

# Grau de saturação do concreto: um importante fator na difusão de cloretos

André T. C. Guimarães<sup>1</sup> & Paulo R. L. Helene<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Materiais e Construção – FURG, Rio Grande, RS – atcg@mikrus.com.br

<sup>2</sup>Departamento de Construção Civil PCC/USP, São Paulo, SP – helene@pcc.usp.br

**RESUMO:** Em pesquisas anteriores [5, 6] observam-se altos teores cloretos (2%/cimento) na superfície externa de elementos de concreto armado localizados em ambiente marítimo e em zona predominantemente de névoa. Entretanto a frente de ataque por cloretos está em uma profundidade baixa para a classe de concreto utilizada. Por observações, suspeita-se da influência do teor de umidade sobre a difusividade de cloretos. Sendo assim, é desenvolvido ensaio com o objetivo de avaliar a variação do coeficiente de difusão dos cloretos com a variação do teor de umidade da pasta de cimento. Conclui-se que o Grau de Saturação (GS) (percentual do teor de umidade da pasta de cimento em relação a absorção máxima) tem grande influência sobre a difusividade de cloretos da pasta de cimento endurecida, sendo que esse fator deve ser levado em conta na previsão de vida útil de uma estrutura de concreto armado.

## 1. INTRODUÇÃO

Ao relacionar-se perfis de penetração de íons cloretos em obras com idade avançada de utilização (superior a 20 anos) com os modelos deterministas baseados exclusivamente na lei de Fick nota-se uma grande diferença entre a profundidade que seria prevista para a frente de ataque e a existente na estrutura analisada em zona de maré, zona de respingo ou zona de névoa, todas em ambiente marítimo [5, 6].

Em estudos recentes, notou-se que em superfícies com alto teor de íons cloretos (2% em relação a massa de cimento) e considerando fatores como a variação da resistência à compressão, variação sazonal da temperatura, tipo de cimento, relação a/c obteve-se uma grande diferença entre a profundidade de ataque prevista por métodos deterministas e a profundidade efetiva obtida por perfis de penetração de cloretos em cais marítimo no extremo sul do Brasil. Deve-se salientar que esse teor de íons cloretos foi obtido tanto em época de chuva intensa (inverno) como em época de estiagem (verão), segundo estudos de Guimarães [6, 7].

Supõem-se por esses fatos que a dificuldade dos cloretos penetrarem é devido ao teor de água de equilíbrio no concreto estar abaixo da saturação. Esse fato pode gerar diferenças entre resultados de laboratório e obras em serviço, pois os ensaios de laboratório que visam obter um coeficiente de difusão são realizados na condição de corpos de prova saturados [3, 4, 11, 12].

Para investigar esse fator desenvolveu-se metodologias de ensaio para determinar a influência da variação do grau de saturação (GS) da pasta de cimento endurecida na difusão dos cloretos.

## 2. ENSAIO DE VARIAÇÃO DA DIFUSIVIDADE EM RELAÇÃO AO GRAU DE SATURAÇÃO (GS)

### 2.1. Material

O material utilizado para o desenvolvimento e realização do ensaio foram corpos de prova executados com pasta de cimento.

O cimento utilizado foi o CPV-ARI. A utilização desse tipo de cimento se deve ao fato da sua mais rápida hidratação em relação aos demais tipos de cimento. Dessa forma obtém-se uma influência menor das possíveis diferenças de hidratação do cimento quando sujeitos a diferentes teores de umidade durante o ensaio.

Com esse cimento foi executado uma pasta com relação a/c de 0,5 e posteriormente moldados 50 corpos de prova de 30 mm de diâmetro e 45 mm de comprimento em moldes plásticos, e 5 corpos de prova de 50 mm de diâmetro e 100 mm de comprimento para ensaio de caracterização em moldes metálicos.

Após 24 horas de sua execução foram desmoldados e lixados no topo, desgastando alguns milímetros para extrair a camada externa que, por exsudação, fica com sua qualidade

comprometida (Fig. 1a). A seguir foram colocados em cura submersa por 14 dias, ficando a partir dessa idade em ambiente de laboratório até completar 28 dias. Obteve-se absorção média de 29,7 % e massa específica média de  $1468 \text{ kg/m}^3$  e resistência a compressão média aos 28 dias de 29 MPa.

Para estimar a massa seca dos CP's de 30 mm x 45 mm, foram selecionados aleatoriamente 6 unidades, dentre as 50 disponíveis. Essas unidades foram secas em estufa a  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  por 72 horas. Obteve-se massa média de 48,3 g com um desvio padrão de 0,58 g.

## 2.2. Ensaio

Depositou-se sobre o topo dos CP's de 30 mm x 45 mm uma camada de calda de cimento com cloretos (5% de NaCl) e após a obtenção da estabilidade das umidades desejadas, obteve-se por fatiamento da metade dos corpos de prova e ensaios de teores de cloretos na pasta, os perfis iniciais de penetração dos cloretos. Esse perfil inicial refere-se a penetração dos cloretos com influência da sua absorção capilar. Após 3 meses, com os CP's com GS estáveis obteve-se um segundo perfil para cada grupo de GS. Neste segundo caso a análise dos perfis foram realizadas com o objetivo de obter o coeficiente de difusão para cada GS.

Para permitir a colocação da camada de calda de mesmas características contaminada com cloretos sobre os CP's, foi colocado um filete de silicone formando um anel no topo dos CP's, de forma a não permitir que a calda com cloretos se derramasse contaminando a superfície lateral dos CP's (Fig. 1b).

GS ao redor de 55% , 75% e 90% foram obtidos secando naturalmente ou molhando os CP's com água destilada, após 28 dias de idade. O GS de quase 100% foi obtido colocando-se os CP's parcialmente submersos até a altura de 30 mm em solução saturada de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (Fig. 1d).

Cinco unidades de cada grupo foram fatiadas de 2 em 2 mm até a profundidade de 8 mm (4 fatias de aproximadamente 1,5 mm cada). Esses primeiros CP's foram fatiados com a idade de 76 dias e 30 dias após contaminação com a calda com cloretos. As fatias de mesma profundidade do mesmo grupo foram misturadas e moídas para realização de ensaio de teor de íons cloreto totais em relação a massa de pasta conforme ASTM C 1152 [1].

Nas camadas mais profundas também foram realizados ensaios de teores de íons cloreto livres em relação a massa de pasta conforme ASTM C 1218 [2].

Para manter o máximo possível a umidade de cada grupo os CP's restantes de cada grupo foram colocados em sacos plásticos com vácuo. Esse foi o método mais prático encontrado para manter e controlar a umidade de cada grupo, pois assim pode-se pesar cada grupo como um todo com mais frequência, conhecendo o peso do saco plástico, e antes de fatiar os CP's para obtenção do segundo perfil, pesar cada um separadamente. Os CP's colocados dentro dos sacos plásticos ficaram com o eixo dos CP's na posição horizontal. Aproximadamente de 7 em 7 dias os CP's eram girados com o saco plástico de forma a alternar as posições dos CP's. Esses cuidados foram realizados com a intenção de manter o teor de umidade o mais uniforme possível dentro dos CP's. Somente o grupo de GS igual a 100 % ficou em recipiente de vidro conforme explicado anteriormente (Fig. 1d).

As caldas com cloretos, após secas em estufa a  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  por 72 horas, apresentaram massa média de 1,6 g e desvio padrão de 0,18 g e os anéis de silicone, secos ao ar, obtiveram massa média de 0,35g e desvio padrão de 0,13 g.

Os CP's restantes foram fatiados a 150 dias de idade.

Os valores médios do GS entre os tempos  $T_1$  e  $T_2$  obtidos nos ensaios para os Grupos I, II, III e IV foram de 57,2%, 74,8%, 90,2% e 97,7% respectivamente.

Considerando os intervalos de confiança na média para massa dos CP's de 30 mm x 45 mm de  $48,3 \pm 0,61$  g, massa dos anéis de silicone de  $0,35 \pm 0,06$  g, a massa das capas contaminadas de  $1,6 \pm 0,17$  g e a absorção após imersão e fervura de  $29,7 \pm 1,21\%$ , calculou-se o intervalo de confiança do GS dos CP's dos Grupos I, II, III e IV. Para calcular GS máximo foram consideradas as menores massas dos CP's, dos anéis de silicone e das capas de contaminação e menor absorção por imersão. Para calcular o GS mínimo foram consideradas as maiores massas e absorção por imersão. Assim obteve-se 95% de confiança que o GS varia dentro de uma faixa de  $\pm 9,8\%$ .

A Fig. 2 mostra os perfis do teores médios de cloretos totais nos tempos  $T_1$  e  $T_2$  nos CP's dos Grupos I, II, III e IV.

Os ensaios nas caldas com cloreto dos Grupos I, II, III e IV apresentaram teores de cloretos livres de 0,93%, 0,79%, 0,49% e 0,36 % respectivamente para o tempo  $T_1$ , e 0,68%, 0,53%, 0,28% e 0,19% para o tempo  $T_2$ . Os teores de cloretos livres na quarta camada dos CP's são 0,02%, 0,05%, 0,02% e 0,07% no tempo  $T_1$ , respectivamente para o Grupo I, II, III e IV, e 0,05%, 0,11%, 0,09% e 0,06% para o tempo  $T_2$ . As medições dos teores de cloretos foram realizadas no Laboratório de Química dos Materiais do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo S.A..

### 2.3. Avaliação dos resultados

Cada grupo apresentou uma variação do teor de cloretos livres da capa de contaminação durante o ensaio, sendo que em cada grupo obteve-se um valor médio diferente. Isso deve-se principalmente aos diferentes teores de umidade de cada grupo.

Analisando os perfis dos tempos  $T_1$  na Fig. 2 e os teores das capas contaminadas de cada grupo de CP's correspondente ao tempo  $T_1$ , observa-se que a difusão de íons foi mais intensa que a penetração de íons por absorção capilar, pois os cloretos penetraram mais nos CP's com maior GS.

Em uma avaliação qualitativa nota-se que entre o Grupo I e o Grupo IV há uma grande diferença na difusão de íons cloretos, pois os perfis  $T_1$  e  $T_2$  do Grupo I praticamente se sobrepõe a partir da profundidade de 7,5 mm. Observa-se também que as inclinações das curvas diminuem do Grupo I para o Grupo IV, evidenciando uma maior penetração de íons cloretos com o aumento do GS.

Para avaliar os coeficientes de difusão dos quatro grupos utiliza-se a seguinte equação obtida da primeira lei de Fick:

$$J = \frac{D_{ef}}{l} \cdot (C_1 - C_2) \quad (1)$$

onde:

$J$  = fluxo de íons cloreto em  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ;

$D_{ef}$  = coeficiente de difusão efetivo de íons cloreto em  $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ;

$l$  = espessura da camada em que é medido o fluxo, em cm

$C_1$  e  $C_2$  = concentrações de cloretos na solução de poro da superfície de topo e última camada em  $\text{g}/\text{cm}^3$  (serão considerados os valores médios de cloretos livres durante o ensaio).

A Fig. 3 mostra o esquema de corte dos CP's.

O valor de  $J$  foi calculado pelo balanço de massa de íons cloretos nos primeiros 8 mm de profundidade dos CP's. A massa de íons que passam nessa espessura foi dividida pela seção transversal e pelo tempo entre a medição dos dados do primeiro perfil ( $T_1$ ) e a medição dos dados do último perfil ( $T_2$ ). As massa de íons cloretos nos tempos  $T_1$  e  $T_2$  foram calculadas em função das massas médias da calda com cloreto e das camadas dos CP's, consideradas de 2 mm de espessura e com massa específica conforme ensaio realizado, e dos teores de íons cloretos medidos em cada camada, considerando teores médios dessas camadas.

A concentração média da solução de íons cloreto livre da capa de contaminação ( $C_1$ ) foram calculadas em função do teor de umidade médio medido entre os tempos  $T_1$  e  $T_2$  e a massa de íons cloretos livres nos tempos  $T_1$  e  $T_2$ , obtendo-se dois valores, dos quais calculou-se a média. Da mesma forma foi calculada a concentração média da solução na camada situada entre as profundidades de 6 mm e 8 mm.

Com os valores de  $J$ ,  $l$ ,  $C_1$  e  $C_2$  obteve-se o valor de  $D_{ef}$ , mostrado na Tabela 1.

Esses resultados são apresentados em gráfico na Fig. 4.

Neste gráfico os resultados são representados por uma equação exponencial e mostra o intervalo de confiança na média do GS (confiança de 95%). Nota-se que os valores do coeficiente de difusão obtidos pela curva média são ligeiramente maiores que os obtidos pela curva exponencial para GS menor que 80 %. A diferença do coeficiente de difusão obtido na curva média e a linha do limite inferior é pequena para valores de GS menores que 85 %, sendo menores os valores da curva média.

A relação entre o maior coeficiente de difusão (Grupo IV- GS=100%) e os demais valores é de 0,09 para o Grupo I (GS=57,2±9,8%), 0,28 para o Grupo II (GS=74,8±9,8%) e 0,32 para o Grupo III (GS=90,2±9,8%). Essas relações indicam que as diferenças são bem acentuadas e que o GS do concreto é um fator que deve ser considerado na difusão de íons.

### 2.4. Interpretação dos resultados

Os resultados do ensaio demonstram a importância de se considerar o GS do concreto na estimativa do coeficiente de difusão dos íons cloretos.

As considerações feitas a seguir tem o objetivo de mostrar um possível mecanismo que pode explicar a influência da variação do GS na difusão de íons cloretos na pasta de cimento endurecida.

- Na pasta de cimento endurecida saturada, ou seja, GS de 100% (Fig. 5) todos os poros acima do diâmetro crítico estão cheios de água, facilitando a difusão de íons. A seção transversal desses poros é a seção transversal por onde os íons sofrem difusão;

- Conforme Mehta e Manmohan [9], o volume de poros maiores que o diâmetro crítico é da ordem de 15% do volume total de vazios para pasta de cimento com relação a/c de 0,5, sendo esse o volume da rede interligada de poros que influi na difusão de íons. Assim, diminuindo o GS de 100% até 85% deve diminuir mais acentuadamente a água na rede de poros com diâmetros maiores que o diâmetro crítico (Fig. 5). Portanto, a seção transversal de difusão dos íons diminui rapidamente conforme pode ser observado na Fig. 4, entre os pontos IV e III. O diâmetro crítico para a pasta com relação a/c de 0,5 é de aproximadamente 80 nm [9] e a condensação em poros desse tamanho ocorre com umidade relativa (UR) maior que 95% [13]. Portanto, diminuindo a UR de 95% esses poros tendem a ficarem cheios com vapor de água e uma camada de água adsorvida em suas paredes com uma espessura de aproximadamente 0,2 nm, 0,45 nm e 0,9 nm para UR de 10% 50% e 95% respectivamente [14]. Sendo assim, os poros maiores que o diâmetro crítico tendem a diminuir a água condensada até atingir uma camada fina de água adsorvida. Quando diminui o GS até aproximadamente 85% toda a rede de poros interligada (diâm. dos poros > diâm. crítico), terá apenas água adsorvida (Fig. 5). Logo a seção transversal de difusão dos íons pode diminuir muito. Nesse caso, os íons também têm que percorrer distâncias maiores, pois precisam circundar o poro para ultrapassá-lo. Para pequenas espessuras de água ( $\leq 0,9$  nm) é de se esperar que os elementos precipitados, como os  $\text{Ca(OH)}_2$ , tornem-se obstáculos que dificultam a passagem dos íons cloretos, os quais possuem diâmetro de 0,36 nm;

- Para GS menor que 85 % o coeficiente de difusão deve diminuir com menos intensidade, provavelmente devido ao início da perda de água nos poros menores que o diâmetro crítico, poros esses com menor influência no transporte de massa. Isso deve ocorrer até o momento em que a

espessura de água adsorvida nas paredes dos poros com diâmetro maior que os do diâmetro crítico começa a diminuir, conforme Fig. 4 entre os pontos III e II;

- O coeficiente de difusão deve novamente diminuir rapidamente (Fig. 4, entre os pontos II e I), quando a espessura de água adsorvida nas paredes dos poros com diâmetro maior que o diâmetro crítico começa a diminuir (Fig. 5).

Esse processo apresenta forte indício de ocorrer quando se compara a curva de distribuição dos poros na pasta de cimento [9] com os resultados do ensaio de influência do teor de umidade da pasta de cimento na difusão de íons cloretos: a inflexão na curva de distribuição dos poros na pasta com relação a/c de 0,6 ocorre quando são preenchidos com mercúrio aproximadamente 15% do volume de vazios (volume de poros maiores que o poro crítico), o que equivale a um GS de 85% (Fig. 4, entre os pontos II e III).

Portanto, parece mais prudente utilizar a curva média da Fig. 4, sendo melhor que adotar uma correlação exponencial, principalmente para GS menores que 80 %, onde se obtém coeficientes de difusão maiores na curva média.

No caso desta pesquisa, na determinação dos coeficientes de difusão foi considerado fluxo de íons cloreto em regime permanente, considerando os teores médios entre os perfis nos tempos  $T_1$  e  $T_2$  na superfície dos CP's e na quarta camada.

Para facilitar a determinação do coeficiente de difusão utilizando a segunda lei de Fick, ou seja, em regime não-permanente, pode-se manter constante o teor de íons cloretos na superfície dos CP's durante o ensaio. Para tanto deve-se aumentar o teor de NaCl adicionado a calda acima da saturação da solução dos poros. Assim pode-se calcular o teor de cloretos solúveis para cada GS, sendo que a medida que os cloretos dissolvidos sofrem difusão, outros cloretos, até então precipitados sob a forma de NaCl, são solubilizados.

Portanto, devido às considerações feitas durante a análise desse ensaio, os coeficientes de difusão assim calculados devem apresentar alguma diferença.

Ensaio que correlacionam o sentido do vapor com o coeficiente de difusão de cloretos [10] parecem estar de acordo com os resultados obtidos nesse ensaio. Esses ensaios correlacionam o sentido do vapor da água com o coeficiente de

difusão, mostrando que quando o vapor se desloca no mesmo sentido dos íons cloretos o coeficiente de difusão é bem maior que no caso contrário. Nota-se na Fig. 3, que quando o vapor se desloca no mesmo sentido dos cloretos as primeiras camadas por onde esses íons penetram possuem um teor de umidade maior que quando o vapor é em sentido contrário.

Hedenbland [7] demonstrou teoricamente a influência do teor de umidade na difusão de cloretos, mostrando uma maior influência do grau de hidratação do cimento do que do GS. Provavelmente o grau de saturação foi um pouco maior nos grupos com maior GS e mesmo assim esses apresentaram coeficientes de difusão bem maiores, mostrando uma grande influência do GS. Hedenbland [7] já alertava que além do GS a precipitação de alguns elementos nos poros da pasta de cimento poderiam diminuir o coeficiente de difusão dos cloretos.

Martys [8] simulou com programa computacional a difusão de íons em poros médios (rede interligada) cheios com dois fluidos, sendo um predominantemente molhável, como por exemplo a água e o ar. Correlacionando os GS's da rede de poros interligada simulada, com os GS's da pasta de cimento endurecida, considerando o volume total de poros, os resultados obtidos por Martys [8] apresentam uma maior influência do GS que os resultados dessa pesquisa. No entanto, na pasta de cimento, temos a influência dos poros menores que o diâmetro crítico na difusão de íons. Essa influência é relativamente pequena quando a pasta de cimento está saturada. No entanto, quando há pouca umidade na rede interligada, a influência dos poros pequenos deve ser considerável. Como exemplo, pode-se considerar o GS de 90% que equivale a rede de poros interligada estar com aproximadamente 33% de água do volume total de vazios (5% de água em 15% de volume de vazios). Para este valor Martys [8] obteve uma relação entre o coeficiente de difusão da pasta não saturada e a pasta saturada ( $D_{ef}/D_{máx}$ ) de 0,15, enquanto que no ensaio de influência do GS desta pesquisa obteve-se 0,32 (Fig. 7).

### 3. CONCLUSÕES

O ensaio desenvolvidos nesse trabalho indica uma grande influência do GS da pasta de cimento endurecida. O GS da pasta de cimento é um fator mais decisivo na intensidade de penetração de íons

cloreto que o teor de umidade, assim como a interligação dos poros é mais importante que o teor de vazios. Logo, esse fator deve ser considerado na estimativa de vida útil de uma estrutura de concreto armado sujeita ao ataque de cloretos.

Portanto esse trabalho deve ter continuidade, sendo que algumas alterações devem ser realizadas na metodologia apresentada nessa pesquisa, permitindo o cálculo do coeficiente de difusão em regime não permanente (segunda lei de Fick).

### AGRADECIMENTO

Os autores agradecem o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo o qual foi fundamental para o desenvolvimento desse trabalho.

### REFERÊNCIAS

1. American Society for Testing of Materials. *Standart test method for acid-soluble chloride in mortar and concrete. ASTM C 1152-90*. Philadelphia, 1990.
2. American Society for Testing of Materials. *Standart test method for water-soluble chloride in mortar and concrete. ASTM C 1218-92*. Philadelphia, 1993.
3. Andrade, M.C. *Calculation of chloride diffusion coefficients in concrete from ionic migration measurements*. Cement and Concrete Research, v.23, p.724-742. USA, Pergamon Press Ltd., 1993.
4. Gjörv, O.E.; Tan, K.; Zhang, M. *Diffusivity of chlorides from seawater into high-strength lightweight concrete*. ACI Materials Journal, v.91, sep./oct. USA, ACI, 1994.
5. Guimarães, A. T. C. *Desempenho do concreto em ambiente marítimo na região do extremo sul do Brasil*. Rio Grande, 1997. Dissertação (Mestrado), Fundação Universidade do Rio Grande, Engenharia Oceânica.
6. Guimarães, A. T. C. *Vida útil de estruturas de concreto armado em ambientes marítimos*. São Paulo, 2000. Tese (Doutorado), Escola politécnica da Universidade de São Paulo, Engenharia Civil.
7. Hedenbland, G. *Influence of moisture and carbonation on the transport of chlorides in concrete - some ideas*. In: Corrosion of Reinforcement - Field and Laboratory Studies for Modelling and Service Life, Lund, feb/1995.

- Proceedings. Lund, Kyösti Tuutti, 1995. p. 227-37.
8. Martys, N. S. *Diffusion in partially-saturated porous materials. Materials and Structures*, v.32, p.555-62, 1999.
9. Mehta, P. K.; Manmohan, D. *Pore size distribution and permeability of hardened cement paste*. In: 7<sup>th</sup> International Congress on the Chemistry of Cement. Paris, 1980. Proceedings. Vol. III. Paris. 1980. p.VII-1 - VII-5.
10. Mehta, P. K.; Schiessl, P.; Raupach, M. *Performance and Durability of Concrete Systems*. In: International Congress on the Chemistry of Cement, 9, New Delhi, 1992. Proceedings.
11. Page, C. L.; Short, N. R.; El Tarras, A. *Diffusion of chloride ions in hardened cement pastes*. Cement and Concrete Research, v.11, p.395-406, USA, Pergamon Press, Lt, jan..1981.
12. Prudêncio Jr, L.R. *Durabilidade de concreto frente ao ataque de cloretos e sulfatos*. In: Qualidade e Durabilidade das Estruturas de Concreto, Seminário NORIE-UFRGS, Porto Alegre, 1993. Anais. Porto Alegre, s.ed., 1993. p. 1-12.
13. Quénard, D.; Sallée, H. *Le transfert isotherme de la vapeur d'eau condensable dans les matériaux microporeux du bâtiment*. Cahiers du CSTB. Livraison 323, Cahier 2525, 1991.
14. Quénard, D.; Sallée, H. *Water vapour adsorption and transfer in cement-base materials: a network simulation*. Materials and Structure, v.25, p. 515-522, 1992.

Tabela 1 - Valores do coeficiente de difusão efetivo em função dos GS's

Grupo	GS previsto - %	GS obtido - %	D <sub>ef</sub> - cm <sup>2</sup> /s
Grupo I	55	57,2±9,8	18,37E-10
Grupo II	75	74,8±9,8	56,60E-10
Grupo III	90	90,2±9,8	65,09E-10
Grupo IV	100	97,7±9,8	203,81E-10

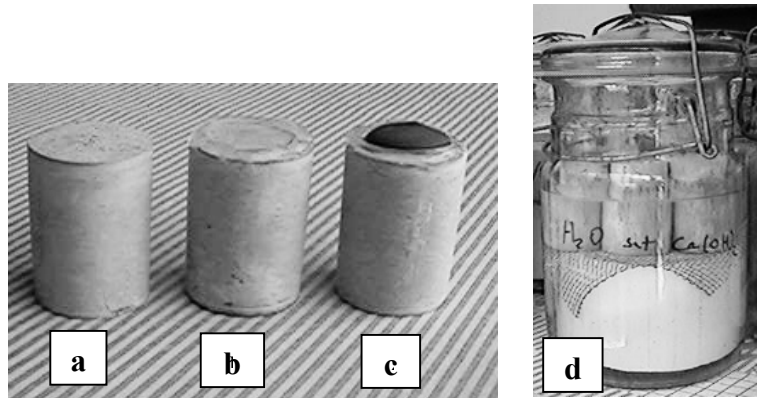


Fig. 1 - Preparo dos corpos de prova: a) corpo de prova com topo lixado; b) corpo de prova com anel de silicone; c) corpo de prova com capa de contaminação; d) corpo de prova parcialmente submerso

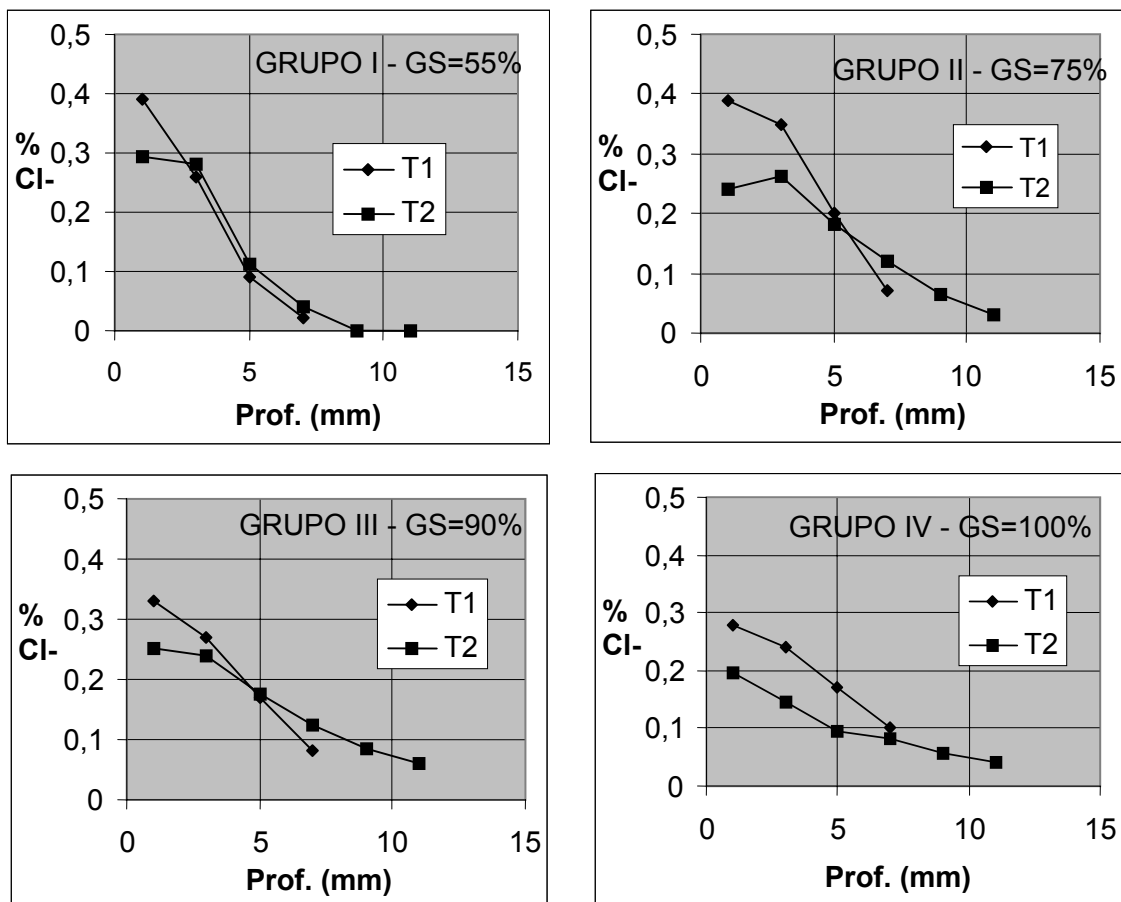


Fig. 2 - Perfis de cloretos totais: T1 - CP's com 76 dias de idade e 30 dias de contaminação; T2 - CP's com 150 dias de idade e 104 dias de contaminação

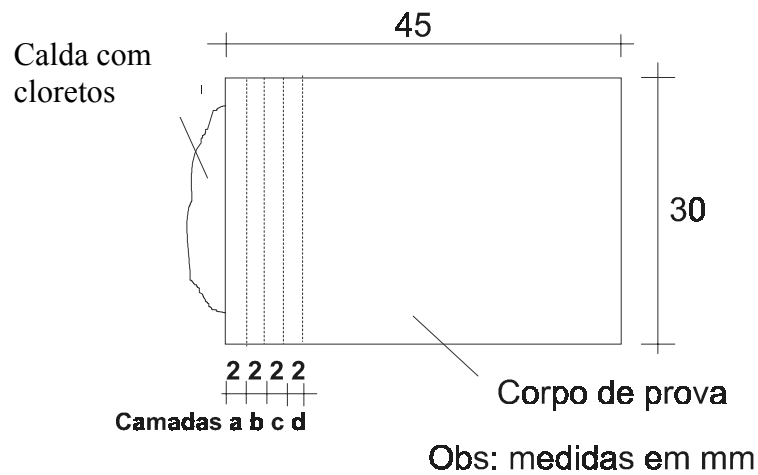


Fig. 3 - Esquema do corte dos corpos de prova

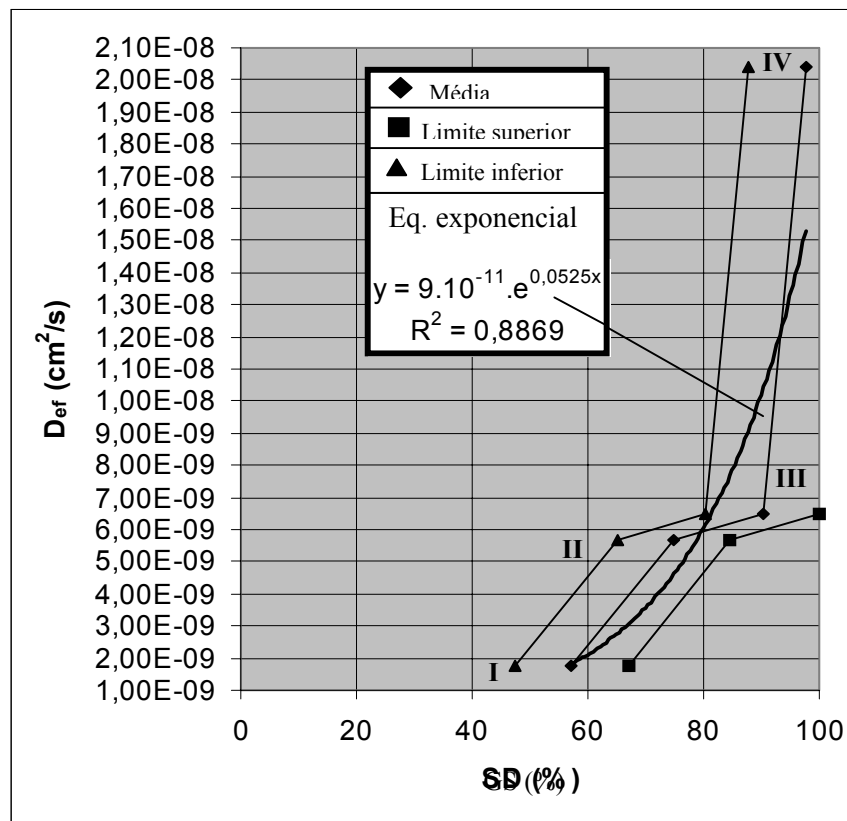


Fig. 4 - Valores médios do coeficiente de difusão efetivo em função do GS e intervalo de confiança na média do GS (confiança de 95%)



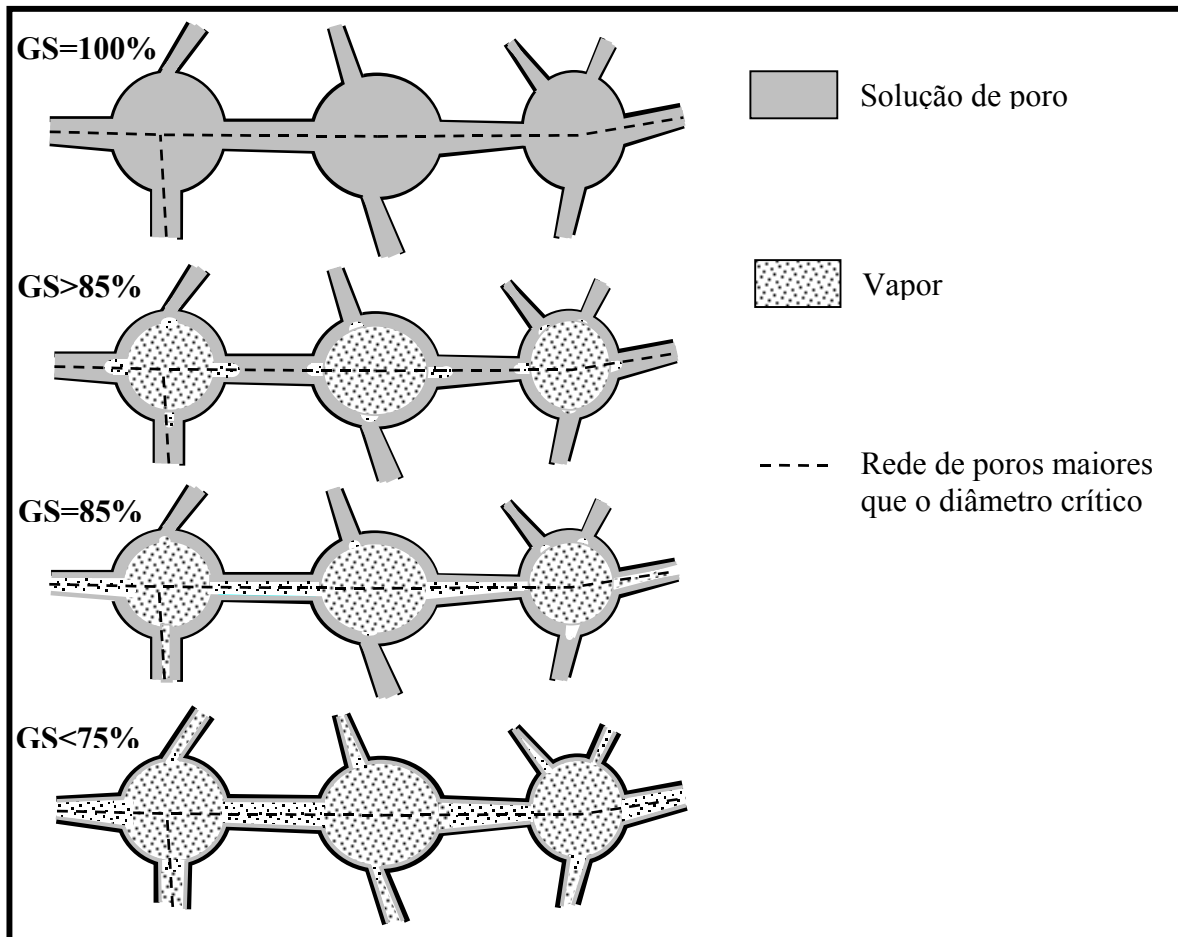


Fig. 5 - Rede de poros da pasta de cimento endurecida com diferentes teores de umidade

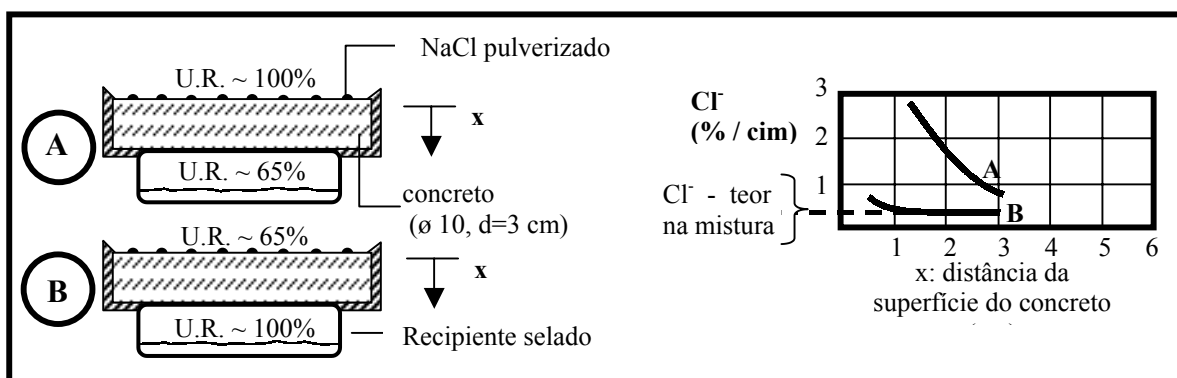


Fig. 6 - Ensaio correlacionando o sentido do vapor da água com o coeficiente de difusão [8]

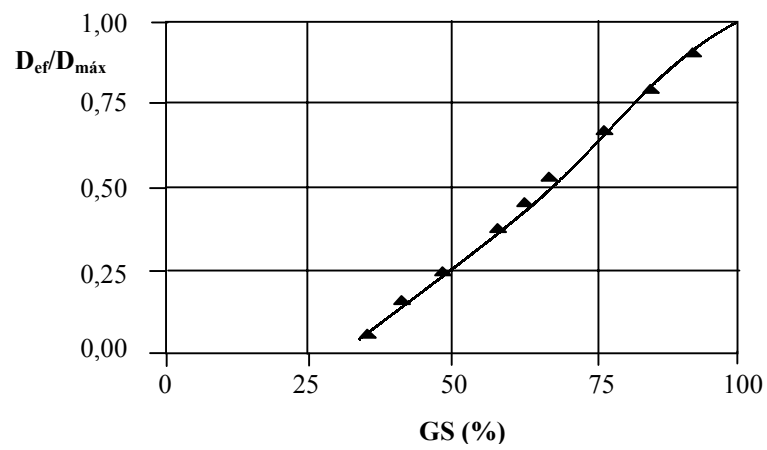


Fig. 7 - Relação entre coeficiente de difusão da pasta não saturada e da pasta saturada -  $D_{ef}/D_{máx}$  [6]