

Durabilidade de concretos revestidos por diferentes membranas impermeáveis **para utilização em obras de saneamento**

JORGE LIMA – GER. Téc. – (jorgelima@viapol.com.br) | **VIAPOL**; **NILSON S. DE AMORIM JÚNIOR** – Ms. – <https://orcid.org/0000-0002-0726-4645>; **HENRIQUE A. SANTANA** – Ms. – <https://orcid.org/0000-0003-1425-9438>; **DANIEL V. RIBEIRO** – PROF., DR – <https://orcid.org/0000-0003-3328-1489>

RESUMO

PARA ATINGIR O GRANDE DESAFIO DE ATINGIR 90% DA POPULAÇÃO BRASILEIRA COM COLETA E TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO, SÃO NECESSÁRIOS INVESTIMENTOS EM OBRAS DE SANEAMENTO E DEVE-SE TER UMA PREOCUPAÇÃO EM RELAÇÃO À DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO QUE SERÃO UTILIZADAS EM GALERIAS E ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO CUJOS GASES SÃO MUITO AGRESSIVOS AO CONCRETO ESTRUTURAL. O PRESENTE TRABALHO AVALIOU O DESEMPENHO DE CONCRETOS REVESTIDOS COM TRÊS DIFERENTES MEMBRANAS IMPERMEÁVEIS, DE FORMA A GARANTIR SUA PROTEÇÃO QUANDO EXPOSTOS A AMBIENTES AGRESSIVOS. PARA ESTA ANÁLISE, FORAM MOLDA- DOS CORPOS DE PROVA DE CONCRETO REVESTIDOS COM MEMBRANAS DE MATRIZES CIMENTÍCIA, À BASE DE POLIURETANO E EPÓXI. ESSAS AMOSTRAS FORAM EXPOSTAS EM CONDIÇÕES AGRESSIVAS PARA AVALIAR O SEU DESEMPENHO FRENTE À RESISTÊNCIA AO ATAQUE POR SULFATOS E CICLAGEM ACELERADA EM ÁCIDO CLORÍDRICO. FOI POSSÍVEL ESTABELECE- R QUE AS MEMBRANAS DE POLIURETANO E EPÓXI APRESENTA- RAM OS MELHORES RESULTADOS QUANTO AO ATAQUE ÁCIDO E DE SULFATOS.

PALAVRAS-CHAVE: IMPERMEABILIZAÇÃO, DURABILIDADE, AGRESSIVIDADE QUÍMICA, CONCRETO.

1. INTRODUÇÃO

Com a sanção do marco legal do saneamento (Lei nº14.206 de julho de 2020), foram estipuladas duas metas ambiciosas a serem alcançadas até 31 de dezembro de 2033: o atendimento de 99% da população brasileira com água potável e o alcance mínimo de 90% da população brasileira dispo- ndo de coleta e tratamento de esgotos.

Com isso, além da grande preocupação com a elaboração de projetos de infraes- trutura necessários para o cumprimento dessas metas, é de fundamental impor- tância considerar a durabilidade dessas estruturas, principalmente em relação às estações de coleta e tratamento de esgotos, uma vez que esses locais apresentam agentes agressivos ao concreto, como a presença de sulfatos e de efluentes ácidos.

O concreto é um material permeável que pode permitir a entrada de agentes agres- sivos que degradam a matriz cimentícia ou podem desencadear o processo corrosivo da armadura. Uma das principais formas de ingresso dos agentes agressivos ocorre por meio da porosidade do concreto.

O ataque ácido é responsável pela decomposição dos compostos de cimen- to hidratado, diminuindo o pH da matriz cimentícia, que normalmente é acima de 12,5. Para valores de pH inferiores a 12,5, o hidróxido de cálcio, um dos compostos formados na hidratação do cimento, já inicia o processo de dissolução e, se o pH

diminuir para valores inferiores aos limites de estabilidade dos hidratos do cimento, estes perdem cálcio e se decompõem em um hidrogel amorfo (BEDDOE e DORNE, 2005). Dentre as principais fontes de áci- dos que deterioram o concreto, destaca- -se: águas residuais industriais, esgoto, chuva ácida e águas agrícolas contamina- das por fertilizantes.

Os sulfatos também são extremamen- te agressivos quando em contato com o concreto armado e seu ataque assume características de natureza mais mecâni- ca do que eletroquímica, já que envolve a formação de cristais de sulfoaluminatos de cálcio e de sulfatos de cálcio, com ele- vada capacidade expansiva. A formação dessas substâncias no interior do concreto gera elevadas pressões internas, que po- dem causar sua fissuração e desagregação (RIBEIRO *et al.*, 2021).

Segundo o *American Concrete Institute*, em seu método ACI 201:2016, o ata- que por sulfato pode ser caracteriza- do pela formação da etringita tardia

TABELA 1

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO CIMENTO E DOS AGREGADOS UTILIZADOS

Característica	CP II-F 32	Areia	Brita	Unidade
Diâmetro equivalente mediano das part. (D ₅₀)	0,009	0,36	6,90	mm
Massa específica	3,01 ± 0,01	2,65 ± 0,01	2,77 ± 0,03	g/cm ³
Módulo de finura	–	1,75	6,10	–
Dimensão máx. característica	–	1,18	9,5	mm

[Ca₆Al₃(SO₄)₃(OH)₁₂·26H₂O], que, ao contrário da etringita primária, formada durante a hidratação inicial do cimento, ocorre quando o concreto já está endurecido. Para promover a mitigação do ataque por sulfatos são necessárias intervenções importantes na dosagem e composição do concreto ou apelar para tratamentos superficiais que impeçam a entrada dos agentes agressivos.

Dentre as principais fontes de sulfatos que deterioram o concreto destacam-se: águas residuais industriais, águas do subsolo, esgoto, água do mar, chuva ácida e águas agrícolas contaminadas por fertilizantes. Dessa maneira, a difusividade das matrizes cimentícias precisa ser cuidadosamente controlada, dificultando a penetração desses agentes agressivos.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho de concretos revestidos com três diferentes membranas impermeáveis, de forma a garantir a sua proteção quando expostos a ambientes agressivos. As amostras foram analisadas sem revestimento de membranas (referência) e com revestimento de membranas cimentícia, à base de poliuretano e epóxi. Essas amostras foram expostas a soluções agressivas de sulfatos e ácido clorídrico, de modo a simular, de maneira acelerada, a deterioração do concreto utilizado em estações de tratamento de esgoto.

2. METODOLOGIA

2.1 Materiais

Para o preparo do concreto foram

TABELA 2

COMPOSIÇÃO DO TRAÇO UTILIZADO PARA A PRODUÇÃO DO CONCRETO

Traço	Cimento	Areia	Brita	Água
Unitário	1,00	2,10	2,40	0,54
Por m ³	395	830	948	213

utilizados o cimento CP II-F 32, agregado graúdo e miúdo disponíveis na região metropolitana de Salvador, além de água potável. Como membranas, foram utilizados três produtos comerciais, um de base cimentícia, um de base epóxi e um de base poliuretano.

2.2 Caracterização dos materiais

A massa específica do cimento foi determinada por picnometria a gás hélio, utilizando-se um picnômetro Micromeritics AccuPyc II 1340. Para os agregados (areia e brita), foram utilizados os procedimentos descritos na NBR NM 52 e NBR NM 53. A distribuição de tamanho de partículas do cimento foi determinada com auxílio de um granulômetro à laser Cilas 1180 e para a areia e brita foram determinadas, por meio da Norma NBR NM 248:2003.

A Tabela 1 apresenta os resultados da caracterização física do cimento e dos agregados utilizados.

O diâmetro equivalente do agregado graúdo foi de 6,90 mm e a dimensão máxima característica de 9,5 mm. O agregado miúdo apresentou diâmetro equivalente igual a 0,36 mm e dimensão máxima característica de 1,18 mm. O cimento Portland

apresentou diâmetro equivalente de 9 µm e massa específica de 3,01 g/cm³.

2.3 Preparo das amostras

Para analisar a durabilidade do concreto revestido com diferentes membranas, inicialmente foi formulado uma dosagem experimental com f_{ck} de 25 MPa, por meio do método de dosagem ACI, conforme Tabela 2.

Após a moldagem, os corpos de prova foram mantidos em cura por 28 dias em tanque de água saturada com cal; em seguida, os mesmos foram secos ao ar por 21 dias, sendo realizada a aplicação das membranas conforme orientação do fabricante (Figura 1). Os corpos de prova revestidos foram, então, curados ao ar por 7 dias, para serem ensaiados conforme procedimentos descritos nos itens subsequentes.

2.4 Expansão por sulfatos

Para determinação da expansão por sulfatos dos concretos revestidos pelas membranas de epóxi, poliuretano e cimentícia, foi utilizada a Norma NBR 13583:2014. O método utilizado consiste em avaliar e comparar, em determinadas idades, a expansão dimensional de barras



FIGURA 1

CORPOS DE PROVA APÓS APLICAÇÃO DAS MEMBRANAS DE BASE: (A) CIMENTÍCIA, (B) DE POLIURETANO E (C) DE EPÓXI

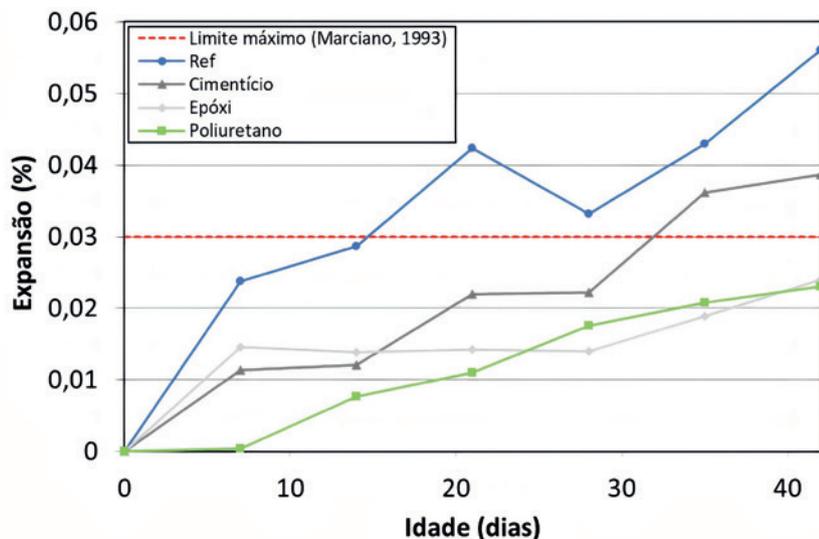


FIGURA 2

EVOLUÇÃO DA EXPANSÃO RESULTANTE DOS TRAÇOS DE ARGAMASSAS DE REFERÊNCIA (SEM PROTEÇÃO SUPERFICIAL) E COM MEMBRANAS DE BASE CIMENTÍCIA, DE POLIURETANO E EPÓXI, AO LONGO DO TEMPO

de concreto submetidas à água saturada com cal e a uma solução de sulfato sódio. Foram moldados seis corpos de prova prismáticos de concreto (75 mm x 75 mm x 285 mm) para cada tipo de membrana, além das amostras de referência (sem a presença de membrana).

Após o período de cura, foram feitas as leituras iniciais (L_i) do comprimento de cada barra, com auxílio de um extensômetro. Após a leitura inicial, as barras foram divididas e colocadas em dois tanques de cura final, um com solução aquosa de sulfato de sódio (Na_2SO_4), com concentração de 100 gramas por litro de solução, a $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$ e um tanque com água saturada com cal, também a $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$. Foram medidos os seus comprimentos nas idades de 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias, contados a partir da inserção nos tanques de cura final.

A expansão individual (E_i) dos corpos de

prova é determinada pela diferença entre o valor medido na idade correspondente (L_i), em milímetros, e a leitura inicial da mesma barra (L_o), em milímetros, dividida pelo seu comprimento efetivo (L_e), em milímetros, e multiplicado por 100, conforme Equação 1.

$$[1] E_i = 100 \times \frac{L_i - L_o}{L_e}$$

A expansão resultante (A_e) é expressa pelo aumento ou diminuição da expansão da barra, devido ao ataque da solução de sulfato de sódio em relação à expansão da barra curada em água, sendo calculada conforme a Equação 2.

$$[2] A_e = E_s - E_a$$

Em que: A_e é a expansão resultante; E_s é a expansão média das barras curadas em solução agressiva de sulfato de sódio e; E_a é a expansão média das barras cura-

das em água saturada com cal, expressas em porcentagem (%).

Após o ensaio, os corpos de prova foram rompidos por tração na flexão e compressão axial, em prensa servo-controlada Contenco (modelo HD-120T), seguindo procedimentos descritos nas NBRs 12142 e 5739, respectivamente.

2.5 Ciclagem em ácido clorídrico

Para a realização do ensaio de ataque ácido, foi utilizada, de maneira adaptada, a NBR 12696:1992. Para isso, foram utilizados corpos de prova prismáticos ($4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$).

O ensaio consistiu em submeter os corpos de prova revestidos com membranas (poliuretano, cimentícia e epóxi) e sem membranas (referência) a ciclos de envelhecimento, sendo um semiciclo de imersão em solução de HCl 1:10, com duração de dois dias, e posterior semiciclo de secagem em estufa ventilada a 50°C , com duração de cinco dias.

Após cada semiciclo seco, os corpos de prova foram pesados em balança analítica com precisão de 0,01 g. Foram previstos 10 ciclos, sendo metade dos corpos de prova (4) rompidos após 5 ciclos e a outra metade após 10 ciclos. O ensaio de tração na flexão e compressão axial foi realizado conforme as NBRs 12142 e 5739, respectivamente, em prensa servo-hidráulica Contenco, modelo HD-120T.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Expansão por sulfatos

A Figura 2 apresenta a evolução da expansão resultante das barras de concreto, obtidas pela diferença entre a expansão média em sulfatos e a expansão média em água saturada com cal. As expansões resultantes máximas dos quatro grupos de corpos de prova avaliados são resumidas na Tabela 3.

A NBR 13583:2014 não determina valor máximo aceitável para expansão, entretanto, Marciano (1993) apud Hoppe Filho *et al.* (2015) propôs um limite de expansão igual a 0,030%. Assim, os resultados obtidos evidenciam que os corpos de prova revestidos com membranas de poliuretano e de epóxi se encontram em conformidade com o que propõe a literatura, em desempenho superior ao dos corpos de

TABELA 3

EXPANSÃO RESULTANTE MÁXIMA DOS CORPOS DE PROVA AVALIADOS

Concretos	Referência	Tipo de Membrana		
		Cimentícia	Epóxi	Poliuretano
Expansão resultante máxima (%)	0,056	0,039	0,024	0,023

prova de referência (sem revestimento) e revestidos com produto cimentício, que apresentaram expansão final acima deste máximo sugerido. Entretanto, observa-se que os corpos de prova de referência (sem revestimento) ultrapassaram o limite máximo de expansão proposto por Marciano (1993) aos 21 dias, enquanto que as amostras revestidas com uma membrana cimentícia só alcançaram este limite aos 35 dias. Este resultado indica que o revestimento cimentício apresenta o potencial de retardar os efeitos do sulfato na matriz. Ao final do ensaio, as barras de referência e revestidas com membrana cimentícia apresentaram destacamentos perceptíveis visualmente (Figura 3).

De acordo com Ribeiro *et al.* (2021), os sulfatos são extremamente agressivos quando em contato com o concreto armado e seu ataque assume características de natureza mais mecânica do que eletroquímica, já que envolve a formação de cristais de sulfoaluminatos de cálcio e de sulfatos de cálcio, com elevada capacidade expansiva. A formação dessas substâncias no interior do concreto gera elevadas pressões internas, que podem causar sua fissuração e desagregação. Os revestimentos à base de epóxi e poliuretano não permitiram o contato do sulfato presente na solução de exposição com a matriz de concreto, impedindo este mecanismo.

Para evidenciar a ação protetora dos

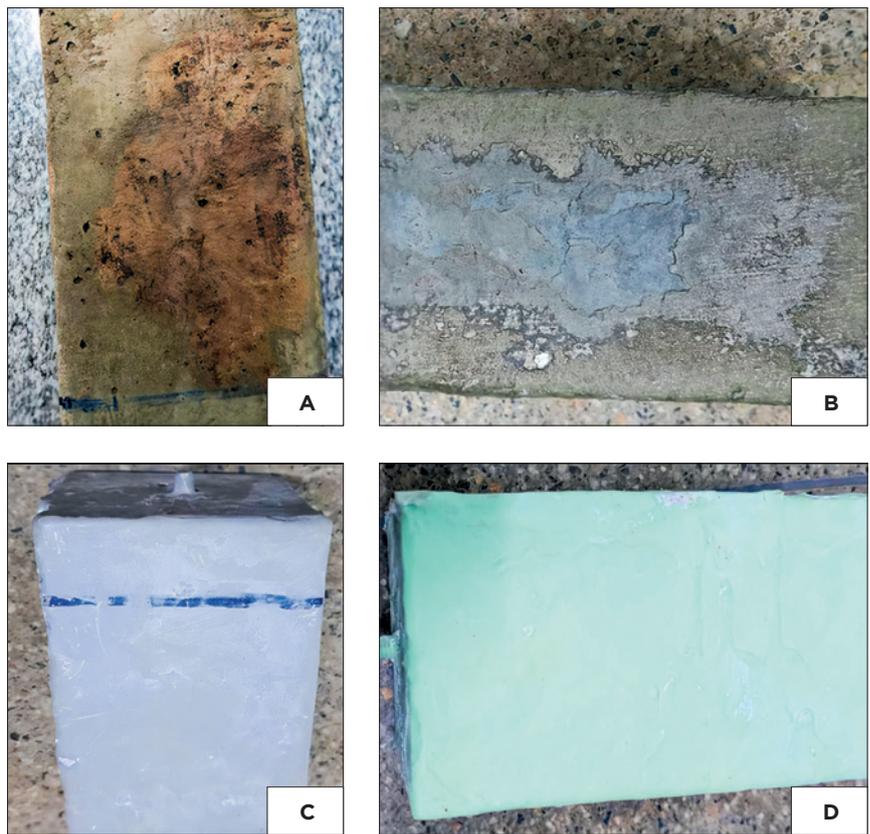


FIGURA 3

ASPECTO VISUAL DOS CORPOS DE PROVA APÓS EXPOSIÇÃO À SOLUÇÃO DE SULFATO DE SÓDIO: (A) REFERÊNCIA, (B) COM MEMBRANA DE BASE CIMENTÍCIA, (C) COM MEMBRANA EPÓXI E (D) MEMBRANA DE POLIURETANO

revestimentos, as Figuras 4 e 5 apresentam os resultados de desempenho mecânico dos corpos de prova após o período de ensaio em água saturada com cal e em solução de sulfatos.

Em relação as amostras imersas em água saturada com cal, a resistência à compressão foi superior para as amostras de referência e revestida com membrana cimentícia, indicando que a membrana de

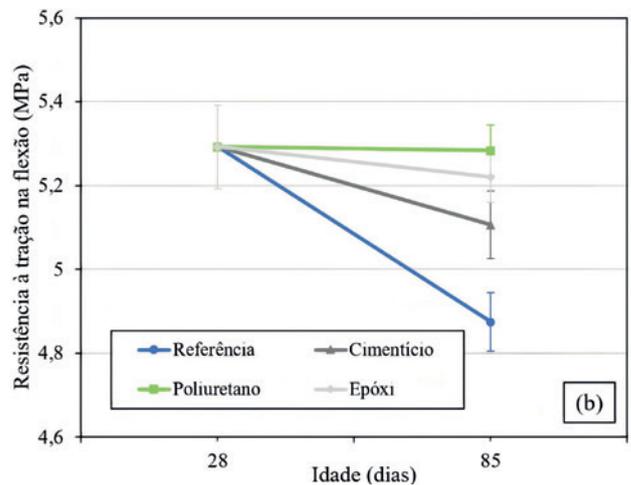
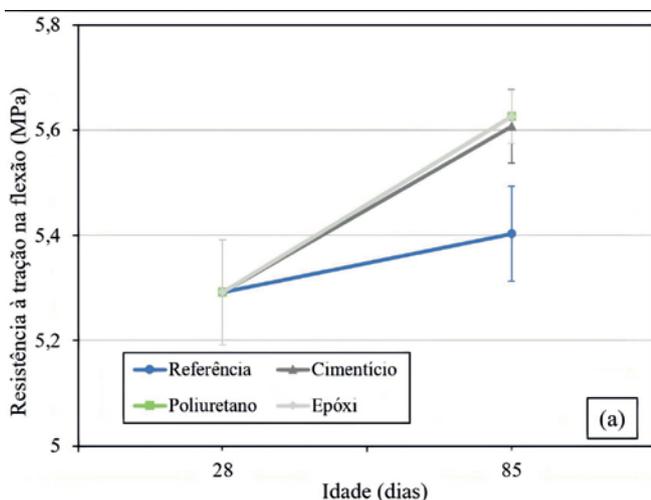


FIGURA 4

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO: (A) CORPOS DE PROVA ENSAIADOS APÓS ARMAZENAMENTO EM SOLUÇÃO DE ÁGUA COM CAL E (B) CORPOS DE PROVA ENSAIADOS APÓS ARMAZENAMENTO EM SOLUÇÃO DE SULFATO DE SÓDIO

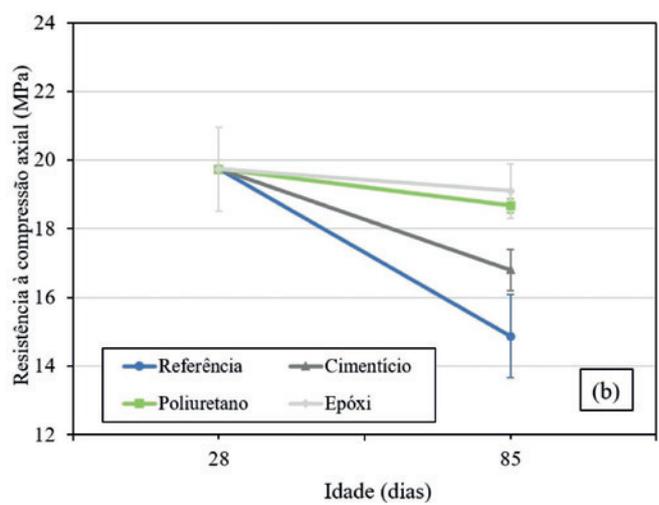
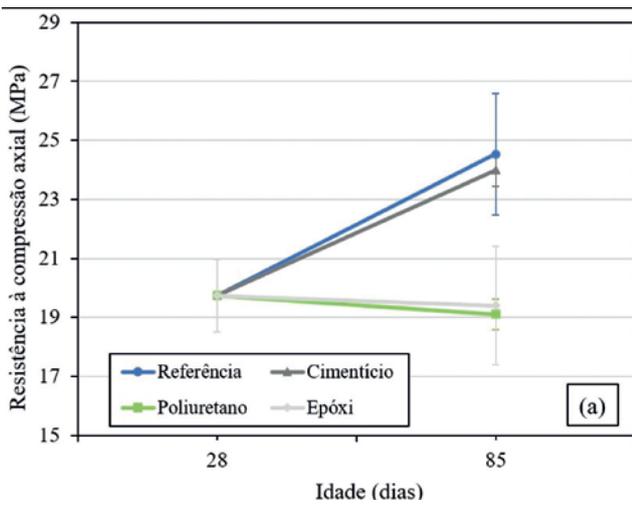


FIGURA 5

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL: (A) CORPOS DE PROVA ENSAIADOS APÓS ARMAZENAMENTO EM SOLUÇÃO DE ÁGUA COM CAL E (B) CORPOS DE PROVA ENSAIADOS APÓS ARMAZENAMENTO EM SOLUÇÃO DE SULFATO DE SÓDIO

poliuretano e epóxi podem estar interferindo nas reações de hidratação da matriz

cimentícia, por meio da impermeabilização das mesmas. Entretanto, não ocorreram

perdas de resistência, o que não compromete a aplicação desses materiais. Para um melhor desempenho mecânico, sugere-se que sua aplicação se dê após um tempo maior de cura.

Para os corpos de prova armazenados em solução de Na_2SO_4 , devido provavelmente às reações expansivas ocorridas entre os sulfatos e a matriz cimentícia, houve uma maior perda de desempenho para os concretos de referência (sem revestimento) seguido dos concretos revestidos com membrana cimentícia. Esse resultado está de acordo com os resultados de expansão e a análise visual apresentados anteriormente.

Convergindo com os resultados observados, Moreira (2006) ressaltou que os revestimentos a base de epóxi e poliuretano apresentam satisfatória resistência química. De fato, Helene (2014) indicou que vernizes à base de poliuretano podem ser aplicados na superfície do concreto como ação de proteção contra os agentes agressivos externos.

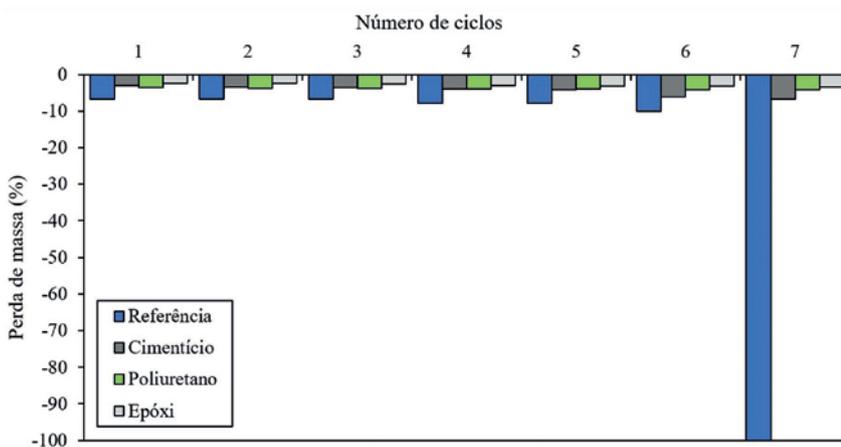


FIGURA 6

PERDA DE MASSA DOS CORPOS DE PROVA AVALIADOS AO LONGO DOS CICLOS



FIGURA 7

CORPOS DE PROVA DE REFERÊNCIA DESINTEGRADOS APÓS 7 CICLOS DE ENVELHECIMENTO

3.2 Ciclagem em ácido clorídrico

A Figura 6 apresenta os resultados de perda de massa para os corpos de prova de referência e com revestimento de membrana cimentícia, poliuretano e epóxi, ao longo da ciclagem em ácido clorídrico.

Após os 7 ciclos, nota-se que o melhor desempenho em relação à perda de massa foi do concreto revestido com epóxi, seguido dos revestidos com poliuretano e membrana cimentícia. Nota-se, também, que os corpos de prova de referência foram totalmente desintegrados, apresentando

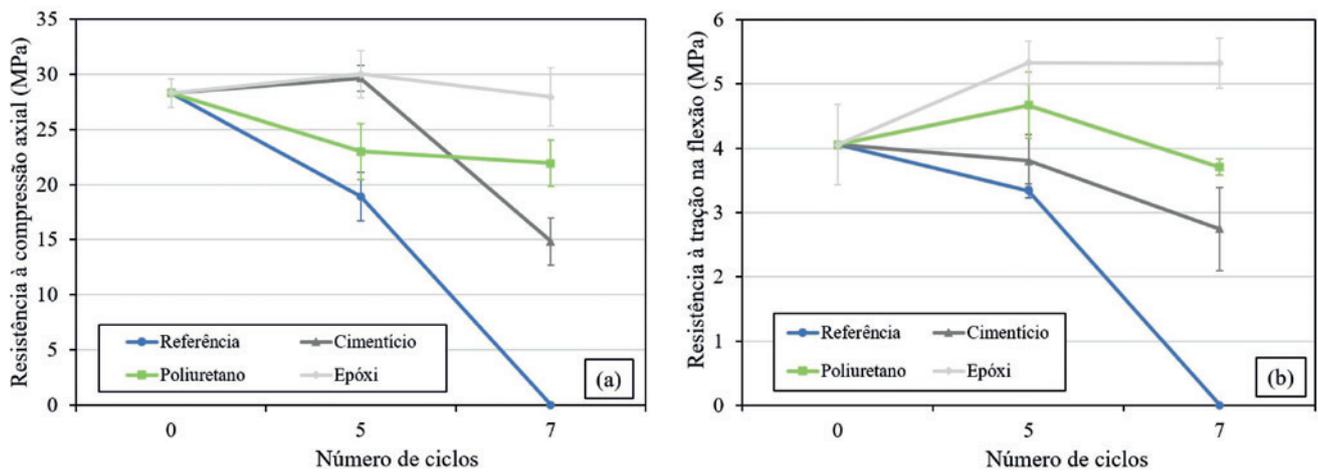


FIGURA 8

DESEMPENHO MECÂNICO DOS CORPOS DE PROVA AVALIADOS APÓS 5 E 7 CICLOS: (A) RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO E (B) RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

uma perda de massa igual a 100% (Figura 7). Assim, os ciclos foram interrompidos, sendo os ensaios mecânicos determinados após 5 e 7 ciclos. A Figura 8 apresenta os resultados de desempenho mecânico dos corpos de prova após 5 e 7 ciclos.

Observa-se que os resultados de resistência à compressão e à tração na flexão após 7 ciclos confirmam o desempenho dos corpos de prova obtidos no ensaio de perda de massa. Dessa maneira, os corpos de prova revestidos com membrana epóxi praticamente não apresentaram perda de desempenho, seguidos dos corpos de prova revestidos com membranas à base de poliuretano e cimentícia.

A Figura 9 mostra os corpos de prova após 7 ciclos em ácido clorídrico, sendo possível observar que a membrana cimentícia apresentou alguns pontos de desintegração. É evidenciado que as membranas de base epóxi e poliuretano são resistentes ao ácido, funcionando como uma barreira contra a penetração de agentes agressivos ao concreto. Em concordância com esses resultados, Abreu (2014) ressaltou o papel da proteção com epóxi, uma vez que os valores de absorção e de perdas de massa foram menores para os concretos protegidos, em comparação aos concretos sem proteção. A menor resistência ao ácido da membrana cimentícia possibilitou uma maior percolação da solução ácida no concreto.

4. CONCLUSÕES

Foi proposta a avaliação de concreto revestido com membranas de base cimentícia, epóxi e poliuretano, quanto ao ataque ácido e de sulfatos.

Com base nos resultados, constata-se



FIGURA 9

CORPOS DE PROVA REVESTIDOS COM MEMBRANAS DE BASE: (A) EPÓXI, (B) POLIURETANO E (C, D) CIMENTÍCIA, APÓS 7 CICLOS

que a expansão por sulfatos dos concretos de referência e revestidos com membrana cimentícia apresentaram expansão acima do limite sugerido pela literatura (0,03%). Vale ressaltar que os concretos revestidos por membranas de epóxi e poliuretano apresentaram proteção durante o tempo de estudo quanto aos íons sulfatos. Além disso, ratificando esses resultados, observou-se perda de desempenho mecânico nos concretos de referência de aproximadamente 25% e de 15% para os concretos revestidos com membrana cimentícia.

Em relação ao ataque ácido, observou-se que após sete ciclos, os corpos de prova de referência foram totalmente degradados. Além disso, os corpos de prova revestidos com membrana epóxi foram os mais resistentes, seguidos dos revestidos com poliuretano e, por fim, os cimentícios.

Os resultados indicam que as membranas epóxi e poliuretano além de serem resistentes ao ácido e sulfatos, proporcionam a impermeabilização do concreto, sendo indicadas para garantir uma maior durabilidade dos concretos utilizados

em estações de tratamento de esgotos.

De forma complementar a este estudo, é necessário realizar avaliações com diferentes fck, de acordo com as classes de agressividade estabelecidas pela NBR 6118 (2014). Sugere-se também a realização de estudos com maior tempo de duração para o ataque de sulfatos.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à VIAPOL pelo fornecimento dos produtos estudados no presente trabalho. ☺

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABREU, F. S. Análise da durabilidade de concreto leve de argila expandida com camada protetora submetido a meio agressivo ácido. Dissertação de mestrado. Belo Horizonte. 2014.
- [2] BEDDOE, R.E.; DORNER, H.W. Modelling acid attack on concrete: Part I. The essential mechanisms. Cement and Concrete Research, v. 35, n. 12, p. 2333-2339, 2005.
- [3] HELENE, P. R. L. A nova NBR 6118 (NBR 6118) e a vida útil das estruturas de concreto. 2014.
- [4] HOPPE FILHO, J.; SOUZA, D. J.; MEDEIROS, M. H. F.; PEREIRA, E.; PORTELLA, K. F. Ataque de matrizes cimentícias por sulfato de sódio: adições minerais como agentes mitigadores. Cerâmica, v. 61, 168-177, 2015.
- [5] MOREIRA, Pedro M. Contribuição dos revestimentos poliméricos para a durabilidade de betões em ambientes agressivos. Tese de Doutorado. Universidade do Minho. 2006.
- [6] RIBEIRO, D. V. Princípios da Ciência dos Materiais Cimentícios: Produção, Reações, Aplicações e Avanços Tecnológicos. Editora Appris, 2021.

Sistemas de Fôrmas para Edifícios

Recomendações para a melhoria da qualidade e da produtividade com redução de custos



ANTONIO CARLOS ZORZI

SISTEMAS DE FÔRMAS PARA EDIFÍCIOS: RECOMENDAÇÕES PARA A MELHORIA DA QUALIDADE E DA PRODUTIVIDADE COM REDUÇÃO DE CUSTOS

Autor: Antonio Carlos Zorzi

O livro propõe diretrizes para a racionalização de sistemas de fôrmas empregados na execução de estruturas de concreto armado e que utilizam o molde em madeira

As propostas foram embasadas na vasta experiência do autor, diretor de engenharia da Cyrela, sendo retiradas de sua dissertação de mestrado sobre o tema.

DADOS TÉCNICOS

ISBN 9788598576237
Formato: 18,6 cm x 23,3 cm
Páginas: 195
Acabamento: Capa dura
Ano da publicação: 2015

Patrocínio



Aquisição:
www.ibracon.org.br
(Loja Virtual)