

# **AVALIAÇÃO DA PENETRAÇÃO DE ÍONS CLORETO NO CONCRETO**

FRANCISCO TESTON TISBIEREK<sup>1</sup>, LETÍCIA PONCE ROSA RATHER<sup>1</sup>,  
THIAGO RICARDO SANTOS NOBRE<sup>1</sup>,  
JAIRO JOSÉ DE OLIVEIRA ANDRADE<sup>2</sup>

## **RESUMO**

*A resistência mecânica e a durabilidade de um concreto são os principais fatores que devem ser levados em consideração para qualquer obra a ser executada. Porém, sabe-se que gradualmente o concreto vêm sendo exposto a diversas condições ambientais, podendo entrar em contato com substâncias que levam à uma degradação do material, como é o caso dos íons cloreto, que iniciam o processo corrosivo. Sendo assim, o objetivo principal deste trabalho é analisar a resistência mecânica e a capacidade de proteção de diferentes tipos de concreto em relação à penetração de íons cloreto. Para tanto, foram moldados corpos-de-prova cilíndricos (10 x 20 cm), onde adotou-se 3 relações água/cimento. Foram utilizados os cimentos CP IV e CP V; agregado graúdo de diâmetro máximo 19 mm, areia média e o abatimento foi fixado em  $8 \pm 1$  cm. Os corpos-de-prova foram submetidos à cura submersa por 28 dias e logo após foram selados no perímetro com epóxi, deixando livres apenas as superfícies de topo e de fundo. Esses espécimes foram imersos em soluções contendo 1,5 M e 3,5 M de NaCl durante 6 meses, onde após esse prazo foram retiradas amostras pulverizadas para a determinação dos teores de cloretos em diferentes profundidades. Observou-se que os concretos moldados com o cimento CP IV ARI apresentaram uma maior resistência à penetração de cloretos que o CP V, considerando o mesmo traço e concentração*

---

<sup>1</sup>Acadêmico(a) do Curso de Engenharia Civil - Bolsista PROICT/ULBRA

<sup>2</sup> Professor - orientador do Curso de Engenharia Civil/ULBRA

externa de cloretos, principalmente devido às características do cimento e das condições microestruturais do concreto.

## ABSTRACT

*The resistance and durability of concrete are the main factors that have influence in any structure. However, it is known that the concrete structures are exposed to several environmental conditions, such as marine areas, leading to material degradation by corrosion of reinforcement, initiated by chloride ions. So, this work analyzed the mechanical properties and the resistance to chloride penetration in different concrete types. Cylindrical test specimens (10 x 20 cm) were prepared using 3 w/c ratio, with the CP IV and CP V brazilian cements. The slump was kept constant at  $8 \pm 1$  cm. The test specimens were submerged to cure in 28 days and after that period their perimeter were sealed with epoxi, leaving free only the top and bottom surfaces. These specimens were immersed in 1,5 M and 3,5 M NaCl solutions for 6 months. After this time, powdered samples were taken for chloride determination. The results indicated that the concretes made with CP IV cement minimized the chloride penetration, for the same mixture proportion and external solution concentration.*

## INTRODUÇÃO

Um dos principais danos que ocorrem nas estruturas de concreto armado, levando a uma degradação precoce de tais estruturas, é a corrosão de armaduras. Através de levantamentos de danos e formas de recuperação realizados no Brasil (ARANHA, 1994; NINCE, 1996; ANDRADE, 1997) observa-se que tal fenômeno é responsável por um elevado percentual de danos em tais estruturas no país.

A corrosão pode ocorrer basicamente devido à ação de dois agentes: o  $\text{CO}_2$  e os íons cloreto ( $\text{Cl}^-$ ). O  $\text{CO}_2$  ocasiona a corrosão conhecida por carbonatação, onde há uma diminuição do pH do líquido presente nos poros do concreto de 12,5 para aproximadamente 9,0. Essa redução da alcalinidade do material acarreta uma diminuição da proteção química do

concreto de cobrimento, levando à ocorrência da corrosão generalizada das armaduras. Já os íons cloreto penetram pelo cobrimento, despassivando a armadura e acarretando a corrosão por pites, ou seja, sob a forma de pontos localizados, levando a uma redução significativa da seção transversal das armaduras (ANDRADE, 1988).

Entre os estudos relacionados à durabilidade das estruturas de concreto armado, verifica-se que a corrosão das armaduras provocada pela ação dos íons cloreto é um dos problemas mais sérios que podem ocorrer em uma estrutura (CASCUDO, 1997). Tal elemento pode ter origens diversas, podendo-se destacar:

- O emprego de aceleradores de pega que contém  $\text{CaCl}_2$  (cloreto de cálcio);
- a contaminação dos materiais constituin-

tes do concreto (água e agregados);

- a contaminação através da névoa salina (maresia);
- o contato direto com a água do mar; e
- através de determinados processos industriais.

Os principais parâmetros que influenciam no processo de penetração de cloretos para o interior do concreto são:

- Tipo e composição do cimento;
- relação a/c e condições de cura; e
- condições de exposição.

A interrelação existente entre tais fatores no processo de degradação das estruturas ocasionada pela corrosão induzida por cloretos constitui-se em um objeto prioritário de pesquisa por uma grande parte dos pesquisadores no Brasil e no mundo. Na grande maioria dos casos são realizadas investigações para se avaliar os diversos mecanismos de transporte de cloretos para o interior de um elemento de concreto, onde são conduzidos ensaios experimentais para analisar a influência das características do material e das condições de exposição na penetração de cloretos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foram empregados os seguintes materiais para a confecção dos corpos-de-prova de concreto:

- Tipos de cimento: 2 (CP IV e CP V);
- agregado miúdo: areia de origem

quartzoza comumente empregada em concretos convencionais proveniente da região de Porto Alegre e Canoas;

- agregado graúdo: pedra britada com dimensão máxima característica igual a 19 mm, comumente empregada em concretos convencionais proveniente da região de Porto Alegre e Canoas; e
- água proveniente da rede pública de abastecimento.

Foi empregado o método de dosagem IPT/EPUSP (HELENE e TERZIAN, 1993) para a confecção dos corpos-de-prova, onde o abatimento foi mantido fixo em  $8 \pm 1$  cm e o teor de argamassa foi igual a 49% para todos os traços.

Após a dosagem, execução e moldagem todos os exemplares foram mantidos em cura saturada, sendo retirados aos 28 dias para a realização dos ensaios de resistência à compressão e durabilidade.

Foram realizados os seguintes ensaios:

- Abatimento do tronco de cone;
- resistência à compressão axial: 28 dias (2 corpos-de-prova por traço);
- imersão em solução de cloretos:

Aos 28 dias os corpos-de-prova foram revestidos com uma camada impermeabilizante constituída por resina epóxi, deixando apenas a base e o topo dos espécimes sem nenhum tipo de tratamento, a fim de permitir apenas o fluxo unidimensional de cloretos. Após tal procedimento, os mesmos foram imersos em soluções de cloretos com 2 concentrações distintas (1,5 M e 3,5 M);

- medição dos teores de cloreto:

Após 6 meses de imersão nas soluções, foram coletadas amostras de concreto para a determinação dos perfis de penetração de cloretos nos corpos-de-prova. O material foi retirado com uma furadeira de impacto a cada 5 mm da superfície dos espécimes, onde as amostras de concreto foram coletadas sob a forma pulverulenta. Enviou-se tal material para a determinação dos teores de cloretos totais nas amostras em laboratório.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

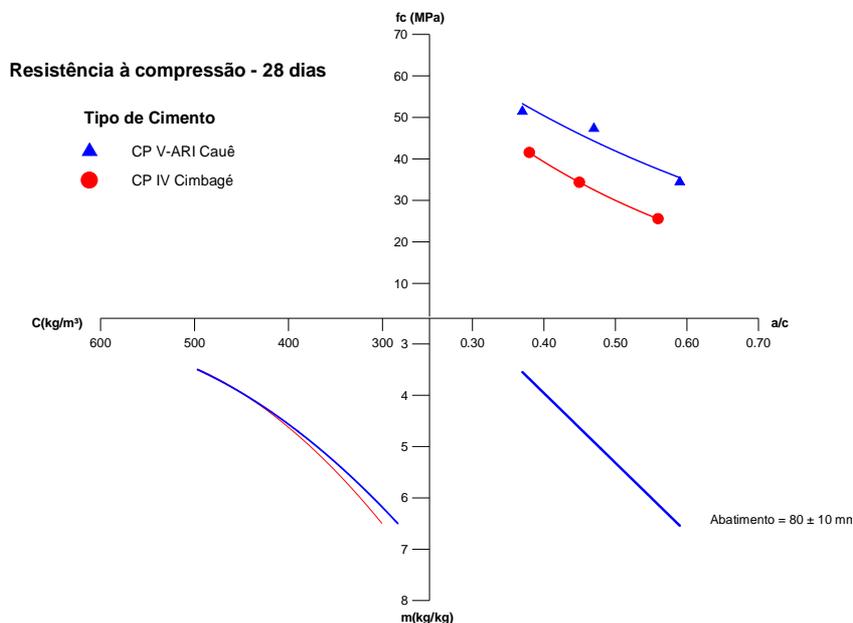
### Propriedades Mecânicas

Os resultados obtidos através do estudo de dosagem experimental estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1** - Resultados das dosagens efetuadas

Tipo de cimento	Traço	Abatimento (cm)	Relação a/c	Resistência à compressão média aos 28 dias (MPa)	Consumo de cimento (kg/m <sup>3</sup> )
CP IV	1 : 3,5	7	0,38	40,5	495,49
	1 : 5,0	8	0,45	34,3	376,75
	1 : 6,5	8	0,56	25,5	300,57
CP V	1 : 3,5	8	0,37	51,4	497,00
	1 : 5,0	7,5	0,47	47,3	369,79
	1 : 6,5	8	0,59	34,5	283,76

Na Figura 1 está apresentado o diagrama de dosagem para os corpos-de-prova rompidos na idade de 28 dias.



**Figura 1** - Diagrama de dosagem para os concretos avaliados aos 28 dias.

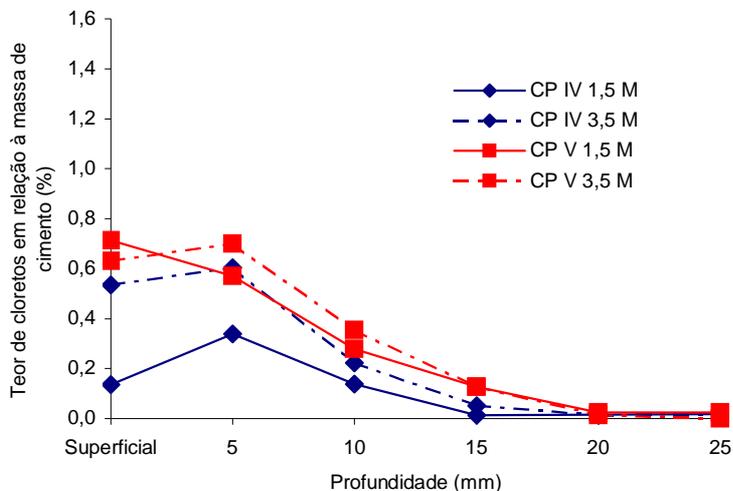
Através de uma análise da Figura 1, pode-se observar que o CP IV apresenta resistências inferiores ao CP V para as relações a/c avaliadas. Isto está diretamente relacionado a dois fatores básicos:

- O CP IV, por ter um elevado percentual de material pozzolânico em substituição ao clínquer, vai apresentar uma menor quantidade de  $C_3S$  e  $C_2S$ , que são os principais responsáveis pela resistência mecânica do material; e
- o CP V, além de apresentar uma maior finura (que facilita as reações de hidratação pelo menor tamanho da par-

tícula), tem um maior teor de silicatos de cálcio, pois é um cimento com menor teor de adições (apenas 5% de material carbonático), formando assim uma maior quantidade de silicatos de cálcio hidratados (CSH) durante o processo de hidratação.

### Penetração De Cloretos

Na Figura 2 está apresentado o gráfico referente à penetração de cloretos nos corpos-de-prova moldados com o traço rico (1 : 3,5).



**Figura 2** – Perfis de penetração de cloretos para concretos moldados com o traço 1 : 3,5 ( $t = 6$  meses).

Pode-se observar que quanto maior a concentração de cloretos na solução externa, maior o teor de cloretos a uma dada profundidade dos corpos-de-prova, onde tal situação é verificada para a grande maioria das amostras analisadas. Pequenas variações podem ser atribuídas às variabilidades existentes no processo de penetração, de retirada das amostras e na determinação dos resultados em laboratório.

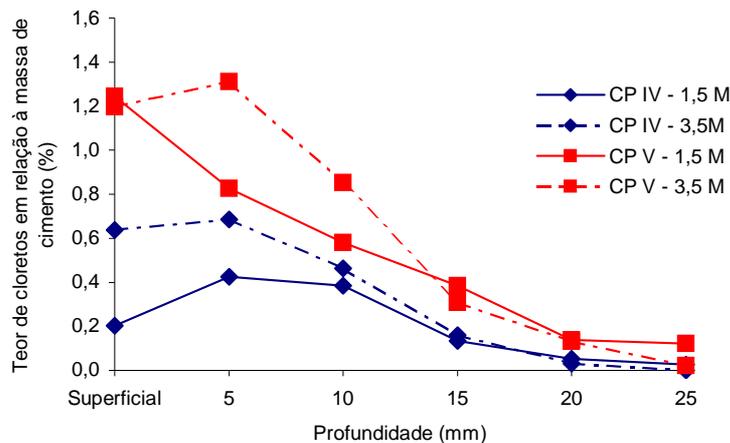
Além disso, o cimento CP IV apresentou um menor perfil de penetração de cloretos que o CP V, considerando as mesmas concentrações. Isso ocorre devido principalmente a dois fatores. O primeiro deles diz respeito às características químicas dos cimentos, pois o CP IV apresenta uma maior capacidade de fixação de cloretos que o CP V por ter uma quantidade maior de aluminatos. Resultados similares foram encontrados por MEDEIROS et al. (1999), onde os autores analisaram o comportamento do CP II F, CP II Z e CP IV em relação à penetração de cloretos. Os mesmos constataram que nos

corpos-de-prova moldados com cimento CP IV a penetração de cloretos foi menor, em função do elevado teor de aluminatos presente nesse tipo de cimento. GJØRV & VENNESLAND (1979), PAGE et al. (1981) e THOMAS et al. (1999) constataram, através de ensaios experimentais, que os concretos feitos com cimentos com escória de alto-forno e com cinza volante apresentam um menor coeficiente de difusão de cloretos que os exemplares moldados com o cimento comum, diminuindo a quantidade de cloretos livres na solução de poros do concreto.

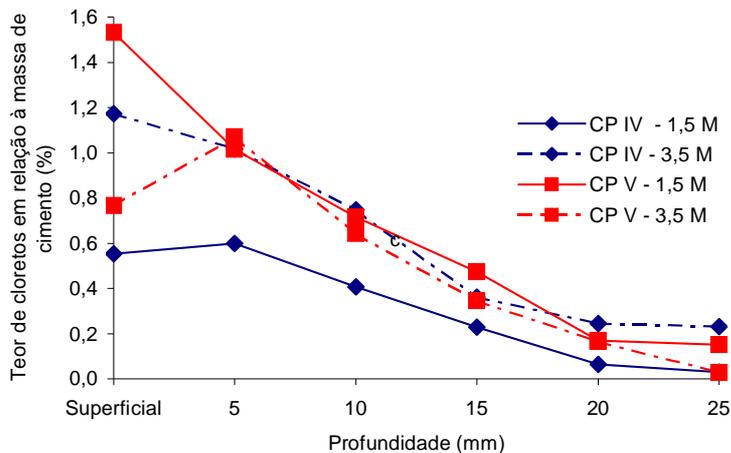
O segundo fator diz respeito à maior densificação microestrutural atingida pelo CP IV, em função das reações de hidratação características desse tipo de cimento. Com o decorrer do tempo há uma produção de CSH, através da reação pozolânica, levando a um refinamento do tamanho dos poros e modificando a distribuição dos mesmos na pasta endurecida, aumentando a resistência à penetração de cloretos (MEHTA e MONTEIRO, 1994; NEVILLE, 1997; LI et al., 1999).

Os perfis de penetração de cloretos para o traço intermediário (1: 5,0) e o traço pobre (1:

6,5) estão apresentados na Figura 3 e na Figura 4, respectivamente.



**Figura 3** - Perfis de penetração de cloretos para concretos moldados com o traço 1 : 5,0 (t = 6 meses).



**Figura 4** - Perfis de penetração de cloretos para concretos moldados com o traço 1 : 6,5 (t = 6 meses).

Assim como observado para o caso do traço rico (1 : 3,5), quanto maior a concentração da solução externa, maior o teor de cloretos para uma dada profundidade. Observa-se que, para concentrações similares, o CP IV apresenta uma

menor penetração de tal composto químico que o CP V, pelas mesmas razões explicitadas anteriormente. O efeito das características do concreto também podem ser observadas, onde o traço intermediário apresenta uma penetração

menor que o traço pobre, considerando o mesmo tipo de cimento e a mesma concentração da solução de cloretos.

Excetuando-se o concreto moldado com o CP IV inserido em uma concentração igual a 1,5 M, tem-se que os perfis de penetração são bastante similares, independentemente da concentração da solução e do tipo de cimento empregado (Figura 4). Isso se deve provavelmente aos baixos teores de cimento empregados para a moldagem dos concretos (menores que 300 kg/m<sup>3</sup>), levando a uma minimização da capacidade de fixação de cloretos pelo material.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os resultados obtidos no presente trabalho algumas considerações de cunho geral devem ser observadas:

- deve-se verificar que há uma certa variabilidade no perfil de penetração de cloretos em um elemento de concreto, principalmente em função da heterogeneidade típica do material, conforme pôde ser observado nos resultados apresentados;
- não existe uma relação direta entre a resistência do concreto e a capacidade de proteção que o mesmo oferece à penetração de cloretos, onde há uma grande influência da composição química do cimento nesse processo;
- os corpos-de-prova de concreto moldados com o cimento pozolânico (CP IV) apresentaram uma menor penetração de cloretos que os concretos moldados com o cimento

de alta resistência inicial (CP V );

- para concretos mais pobres a penetração de cloretos é independente do tipo de cimento, pois a capacidade de fixação de cloretos fica reduzida em função do baixo consumo de cimento empregado; e
- deve-se sempre considerar os efeitos da agressividade ambiental (traduzida no experimento pela concentração da solução) no momento de se projetar uma estrutura de concreto armado, a fim de maximizar a sua vida útil.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, C. **Manual: Inspección de Obras Dañadas por Corrosión de Armaduras**. Madrid: IETCC, 1998. 122p.

ANDRADE, J. J. O. **Durabilidade das Estruturas de Concreto Armado: Análises das Manifestações Patológicas nas Estruturas do Estado de Pernambuco**. 1997. 147f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

ARANHA, P. M. S. **Contribuição ao Estudo das Manifestações Patológicas nas Estruturas de Concreto Armado na Região Amazônica**. 1994. 144f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1994.

CASCUDO, O. **O Controle da Corrosão das Armaduras em Concreto**: inspeção e técnicas eletroquímicas. São Paulo: Ed. PINI/UFG, 1997. 237p.

GJØRV, O.; VENNESLAND, Ø. Diffusion of Chloride Ions from Seawater into Concrete. **Cement and Concrete Research**, v.24, n.8, p.229-238, 1979.

HELENE, P.R.L.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: PINI, 1992. 349p.

LI, Z.; PENG, J.; MA, B. Investigation of Chloride Diffusion for High-Performance Concrete Containing Fly Ash, Microsilica and Chemical Admixtures. **ACI Material Journal**, v.96, n.3, p.391-396, 1999.

MEDEIROS, M.H.F. et al. A Corrosão de Armaduras sob a Ação de Íons Cloreto em Relação à Capacidade de Proteção de Alguns Tipos de Cimentos Nacionais com Adições Pozolânicas. In: CONGRESSO DE CONTRO-

LE DE CALIDAD, 7., 1999, Montevideo. **Anais...** Montevideo, 1999. v.1, p.500-506.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. 1. ed. São Paulo: Ed. PINI, 1994. 580p.

NEVILLE, A. **Propriedades do Concreto**. 2. ed. São Paulo: Ed. PINI, 1997.

NINCE, A. A. **Levantamento de Dados sobre a Deterioração de Estruturas na Região Centro-Oeste**. 1996. 176f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 1996.

PAGE, C. L. et al. Diffusion of chloride ions in hardened cement pastes. **Cement and Concrete Research**, v.11, p.395-406, 1981.

THOMAS, M. D.; BAMFORTH, P. B. Modelling Chloride Diffusion in Concrete: Effect of Fly-Ash and Slag. **Cement and Concrete Research**, n.29, p.487-495, 1999.

---

Confeccionado pela Editora e Gráfica da  
ULBRA em fontes Goudy OISt BT, Swis 721  
Blk BT, e Swis 721 BT, papel Off-set 75g (mio-  
lo) e Supremo 240g (capa).

Outubro/2003.

---