

Copyright 2016, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2016, em Búzios/RJ no mês de maio de 2016.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

### **Interferência da exsudação na carbonatação de concretos.**

A. Catusso<sup>a</sup>, M. M. Mennucci<sup>b</sup>, J. J. O. Andrade<sup>c</sup>, D. C. C. Dal Molin<sup>d</sup>.

#### ***Abstract***

The degradation high rates that reinforced concrete structures have shown, with the new criteria established by revisions in the Brazilian standards NBR 6118 and NBR 15575, requiring that relations between the constituent materials and the environment in which the structures are inserted, as well as the execution are studied and known. Countless studies show that corrosion is responsible for much of the degradation in concrete structures. Avoid chloride ions and carbonation becomes indispensable task, since they are the reinforced corrosion process principal cause. In this paper, it was analyzed the influence of the exudation phenomenon, the kind of cement, the water/cement ratio and the exposure environment in the depths of concrete carbonation. Cylindrical specimens were molded, using 4 types of cement - CP II-F, CP AF III, IV CP and CP V ARI - three water/cement ratios, which were submitted to two different exposure settings. Through the depths measured in the samples could be seen that mostly the upper face, which suffers from the exudation, presented bigger depths of carbonation, as well as bigger water/cement ratios.

**Keywords:** exudation, concrete durability, carbonation, CP II-F, CP III-AF, IV CP and CP V-ARI.

#### **Resumo**

Os altos índices de degradação que as estruturas de concreto armado vêm apresentando, juntamente com os novos critérios estabelecidos pelas revisões das NBR 6118 e NBR 15575, exigem que as relações entre os materiais constituintes e o ambiente no qual as estruturas estão inseridas, bem como a execução das mesmas sejam estudados e conhecidos. Inúmeros trabalhos mostram que a corrosão é responsável por grande parte da degradação encontrada nas estruturas. Sendo o ataque por íons cloreto e a carbonatação os principais agentes no processo de corrosão de armaduras evitá-los torna-se uma tarefa indispensável. Neste artigo foi analisada a influência do fenômeno de exsudação nas profundidades de carbonatação em concretos, bem como o tipo de cimento, a relação água/cimento e o ambiente de exposição. Foram moldados corpos de prova cilíndricos, utilizando 4 tipos de cimento – CP II-F, CP III-AF, CP IV E CP V-ARI -, três relações água/cimento, que foram submetidos a dois ambientes de exposição diferentes. Através das profundidades medidas nos corpos de prova pôde-se constatar que em sua maioria a face superior, que sofre com a exsudação, apresentou maiores profundidades de carbonatação, assim como as relações água/cimento maiores.

**Palavras-chave:** exsudação, durabilidade de concreto, carbonatação, CP II-F, CP III-AF, CP IV e CP V-ARI.

---

## Introdução

---

Reconhecendo a importância da durabilidade das estruturas de concreto armado, as revisões da norma NBR 6118 (1) e da NBR 15575 (2) estabelecem critérios a serem aplicados para o concreto, considerando aspectos de agressividade ambiental e de qualidade do concreto. Visando evitar que novas estruturas apresentem altos índices de degradação em pequenas idades, como é constatado atualmente, desde a versão de 2007 a NBR 6118 (1) passou a levar em consideração a agressividade do ambiente que a obra será inserida, ao limitar a relação água/cimento e estabelecer classes de resistência mínima para concretos, não apenas considerando aspectos relacionados à resistência mecânica como anteriormente, já a NBR 15575 (2) passou a estabelecer um período mínimo de 50 anos, no qual manifestações patológicas ou anomalias não podem ser justificadas pelo envelhecimento natural.

Diversos trabalhos realizados no exterior e no Brasil mostram que a corrosão de armaduras é a responsável por grande parte dos danos nas estruturas de concreto armado ou protendido (3-10). Ataque de íons cloreto e de dióxido de carbono (carbonatação) mostram-se os principais responsáveis pela despassivação da armadura.

A carbonatação é um fenômeno onde os compostos hidratados do cimento e o dióxido de carbono, presente na atmosfera, reagem resultando na redução do pH do concreto. Tal fenômeno deve ser evitado, pois quando o concreto em contato com a barra de aço da armadura atingir pH de valores próximos a 9 ocorrerá a destruição da camada passiva, podendo desencadear a corrosão da armadura e a diminuição de sua vida útil.

Neste artigo foi analisada a influência do fenômeno de exsudação nas profundidades de carbonatação em concretos, bem como o tipo de cimento, a relação água/cimento e o ambiente de exposição. Foram moldados corpos de prova cilíndricos, utilizando 4 tipos de cimento – CP II-F, CP III- AF, CP IV E CP V- ARI, três relações água/cimento, que foram submetidos a dois ambientes de exposição diferentes.

A exsudação é um fenômeno que resulta no aparecimento de água na superfície do concreto após ele ser lançado e adensado e antes de ocorrer a pega. Vários fatores podem influenciar a ocorrência da exsudação: o aumento da relação água/cimento pode reduzir sua velocidade, mas aumenta a quantidade de água exsudada, por exemplo.

---

## Metodologia

---

Para a confecção dos corpos de prova foram utilizados os quatro tipos de cimento Portland mais utilizados no Brasil: CP II F (3,07 g/cm<sup>3</sup>), CP III AF (2,96 g/cm<sup>3</sup>), CP IV (2,79 g/cm<sup>3</sup>) e CP V ARI (3,10 g/cm<sup>3</sup>) (Tabela 1), e três relações água/cimento: 0,45, 0,55 e 0,65. Os concretos tiveram seus proporcionamentos elaborados a partir do método IPT/EPUSP (11), com um abatimento fixado em 10,0 cm ± 2,0 cm e constam nas Tabelas 2 a 5.

A Tabela 1 apresenta a composição dos cimentos segundo a ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland (12).

**Tabela 1 - Composição dos cimentos tirada do guia básico de utilização do cimento Portland da ABCP (12).**

Tipo de cimento portland	Sigla	Composição (% em massa)			
		Clínquer + Gesso	Escória granulada de alto-forno (sigla E)	Material pozolânico (sigla Z)	Material carbonático (sigla F)
Composto	CP II- E	94-56	6-34		0-10
	CP II – Z	94-76		6-14	0-10
	CP II – F	94-90			6-10
Alto-Forno	CP III	65-25	35-70		0-5
Pozolânico	CP IV	85-45		15-50	0-5
Alta Resistência Inicial	CP V- ARI	100-95			0-5

**Tabela 2 - Dosagem e quantidade de materiais para os concretos moldados com o CP IV**

Traço (1:m)	Materiais	Proporção		Quantidade de material (kg/m <sup>3</sup> )	Relação a/c	Abatimento (mm)
		Massa	%			
1:3,5	Cimento	1,00	22,17	490	0,40	95
	Areia	1,39	30,82	681,1		
	Brita	2,12	47,01	1038,8		
1:5,0	Cimento	1,00	16,67	370	0,50	90
	Areia	2,18	36,33	806,6		
	Brita	2,82	47,00	1043,4		
1:6,5	Cimento	1,00	13,32	295	0,63	120
	Areia	2,98	39,68	879,1		
	Brita	3,53	47,00	1041,35		

**Tabela 3 - Dosagem e quantidade de materiais para os concretos moldados com o cimento CP V**

Traço (1:m)	Materiais	Proporção		Quantidade de material (kg/m <sup>3</sup> )	Relação a/c	Abatimento (mm)
		Massa	%			
1:3,5	Cimento	1,00	22,17	500	0,39	105
	Areia	1,39	30,82	695		
	Brita	2,12	47,01	1060		
1:5,0	Cimento	1,00	16,67	380	0,47	110
	Areia	2,18	36,33	828,4		
	Brita	2,82	47,00	1071,6		
1:6,5	Cimento	1,00	13,32	308	0,53	110
	Areia	2,98	39,68	917,84		
	Brita	3,53	47,00	1087,24		

**Tabela 4 - Dosagem e quantidade de materiais para os concretos moldados com o cimento CP II F**

Traço (1:m)	Materiais	Proporção		Quantidade de material (kg/m <sup>3</sup> )	Relação a/c	Abatimento (mm)
		Massa	%			
1:3,5	Cimento	1,00	22,17	513	0,34	100
	Areia	1,39	30,82	713,07		
	Brita	2,12	47,01	1087,56		
1:5,0	Cimento	1,00	16,67	386	0,42	110
	Areia	2,18	36,33	841,48		
	Brita	2,82	47,00	1088,52		
1:6,5	Cimento	1,00	13,32	310	0,51	100
	Areia	2,98	39,68	923,8		
	Brita	3,53	47,00	1094,3		

**Tabela 5 - Dosagem e quantidade de materiais para os concretos moldados com o cimento CP III AF**

Traço (1:m)	Materiais	Proporção		Quantidade de material (kg/m <sup>3</sup> )	Relação a/c	Abatimento (mm)
		Massa	%			
1:3,5	Cimento	1,00	22,17	491	0,41	120
	Areia	1,39	30,82	682,49		
	Brita	2,12	47,01	1040,92		
1:5,0	Cimento	1,00	16,67	378	0,47	110
	Areia	2,18	36,33	824,04		
	Brita	2,82	47,00	1065,96		
1:6,5	Cimento	1,00	13,32	303	0,56	100
	Areia	2,98	39,68	902,94		
	Brita	3,53	47,00	1069,59		

Como agregado graúdo foi utilizado pedra britada de origem basáltica com  $D_{\text{máx}} = 19 \text{ mm}$  e massa específica igual a  $2,9 \text{ g/cm}^3$ . Como agregado miúdo, areia natural de origem quartzosa oriunda do Rio Jacuí, com módulo de finura igual a 2,4 e massa específica igual a  $2,63 \text{ g/cm}^3$  e água de amassamento proveniente da rede pública de abastecimento de Porto Alegre. Os corpos de prova foram moldados em formatos prismáticos com dimensões de  $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 35 \text{ cm}$  fazendo uma analogia às estruturas de concreto armado convencionais onde a barra de aço se encontraria no centro do prisma, envolta por um volume determinado de concreto. Para cada tipo de cimento moldaram-se 3 corpos de prova por relação água/cimento totalizando 36 exemplares de concreto. Cada corpo de prova recebeu uma identificação em baixo relevo (Figura 1) indicando o tipo de cimento e a relação água/cimento, desta forma pode-se nomear as faces sendo a superior, que possuía a marcação, a face (a) e as demais, no sentido anti-horário, as faces (b), (c) e (d). Passadas 24 horas os mesmos foram desmoldados e inseridos na câmara úmida para a cura.



**Figura 1 - Marcação realizada nos corpos de prova**

Após a cura, os corpos de prova foram expostos ao ambiente natural protegido e desprotegido no “campus centro” da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Entende-se desprotegido um ambiente onde o corpo de prova está exposto às todas as intempéries e protegido aquele onde há uma proteção superior que impede a incidência direta da chuva, mas proporciona o mesmo contato com a atmosfera presente no desprotegido (Figura 2).



(a)



(b)

**Figura 2 – Amostras expostas na atmosfera do centro de Porto Alegre: a) protegida e b) desprotegida**

Ao submeter os corpos de prova em seus respectivos ambientes de exposição, garantiu-se que havia um espaçamento mínimo de 5 cm entre cada corpo de prova, possibilitando que todas as faces sofressem a mesma ação do ambiente. As idades iniciais das leituras das profundidades carbonatadas estão apresentadas na Tabela 6, e foram estabelecidas em função das porosidades diferenciadas dos concretos. A periodicidade das medições das profundidades carbonatadas dos corpos de prova de concreto foram ajustadas de acordo com o valor obtido da primeira medição, conforme Tabela 6. Para os concretos com relação água/cimento igual a

0,45 a cada 6 meses; com relação água/cimento igual a 0,55 a cada 4 meses e para os concretos com relação água/cimento igual a 0,65 a cada 2 meses.

**Tabela 6 - Idades iniciais e periodicidade das leituras de profundidade carbonatada.**

Relação a/c	Leitura Inicial (dias)	Periodicidade (meses)
0,45	28 (1ª leitura)	6
0,55	7 (1ª leitura)	4
0,65	3 (1ª leitura)	2

Ao atingirem as idades determinadas os corpos de prova foram retirados do seu ambiente de exposição e levados a laboratório, onde, com a ajuda de uma prensa (Figura 3), tirou-se uma fatia de cada. Posteriormente, a parte interna das fatias recebeu uma aspersão de fenolfetaleina que ao reagir indicou a área da amostra onde o pH já havia reduzido. A parte íntegra era representada pela cor roxa que indicava um pH acima de nove, já a parte incolor indicava onde o substrato já havia sofrido os efeitos da carbonatação e seu pH já possuía valores próximos de 8,5 e 9.



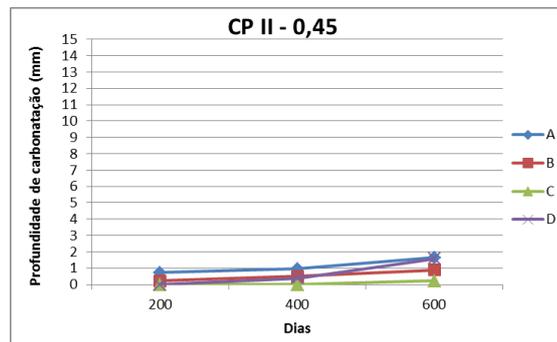
**Figura 3 - Retirada de fatias com auxílio da prensa.**

Para se chegar a uma profundidade média de carbonatação em cada corpo de prova foram coletadas, com o auxílio de um paquímetro eletrônico, 5 medidas em cada face (Figura 4). Procurou-se sempre evitar agregados ou picos que pudessem mascarar o real valor médio da profundidade na face analisada. Os dados coletados foram compilados através do software Excel, através do qual foram feitos gráficos que permitiram analisar a variação da capacidade de proteção da barra de aço oferecida por cada tipo de cimento e por cada relação água/cimento.

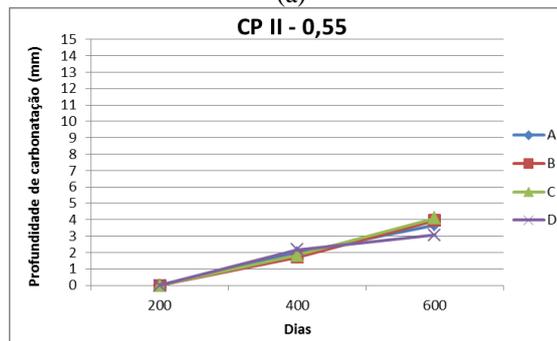


**Figura 4 - Pontos de medidas em cada face.**

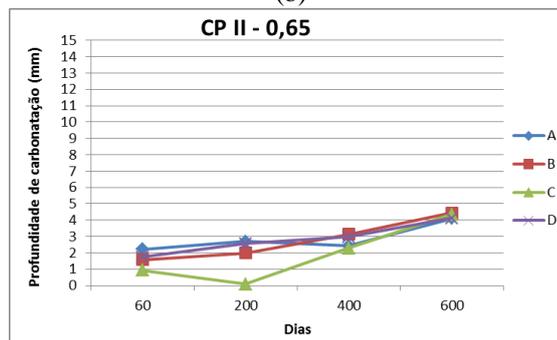
## Resultados



(a)

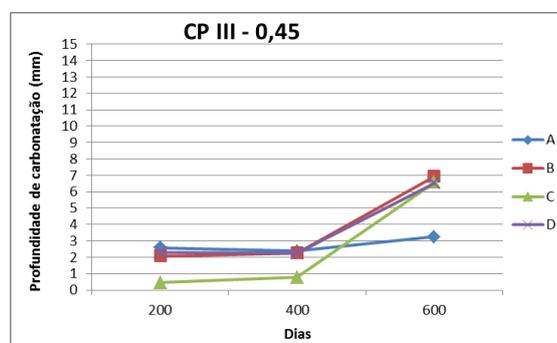


(b)

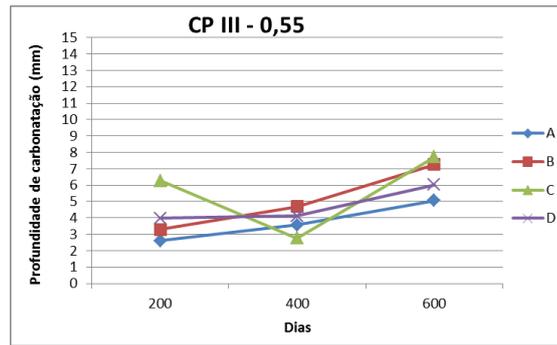


(c)

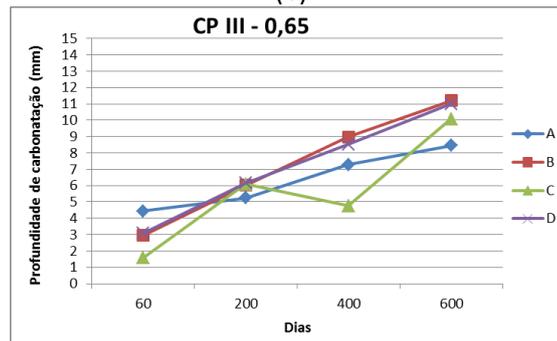
Figura 5 – Profundidades de carbonatação para concretos moldados com cimento CP II F com  $a/c=0,45$  (a),  $a/c=0,55$  (b),  $a/c=0,65$  (c); a legenda nos gráficos: a,b,c e d são as faces dos prismas.



(a)

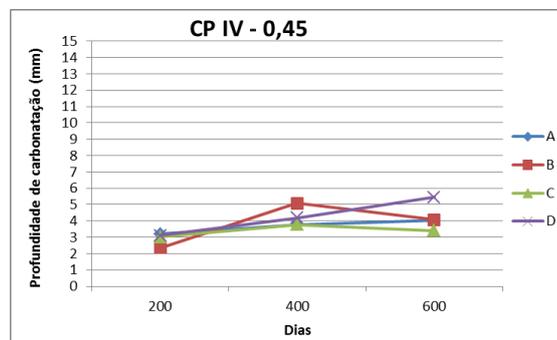


(b)

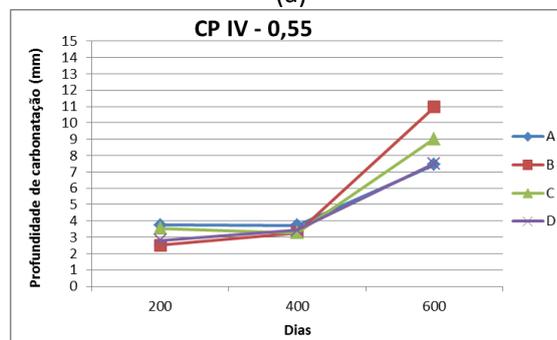


(c)

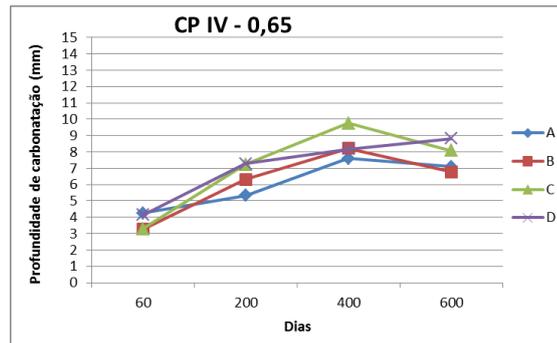
**Figura 6 – Profundidades de carbonatação para concretos moldados com cimento CP III AF com  $a/c=0,45$  (a),  $a/c=0,55$  (b),  $a/c=0,65$  (c) ; a legenda nos gráficos: a,b,c e d são as faces dos prismas.**



(a)

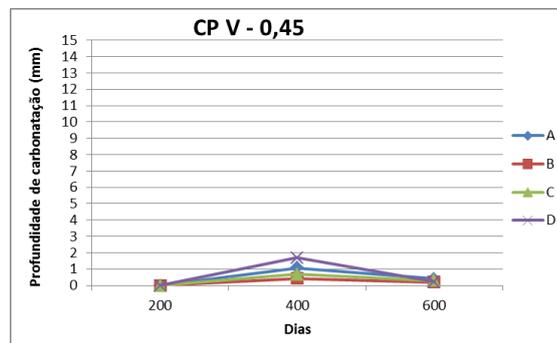


(b)

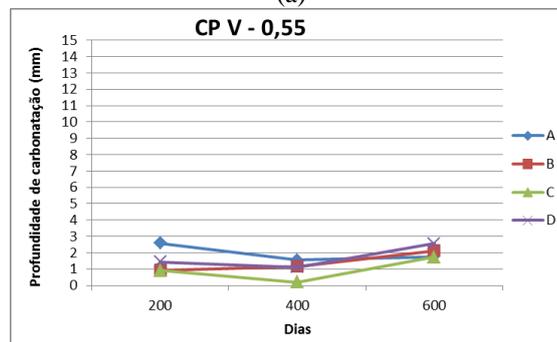


(c)

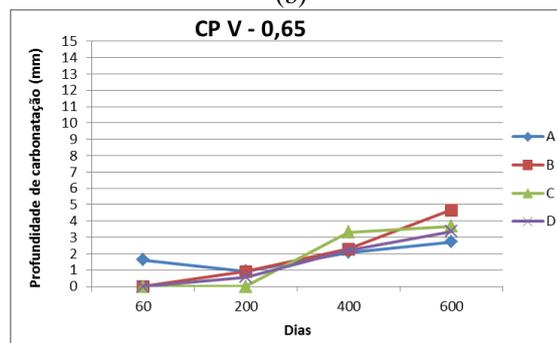
Figura 7 – Profundidades de carbonatação para concretos moldados com cimento CP IV com  $a/c=0,45$  (a),  $a/c=0,55$  (b),  $a/c=0,65$  (c); a legenda nos gráficos: a,b,c e d são as faces dos prismas.



(a)



(b)



(c)

Figura 8 - Profundidades de carbonatação para concretos moldados com cimento CP V ARI com  $a/c=0,45$  (a),  $a/c=0,55$  (b),  $a/c=0,65$ ; ; a legenda nos gráficos: a,b,c e d são as faces dos prismas.

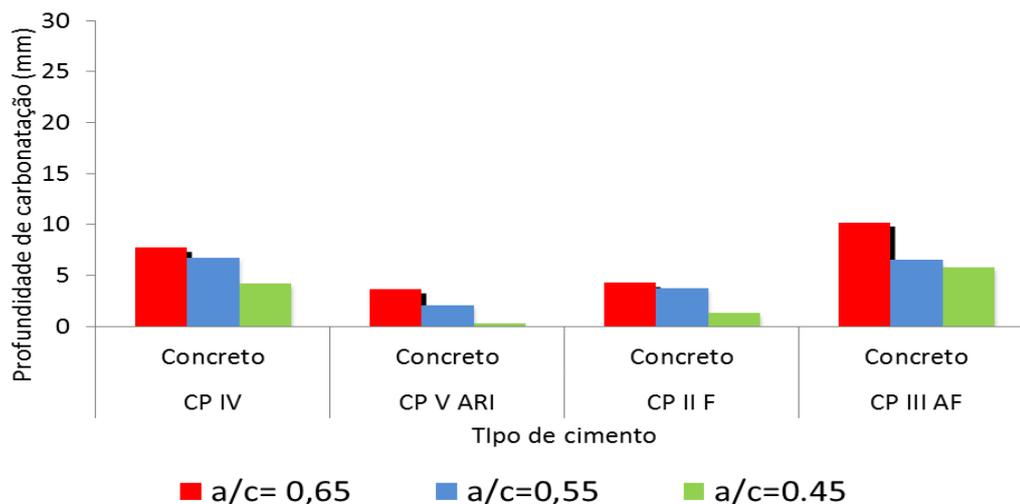


Figura 9 - Gráfico que ilustra a influência da relação água/cimento e do tipo de cimento na carbonatação de concretos com 600 dias de idade.

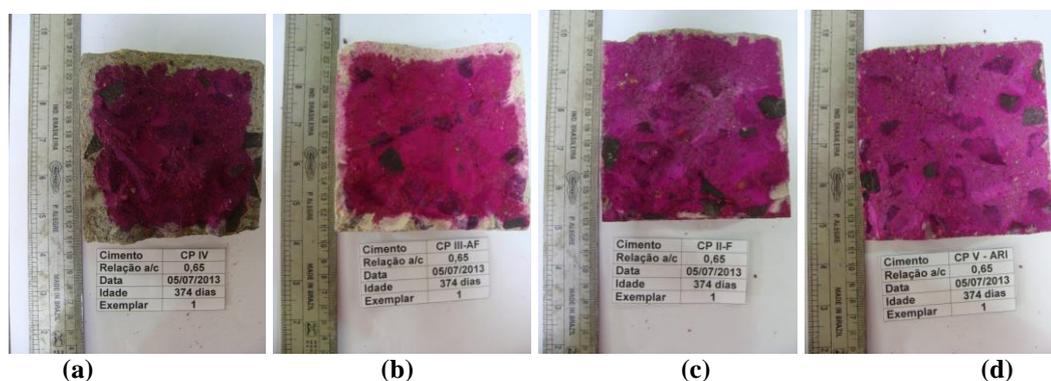


Figura 10 – Fotos de corpos-de-prova de concreto após pulverização de fenolftaleína com cimento CP IV (a), CP III AF (b), CP II F (c) e CP V (d), todos com  $a/c = 0,65$  e exposição natural sem proteção durante 374 dias.

## Discussão

Nota-se que cimentos que possuem adição de material pozzolânico (CP IV) ou escória de alto forno (CP III) apresentaram maiores profundidades de carbonatação. Quanto maior a quantidade de adição maior o fenômeno da exsudação, que também se mostra mais recorrente em concretos com maior relação água/cimento.

O fenômeno da exsudação pode ser evidenciado ao analisar a diferença da profundidade média entre as faces superior (a) e inferior (c). Durante o adensamento dos materiais a água livre pode migrar para a superfície, o que causa uma maior relação água/cimento na face (a) do que na face (c). Após a evaporação da água a face (a) se mostrou mais porosa e consequentemente mais suscetível à ação do dióxido de carbono.

Ao se fazer uma analogia com elementos de construção como vigas e lajes, a face (a) não seria tão afetada pela carbonatação, sendo que normalmente, no caso das lajes, há um revestimento ou cobrimento devido ao emprego de pisos ou impermeabilizações. Já no caso de vigas, a face real que sofreria com agentes degradantes seria a face (c), pois geralmente a face (a) está em contato com lajes ou outros elementos, o que não seria um problema visto que a face (c) se mostra menos afetada por esses agentes.

As profundidades estão representadas no gráfico no eixo das ordenadas, cujo valor máximo é 15 mm, representando metade do cobrimento nominal mínimo (30 mm) exigido pela NBR

6118 (1) para vigas e pilares expostos a um ambiente com classe de agressividade ambiental igual a II. Lembrando que as amostras foram expostas apenas 600 dias e que a NBR 15575 (2) exige 50 anos de vida útil de projeto, resultados como algumas faces apresentaram de 10 mm não são aceitáveis.

Observa-se que independente do tipo de cimento ou relação água/cimento a face superior apresentou maiores profundidades. Essa análise separada de faces é muito reveladora, tornando possível notar a influência que o mal proporcionamento e a má execução de um elemento têm sobre sua vida útil. Ao se calcular apenas a média geral das faces pode-se mascarar os valores reais encontrados. Discrepâncias das faces e fenômenos como o da exsudação podem passar despercebidos.

Contudo, em algumas amostras foi possível observar que o adensamento em concretos favoreceu maiores profundidades carbonatadas na face (c) devido a maior concentração de agregados e conseqüentemente a presença da área de transição pasta/agregado que possui maior relação água/cimento. Em alguns exemplares a concentração dos agregados é mais significativa e nestes casos a única pasta presente próxima à face (c) é a de transição, o que acaba resultando em valores de profundidades carbonatadas próximos ou até superiores aos encontrados na face (a) do mesmo exemplar. Esse fato deve ser considerado na hora de dimensionar e executar vigas e lajes, visto que por vezes o cobrimento mínimo da armadura não é alcançado, ou porque não foi projetado ou devido à má execução do elemento, deixando esta muito mais suscetível à corrosão e acelerando sua degradação.

Em relação à condição de exposição, verifica-se que a condição protegida tende a apresentar uma maior profundidade de carbonatação se comparada com as dos corpos-de-prova inseridos na condição desprotegida. Isso ocorre devido o preenchimento da porosidade através da ação da água da chuva que diminui a permeabilidade da matriz cimentícia.

## **Conclusões**

---

Ao analisar os resultados encontrados, pode-se concluir que quanto maior for a relação água/cimento ou maior a adição de pozolanas no cimento, maior serão as profundidades de carbonatação, independente da face analisada, e que a exposição também influencia nas profundidades, sendo estas maiores para concretos protegidos do que concretos não protegidos. Também, independente do tipo de cimento ou relação água/cimento constatou-se que as profundidades de carbonatação nas faces superiores das fôrmas, mais sujeitas à exsudação, foram maiores que às das faces laterais e inferiores.

Fica claro também que mais estudos precisam ser feitos antes da escolha do concreto (tipo de cimento, relação água/cimento, execução, etc.) para uma estrutura em um determinado ambiente para que a vida útil seja compatível com as normas vigentes.

## **Referências bibliográficas**

---

(1) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

(2) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 15575 – Edificações Habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

(3) MEHTA, P.K. **Durability of Concrete - Fifty Years of Progress?** In: Seminário Qualidade e Durabilidade das Estruturas de Concreto, 1993. Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: NORIE/PPGEC/UFRGS, 1993. p.33

- 
- (4) STEWART, M.G.; ROSOWSKY, D.V. Time-Dependent Reliability of Deteriorating Reinforced Concrete Bridge Decks. **Structural Safety**, n. 20, p. 91-109, 1998.
- (5) CARMONA, A.; MAREGA, A. **Retrospectiva da Patologia no Brasil: Estudo Estatístico**. In: Trabajos Apresentados en la Jornada Español e Potuques sobre Estructuras y Materiales, 1988. Madrid. Anais. Madrid: CEDEX/ICcET. p.99-124.
- (6) 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**. 1988. 220p.
- (7) ARANHA, P.M.S. **Contribuição ao Estudo das Manifestações Patológicas nas Estruturas de Concreto Armado na Região Amazônica**. 1994. 144p. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.
- (8) ANDRADE, J.J.O. **Contribuição à Previsão da Vida Útil das Estruturas de Concreto Armado Atacadas pela Corrosão da Armadura: Iniciação por Cloretos**. 2001. 278p. Tese (Doutorado em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.
- (9) HELENE, P.R.L. **Contribuição ao Estudo da Corrosão em Armaduras de Concreto Armado**. 1993. 271p. Tese (Livre docência). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- (10) NINCE, A.A. **Levantamento de Dados sobre a Deterioração de Estruturas na Região Centro-Oeste**. 1996. 176p. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília.
- (11) HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: PINI, 1992. 349p.
- (12) **Associação Brasileira de Cimento Portland** Guia Básico de Utilização do Cimento Portland. 7.ed. 28p. (BT-106) São Paulo, 2002.