

REVESTIMENTOS POLIMÉRICOS PARA PROTEÇÃO À CORROSÃO BACTERIOLÓGICA DO CONCRETO.

Prof. Dr. Osny Pellegrino Ferreira
Prof. Dr. da Escola de Engenharia de São Carlos /USP
Laboratório de Construção Civil
e-mail: osnypefe@sc.usp.br
Eng. Alessandra E. Feuzicana de Souza Almeida
Mestranda, Escola de Engenharia de São Carlos/USP
Área Tecnologia do Ambiente Construído
e-mail: aefsouza@sc.usp.br

RESUMO

Construções em concreto armado destinadas a coleta ou tratamento de esgotos sofrem o processo de corrosão química decorrente do metabolismo de microorganismos presentes no meio. Os principais agentes microbiológicos responsáveis por esse mecanismo de corrosão são as bactérias *Thiobacillus* que obtém energia para o seu metabolismo pela oxidação dos compostos reduzidos do enxofre, como o gás sulfídrico existente na atmosfera de tubulações, resultando em ácido sulfúrico, o qual reage com os compostos hidratados do cimento, desencadeando reações químicas que alteram negativamente as propriedades do concreto.

A velocidade de degradação está relacionada com a permeabilidade do concreto que facilita o acesso de íons deletérios, o que justifica a importância da utilização de revestimentos superficiais, os quais funcionam como uma barreira contínua e aderente, impedindo o contato físico e químico entre o concreto e o elemento agressivo.

Foram testados neste trabalho três sistemas para proteção superficial de corpos de prova de argamassa de cimento Portland: epóxi A, epóxi B e poliuretana de origem vegetal. A utilização de resina poliuretana obtida de óleo vegetal mostrou ser viável tecnologicamente, com condições de tornar-se uma alternativa aos sistemas tradicionais existentes no mercado, apresentando notável capacidade de proteção em meios ácidos.

1 INTRODUÇÃO

O concreto está continuamente sob a ação dos elementos naturais encontrados no meio ambiente, levando ao desenvolvimento de reações químicas que acabam por afetar a estabilidade dos seus constituintes. A proteção do concreto contra a deterioração tem despertado grande interesse de pesquisadores a nível mundial, tendo-se em vista a necessidade de redução dos custos e perdas decorrentes de manutenções e reparos.

Assim, através de medidas de proteção e sua correta aplicação, pode-se evitar possíveis danos em estruturas de concreto.

Diante do contexto acima mencionado, justifica-se o estudo sobre revestimentos para proteção de matrizes de cimento, a fim de impedir o ingresso de agentes agressivos através dos poros. A resina poliuretana a base do óleo vegetal apresenta-se como um produto alternativo com grandes potencialidades dentro da tecnologia da Construção Civil. Existem no mercado inúmeros produtos para esta finalidade, mas na maioria dos casos, apresentam altos custos e podem ocasionar risco à saúde de quem os manipula.

Esta pesquisa tem por objetivo avaliar um novo material, formulado a partir da resina poliuretana originária de óleo vegetal - *Ricinus communis*, o que pode vir a constituir uma proteção eficaz, capaz de preencher os poros abertos à superfície e, assim, impedir o ingresso de elementos agressivos para o interior do concreto. O sistema a base de poliuretana tem seu desempenho avaliado comparativamente a outro polímero comercialmente utilizável para a proteção do concreto.

1.1 EFEITO DO MEIO AMBIENTE NA DURABILIDADE DO CONCRETO

Segundo ROSTAM (1994), a definição ou classificação da agressividade do meio ambiente no qual uma estrutura de concreto será construída representa uma etapa essencial do projeto de vida útil. O mesmo autor ainda cita que a agressividade do meio ambiente e os possíveis mecanismos de interação entre a estrutura e agentes agressivos devem ser conhecidos ainda na fase de projeto. Assim, torna-se possível tomar medidas preventivas de modo a evitar os mecanismos que levam a deterioração do concreto estrutural.

Diversas estruturas de concreto estão sujeitas ao efeito de diferentes agentes agressivos, que podem atuar isoladamente ou em conjunto, tendo como resultado a mudança de suas propriedades químicas e mecânicas. As substâncias encontradas no meio ambiente em contato com estruturas em concreto reagem quimicamente com os compostos hidratados do cimento. Entretanto, para que isto ocorra, estas substâncias devem ser encontradas dispersas na atmosfera úmida ou em soluções aquosas que permitam a sua dissociação.

Segundo BICZÓK (1964), o ataque e desintegração de estruturas que sofrem influência de elementos agressivos são denominados corrosão do concreto, quando considerado um fenômeno químico ou físico-químico. Assim, não estão incluídos neste conceito de corrosão os mecanismos externos de destruição como o efeito de congelamento, abrasão e ação do fogo em estruturas de concreto. O fenômeno da corrosão do concreto ocorre mais freqüentemente em ambientes marinhos, tubulações de esgoto,

construções destinadas a indústrias químicas e estruturas de fundações expostas a influência de águas subterrâneas agressivas.

2 CORROSÃO DO CONCRETO PELA AÇÃO MICROBIAL EM ELEMENTOS EM CONTATO COM O ESGOTO

Construções em concreto armado destinadas a coleta ou tratamento de esgotos sofrem o processo de corrosão decorrente do metabolismo microbial. Esta atividade destrutiva resulta em gastos de bilhões de dólares anuais, a nível mundial, destinados ao reparo ou reconstrução de sistemas de coleta de esgoto (KENNEDY, 1997).

Bactérias anaeróbias produzem gás sulfídrico pelo metabolismo de compostos que contêm enxofre presentes no esgoto. Bactérias aeróbias conhecidas como *Thiobacillus* metabolizam, por um processo de oxidação do enxofre, o gás sulfídrico (H_2S) existente em atmosferas de tubulações resultando em ácido sulfúrico (H_2SO_4). O ácido sulfúrico reage com os compostos hidratados do cimento, através de reações químicas que levam a corrosão do concreto. A figura seguinte exemplifica o mecanismo de corrosão do concreto pela ação microbial em tubulações de esgoto.

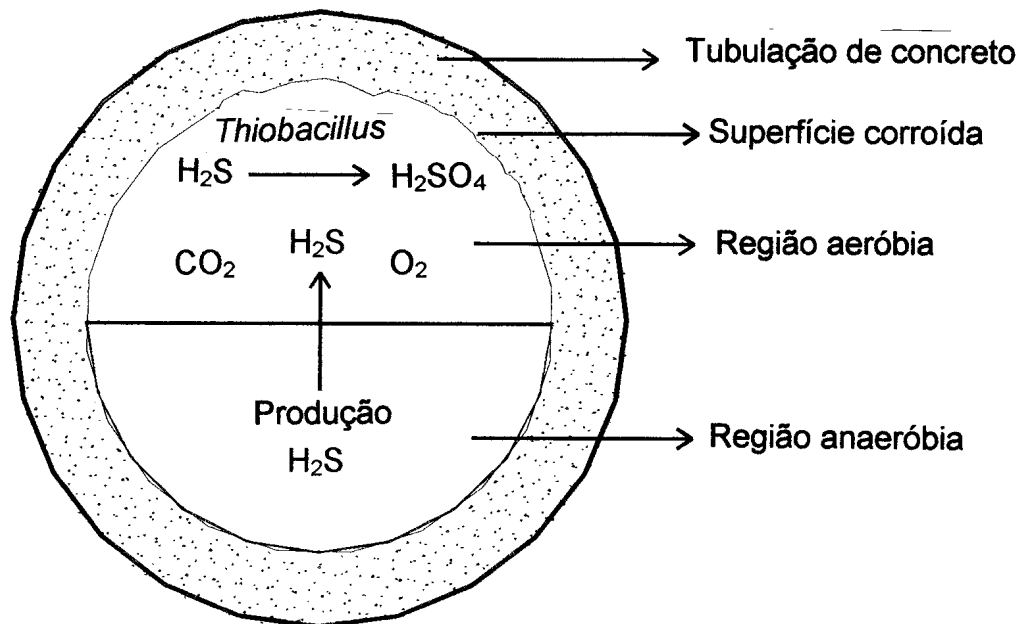


Figura 1: Seção transversal de tubulação de esgoto, apresentando o mecanismo de corrosão por ação microbial.

TAZAWA et al (1994) estudou a deterioração do concreto em estrutura subterrânea decorrente do metabolismo microbial, sendo constatado pela pesquisa que a deterioração

do concreto ocorre apenas em condições aeróbias, pois as bactérias que produzem ácido são aeróbias. A corrosão do concreto pelo mecanismo microbial ocorre, portanto, acima do nível do fluxo de esgoto, ou seja, na parte superior da tubulação em contato com oxigênio e gás sulfídrico.

Muitos microorganismos associam-se formando uma camada na superfície do concreto, ou outros materiais de construção. Esta camada é denominada biofilme. O biofilme é constituído por diferentes gêneros de microorganismos, algas, fungos e bactérias, que liberam substâncias resultantes de seus metabolismos, que podem ser ácidos, polímeros, enzimas, etc, muitas vezes agressivas, capazes de desencadear a deterioração dos materiais que se encontram aderidos pelo biofilme.

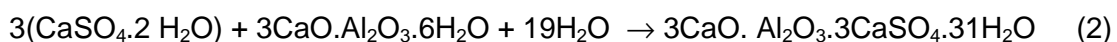
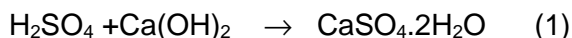
2.1 ATAQUE DO ÁCIDO SULFÚRICO AOS COMPOSTOS HIDRATADOS DO CIMENTO

O ácido sulfúrico (H_2SO_4) constitui um elemento altamente agressivo ao concreto, pois, além do caráter ácido, na sua dissociação é encontrado o íon sulfato (SO_4^{--}). BICZÓC (1964) ressalta que muitas vezes ataque químico é utilizado como sinônimo de ataque por sulfatos, dada a grande importância deste no processo de corrosão do concreto.

Segundo METHA & MONTEIRO (1994), após o processo de hidratação do cimento Portland os compostos encontram-se em estado de equilíbrio estável, apresentando altos valores de pH (12,5 a 13,5) devido a grandes concentrações de íons de Na^+ , K^+ , e OH^- . Qualquer meio com pH menor que 12,5 pode ser considerado agressivo ao concreto pois a redução do pH compromete a estabilidade dos fluidos nos poros. Entretanto, a velocidade do ataque químico ao concreto está relacionada com a superfície exposta e sua permeabilidade, que possibilita o acesso de elementos agressivos, além do pH e concentração do líquido agressivo.

A deterioração do concreto pelo ataque de ácido sulfúrico resulta de reações químicas entre o íon agressivo, sulfato, e o hidróxido de cálcio do cimento Portland hidratado. Segundo o Boletim 182 do CEB (1989) a ação do ácido ao concreto consiste na conversão dos composto que contêm cálcio (hidróxido de cálcio, silicato de cálcio hidratado e aluminato de cálcio hidratado) a sais de cálcio, sendo que a severidade do ataque ácido é maior quanto mais alta for a solubilidade do sal formado.

Conforme BASHEER et al (1994) a deterioração do concreto pelo ataque de ácido sulfúrico é conseqüência da formação do sulfato de cálcio, de acordo com a reação 1. O sulfato de cálcio hidratado pode reagir com a fase aluminato tricálcico (C_3A) hidratado presente no cimento, formando cristais de sulfoaluminato de cálcio (etringita), conforme reação 2.



Além de causar desagregação e fissuração, NEVILLE (1997) cita a perda de resistência mecânica decorrente da falta de coesão entre a pasta de cimento e as partículas do agregado.

De acordo com BICZÓC (1964), o gesso produzido pela ação do ácido sulfúrico, inicialmente, e a pequenas concentrações de ácido, tende a selar os poros oferecendo um certo grau de proteção. O mesmo autor relata que baixas concentrações de ácido sulfúrico podem aumentar a resistência a compressão do concreto de cimento Portland, conforme pode ser observado na figura abaixo.

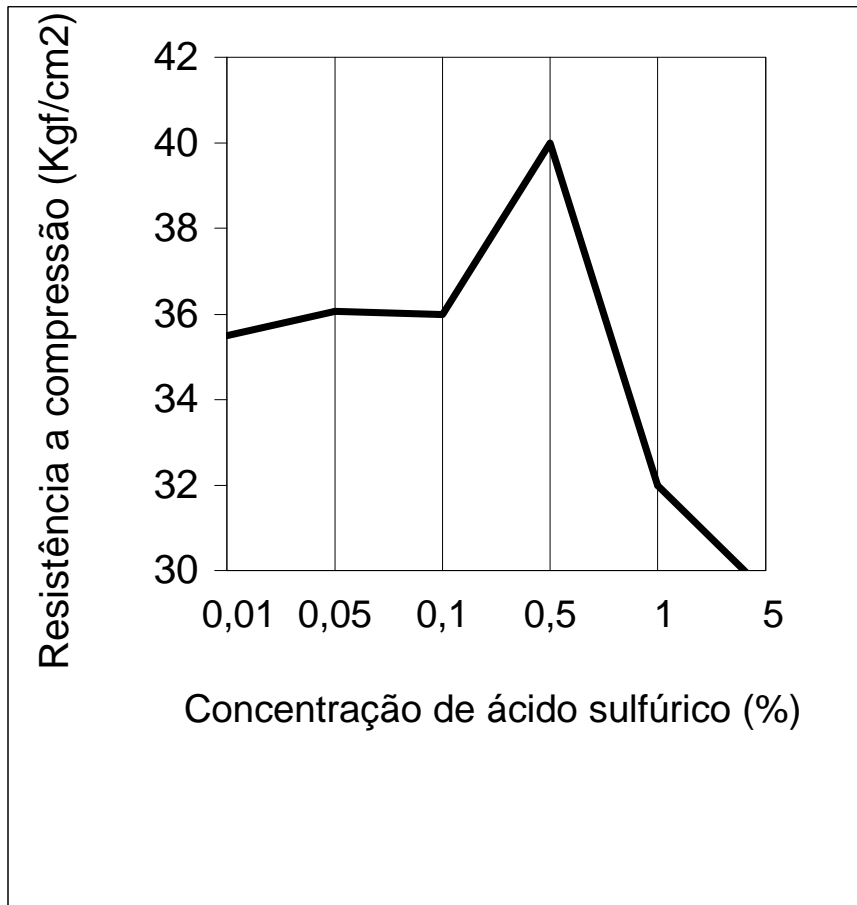


Figura 2: Resistência a tração de corpos de prova de cimento Portland depois de imersão em soluções ácidas de diferentes concentrações.

Fonte: Mihailich, Schwertner, Gyengó (1946) citado por BICZÓK (1964).

KONG & ORBISON (1987) realizaram procedimentos experimentais para estudar o ataque de soluções de ácido sulfúrico, com valores de pH (potencial de hidrogênio) 2, 3, 4 e 5, a corpos de prova de concreto de cimento Portland. Foi constatado que corpos de prova com alta resistência ($48,3 \text{ MN/m}^2$) sofreram maior grau de deterioração na forma de erosão superficial uniforme, em relação aos corpos de prova de menor resistência, devido ao alto consumo de cimento. Entretanto, corpos de prova com menores resistências ($20,7 \text{ MN/m}^2$ e

27,6 MN/m²) exibiram moderado ataque de sulfatos caracterizado por expansão e degradação nas bordas.

ATTIOGBE & RIZKALLA (1991) pesquisaram o ataque de ácido sulfúrico a diferentes misturas de concreto, utilizando de indicadores físicos e químicos, além de microfotografias e utilização de microscópio eletrônico por varredura, para identificar com precisão a profundidade que o íon sulfato atingiu no corpo de prova. Após análise de dados obtidos por procedimentos experimentais, foram obtidas as seguintes conclusões:

- o aumento de sulfatos contidos nos corpos de prova, medido por microscópio eletrônico, representa um bom indicador da extensão do dano ao concreto devido a exposição ao ácido sulfúrico;
- As microfotografias, assim como a concentração de sulfatos em relação a superfície exposta a solução ácida, evidenciam que a deterioração do concreto tem início na superfície e progride para o interior do corpo de prova;
- Ciclos de secagem e molhagem de exposição a solução de ácido sulfúrico aumentam o grau de deterioração do concreto;
- A relação entre grau de deterioração do concreto e profundidade de penetração do ácido sulfúrico poderia ser representada pela variação da concentração de sulfatos e profundidade de penetração do ácido.

Apesar de décadas de pesquisas sobre o ataque por sulfatos ao concreto, COHEN & MATHER (1991) ressaltam que muitas questões encontram-se ainda sem definições:

- Causas, efeitos, e mecanismos de retardar a expansão, perda de massa, diminuição de densidade, redução da resistência mecânica;
- Efeito da concentração da solução de sulfato no mecanismo de ataque por sulfato;
- Papel da impermeabilidade na durabilidade, quanto ao ataque ácido;
- Validade da utilização da pasta como um modelo representativo do concreto;
- Identificação de um método de teste acelerado que não altere o mecanismo de ataque por sulfatos;
- Identificação de uma concentração de sulfato acima da qual ocorre a deterioração do concreto e abaixo da qual não ocorre deterioração;

2.2 PROTEÇÃO DO CONCRETO EM AMBIENTES AGRESSIVOS

Os efeitos de águas agressivas no concreto são dependentes dos seguintes fatores (BICKZÓK, 1964):

- o tipo de cimento usado, suas propriedades químicas e físicas;
- a qualidade dos agregados, suas propriedades físicas e graduação;

- o método utilizado para a preparação do concreto, a proporção água/cimento, a proporção de cimento, adequada compactação, e idade do concreto;
- condição da superfície exposta a água agressiva;
- a composição e concentração da água agressiva, assim como a maneira com que o fluido age no concreto.

Os revestimentos são aplicados de modo a impedir o contato entre a superfície e o meio ácido, além do transporte de líquidos ou gases agressivos para o interior do concreto, conservando a sua integridade como material empregado em construções. Como consequência, haverá uma redução da velocidade de envelhecimento e manutenção do desempenho das construções.

Tintas ou revestimentos que possuem o aglutinante (resina) a base de polímeros orgânicos são os mais utilizados para a proteção do concreto em meios de elevada agressividade, tendo a função de formar uma barreira sólida e contínua entre o concreto e o meio (REPETTE, 1997). São encontrados no mercado diversos produtos destinados a proteção do concreto, que apresentam diferentes propriedades conforme a natureza da resina utilizada.

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O procedimento experimental desenvolvido neste trabalho teve como objetivo avaliar a resistência química de revestimentos poliméricos aplicados a corpos de prova imersos em soluções agressivas de ácido sulfúrico, de modo a representar o mecanismo de corrosão do concreto pela ação microbiana. Assim, foram empregadas soluções com diferentes concentrações de ácido sulfúrico nomeadas, no presente trabalho, como soluções de baixa e alta agressividade. As características destas soluções são:

- solução de baixa concentração: concentração de ácido sulfúrico 1,8g/l, apresentando pH entre 3 e 4;
- Solução altamente agressiva : 20% de ácido sulfúrico (em massa), apresentando pH menor que 1.

A concentração de 20% foi adotada devido a sua alta agressividade e, segundo KENNEDY (1997), os revestimentos utilizados contra a corrosão de tubulações de concreto armado pela ação de ácido sulfúrico devem ser resistentes a imersão contínua de ácido sulfúrico com essa concentração

3.1 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Foram moldados corpos de prova cilíndricos 5x10 cm, utilizando-se cimento CP V ARI RS, traço em massa igual a 1:3, relação água/cimento 0,58 e índice de consistência de 206mm. Foram utilizadas argamassadeira mecânica para a mistura e mesa vibratória para o

adensamento. Após 24 horas, os corpos de prova foram desmoldados e colocados em câmara úmida durante 7 dias. Após a cura úmida, foram mantidos sob cura ao ar em ambiente climatizado.

3.1.1 REVESTIMENTOS POLIMÉRICOS UTILIZADOS

No presente trabalho foram utilizados dois sistemas a base de resina epóxi e a resina poliuretana de origem vegetal. As características dos sistemas epoxídicos, fornecidas pelo fabricante, e da resina poliuretana vegetal são descritas a seguir.

- Sistema epóxi A: bi-componente, formulado a base de Bifenol A.

Estado físico: Líquido

Equivalente epóxi (g/eq): 185-192

Viscosidade (poise a 25^oC): 110-150

Densidade: (g/ml a 25^oC): 1,16

- Sistema epóxi B: bi-componente a base de Bifenol A.

Estado Físico: Líquido

Equivalente epóxi (g/eq): 188

Teor de epóxi (Eq/Kg): 5,30

Viscosidade (poise a 25^oC , DIN 53015): 160

Densidade: (g/ml a 25^oC): 1,15

Teor de sólidos: 100%

- Sistema poliuretano: bi-componente de origem vegetal.

Resistência a tração (MPa): 22

Módulo de deformação (MPa): 683,44

Alongamento: 25,7%

Dureza Shore B: 62

Viscosidade (poise a 25^oC): 250

3.2 METODOLOGIA

Os procedimentos adotados para a execução deste ensaio foram em conformidade com a norma ASTM C-267/82 “Chemical Resistance of Mortars Grouts and Monolithic Surfacing” cujo objetivo é avaliar o desempenho de concretos e argamassas quando submetidos à ação de agentes quimicamente agressivos. Para uma melhor análise da resistência química, optou-se variar os seguintes parâmetros:

- concentração de ácido sulfúrico;
- o polímero constituinte do sistema de proteção aplicado aos corpos de prova (epóxi A, epóxi B e poliuretana de origem vegetal);

A avaliação do desempenho dos revestimentos é feita a partir da observação do aspecto visual, variação de massa, e da resistência a compressão, entre corpos de prova

imersos em solução agressiva revestidos com poliuretana de origem vegetal, epóxi disponível no mercado indicado para a proteção do concreto em ambientes altamente agressivos, comparando-se também com os corpos de prova sem imersão. A resistência a compressão foi obtida tirando-se a média entre 6 corpos de prova para cada tratamento superficial e data de imersão.

Os cálculos para a variação de massa seguiram a seguinte fórmula:

Variação de massa (%) = $[(M-m)/m] \times 100$, onde:

M → massa após imersão

m → massa antes da imersão

Os revestimentos foram aplicados aos corpos de prova cilíndricos com a utilização de pincel. Após completada a cura ou polimerização do polímero, os corpos de prova foram colocados em cubas, uma para cada tratamento superficial, de modo a ficarem totalmente imersos em solução de ácido sulfúrico. Para efeito comparativo, foram deixadas amostras dos corpos de prova revestidos sem imersão em solução. Os sistemas de proteção foram aplicados conforme a agressividade da solução:

- solução com baixa agressividade: aplicação de uma demão de revestimento epóxi A e poliuretana de origem vegetal;
- solução altamente agressiva: aplicação de 3 demãos de revestimento epóxi B e poliuretana.

Devido a alta viscosidade da resina poliuretana de origem vegetal, foi utilizada uma pequena porcentagem de solvente aromático, para a imersão em solução altamente agressiva, de modo a reduzir a viscosidade e permitir que o polímero penetre os poros. A porcentagem de solvente empregada é especificada abaixo:

- 1ª demão: 3% (em massa)
- 2ª demão: 2,5% (em massa)
- 3ª demão: sem solvente

4 RESULTADOS

As variações de massa dos corpos de prova imersos em solução de ácido sulfúrico, de baixa agressividade, podem ser observadas no gráfico 1, sendo constatado um pequeno ganho em massa.

As variações de massa dos corpos imersos em solução de ácido sulfúrico 20% encontram-se representadas no gráfico 2. Foram calculadas as variações de massa após 8 e 45 dias de imersão, pois na última data, os corpos de prova revestidos com epóxi já apresentavam um estado avançado de degradação.

Gráfico 1: Variação de massa de corpos de prova imersos em solução com baixa concentração de ácido sulfúrico.

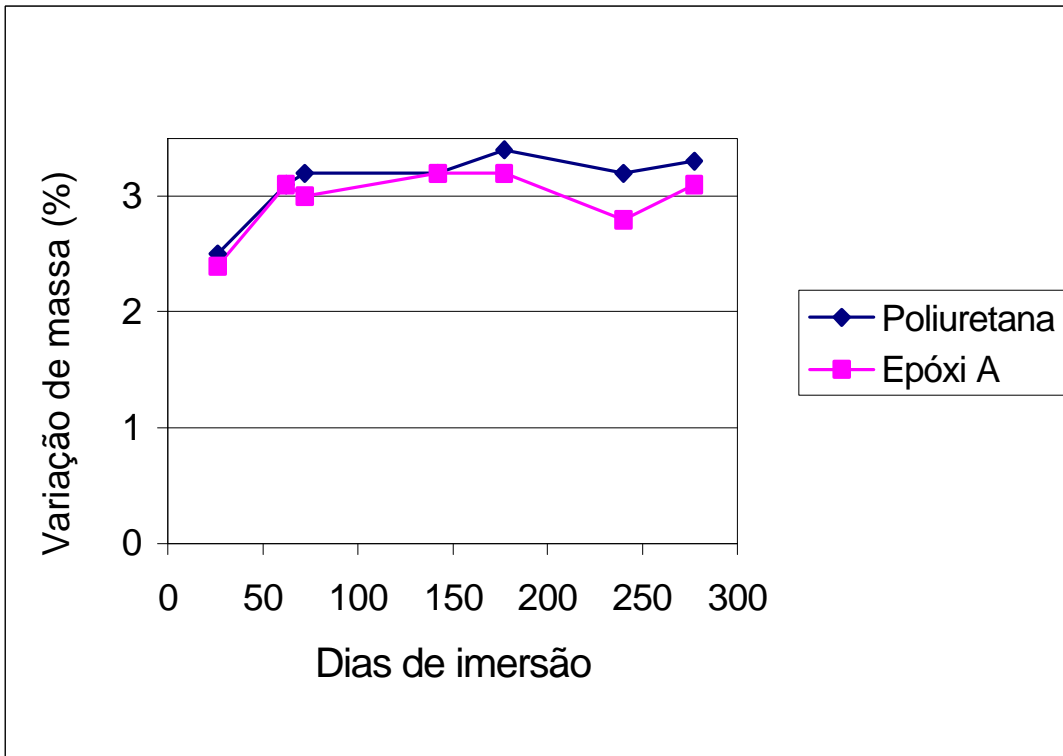
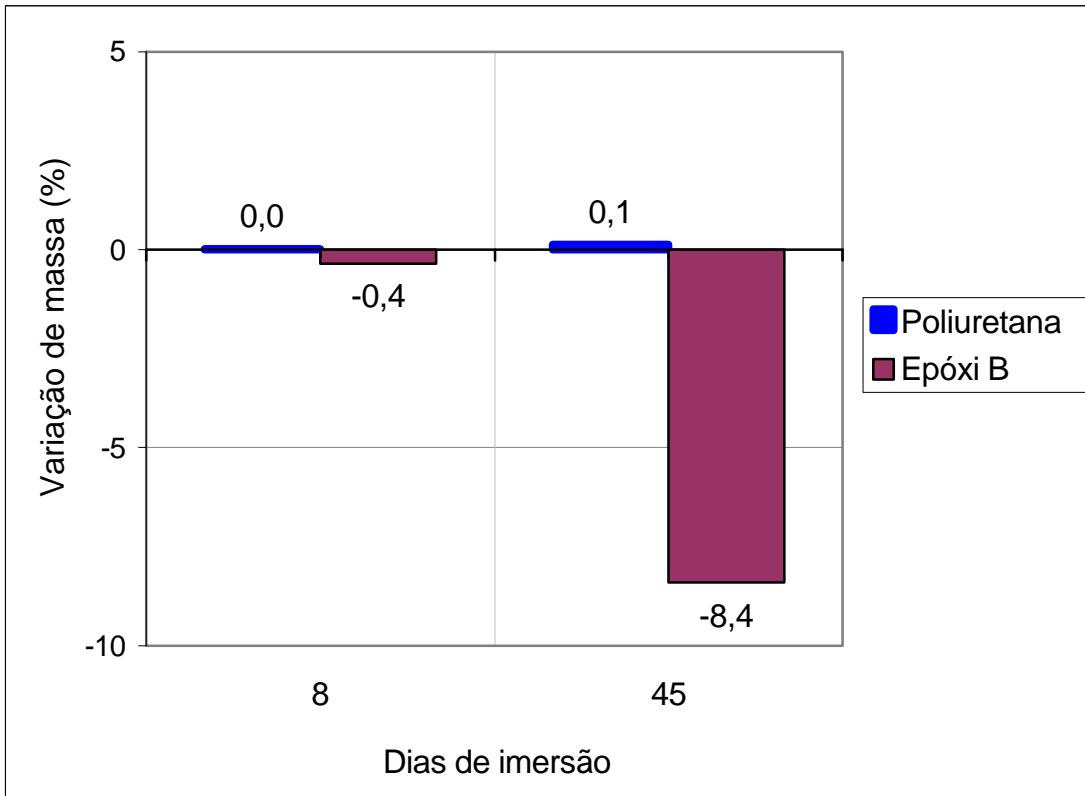


Gráfico 2: Variação de massa de corpos de prova revestidos e imersos em solução de ácido sulfúrico altamente agressiva, após 8 e 45 dias de imersão.



Os valores de resistência a compressão aos 176, 240 e 277 dias de imersão encontram-se nos gráficos seguintes.

Gráfico 3: Resistência a compressão de corpos de prova imersos em solução com baixa concentração de ácido sulfúrico, após 176, 240 e 277 dias de imersão.

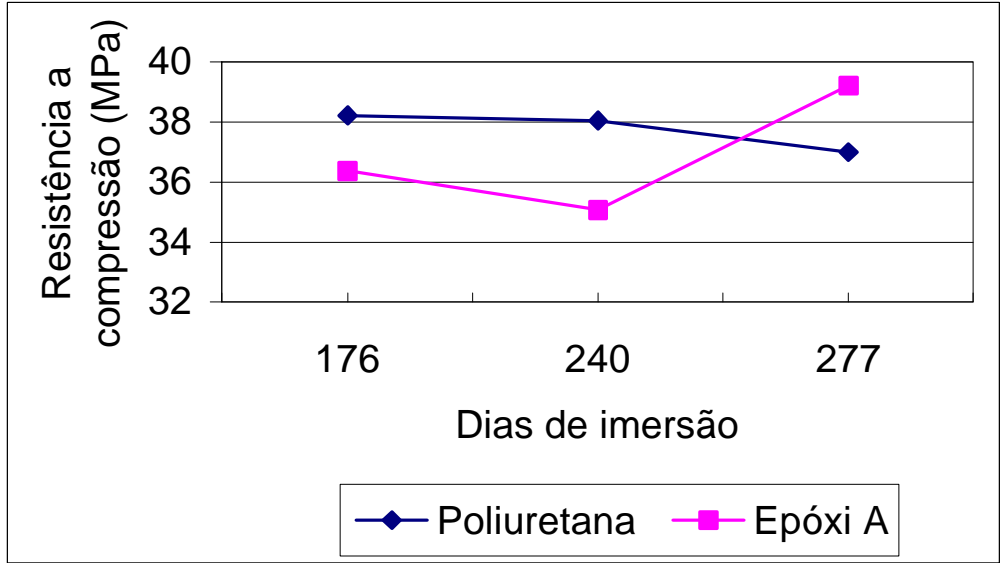


Gráfico 4: Resistência a compressão de corpos de prova imersos em solução de ácido sulfúrico altamente agressiva, após 8 dias de imersão.

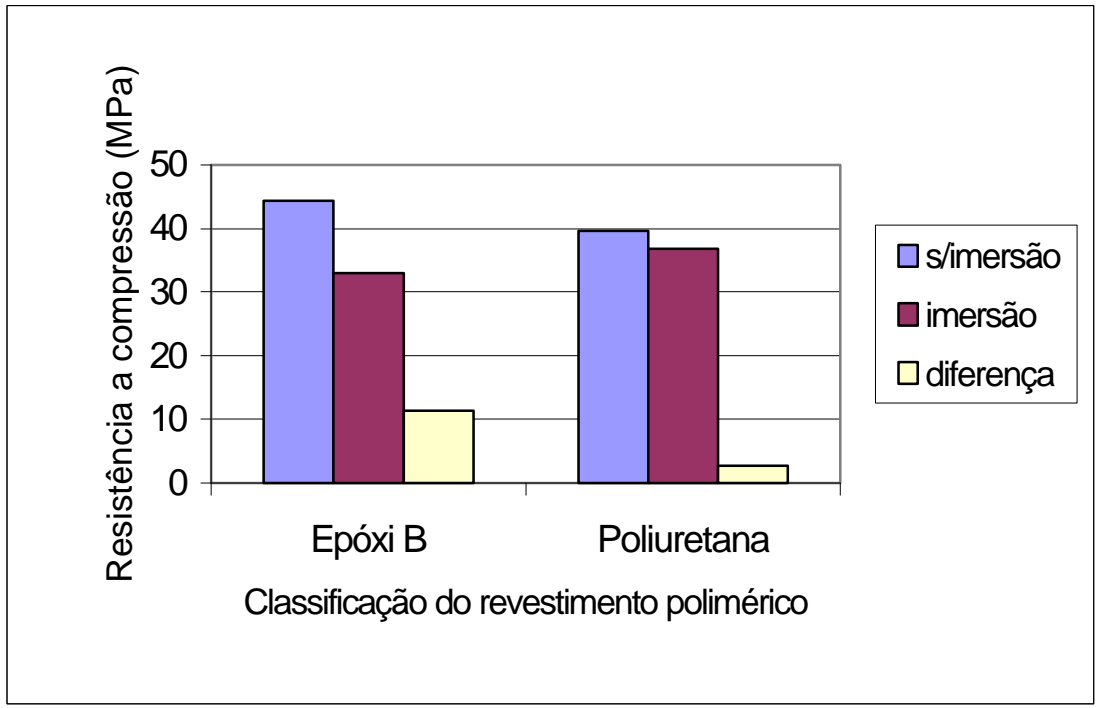
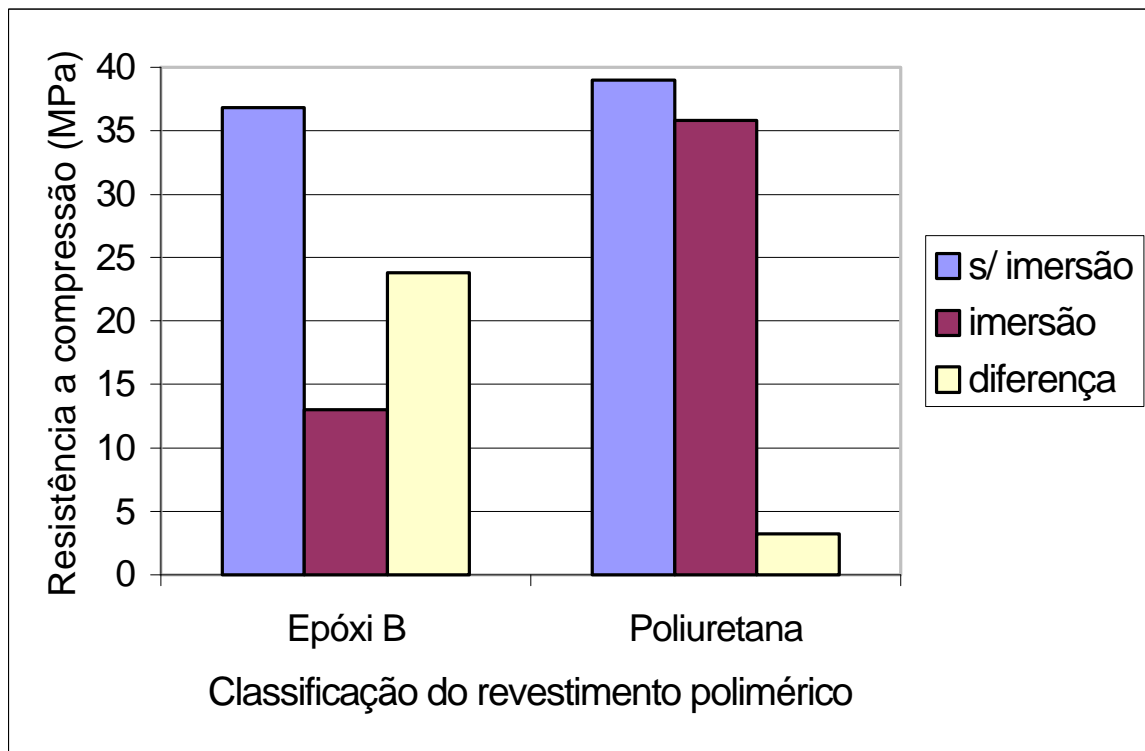


Gráfico 5: Resistência a compressão de corpos de prova imersos em solução de ácido sulfúrico altamente agressiva, após 45 dias de imersão.



A avaliação visual após imersão em solução de baixa agressividade evidenciou que a resina poliuretana de origem vegetal apresentou ótimo desempenho quanto a proteção contra a ação do ácido sulfúrico, pois sofreu leves alterações visuais. Os corpos de prova revestidos com a resina epóxi A apresentaram bolhas, mudança de cor e irregularidades. Na foto 1 encontram-se os corpos de prova revestidos e submetidos a solução de baixa agressividade, assim como os não imersos para efeito comparativo, seguindo-se a ordem: corpo de prova revestido com poliuretana de origem vegetal sem imersão, corpo de prova revestido com a poliuretana após 277 dias de imersão, corpo de prova revestido com epóxi A após 277 dias de imersão e corpo de prova revestido com epóxi A sem imersão.

Os corpos de prova imersos em solução altamente agressiva (20%), também foram avaliados visualmente. Os revestidos com a poliuretana sofreram leves alterações visuais, conforme pode ser observado na foto 2. Os corpos de prova revestidos com o sistema epóxi B apresentaram acentuado grau de deterioração, caracterizado por expansão e desintegração da pasta de cimento, ocasionando o rompimento do sistema epóxi, principalmente nas bordas.



Foto 1: Avaliação visual de corpos de provas imersos em solução com baixa concentração de ácido sulfúrico.



Foto 2: Corpos de prova revestidos com poliuretana de origem vegetal, após 21 dias de imersão em solução altamente agressiva de ácido sulfúrico (20%).



Foto 3: Corpos de prova revestidos com epóxi B, após 21 dias de imersão em solução de ácido de sulfúrico altamente agressiva (20%).

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

As variações de massa dos corpos de prova imersos em solução de baixa concentração de ácido sulfúrico mostram que houve um pequeno ganho em massa, aproximadamente 3,5%, decorrente da continuidade do processo de hidratação do cimento.

Aos 277 dias de imersão, os corpos de prova revestidos com o sistema epóxi A apresentaram ganho de resistência a compressão em aproximadamente 4 MPa. BICZÓK cita que corpos de prova sem revestimento podem apresentar um aumento de resistência mecânica (figura 2) em soluções com baixas concentrações de ácido sulfúrico. Assim, é possível que o sistema epóxi A tenha permitido a passagem de íons presentes na solução. Entretanto, os corpos de prova revestidos com a poliuretana apresentaram valores de resistência a compressão praticamente constantes. Os valores de resistência a compressão dos corpos de prova revestidos podem ser observados na tabela seguinte.

Tabela 1: Resistência a compressão de corpos de prova imersos em solução com baixa concentração de ácido sulfúrico .

<i>Resistência a compressão (MPa)</i>			
Dias de imersão	176	240	277
Epóxi A	36,4	35,1	39,2
Poliuretana	38,2	38,0	37,0

Corpos de prova revestidos com epóxi B, submetidos a solução altamente agressiva de ácido sulfúrico (20%) sofreram perda de massa entre 8 e 14% após 45 dias de imersão. Os revestidos com poliuretana derivada do óleo vegetal mantiveram a massa praticamente constante, com variações de 0,02% e 0,13%, conforme gráfico 2. Corpos de prova revestidos com a resina epóxi B e imersos na solução de ácido sulfúrico 20% sofreram degradação decorrente da reação entre o ácido e os compostos do cimento, principalmente nas bordas, evidenciando, portanto, que o sistema epóxi empregado não foi capaz de impedir o contato entre o meio ácido e os compostos hidratados do cimento. Os corpos de prova revestidos com a poliuretana sofreram, em alguns corpos de prova, leve alteração do sistema polimérico nas bordas, conforme pode ser observado na foto 2. Entretanto, não foram constatadas reações entre a pasta de cimento e o meio ácido.

Houve perda de resistência mecânica devido a desagregação da argamassa decorrente do ataque por ácido em corpos de prova tratados com epóxi B e imersos em solução de ácido sulfúrico 20%. Já os corpos de prova revestidos com poliuretana apresentaram pequenas alterações de resistência mecânica, conforme pode ser observado nos gráficos 4 e 5.

6 CONCLUSÃO

São encontrados no mercado inúmeros produtos destinados a proteção do concreto em ambientes agressivos. A escolha do sistema de proteção deve ser em função da agressividade do meio, sendo necessário conhecer os agentes agressivos presentes e o mecanismo de ação sobre os compostos hidratados do cimento.

A resina poliuretana derivada de óleo vegetal apresenta notável capacidade de proteção, principalmente quanto ao ataque de solução altamente agressiva de ácido sulfúrico (20%). O sistema epóxi A não ofereceu bons resultados, pois, a baixas concentrações da solução agressiva, pode haver permitido o acesso dos íons presentes na solução ao interior do corpo de prova. O sistema epóxi B sujeito a altas concentrações de ácido sulfúrico (20%), sofreu degradação visualmente detectada e perda da resistência a compressão, como consequência da expansão e desagregação da argamassa .

Um fator que vem merecendo destaque pelo desenvolvimento da tecnologia dos revestimentos poliméricos é a necessidade de proteção do meio ambiente, o que viabiliza a utilização da resina poliuretana de origem vegetal, que pode ser aplicada sem ou com pequenas porcentagens (3%) de solvente, reduzindo consideravelmente a emissão de materiais voláteis.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS** ASTM C-267/82 “Chemical Resistance of Mortars Grouts and Monolithic Surfacing”.
2. **ATTIOGBE, E. K.; RIZKALLA, S. H. (1988)**. Response of concrete to sulfuric acid attack. *ACI Materials Journal*, Technical Paper, nov.-dec. p.481-488.
3. **BASHEER, P. A. M.; LONG, A. E.; MONTGOMERY, F. R. (1994)**. An Interaction Model for Causes of Deterioration and Permeability of Concrete. In: CONCRETE TECHNOLOGY, PAST, PRESENT, AND FUTURE. Proceedings of V. Mohan Malhotra Symposium, ACI, Detroit, SP-144, p.213-231.
4. **BICZÓC, I. (1964)**. *Concrete corrosion and concrete protection*. Budapeste.
5. **CEB, (1989)**. *CEB Design Guide: Durable Concrete Structures*. Bulletin d’Information n° 182, junho, 2 ed.
6. **COHEN, M. D.; MATHER, B. (1991)**. Sulfate attack on concrete - Research Needs. *ACI Materials Journal*, Technical Paper, jan.-fev. p.62-69.
7. **KENNEDY, H. (1997)**. Protection of reinforced concrete pipe against microbial induced corrosion. <http://www.madisonchemical.com/nace97hk.htm> (nov/98).
8. **KONG, H. L.; ORBISON, J. G. (1987)**. Concrete deterioration due to acid precipitation. *ACI Materials Journal*, Technical Paper, mar-ap, p.110-116.
9. **MEHTA, P. KUMAR & MONTEIRO, P. J. M. (1994)** - *Concreto: estrutura, propriedades e materiais*. São Paulo. Pini.
10. **NEVILLE, A. M. (1997)** . *Propriedades do concreto*. Tradução Eng. Salvador E. Giamusso, 2 ed. Pini.
11. **ROSTAM, S. (1994)**. Design for durability: The Great Belt Link. In: CONCRETE TECHNOLOGY: NEW TRENDS, INDUSTRIAL APPLICATIONS. Proceedings of the International RILEM Workshop. E & FN SPON. Barcelona, p.127 - 155.
12. **TAZAWA, E. I.; MORINGA, T.; KAWAI, K. (1994)**. Deterioration of concrete derived from metabolites of microorganisms. In: Durability of Concrete, Third Internacional Conference. ACI, France, SP-145-59, p. 1087-1097.
13. **REPETTE, W. L. (1997)**. *Modelo de previsão de vida útil de revestimentos de proteção da superfície do concreto em meios de elevada agressividade*. São Paulo. 231p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.