetro digital. A concentração de CO₂ na atmosfera foi monitorada através de um analisador de CO₂, com coletor de gás e escala de concentração até 20 %.

4. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1. Umidade relativa

Com o monitoramento da UR em ambiente laboratorial e externamente, no CEFET-PB durante o mês de agosto, e dados do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) foi possível obter os seguintes gráficos:

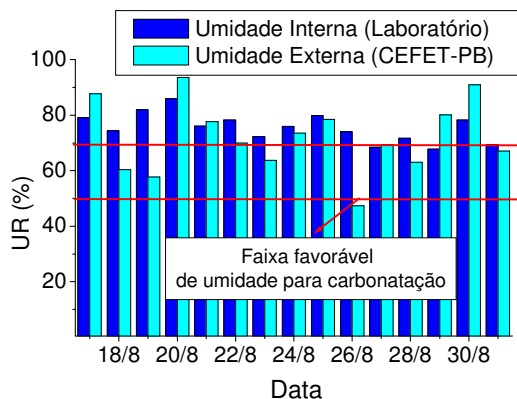


Figura 1 – Umidade Interna e Externa no período de 17/08 a 31/08

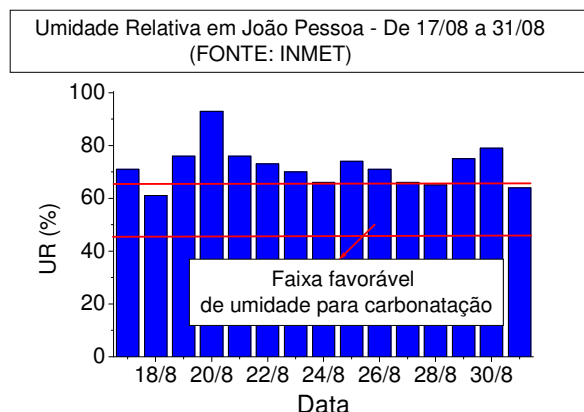


Figura 2 – Umidade Relativa do Ar na cidade de João Pessoa – de 17/08 a 31/08

Pode-se observar na Figura 2 que a UR no ambiente externo como as do laboratório, são predominante superiores a 70%, que vem a ser comprovado pelos dados do INMET através da Figura 3. Uma vez que a média de umidade externa e interna foi de respectivamente 73 e 75%, que está dentro da margem de maior difusão de CO_2 , que é entre 50% e 75% (PARROT, 1987; ANDRADE, 1993; NEVILLE, 1997), ou seja, um ambiente favorável a carbonatação.

4.2. Concentração de CO_2

A concentração de CO_2 é preponderante na velocidade de carbonatação e está diretamente relacionado com a profundidade de carbonatação como pode ser observado no gráfico a seguir:

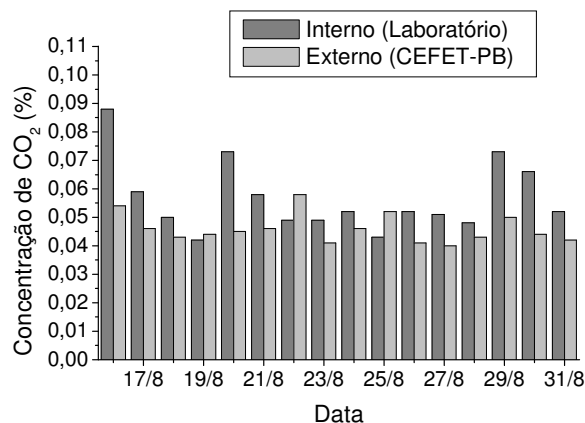


Figura 3 – Concentração de CO_2 internamente e externamente

Nota-se que a concentração do gás é relativamente maior em ambiente de laboratório, que se deve à pouca ventilação do ambiente e conseqüente retenção dos gases (KAZMIERCZAK, 1995 p18), o que o constitui um ambiente mais favorável à carbonatação, a saber, com temperatura e umidade constante. Todavia, os dados obtidos estão coerentes com a literatura.

Tabela 2 – Classificação dos ambientes de acordo com vários autores em função da concentração de CO_2

Ambiente	Concentração de CO ₂ (% em volume)	
	NEVILLE (1997)	SAETTA; VITALINI (2003)
Ambiente rural	0,03	0,015
Cidade	0,3 a 0,1	0,036
Ambiente de Laboratório não-ventilado	>0,1	-

A concentração de CO₂ está diretamente relacionada com a velocidade de carbonatação, uma vez que o gás precisa difundir, para então reagir com os hidróxidos do cimento em meio aquoso. Mas a velocidade de carbonatação depende também do teor de umidade, como verificou Neville (1997). A saturação dos poros atua como se fosse uma barreira para o acesso do gás. Isso pode ser representado na figura a seguir:

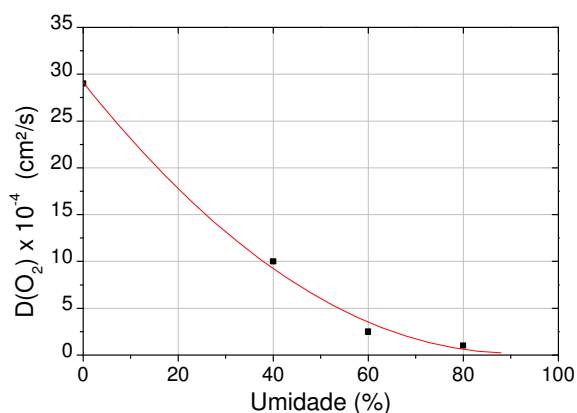


Figura 4 – Coeficiente de difusão do O₂ no concreto em função do teor de umidade (KOBAYASHI & SHUTTON, 1991)

4.3. Temperatura

As temperaturas observadas tanto em ambiente laboratorial como na área externa indicam um ambiente favorável a carbonatação. Ela é capaz de acelerar ainda mais as reações além da umidade favorável que foi constada neste estudo.

A temperatura ainda influencia na umidade, de forma que em temperaturas acima de 25°C a 30°C o teor de umidade interna do cimento sofre um decréscimo em função da evaporação, e o oposto ocorre em temperaturas abaixo de 5°C a 10°C (ROSEMBERG; HANSSON; ANDRADE, 1989).

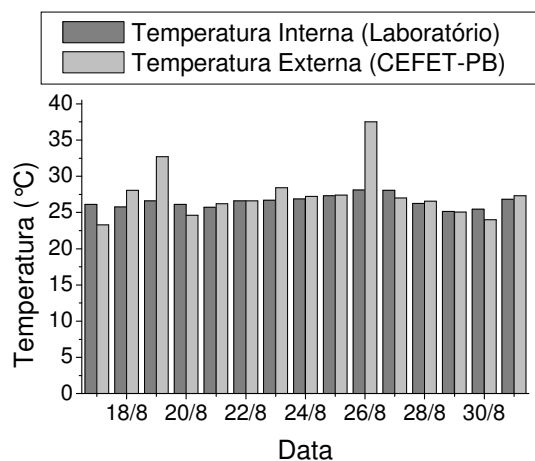


Figura 5 – Temperatura interna e externa observada de 17/08 a 31/08

4.4. Absorção Capilar

Foi observado que a absorção capilar é diretamente proporcional ao fator a/c para um mesmo tipo de cimento, ou seja, a relação a/c é um agente controlador da porosidade. Tudo isso é preponderante para a carbonatação, visto que o aumento da porosidade influencia na permeabilidade e difusibilidade dos gases no concreto (HELENE, 1993), que por fim resultará em uma maior profundidade de carbonatação (MEHTA e MONTEIRO, 1994; BAUER, 1995).

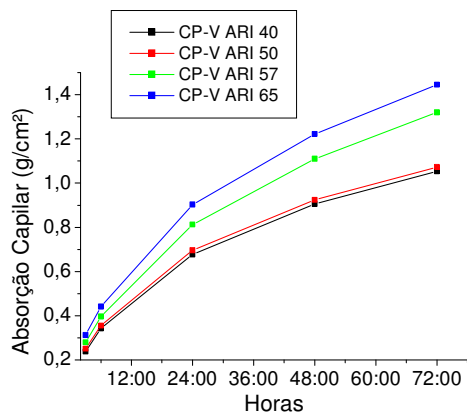


Figura 6 – Absorção de água por capilaridade de concretos com CP-V ARI e relação a/c de 0,40 – 0,50 – 0,57 – 0,65

Quanto ao tipo de cimento, observou-se no fim do ensaio que o cimento CP-IV possuía uma menor absorção. Isso se deve ao fato de a pozolana provocar uma descontinuidade nos poros, reduzindo a permeabilidade do concreto, conferindo-lhe uma característica mais compacta e impermeável. Todavia, várias pesquisas comprovam que apesar da compactidade que o cimento pozolânico permite, o mesmo é responsável pelas maiores profundidades de carbonatação em detrimento da diminuição da reserva alcalina do concreto. (POSSAN, 2004)

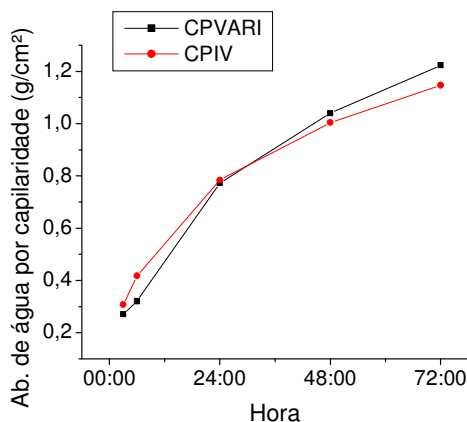


Figura 7 – Média da absorção de água por capilaridade de vários fatores a/c do CP-IV e CP-V ARI

4.5. Resistência à compressão

Nos resultados do ensaio de resistência à compressão descritos na Figura 8 constatou-se um desempenho consideravelmente maior do CP-IV aos 28 dias. Fato motivado pela pozolana presente no cimento, conferindo-lhe uma resistência maior (POSSAN, 2004). No tocante à carbonatação, o aumento da resistência a compressão implica em um decréscimo da profundidade de carbonatação para todos os tipos de cimento, com a devida atenção às condições de cura e o tipo de cimento empregado (HUANG e YANG, 2002).

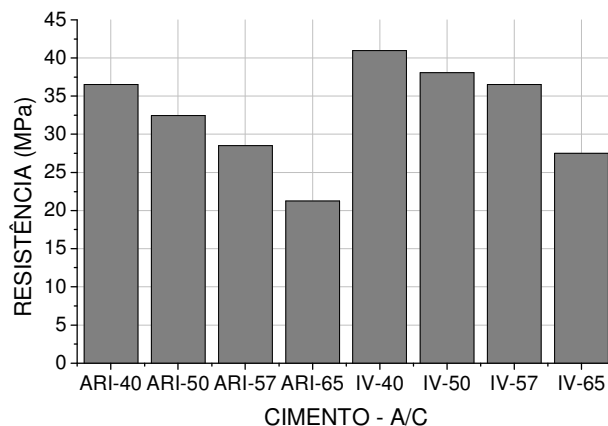


Figura 8 – Resistência à compressão aos 28 dias do CP-IV e CP-V ARI com fator a/c de 0,40 – 0,50 – 0,57 – 0,65

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma vez estudado as características físicas de concretos feitos com CP-V ARI e CP-IV em diferentes relações a/c, e também as características do ambiente na atmosfera urbana de João Pessoa, em especial nas mediações do CEFET-PB, este trabalho abre possibilidades para novos e diversos estudos referente à carbonatação, e maior relevância para outras variáveis, tais como:

- Profundidade de carbonatação;
- Outros tipos de cimento;
- Coeficiente de carbonatação;

REFERÊNCIAS

ANDRADE, C. **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras**. São Paulo, PINI, 1992. 104p.

ANDRADE, C.; GONZÁLEZ, J. A. Técnicas electroquímicas cuali y cunatitativas para medir los efectos de las adiciones sobre la corrosión de las armaduras. **Materiales de Construcción**, n.182, p. 69-78, 1981.

ANDRADE, J. J. de O. **Durabilidade das estruturas de concreto armado: análise das manifestações patológicas nas estruturas no estado de Pernambuco** (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997. 148 p.

ANDRADE, J. J. de O. **Contribuição da vida útil das estruturas de concreto armado atacadas pela corrosão de armaduras: iniciação por cloretos**. Tese. (Doutorado em Engenharia) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. 256 p.

ARANHA, P. M. S. **Contribuição ao estudo das manifestações patológicas em estruturas de concreto armado na região amazônica** (Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994. 144 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7217**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. 1987.

_____. **NBR 9776**: Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. 1987.

_____. **NBR 7251** Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária. 1982.

_____. **NBR 9937**: Agregados - Determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo. 1987.

_____. **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. 1996.

_____. **NBR 9779**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade. 1995.

_____. **NBR 9779**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade. 1995.

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.

BAUER, E. **Avaliação comparativa da influência da adição de escória de alto-forno na corrosão de armaduras através de técnicas eletroquímicas**. 1995. Tese (Doutorado em Engenharia) – Departamento de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 236 p.

BENTUR, A.; DIAMOND, S.; BERKE, N. S. **Steel corrosion in concrete - fundamentals and civil engineering practice**. London, E & FN SPON, 1997. 201 p.

CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armaduras em concreto. Inspeção e técnicas eletroquímicas**. 1. ed., Goiânia, PINI, 1997.

CHANDRA, S.; CEDERWALL, K.; NILSSON, I. H. E. Durability problems in Swedish concrete bridges - case studies. In: P.K. METHA SYMPOSIUM ON DURABILITY OF CONCRETE, 1994, Nice. **Proceedings ...** Nice: ACI, 1994, p. 223-241.

DAL MOLIN, D. C. C. **Fissuras em estruturas de concreto armado: análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no Estado do Rio Grande do Sul** (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1988.

FRANGOPOL, D. M.; LIN, K-Y; ESTES, A. C. Life-cycle cost design of deteriorating structures. In: **Journal of Structural Engineering**, 1997, v.123, n. 10, pp. 1390 - 1401.

GEHO. **Encuesta sobre patología de estructuras de hormigón**. Madrid: Grupo Español del Hormigón, 1992. n. 10.

HADLEY, H. M. **Concreto em água do mar - necessária revisão de ponto de vista**. São Paulo, ABCP, 1948.

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1993. 231 p. (Tese de Livre Docência)

HO, D. W. S.; LEWIS, R. K. Carbonation of concrete and its prediction. **Cement and Concrete Research**, v. 17, p. 489-504, 1987.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em <http://www.inmet.gov.br.html>. Acesso em 31 de agosto de 2007.

ISAIA, G. C. Carbonatação do concreto: uma revisão. In: Workshop sobre corrosão da armadura do concreto, Colloquia, 1999. **Anais ...** São José dos Campos, 1999.

KAZMIERCZAK, C. S. **Contribuição para a análise da eficiência de películas aplicadas sobre as estruturas de concreto armado com o objetivo de proteção contra a carbonatação**. 1995. Tese (Doutorado em Engenharia) – Departamento de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 168 p.

KULAKOWSKI, M. P. **Contribuição ao estudo da carbonatação em concretos e argamassas compostos com adições de sílica ativa**. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia) – Curso de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 180 p.

CHI, J. M.; HUANG, R.; YANG, C. C. Effects of carbonation on mechanical properties and durability of concrete using accelerated testing method. **Jour**

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 1994, 573 p.

MEIRA, G. R.; PADARATZ, I.J. Custos de recuperação e prevenção em estruturas de concreto armado: uma análise comparativa. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9, 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: ANTAC, 2002. p. 1425-1432.

MEIRA, G.R; PADARATZ, I.J.; BORBA JR., J. C.; ALONSO, M.C.; ANDRADE, M.C. Carbonatação de estruturas de concreto armado em zona de atmosfera marinha – influência do grau de saturação. In: 47 CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 47, 2005, Olinda. **Anais...** Olinda:IBRACON. p. XII286-299.

MEIRA, G.R; PADARATZ, I.J.; ALONSO, M.C.; ANDRADE, M.C. NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. São Paulo: PINI, 1997, 828 p.

NINCE, A. A.; CLÍMACO, J. C. T. S. Levantamento de dados sobre deterioração de estruturas na região centro-oeste do Brasil. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON HIGH-PERFORMANCE CONCRETE AND PERFORMANCE AND QUALITY OF CONCRETE STRUCTURES (1996: Florianópolis). **Proceedings...** Florianópolis:UFSC, 1996. p. 414 – 424.

PARROTT, L. J. **A review of carbonation in reinforced concrete**. Cement and Concrete Association: Building Research Establishment, 1987.

POSSAN, E. Contribuição ao estudo da carbonatação do concreto com adição de sílica ativa em ambiente natural e acelerado (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004. 153 p..

POURBAIX, M. **Atlas of electrochemical equilibria in aqueous solutions**. Bruselas: CEBELCOR, 1974. 644 p.

TUUTTI, K. **Corrosion of steel in concrete**. Sweden: CBI, 1982. 468p.

UOMOTO, T; TAKADA, Y. Factors affecting concrete carbonation rate. **Durability of Building Materials and Components**. v. 6, 1993.