

Ataque microbiológico em argamassas reparadoras de estruturas de concreto

Alcione de Abreu¹, Juliana Fenner Ruas Lucas²,
Katiane Silva³, Leonilda Correia dos Santos³, Nora Díaz Mora¹

¹Engenharia Mecânica – Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE)
Foz do Iguaçu – PR – Brasil

²Engenharia Civil – União Dinâmica de Faculdades Cataratas (UDC)
Foz do Iguaçu – PR – Brasil

³Laboratório Ambiental de Itaipu Binacional – Foz do Iguaçu – PR – Brasil

alce_beltrao@hotmail.com, juliana_fenner@hotmail.com,
kat_ambiental@hotmail.com, leonilda@itaipu.gov.br, noradiaz@unioeste.br

Abstract. *In the present paper, specimens test of known traces of cement and epox mortars had been immersed in concentrate solutions of heterotrophic bacteria and filamentous fungi, with the objective to evaluate the deterioration of these. After 60 days of attack, it was made the assay of rupture for axial compression of the specimens test and was verified it loss of mass. Periodically they were made the quantification and qualification of bacteria and fungi present in the concentrate solutions and to the 60 days was made the analysis of the fixed products to the substratum of mortars for characterization and quantification of the same ones.*

Resumo. *No presente trabalho, corpos de prova de traços conhecidos de argamassas cimentícia e epoxídica foram imersos em soluções concentradas de bactérias heterotróficas e de fungos filamentosos, com o objetivo de avaliar a deterioração destas. Após 60 dias de ataque, realizou-se o ensaio de ruptura por compressão axial dos corpos de prova e verificou-se a perda de massa. Periodicamente realizaram-se a quantificação e qualificação de bactérias e fungos presentes nas soluções concentradas e aos 60 dias foi feita a análise dos produtos fixados ao substrato das argamassas para caracterização e quantificação dos mesmos.*

1. Introdução

As estruturas de concreto devem desempenhar as funções que lhe foram atribuídas e manter a resistência e utilidade delas esperadas, no período de vida previsto. Para tanto, devem suportar o processo de deterioração ao qual estarão sujeitas ao longo da sua vida útil [Villalba et al 2002]. O desgaste apresentado por estruturas hidráulicas de concreto, especialmente de usinas hidrelétricas, tem sido causa de preocupação constante das empresas proprietárias destes empreendimentos [Kormann et al 2003]. Dentre os problemas encontrados destacam-se as erosões superficiais, ocasionadas por abrasão e por cavitação hidráulica.

Além dos problemas de deterioração do concreto decorrentes da utilização da estrutura, deve-se também considerar as dificuldades construtivas que influenciam nesse

processo de degradação. Na aplicação do concreto em estruturas hidráulicas do tipo barragem, devido às grandes dimensões dos blocos envolvidos na construção da obra, gera-se uma excessiva quantidade de calor durante a hidratação do cimento que apresenta grande dificuldade de ser dissipada. O aumento inicial da temperatura do bloco acarreta sua dilatação, originando uma pré-compressão no mesmo. Porém, as sucessivas quedas de temperatura provocam uma descompressão gradativa que pode ser superior a pré-compressão inicial, causando zonas localizadas de tração excessiva no maciço de concreto, que levam ao surgimento de microfissuras indesejáveis [Abreu et al 2006].

Relevante também é considerar a ocorrência de biodeterioração de materiais. Esta pode ser definida como uma mudança indesejável nas propriedades de um material por atividade vital de microrganismos. A biodeterioração abrange, dentre os materiais não-metálicos: materiais naturais (madeira, peças de museus e monumentos em pedra), materiais refinados e processados (combustíveis, vidro, plástico e borracha) e estruturas, (edifícios, barragens, estradas) [Videla 2003]. A biodeterioração é um fenômeno que envolve a participação de microrganismos, tais como, bactérias e fungos, ou macrorganismos como, por exemplo, cupins e roedores, contribuindo para a deterioração de materiais de importância econômica expostos a condições ambientais específicas [Shirakawa et al 1998].

A biodeterioração do concreto é um fenômeno no qual a atividade metabólica e o crescimento de microrganismos em regiões localizadas do concreto pode levar à produção de ácidos e, por conseguinte propiciar a dissolução de compostos hidratados do cimento, especificamente o hidróxido de cálcio além de silicatos hidratados [Shirakawa et al 1997]. As bactérias heterotróficas iniciam o processo de deterioração, nutrindo-se de lignossulfonatos utilizados como aditivos e de compostos orgânicos de poeiras impregnadas no concreto. O crescimento das bactérias heterotróficas forma microrregiões anaeróbicas, onde as bactérias redutoras de sulfato desenvolvem-se produzindo H_2S ; em etapa posterior o *Thiobacillus thioparus* oxida o H_2S produzindo H_2SO_4 . As bactérias mais agressivas são aquelas pertencentes ao gênero *Thiobacillus*, pois, no processo de oxidação biológica de formas reduzidas de enxofre inorgânico, geralmente produzem ácido sulfúrico como produto final de seu metabolismo [Shirakawa et al 1997].

O Laboratório de Tecnologia do Concreto da Itaipu Binacional realiza inspeções freqüentes e periódicas das estruturas relevantes na segurança da barragem. Como resultado desse monitoramento, mesmo sendo verificado que o envelhecimento do concreto utilizado encontra-se dentro dos parâmetros de normalidade, tem-se constatado o aparecimento de perfurações sucessivas no concreto decorrentes de pontos tracionados associados aos problemas de abrasão, surgindo a necessidade de ações corretivas, como a aplicação de argamassas reparadoras.

Desde o início da operação das primeiras turbinas da Usina Hidrelétrica de Itaipu Binacional (UHI), a empresa vem realizando pesquisas sobre materiais de reparo para manutenção das estruturas de concreto de sua barragem. Para contribuir com essas pesquisas, em etapa anterior deste trabalho de pesquisa, juntamente com o Laboratório de Tecnologia do Concreto de Itaipu Binacional, foi realizado um estudo comparativo, a nível de laboratório, para avaliar o desempenho mecânico de argamassas cimentícias e epoxídicas em função da composição para verificar qual a mais eficiente para reparos.

Na referida etapa, foram selecionados dois traços de argamassa: cimentícia (TC - 1kg de cimento : 3kg de areia : 10g de superplasticante Adiment Premium, fator água/cimento = 0,4) e epoxídica (TE - 1kg de resina : 6kg de areia), considerando como parâmetro de seleção a resistência à ruptura por compressão axial simples, ensaio conforme NBR-5739, sendo selecionadas as argamassas que apresentaram resistência mecânica semelhante a do concreto utilizado no vertedor da barragem da UHI, ou seja, 35MPa.

Na presente etapa da pesquisa, corpos de prova dos traços TC e TE foram moldados para serem imersos em meios microbiológicos: água deionizada estéril, solução concentrada de bactérias heterotróficas e solução concentrada de fungos filamentosos. Após 60 dias de ataque microbiológico, realizou-se o ensaio de ruptura por compressão axial dos corpos de prova para analisar a possível diminuição de resistência de ambas as argamassas devido aos ataques. Os corpos de prova foram pesados antes e após os ataques para avaliar a perda de massa. Periodicamente realizaram-se a quantificação e qualificação de bactérias heterotróficas e fungos filamentosos presentes nas soluções concentradas e na água deionizada estéril. Aos 60 dias de ataque, também foi feita a análise dos produtos fixados ao substrato das argamassas para caracterização e quantificação dos mesmos. Com os resultados obtidos nesse trabalho, os autores esperam contribuir com o setor de manutenção da barragem da UHI, fornecendo dados relevantes quanto a características de possíveis argamassas reparadoras, auxiliando desta forma na tomada de decisão quanto à aplicação de uma argamassa mais adequada para os reparos dos problemas de fissuração presentes no vertedor.

2. Objetivos

- Avaliar o comportamento deteriorativo das argamassas cimentícia e epoxídica (selecionadas em etapa anterior da pesquisa) quando imersas em soluções concentradas de microrganismos, considerando como parâmetro de avaliação a diminuição da resistência mecânica e a perda de massa.
- Fornecer parâmetros relativos a argamassas reparadoras que permitam contribuir com as ações de manutenção em empresas do setor elétrico.

3. Materiais e métodos

3.1. Preparo dos corpos de prova das argamassas

Selecionadas as duas argamassas em etapa anterior do trabalho de pesquisa (TE - argamassa epoxídica: 1kg de resina : 6kg de areia e TC - argamassa cimentícia: 1kg de cimento : 3kg de areia : 10g de superplasticante Adiment Premium, fator água/cimento = 0,4), foram moldados 9 corpos de prova de cada composição segundo a NBR-5738, totalizando em 18 corpos de prova. Os corpos de prova de argamassa cimentícia foram deixados em cura em câmara úmida por um período de 30 dias e os corpos de prova de argamassa epoxídica permaneceram reservados pelo mesmo período.

3.2. Análise inicial da água coletada e preparo das soluções de microrganismos

Primeiramente, foram coletados 20 litros de água do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Itaipu Binacional e realizada análise microbiológica da mesma. A partir da água coletada, isolaram-se as bactérias heterotróficas em meio de cultura ACP (Agar Plate

Count) para a quantificação e posteriormente estas foram qualificadas através da replicagem nos meios de cultura: Manitol, Pseudomonas, MacConkey e Ágar Salmonella-Shigella. Os fungos filamentosos foram isolados em meio de cultura Sabouraud para quantificação e qualificação. Após a análise inicial da água coletada, realizou-se a concentração de bactérias heterotróficas e de fungos filamentosos presentes na amostra inicial em meio de cultura caldo BHI (Brain Heart Infusion Broth). Na preparação das soluções concentradas de microrganismos, misturou-se na proporção de 200ml de BHI concentrado de fungos/bactérias para 1 litro de água coletada do reservatório. Assim, obteve-se um total de 12 litros de solução concentrada de bactérias heterotróficas e 12 litros de solução concentrada de fungos filamentosos.

3.3. Imersão dos corpos de prova das argamassas nas soluções concentradas

Com as soluções de microrganismos concentradas, preparadas para simular um ataque microbiológico de um longo período de ação, colocou-se sob imersão 3 corpos de prova de cada argamassa (TC e TE) por um período de 60 dias nas soluções preparadas, como pode ser observado na Figura 1. Para possibilitar a verificação do grau de agressividade do ataque microbiológico das soluções concentradas, 3 corpos de prova de cada argamassa foram mergulhados em água deionizada estéril (ou branco) por um período de 60 dias para servirem de parâmetro de comparação.



Figura 1. Corpos de prova de argamassa epoxídica imersos em solução concentrada de fungos filamentosos.

3.4. Análises quantitativa e qualitativa dos microrganismos

Periodicamente, ou seja, aos 0, 20, 40 e 60 dias, foi realizado o controle de bactérias heterotróficas e fungos filamentosos. Nas soluções concentradas de bactérias heterotróficas, para ambas as argamassas, foi realizada a quantificação pelo método Pour Plate em meio de cultura ACP e a qualificação através da replicagem nos meios de cultura: Manitol, Pseudomonas, MacConkey e Ágar Salmonella-Shigella. Nas soluções concentradas de fungos filamentosos, para ambas as argamassas, foi realizada a quantificação e a qualificação pelo método Spead Plate em meio de cultura Sabouraud. Na água deionizada estéril, para ambas as argamassas, foi realizada a quantificação e a qualificação de bactérias heterotróficas e fungos filamentosos para comparativo com as análises realizadas nas soluções agressivas concentradas.

3.5. Análise do biofilme formado sobre os corpos de prova

Aos 60 dias, procedeu-se também a análise do biofilme formado sobre os corpos de prova imersos nas soluções concentradas de bactérias heterotróficas e de fungos filamentosos e na água deionizada estéril. Coletou-se uma amostra dos produtos fixados nos corpos de prova e foram efetuadas as seguintes análises: qualificação e quantificação de bactérias aeróbicas, qualificação e quantificação de bactérias anaeróbicas, pH, qualificação e quantificação de fungos filamentosos, quantificação de bactérias que eliminam ácidos e de bactérias que eliminam H_2S .

3.6. Análise da perda de massa e determinação da resistência mecânica dos corpos de prova atacados

Para avaliar a perda de massa das argamassas selecionadas e determinar qual das argamassas sofreu menor deterioração microbiológica, os 6 corpos de prova submetidos a solução concentrada de bactérias heterotróficas e os 6 corpos de prova submetidos a solução concentrada de fungos filamentosos foram pesados em balança de precisão de 0,1g antes e após o período de ataque.

A verificação da possível diminuição da resistência mecânica das argamassas após o período de ataque microbiológico foi realizada através do ensaio de ruptura por compressão axial, conforme a NBR-5739 (Figura 2). Foram rompidos os corpos de prova que ficaram imersos nas soluções concentradas e os corpos de prova que ficaram mergulhados em água deionizada estéril, para efetuar a comparação dos valores de resistência destes e dos corpos de prova que foram atacados pelas soluções de microrganismos.

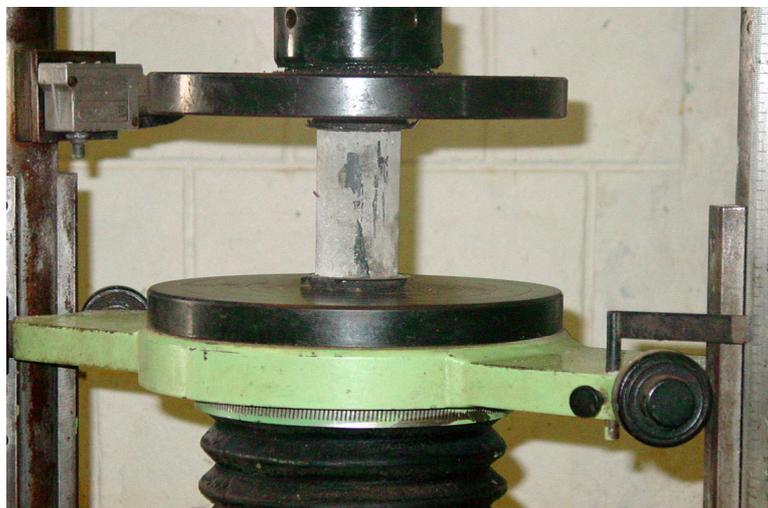


Figura 2. Ensaio à ruptura por compressão axial.

4. Apresentação e análise dos resultados experimentais

4.1. Análise microbiológica da água coletada do Reservatório da UHI

A análise microbiológica da água coletada do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Itaipu Binacional apresentou os seguintes resultados:

- Bactérias heterotróficas: concentração média igual a $4,26 \times 10^3$ UFC/mL⁽¹⁾.
Microorganismos presentes: *Enterobacter* sp., *Escherichia coli*, *Staphylococcus* sp. e *Klebsiella* sp.
- Fungos filamentosos: concentração média igual a $5,07 \times 10^2$ UFC/mL.
Microorganismos presentes: Leveduras, *Mucor* sp. e *Rhodotorula* sp.

4.2. Análises qualitativa e quantitativa dos microrganismos

Aos 0, 20, 40 e 60 dias, foi realizado o controle de bactérias heterotróficas e fungos filamentosos nas respectivas soluções concentradas e na água estéril para ambas às argamassas. Na Tabela 1 é apresentada a relação dos microrganismos encontrados nas soluções agressivas à argamassa cimentícia.

Tabela 1. Qualificação microbiológica das soluções agressivas à argamassa cimentícia aos 0, 20, 40 e 60 dias de ataque.

Microrganismos		Solução concentrada de bactérias heterotróficas				Solução concentrada de fungos filamentosos				Água deionizada estéril			
		0	20	40	60	0	20	40	60	0	20	40	60
Bactérias	<i>Escherichia coli</i>	X								X			
	<i>Enterobacter</i> sp.	X	X	X	X					X			
	<i>Citrobacter</i> sp.		X										
	<i>Edwardsiella</i> sp.		X										
	<i>Staphylococcus</i> sp.		X		X								
	<i>Proteus vulgaris</i>		X										
	<i>Proteus mirabilis</i>	X	X	X	X								
	<i>Salmonella</i> sp.		X										
	<i>Bacillus</i> sp.		X	X	X								
Fungos	Leveduras					X	X	X	X			X	X
	<i>Mucor</i> sp.					X			X	X	X		X
	<i>Aspergillus</i> sp.					X		X					X
	<i>Rhodotorula</i> sp.						X			X	X		

Na Tabela 2 é apresentada a relação dos microrganismos encontrados nas soluções agressivas à argamassa epoxídica.

Como pode ser observado nas Tabelas 1 e 2, para ambas as argamassas, foi constatada a presença de *Enterobacter* sp. e de Leveduras nas soluções concentradas de bactérias heterotróficas e de fungos filamentosos, respectivamente, para todas as análises. Para a argamassa cimentícia, verificou-se a presença constante da bactéria *Proteus mirabilis* e, para a argamassa epoxídica, a persistência de *Bacillus* sp. A ocorrência de bactérias e fungos verificada na água deionizada estéril é decorrente da presença destes microrganismos nos corpos de prova das argamassas imersos.

(1) Unidade Formadora de Colônia por mililitro.

Tabela 2. Qualificação microbiológica das soluções agressivas à argamassa epoxídica aos 0, 20, 40 e 60 dias de ataque.

Microrganismos		Solução concentrada de bactérias heterotróficas				Solução concentrada de fungos filamentosos				Água deionizada estéril			
		0	20	40	60	0	20	40	60	0	20	40	60
Bactérias	<i>Escherichia coli</i>	X	X										
	<i>Enterobacter</i> sp.	X	X	X	X					X			X
	<i>Citrobacter</i> sp.												
	<i>Edwardsiella</i> sp.		X										
	<i>Staphylococcus</i> sp.	X	X		X					X			
	<i>Proteus vulgaris</i>	X			X								
	<i>Proteus mirabilis</i>		X	X							X	X	X
	<i>Salmonella</i> sp.			X	X								
	<i>Bacillus</i> sp.	X	X	X	X							X	
	<i>Klebsiella</i> sp.		X									X	
Fungos	Leveduras					X	X	X	X		X	X	
	<i>Mucor</i> sp.					X		X				X	
	<i>Aspergillus</i> sp.					X				X	X	X	
	<i>Rhodotorula</i> sp.						X				X	X	X

Na Figura 3 é apresentado um gráfico com a quantificação dos microrganismos realizada periodicamente, aos 0, 20, 40 e 60 dias de ataque microbiológico para ambas as argamassas.

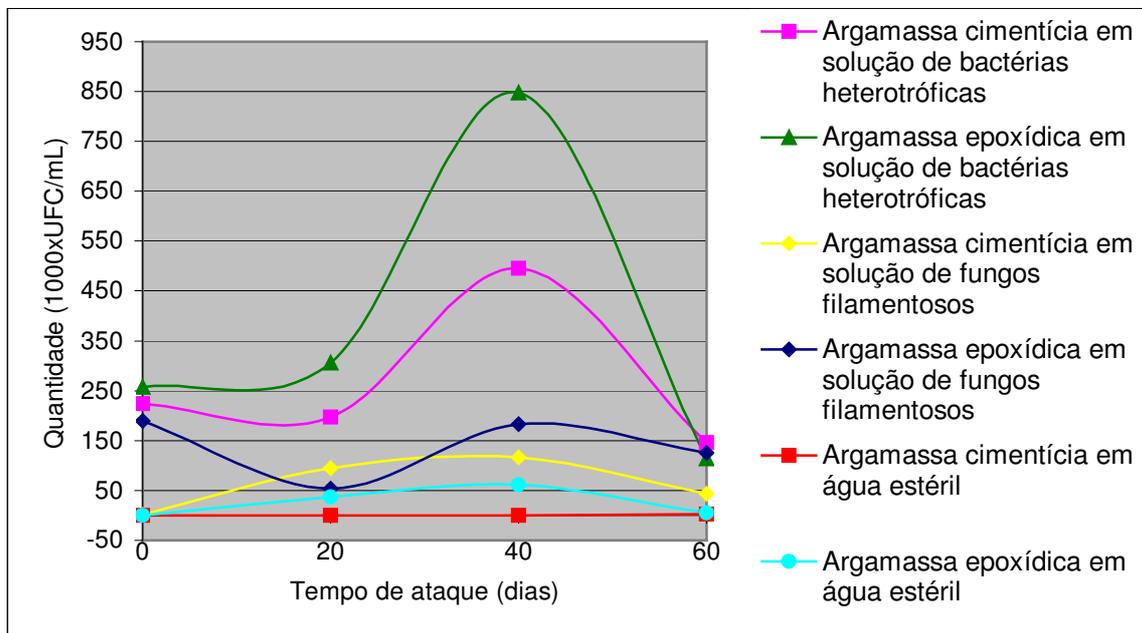


Figura 3. Quantificação microbiológica.

Pela análise do gráfico da Figura 3, pode-se notar que ocorreu uma maior incidência de microrganismos para a argamassa epoxídica do que para a argamassa cimentícia tanto nas duas soluções concentradas quanto na água deionizada estéril na maioria das análises. O decréscimo generalizado nas quantificações de bactérias e fungos aos 40 dias de ataque deve-se à mortalidade natural destes microrganismos

devido ao seu tempo de vida, uma vez que não houve renovação de alimento para os mesmos.

4.3. Análise do biofilme formado sobre os corpos de prova

Na tabela 3 são apresentados os parâmetros mensurados relativos ao biofilme formado sobre os corpos de prova das argamassas cimentícia (TC) e epoxídica (TE) imersas em solução concentrada de bactérias heterotróficas, de fungos filamentosos e água deionizada estéril.

Tabela 3. Análise do biofilme dos corpos de prova atacados.

Parâmetros	Solução concentrada de bactérias heterotróficas		Solução concentrada de fungos filamentosos		Água deionizada estéril	
	TC	TE	TC	TE	TC	TE
Bactérias aeróbicas:						
<i>Escherichia coli</i>	X	X		X	X	X
<i>Enterobacter</i> sp.	X	X	X	X	X	X
<i>Citrobacter</i> sp.			X	X		
<i>Edwardsiella</i> sp.	X		X	X		
<i>Staphylococcus</i> sp.	X	X	X	X	X	
<i>Proteus mirabilis</i>	X	X	X	X		X
<i>Salmonella</i> sp.	X		X			
<i>Bacillus</i> sp.	X	X	X	X	X	X
Quantificação de bactérias aeróbicas	2,1x10 ⁷ UFC/g ⁽²⁾	7,8x10 ⁷ UFC/g	5,3x10 ⁷ UFC/g	9,8x10 ⁷ UFC/g	2,8x10 ⁵ UFC/g	8,2x10 ⁵ UFC/g
Bactérias anaeróbicas:						
<i>Bacillus</i> sp.	X	X	X	X	X	X
Quantificação de bactérias anaeróbicas	3,0x10 ⁸ UFC/g	9,6x10 ⁷ UFC/g	1,3x10 ⁸ UFC/g	2,6x10 ⁷ UFC/g	2,3x10 ⁸ UFC/g	1,6x10 ⁸ UFC/g
Fungos filamentosos:						
Leveduras	X	X	X	X	X	X
<i>Penicilium</i> sp.					X	
Quantificação de fungos filamentosos	3,9x10 ⁶ UFC/g	3,1x10 ⁶ UFC/g	4,0x10 ⁶ UFC/g	9,3x10 ⁵ UFC/g	1,5x10 ⁵ UFC/g	5,2x10 ⁶ UFC/g
Quantificação de bactérias que eliminam ácidos	4,7x10 ⁷ UFC/g	2,4x10 ⁷ UFC/g	2,1x10 ⁷ UFC/g	4,2x10 ⁷ UFC/g	-	5,1x10 ⁷ UFC/g
Quantificação de bactérias que eliminam H₂S	1,1x10 ³ UFC/g	5,6x10 ⁴ UFC/g	1,2x10 ⁴ UFC/g	-	-	-
pH	8	8	8	8	9	8

Como pode ser observado na Tabela 3, para ambas as argamassas, foi constatada a presença de *Enterobacter* sp., *Bacillus* sp. e de Leveduras nas soluções concentradas e na água deionizada estéril. É difícil a identificação de uma tendência na análise

(2) Unidade Formadora de Colônia por grama.

quantitativa, uma vez que a formação do biofilme decorre de uma ação simultânea de vários tipos de microrganismos (bactérias e fungos), não sendo assim possível determinar limites para o aumento e a diminuição das quantidades dos microrganismos envolvidos.

4.4. Análise da perda de massa e determinação da resistência mecânica dos corpos de prova atacados

Na Tabela 4, são apresentados os valores percentuais da perda de massa dos corpos de prova das argamassas após um período de 60 dias de ataque em soluções concentradas de bactérias heterotróficas e de fungos filamentosos.

Tabela 4. Perda de massas das argamassas sob ataque microbiológico.

Argamassa	Perda de massa (%)	
	Solução concentrada de bactérias heterotróficas	Solução concentrada de fungos filamentosos
Cimentícia (TC)	0,1005%	0,1065%
Epoxídica (TE)	0,0465%	0,0260 %

Pela análise dos dados da tabela 4, verificou-se que a argamassa epoxídica mostrou-se mais resistente ao ataque que a argamassa cimentícia para as duas soluções concentradas.

Na Tabela 5, são apresentados os valores de resistência mecânica dos corpos de prova das argamassas aos 90 dias de idade, dos quais 60 dias são de ataque microbiológico em soluções concentradas de bactérias heterotróficas, de fungos filamentosos e água deionizada estéril.

Tabela 5. Resistência dos corpos de prova sob ataque microbiológico.

Argamassa	Resistência mecânica dos corpos de prova (MPa)		
	Água deionizada estéril	Solução concentrada de bactérias heterotróficas	Solução concentrada de fungos filamentosos
Cimentícia (TC)	56,96	55,86	56,22
Epoxídica (TE)	45,33	44,87	43,79

Pela análise dos dados da Tabela 5, observou-se que os corpos de prova das argamassas quando atacados pelas soluções concentradas apresentaram uma diminuição de resistência pequena, em torno de 1%, exceto a argamassa epoxídica em solução concentrada de fungos filamentosos que apresentou diminuição de resistência de aproximadamente 3,4%.

5. Considerações finais

- Para as soluções concentradas de bactérias heterotróficas e de fungos filamentosos, a argamassa epoxídica mostrou-se mais resistente ao ataque microbiológico que a argamassa cimentícia, considerando a perda de massa.
- Para ambas as soluções concentradas, verificou-se que os corpos de prova das argamassas apresentaram uma pequena diminuição de resistência mecânica, exceto a argamassa epoxídica em solução concentrada de fungos filamentosos.
- O fenômeno da corrosão microbiológica ou biodeterioração é de difícil interpretação, pois esta deve ser feita por uma análise generalista, considerando e

correlacionando diversos parâmetros físicos e microbiológicos, o que possibilita estudos avançados quanto à questão.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório Ambiental e Laboratório de Tecnologia do Concreto de Itaipu Binacional pelo auxílio técnico e ao PDTA - PTI (Programa de Desenvolvimento de Tecnologia Avançado - Parque Tecnológico de Itaipu) pela concessão da bolsa de Iniciação Científica.

7. Referências bibliográficas

- Villalba, P. E., Portella, K. F., Braga, J. A., Salles, A. (2002). Estudo de argamassas para reparos de estruturas de concreto sujeitas à abrasão, em locais com umidade elevada. In: *Revista IBRACON*, p. 53-66. IBRACON.
- Kormann, A. C. M., Pereira, P. N., Portella, K. F., Nogueira, J. R. G., Santos, R. P. dos. (2003) “Metodologias de reparos em estruturas hidráulicas de barragens: parte 1, estudos preliminares”, In: 43º Congresso Brasileiro de Concreto, Foz do Iguaçu, IBRACON.
- Abreu, A. de, Lucas, J. F. R., Fabro, G., Mora, N. D. (2006), “Influência da composição na resistência mecânica da argamassa epoxídica”, In: XXI Congresso de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia, Ijuí, Unijuí.
- Videla, H. A. (2003), Biocorrosão, biofouling e biodeterioração de materiais, E. Blücher.
- Shirakawa, M., John, V., Cincotto M. A., Gambale, W. (1998). A biodeterioração de materiais de construção civil. In: *Revista téchne*, p. 36-39. PINI.
- Shirakawa, M. A., John, V., Cincatto, M. A., Helene, P., Palermo, G., Gambale, W. (1997), “Biodeterioração do concreto de estruturas subterrâneas”, In: III Seminário Internacional Durabilidade de Materiais, Componentes e Estruturas, São Paulo, Escola Politécnica da USP.
- Shirakawa, M. A., Cincatto, M. A., Rzycki, B. M. (1997). Biodeterioração do concreto: um estudo multidisciplinar. In: *Revista IBRACON*, p. 16-22. IBRACON.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1996), NBR-5739: concreto: ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos, ABNT.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1994), NBR-5738: moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto, ABNT.