



VII SEMINÁRIO E WORKSHOP EM ENGENHARIA OCEÂNICA

Rio Grande, de 23 à 25 de Novembro de 2016

ENSAIOS DE DIFUSÃO ACELERADOS EM CONCRETO: DESENVOLVIMENTO DE PROCEDIMENTO EM SOLUÇÃO SATURADA

João Antonio Modernel Bender¹, Tassia Fanton², Leandro Gularte Blois³, André Tavares da Cunha Guimarães⁴

¹ Mestrando em Engenharia Oceânica - Universidade Federal do Rio Grande
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica
Avenida Itália, km 8, CP. 474, Rio Grande, RS, Brasil
e-mail: bender@furg.br

² Mestrando em Engenharia Oceânica - Universidade Federal do Rio Grande
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica
Avenida Itália, km 8, CP. 474, Rio Grande, RS, Brasil
e-mail: tassiafanton@gmail.com

³ Mestrando em Engenharia Oceânica - Universidade Federal do Rio Grande
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica
Avenida Itália, km 8, CP. 474, Rio Grande, RS, Brasil
e-mail: leandroblois.eng@gmail.com

⁴ Universidade Federal do Rio Grande
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica
Avenida Itália, km 8, CP. 474, Rio Grande, RS, Brasil
e-mail: atcg@vetorial.net

RESUMO

O objetivo do seguinte trabalho é apresentar o avanço e os resultados iniciais do processo de desenvolvimento de um ensaio de difusão de íons cloreto em concreto saturado, utilizando solução de água e cloreto de sódio saturada, com a finalidade de propor um método de ensaio onde o tempo necessário para a formação de perfis de penetração significativos seja o menor possível. Para isso, optou-se por utilizar uma solução com concentração maior que a saturação da água, mantendo assim a solução saturada durante todo o processo. São apresentados os resultados preliminares e uma análise inicial dos mesmos para continuação da pesquisa. Os valores do coeficiente de difusão obtidos apresentam valores próximos ao obtido pelo ensaio normatizado.

1. INTRODUÇÃO

Os íons cloreto podem ser considerados os maiores causadores de corrosão no aço presente no concreto armado em ambiente marítimo. Eles podem estar presentes no concreto durante a sua fabricação, tanto pela mistura de agregados contaminados por sais quanto pelo uso de aditivos aceleradores de pega. Esses íons também podem estar presentes no concreto por razões externas, como depósitos de sais na estrutura devido à ação do vento, em zonas costeiras (Neville, 1997).

Embora os cloretos possam se apresentar na massa cimentícia do concreto combinados quimicamente como cloroaluminatos, vale destacar que somente os cloretos livres, ou seja, presentes na forma de íons são os que reagem causando a despassivação do aço (Cascardo, 1997).

Ao adentrarem no concreto juntamente com a água e o oxigênio, e encontrarem a película passivadora da armadura, os íons cloreto provocam mudança gradual no pH local até o rompimento da camada passivadora. Esse rompimento acontece por existirem algumas fissuras ou alguma forma de heterogeneidade geométrica na interface aço-concreto. Por agir pontualmente na barra de aço do concreto armado, processo denominado corrosão por pite, a armadura acaba por ter sua seção resistente diminuída, provocando ruptura pontual da barra de aço (Neville, 1997).

Os oceanos cobrem, aproximadamente, 80% da superfície terrestre (Mehta, 1994). Logo, um número considerável de estruturas estão expostas à água do mar de forma direta ou indireta, visto que a ação do vento pode carregar a névoa salina a alguns quilômetros dentro do continente a partir da costa. Devido a esse fato, justifica-se a pesquisa tanto por métodos de prevenção da penetração do concreto pelos íons cloreto, como o desenvolvimento de ensaios que possibilitem uma melhor previsão do tempo que decorrerá até que os íons alcancem a armadura do concreto e iniciem o processo de despassivação da armadura.

A confirmação de que o coeficiente de difusão do concreto independe da concentração utilizada (Guimarães et al., 2011) permitiu a possibilidade de experimentação com ensaios acelerados, visto que com o aumento do gradiente de concentração no meio do ensaio, o tempo de penetração dos íons presentes tende a diminuir, resultando em um tempo menor que o recomendado atualmente de 35 d (NT Build 443, 1995). Portanto, o objetivo do presente trabalho é a apresentação de um estudo inicial sobre um método de ensaio com solução apresentando concentração maior que a saturação da água e a concentração em ensaios existentes. No caso, a concentração escolhida foi de 400 g/dm³, garantindo a saturação da solução durante todo o processo de contaminação.

O objetivo do trabalho é a obtenção de um método de ensaio com um tempo de execução menor, utilizando como comparação o método normatizado da NT Build 443 e o método desenvolvido por (Guimarães e Helene, 2001).

2. MATERIAIS UTILIZADOS E DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

2.1 Determinação dos tipos de cimento e escolha do traço

Os tipos de cimento empregados foram os cimentos dos tipos CP IV (cimento Portland pozolânico) e CPV-ARI (cimento Portland de alta resistência inicial). A dosagem de cada traço utilizado é apresentada na Tab. 1.

Tabela 1. Dosagem dos concretos utilizados no ensaio experimental.

Material	Unidade	T1	T3	T7
		CP V-ARI	CP V-ARI	CP IV
Cimento	kg/m ³	493	444	493
Sílica ativa	kg/m ³	0	49	0
Água	kg/m ³	161	197	197
Areia	kg/m ³	821	785	785
Brita 1	kg/m ³	925	925	925
SP(%) * superplastificante	%	2,00	2,50	2,50
Fator água/cimento	-	0,40	0,40	0,40

(*): % referente ao peso de material cimentícioo

2.2 Dosagem, confecção dos corpos de prova e preparação das amostras

O primeiro momento do trabalho consistiu na dosagem, confecção dos corpos de prova e preparação das amostras para ensaio. Inicialmente, o processo de dosagem do concreto foi desenvolvido. Optou-se por manter o teor de argamassa do concreto como parâmetro constante, resultando na dosagem apresentada neste trabalho. Dos três traços, o primeiro utilizou somente cimento Portland de alta resistência inicial, o segundo utilizou cimento Portland de alta resistência inicial com adição de sílica ativa, e o terceiro utilizou cimento Portland pozolânico.

Após, procedeu-se com a concretagem e confecção de 10 corpos de prova para cada traço determinado, com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura. O *slump test* de cada traço foi fixado em 15 cm, e para isso

utilizou-se aditivo superplastificante, conforme valores indicados. Após o processo de cura submersa, os corpos de prova foram divididos em 4 amostras de 10 cm de diâmetro e 4 cm de altura, com cortes transversais paralelos à superfície superior da peça, removendo uma camada de 1 cm das amostras superior e inferior, e então nomeados para melhor controle. Em seguida, saturou-se as amostras pelo processo de imersão gradual em água pelo período de 24 h e posterior fervura durante 5 h. Os procedimentos efetuados para preparação das amostras são detalhados na Figura 1.

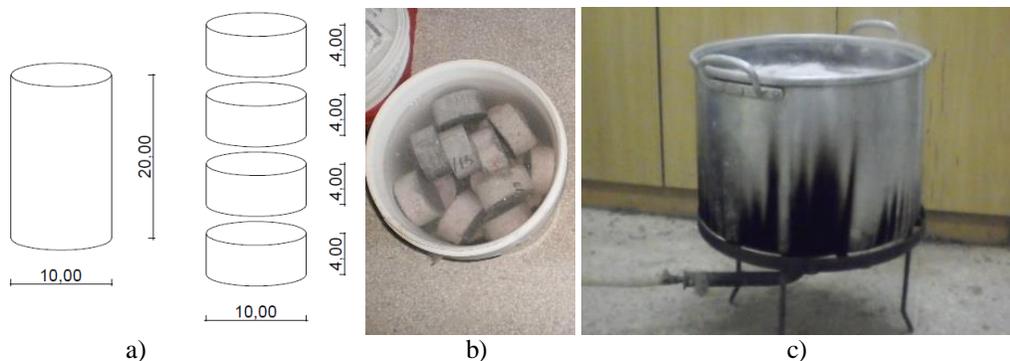


Figura 1. Procedimentos para preparação e saturação das amostras: a) corte dos corpos de prova em amostras menores. Dimensões expressas em cm; b) amostras cortadas gradualmente submersas em água pelo período de 24 horas; c) fervura das amostras durante 5 horas.

2.3 Contaminação e armazenamento das amostras

Em um primeiro momento, as amostras foram divididas em grupos aleatórios para a realização dos ensaios de contaminação. Três ensaios foram desenvolvidos nos grupos de corpos de prova, o ensaio desenvolvido no trabalho de (Guimarães e Helene, 2001), o ensaio acelerado com concentração de 165 g/dm^3 da (NT Build, 1995) e o ensaio proposto neste trabalho com concentração de 400 g/dm^3 . O ensaio proposto seria comparado com os outros dois para uma maior validação do método.

No ensaio de (Guimarães e Helene, 2001) os corpos de prova são contaminados com 10 g de cloreto de sódio no centro da superfície plana, deixando livre 1 cm em relação à borda a fim de evitar contaminação nas paredes das amostras. Em seguida, é colocada uma fita sobre o cloreto de sódio e a amostra é armazenada em uma caixa, apoiada sobre cilindros de PVC, com água na parte inferior da caixa. A água é mantida fora do alcance das amostras, e serve somente para manter a umidade e a saturação das amostras durante o processo. As amostras foram deixadas em contaminação durante os períodos de tempo de 7 d, 14 d, 21 d e 35 d.

O ensaio conforme (NT Build, 1995) consiste em revestir a amostra saturada com resina epóxi, mantendo somente uma das superfícies planas sem cobertura. A amostra é então imersa em solução de cloreto de sódio puro e água, com concentração de 165 g/dm^3 . Cada amostra é armazenada em recipiente próprio. O recipiente é então fechado e mantido pelo período de contaminação de 35 d.

O ensaio proposto consiste em uma modificação da (NT Build, 1995), onde a concentração mantida durante o processo de contaminação é de 400 g/dm^3 . Os períodos de contaminação foram de 7 d, 14 d, 21 d e 35 d.

2.4 Extração de material para elaboração dos perfis de penetração de cloreto

Após efetivado o período de contaminação, realizou-se a extração do material para a elaboração dos perfis de penetração de cloretos para cada amostra.

Para o método de (Guimarães e Helene, 2001), as amostras foram removidas da caixa e removeu-se a fita juntamente com o excesso de cloreto de sódio que permaneceu na face contaminada. A fita foi removida com a face contaminada voltada para baixo. A amostra foi então pesada e a superfície contaminada limpa removendo o material contaminante bruto com escova de aço e limpeza com jato de ar comprimido. A finalidade é evitar que na extração das camadas, a concentração de cloreto de sódio seja alterada na camada inicial devido a algum resíduo de contaminante.

Para o método da (NT Build, 1995) e o método proposto, a amostra foi removida da solução contaminante e seca com jato de ar comprimido, também com a finalidade de evitar alteração de concentração na camada superior.

Para todos os métodos, as amostras foram então colocadas no equipamento projetado para extração do concreto em forma pulverulenta. A extração consiste no desgaste da amostra, em superfícies removidas na direção da superfície contaminada. Foram removidas 10 camadas de 2 mm de cada amostra, controlando a espessura através de medições com paquímetro, com medições em três pontos ao longo do diâmetro da amostra para obter a profundidade

média da camada. O material resultante é então armazenado e identificado para posterior ensaio de potenciometria com eletrodo de prata/cloreto de prata. O equipamento e ferramentas utilizadas para extração do material pulverulento consiste de uma aparelho para fixação da amostra, pincéis, paquímetro, furadeira, supeorte para a furadeira consistindo de um cano de PVC reforçado com um cano de ferro e colher para remoção de material. Esses equipamentos são apresentados na Figura 2.

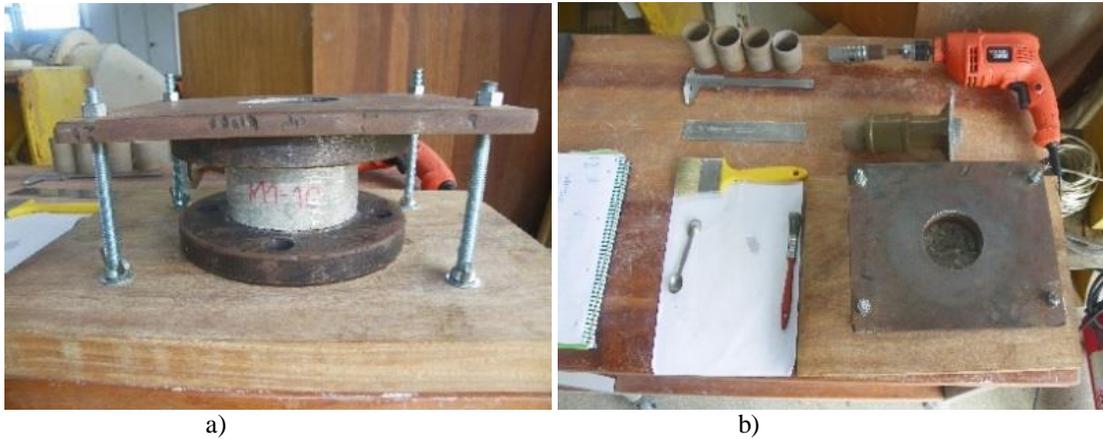


Figura 2. a) equipamento para extração e posicionamento das amostras de concreto; b) algumas das ferramentas e equipamento utilizado para extração.

2.5 Obtenção dos perfis

Com o material pulverulento, procedeu-se à análise da potenciometria com eletrodo de prata/cloreto de prata. Com isso, determinou-se a porcentagem de íons cloreto em relação à massa de material utilizado no ensaio. Com as concentrações de íons e as profundidades de camada, são obtidos os perfis de penetração experimentais. Tais perfis passam então por uma regressão pelo método dos mínimos quadrados, tendo como base a Segunda Lei de Fick considerando a concentração superficial e o coeficiente de difusão constantes.

A Fig. 4 apresenta os resultados da regressão pelo método dos mínimos quadrados para as idades de 7d, 14d, 21d e 35d de uma das séries de amostras executadas, para fins demonstrativos.

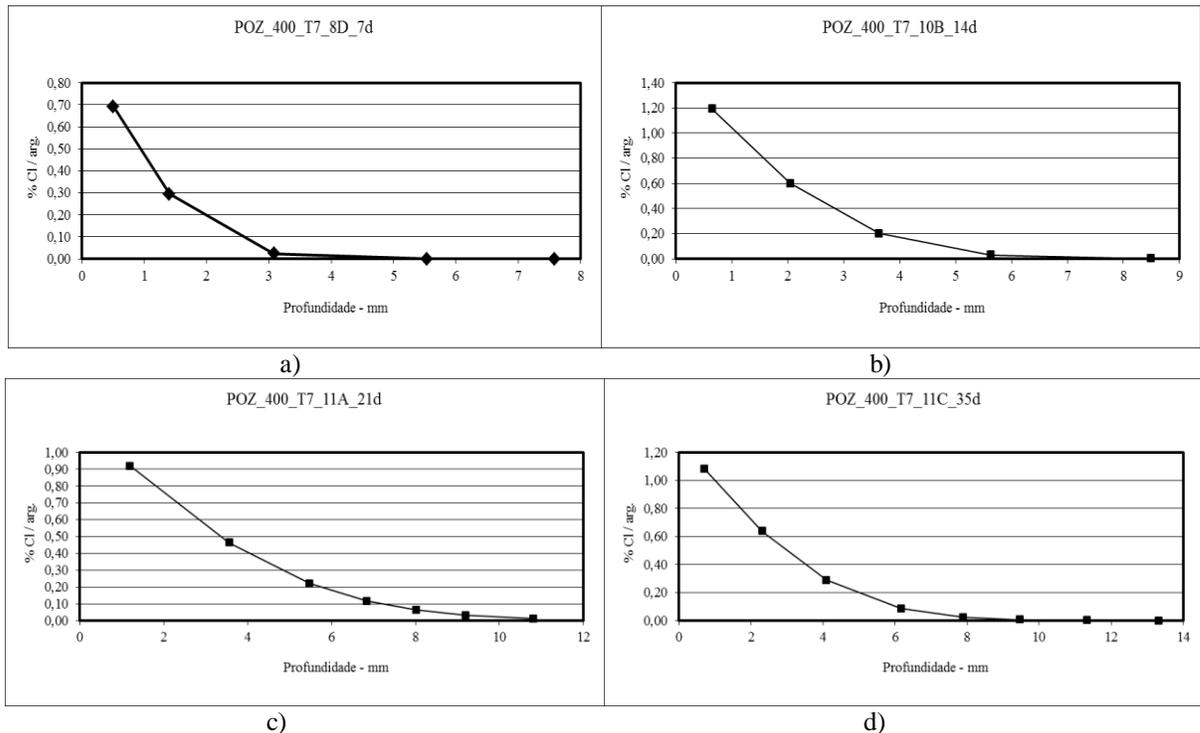


Figura 4. Perfis obtidos por regressão do mínimo erro quadrado para os períodos de a) 7d, b) 14d, c) 21d e d) 35d.

3. RESULTADOS E ANÁLISE

A partir dos ensaios realizados nas amostras obtiveram-se os resultados dos coeficientes de difusão (D) e penetração de cloreto. Na identificação das amostras, além dos tipos principais de concreto, no caso T7, a referência segue com o número do corpo de prova e a denominação da posição da amostra em relação ao corte, conforme Fig. 3.

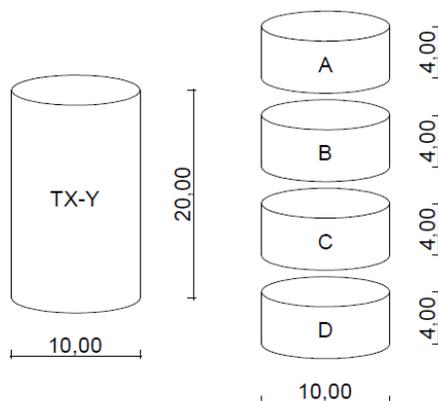


Figura 3. Nomenclatura utilizada para identificação das amostras. Dimensões expressas em cm.

A Tab. 2 mostra os valores obtidos para a concentração na superfície de contaminação (C_s) e para o coeficiente de difusão (D) das amostras ensaiadas até o momento.

Tabela 2. Cálculo do coeficiente de difusão (D), e da concentração na superfície de contaminação (C_s)

Concreto	Amostra	Idade (dias)	C_s (%/m. conc.)	D (10^{-6} mm ² /s)	Dmédio (10^{-6} mm ² /s)
T7-G/H	POZ-T7-1A	7	1,19	6,16	4,43
	POZ-T7-2C	7	0,98	2,70	
	POZ-T7-1B	14	1,28	3,78	3,21
	POZ-T7-6A	14	1,17	2,63	
	POZ-T7-3D	21	1,41	3,75	
	POZ-T7-6B	35	1,50	2,21	
T7-165	POZ-T7-1D	35	0,80	1,78	1,78
T7-400	POZ-T7-8D	7	0,97	1,53	3,80
	POZ-T7-9B	7	1,30	6,07	
	POZ-T7-10B	14	1,50	2,43	2,30
	POZ-T7-11B	14	0,94	2,16	
	POZ-T7-11A	21	1,19	4,72	
	POZ-T7-11D	21	1,19	5,22	
	POZ-T7-11C	35	1,29	1,86	1,86

Com base nos resultados obtidos, é possível observar que os resultados do coeficiente de difusão estão próximos para idades de 35 d, e com valores médios ainda próximos para idades menores. Embora os resultados para 21 dias apresentem valores próximos, faz-se necessária a análise com os resultados futuros para que seja possível obter conclusões mais definitivas quanto à eficiência do método proposto.

Vale ainda notar que a concentração superficial de cloretos (C_s) parece variar com o tempo. Uma hipótese para tal observação é que, por se tratar de um concreto com coeficiente de difusão (D) baixo, os íons cloreto demorem

mais para penetrar na rede de poros menos interligada, ocasionando valores menos estáveis com o tempo, devido à maior dificuldade na penetração.

4. CONCLUSÕES

Com base nos valores de D obtidos, é possível perceber que o ensaio modificado com concentração de 400 g/dm³ apresentou valores próximos ao ensaio normatizado da NT Build 443 e valores sobrepostos ao ensaio desenvolvido por (Guimarães e Helene, 2001), demonstrando a tendência aos valores obtidos pertencerem a uma mesma família de resultados.

Vale salientar que até o momento da publicação deste trabalho os únicos resultados passíveis de uma análise mais visível foram os baseados no concreto moldado com o cimento CP IV, embora os ensaios com os concretos moldados com o cimento CP V-ARI e CP V-ARI com adição de microssílica ainda estejam sendo ensaiados com o método modificado e métodos com concentração de NaCl menores, com a finalidade de adicionar uma maior credibilidade ao trabalho desenvolvido.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cascudo, Oswaldo. O Controle da Corrosão de armaduras em concreto, inspeção e técnicas eletroquímicas. São Paulo: Pini; Goiânia: Ed. UFG, 1997.
- Guimarães, A. T. C.; Antón, M. A.; Climent, M. A.; Almenar, G. V.; Behaviour of Chloride Content at the Surface of Concrete in Submerged Test Conditions. International Conference on Durability of Building Materials and Components. Porto: Portugal, 2011.
- Guimarães, A. T. C; Helene, P. R. L., Grau de saturação do concreto: um importante fator na difusão de cloretos, Teoria e Prática na Engenharia Civil, nº 2, p.55-64, Maio, 2001.
- Mehta, P. K., tradução de Monteiro, Paulo J.M., Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais, 1994.
- Neville, A. M. Propriedades do concreto. Tradução de Salvador E. Giammuso. São Paulo: Pini, 1997.
- NT Build 443, Concrete, hardened: Accelerated chloride penetration, Nordtest, Esbo, Finland, 1995.

6. AVISO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material apresentado neste artigo.