

CARACTERIZAÇÃO INICIAL DE CONCRETOS PARA APLICAÇÃO DO MÉTODO “INTEGRAL TEST” NA DETERMINAÇÃO DO TEOR CRÍTICO DE CLORETOS EM CONCRETOS

MICHELE DA CRUZ LARROSSA¹; GUSTAVO BOSEL WALLY²;
FÁBIO COSTA MAGALHÃES³; CÉSAR ANTONIO OROPESA AVELLANEDA⁴

¹Universidade Federal de Pelotas (UFPel) – mlarrossa@gmail.com

²Universidade Católica de Pelotas (UCPel) – gustavo.wally@gmail.com

³Instituto Federal do Rio Grande do Sul (IFRS) – fabiocmagalhaes@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas (UFPel) – cesaravellaneda@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Estruturas de concreto armado consideradas novas vêm apresentando problemas precoces de deterioração, principalmente quando expostas a ambientes marinhos. Nessas situações, fazem-se necessárias ações de conservação não previstas inicialmente, podendo demandar alterações da utilização da estrutura ou até mesmo sua demolição, gerando prejuízos sociais, econômicos e ambientais. No caso de ambientes de atmosfera marinha, a maior causa dos processos precoces de degradação é a corrosão das armaduras desencadeada pela ação dos íons cloreto (ANGST *et al.*, 2011; CAO *et al.*, 2019; WALLY *et al.*, 2022). Em vista disso, para que o sistema obtenha o desempenho necessário, o concreto deve ser capaz de proteger a armadura do ataque desses agentes agressivos, evitando o início do processo de corrosão.

As características de desempenho do concreto influenciam fortemente a capacidade do mesmo de impedir a entrada desses agentes agressivos. Elas também provocam variações no teor limite de íons cloreto que, quando em contato com o aço, provoca a despassivação das armaduras e o consequente desencadeamento do processo corrosivo. A avaliação do desempenho e a mensuração do teor limite de cloretos para diferentes composições de concretos são temas fundamentais para a elaboração de projetos capazes de estimar com maior precisão a vida útil das estruturas. No entanto, o entendimento teor crítico de cloretos, embora já abordado em diversos estudos, ainda se apresenta como uma lacuna na realização de projetos de durabilidade. Adicionalmente, e os valores apresentados na literatura têm grande variabilidade, seja por diferentes metodologias de ensaios, diferentes definições adotadas, diferentes materiais empregados, fatores ambientais, entre outros (CAO *et al.*, 2019).

Nesse sentido, o presente trabalho apresenta uma proposta de estudo inicial da variação do teor crítico de cloretos em concretos. Foram produzidos dois concretos com relação água/aglomerante igual a 0,55, sendo um composto por cimento Portland CP-V e outro com o mesmo cimento, porém com substituição por de cimento metacaulim no teor de 8 %. A metodologia espanhola denominada “*integral test*”, normatizada pela UNE 83992-2 (2012) será utilizada para a determinação do teor crítico e dos perfis de concentração de cloretos ao longo da camada de cobrimento, bem como do coeficiente de difusão do concreto. Paralelamente, o coeficiente de difusão é determinado através do método espanhol de migração multiregime UNE 83987 (2014) e por migração no estado não estacionário, conforme norma norueguesa NT Build 492 (1999). Também foi analisada a resistividade elétrica superficial dos concretos, conforme AASTHO T 358 (2015).

2. METODOLOGIA

Foram propostos dois traços de concreto, conforme as composições apresentadas na Tabela 1. De cada um dos concretos produzidos, foram moldados, conforme a NBR 5738 (2015), 10 corpos de prova (CP) cilíndricos de 10 x 20 cm.

Tabela 1. Composição dos traços de concreto utilizados (kg/m³)

Identificação	M1	M2
Cimento CPV	7,80	7,18
Metacaulim	-	0,62
Areia Fina	4,00	4,00
Areia Média	16,00	16,00
Brita 1	26,00	26,00
Água	4,29	4,29

Além dos corpos de prova cilíndricos, foram moldados dois corpos de prova prismáticos de dimensões 7 x 7 x 10 cm. Uma barra de aço CA-50 de diâmetro nominal de 6,3 mm foi introduzida nos testemunhos durante a fase de concretagem de modo que o aço ficasse com um cobrimento de aproximadamente 3 cm (Figura 1a). As barras de aço foram previamente limpas, de forma mecânica com o uso de escova de aço e, de forma química, pela imersão em uma solução de ácido clorídrico na proporção 1:1. Uma porção da barra de aço foi posicionada para o lado de fora do concreto, sendo a região de transição entre o ambiente e o concreto protegida com uma camada isolante. No caso, optou-se pelo uso de isolamento com fita teflon. Quatro corpos de prova de cada traço foram cortados para obtenção de cilindros de 5 cm de altura e 3 cm de altura, a serem utilizados nos ensaios de migração não estacionária e migração multirregime, respectivamente. O esquema dos cortes é apresentado na Figura 1b e 1c.

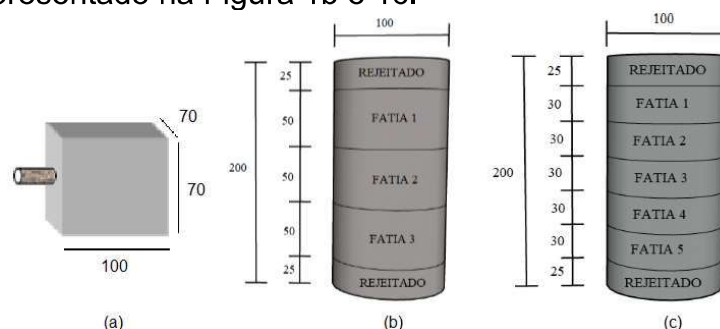


Figura 1. Corpos de prova utilizados conforme as normas: a) UNE 83992-2 (2012); b) NT Build 492 (1999) e c) UNE 83987 (2014).

Aos 28 dias de idade, foi determinada a resistência à compressão dos concretos, conforme NBR 5739 (2018). Nessa mesma idade, foram iniciados os ensaios de migração multiregime e migração no estado não estacionário.

O procedimento para a determinação do teor crítico de cloretos está em fase inicial. Através de medidas de potencial de corrosão com o uso de eletrodo de referência de cobre/sulfato de cobre, está sendo verificado o momento de estabilização do potencial aço/concreto, ou seja, a passivação da barra de aço (Figura 2a). Encerrada essa etapa, o sistema será ligado, conforme esquema apresentado na Figura 2b. Os ensaios de migração iônica foram realizados aos 28 dias conforme as recomendações das normas NT Build 492 (1999) e UNE 83987 (2014). A execução dos ensaios pode ser verificada através da Figura

2-c,d. Mais detalhes sobre os procedimentos de pré-condicionamento das amostras, montagem dos aparatos e análises dos resultados podem ser obtidas em Wally *et al.* (2021) e Sell Jr. *et al.* (2021). A determinação da resistividade elétrica superficial dos concretos foi realizada através da metodologia preconizada pela AASTHO T358 (2015).

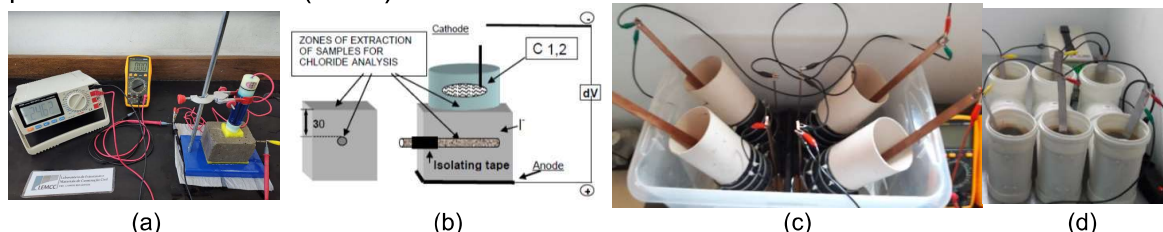


Figura 2. a) Medida do potencial de corrosão da barra, b) esquema de montagem do *integral test*, c) execução do ensaio de migração no estado não estacionário e d) execução do ensaio de migração multirregime.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de resistência à compressão dos traços estão apresentados na Figura 3a. Os valores demonstram a já esperada melhoria na resistência mecânica dos concretos proporcionada pelo uso do metacaulim. A resistividade elétrica superficial dos concretos é apresentada na Figura 3b. A partir do procedimento determinado pela NT Build 492 (1999), foram determinados os coeficientes de migração no regime não estacionário (Dnssm). Com o método multirregime, obteve-se os resultados de coeficiente de difusão no regime não estacionário (Dns) e estacionário (Ds). Os valores estão apresentados na Figura 3c e mostram a esperada redução da difusividade do concreto pela adição de material pozzolânico.

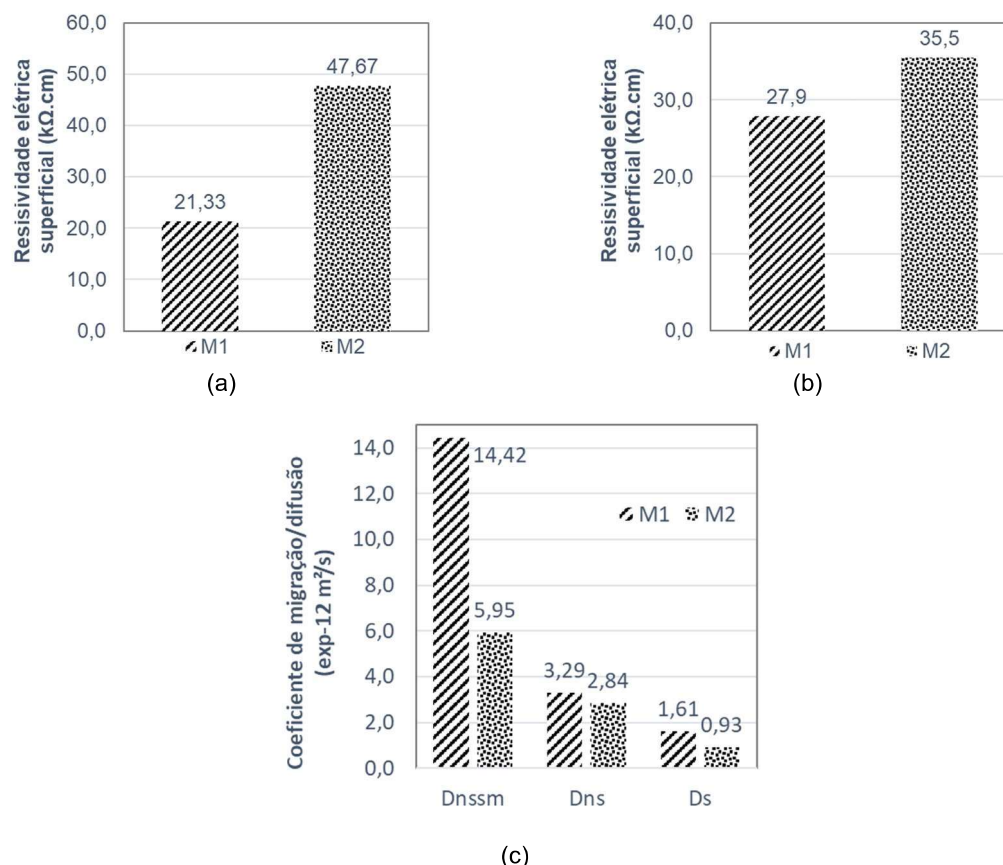


Figura 3. a) Resistência à compressão, b) coeficientes de difusão/migração e c) resistividade elétrica superficial dos concretos.

4. CONCLUSÕES

Os resultados preliminares demonstram a capacidade dos procedimentos de ensaios já executados mensurarem as diferenças de desempenho dos concretos no que se refere ao ataque por íons cloreto. Dentre os resultados esperados nas próximas etapas, busca-se contribuir para o entendimento do teor crítico de cloretos que causa a despassivação da armadura do concreto e, consequentemente, começa a corrosão do aço, com vistas à produção de estruturas de concreto armado mais duráveis. Além disso, almeja-se contribuir para a consolidação das avaliações dos concretos baseados no desempenho do material, migrando de uma análise baseada puramente em prescrição de especificações para uma análise de desempenho.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **AASHTO T 358-15: Standard method of test for surface resistivity indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration.** Washington, 10 p., 2015.

ANGST, U. M.; ELSENER, B.; LARSEN, C. K.; VENNESLAND, Ø. Chloride Induced Reinforcement Corrosion: electrochemical monitoring of initiation stage and chloride threshold values. **Corrosion Science**, v. 53, p. 1451-1464, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. **UNE 83987: Concrete durability. Test methods. Measurement of chloride diffusion coefficient in hardened concrete. Multiregime method.** Madrid, 2014.

ASSOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. **UNE 83992: Concrete durability. Test methods. Chloride penetration tests on concrete. Part 2: Integral accelerated method.** Madrid, 2012.

CAO Y.; GEHLEN, C.; ANGST, U.; WANG, L.; WANG, Z.; YAO, Y. Critical chloride content in reinforced concrete — An updated review considering Chinese experience. **Cement and Concrete Research**, v. 117, p.58–68, 2019.

SELL JUNIOR, F. K.; WALLY, G. B.; TEIXEIRA, F. R.; MAGALHÃES F. C. Experimental assessment of accelerated test methods for determining chloride diffusion coefficient in concrete. **IBRACON Structures and Materials Journal**, v. 14, n. 4, e14407, 2021.

NORDTEST. **NT Build 492: Chloride migration coefficient from non-steady-state migration experiments.** Espoo, 1999.

WALLY, G. B.; MAGALHÃES, F. C.; SELL JR, F.; TEIXEIRA, F. R.; REAL, M. V. Estimating service life of reinforced concrete structures with binders containing silica fume and metakaolin under chloride environment: durability indicators and probabilistic assessment. **Materials and Structures**, v. 54, 2021.

WALLY, G. B.; MAGALHÃES, F. C.; SILVA FILHO, L. C. P. From prescriptive to performance-based: An overview of international trends in specifying durable concretes. **Journal of Building Engineering**, v. 52, 104359, 2022.