



ANAIS DO 15º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE IMPERMEABILIZAÇÃO

4 e 5 de junho de 2018 - São Paulo / SP

ESTUDO COMPARATIVO DE RESISTÊNCIA QUÍMICA ENTRE IMPERMEABILIZANTES

TOFANETTO, Cirene Paulussi

Arquiteta e Urbanista
Viapol Ltda
São Paulo/SP
cirene@viapol.com.br

CRISTOFALO, Clara Aparecida Cabral

Tecnóloga em Edificações
Profissional Liberal
Farmington Hills-Michigan/EUA
claraccristofalo@gmail.com

MAKISHI, Suzete Hatsumi

Engenheira Civil
Profissional Liberal
São Paulo/SP
suzete_5@hotmail.com

MEIER, Tiago Fernandes

Engenheiro Civil
Viapol Ltda.
São Paulo/SP
tiago.meier@viapol.com.br

RESUMO

A proteção de estruturas de Estações de Tratamento de Esgoto (E.T.Es) vem sendo alvo de muitos estudos quanto a desempenho e vida útil, pois o tratamento dos efluentes residenciais está diretamente relacionado à preservação do meio ambiente e à saúde da população. Falhas ou interrupções no sistema de tratamento podem prejudicar o ecossistema trazendo malefícios à região afetada e, portanto, é desejável a minimização de paralisações para manutenção destas estruturas. Para tanto, tornam-se interessantes estudos mais aprofundados a fim de determinar quais são os sistemas de proteção mais eficientes. Desta maneira, visando comparar o desempenho de diferentes produtos, foram estudadas 03 películas (Resina

Epoxídica, Poliuréia Híbrido de poliuretano/poliuréia e Poliuretano vegetal) quanto à resistência química em soluções de ácido sulfúrico (H_2SO_4), com concentrações de 0,024%, 5%, 20% e 50% e com valores de pH que variaram de -1,0 a 3,0. O programa experimental constituiu-se por moldagem das películas e ensaio baseado na norma ASTM-G20-10 – Standard Test Method for Chemical Resistance of Pipeline Coatings. Nos períodos de 30, 60 e 90 dias foram analisados os comportamentos qualitativo e quantitativo das películas em seus meios submerso e atmosférico e notou-se que a película à base de Poliuretano vegetal apresentou menores alterações em suas características se comparada aos outros dois produtos.

Palavras chave: ácido sulfúrico, ácidos, efluentes, E.T.E, revestimentos protetores, RALF, H_2SO_4 , pH, epóxi, poliuréia e poliuretano.

INTRODUÇÃO

A temática principal deste trabalho é fornecer dados comparativos a respeito da resistência de diferentes películas de proteção – resina epoxídica, poliuréia híbrido de poliuretano/poliuréia e poliuretano vegetal – submetidas a diferentes concentrações de ácido sulfúrico (H_2SO_4) e pHs, a fim de subsidiar futuras especificações técnicas, sendo que para a seleção dos produtos estudados utilizou-se como critério a isenção de solventes em suas composições.

A proteção de estruturas de concreto frente a qualquer ataque químico, sempre deve ser alvo de estudo cuidadoso para definição de um sistema de proteção. No entanto, chama-se a atenção para as agressões de soluções ácidas ao concreto e destaca-se a agressão do ácido sulfúrico produzido por bactérias – chamada corrosão bacteriana – devido ao seu alto poder destrutivo. Tal fato é justificado pela afirmação de Ribeiro et al. (2013), em que diz que a presença de bactérias aeróbias que causam a corrosão bacteriana – as bactérias do gênero *Thiobacillus* – em solos e águas poluídas é uma das responsáveis pela rápida degradação do concreto. Ainda, dentre as formas de bioterioração, a produção de ácido sulfúrico (H_2SO_4) por estas bactérias é considerada a causa mais agressiva para biodeterioração do concreto (KULISCH, 2011).

Outra afirmação é a de Ferreira et.al (2013) que adverte que “o efeito do ácido sulfúrico no concreto é mais prejudicial do que o ataque por outros íons sulfato, devido ao efeito de dissolução causada pelos íons de hidrogênio”.

Este mecanismo de degradação é característico em Estações de Tratamento de Esgoto (E.T.Es) ou em tubulações de efluentes industriais e funciona abaixando o pH do meio e reagindo aos carbonatos existentes. Sendo o concreto um material constituído de Cimento Portland, o mesmo possui elevado pH e não possui resistência a ambientes ácidos.

Tal ataque provoca perda de massa, aumento da porosidade e fissuração por expansão e a progressão da degradação se dá cada vez mais rapidamente, visto que quanto mais poroso o concreto, maior a facilidade de penetração de agentes agressivos. Consequentemente, as armaduras são atingidas, iniciando-se sua deterioração pela redução do pH e consequente despassivação, até a sua exposição.

Ferreira e Almeida (s. d.) destacam que a velocidade desta degradação depende da facilidade de acesso de íons deletérios, a qual está relacionada com a permeabilidade do concreto. Este fato justifica a importância da utilização de películas de proteção, as quais são barreiras que impedem o contato físico e químico entre o concreto e os elementos agressivos.

1. PROBLEMA DE PESQUISA

Entre as películas de proteção orgânicas base água selecionadas - Resina Epoxídica, Poliuréia Híbrido de poliuretano/poliuréia e Poliuretano Vegetal - qual apresenta maior resistência química frente ao ataque de ácido sulfúrico (H_2SO_4) em determinadas concentrações, conseqüentemente com diferentes níveis de pHs?

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Propõe-se neste estudo comparativo verificar quantitativamente e qualitativamente as condições de 03 tipos de películas de produtos variados, submetidas a 04 concentrações e pHs, simulando um ensaio acelerado, nos períodos de 30, 60 e 90 dias. Para tanto, proceder-se-á com as seguintes etapas:

- Revisão bibliográfica das normas aplicáveis, bem como artigos científicos, dissertações, teses, monografias e livros editados sobre o assunto;
- Realização de ensaios laboratoriais conforme Norma ASTM-G20-10 – Standard Test Method for Chemical Resistance of Pipeline Coatings (imersão e atmosférica);
- Análise dos resultados obtidos.

3. MEIOS AGRESSIVOS E AGENTES AGRESSORES

Segundo Ribeiro et. al (2013) soluções de ácido sulfúrico podem ser encontrados em tubulações de efluentes de indústrias químicas, bem como em estruturas em contato com águas residuais, como redes de esgoto e estruturas de instalações para tratamento de água e esgoto (E.T.As ou E.T.Es).

O processo de tratamento de esgoto varia de acordo com o grau de tratamento exigido. Atualmente o processo mais utilizado para tratamento de esgoto doméstico é chamado de Sistema Biológico, na qual a decomposição se dá pela ação das bactérias anaeróbicas gerando gases como o sulfídrico, metano, nitrogênio, amoníaco e outros geralmente gases malcheirosos. Um processo muito utilizado é o Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado (RALF), pois é um sistema de tratamento de esgoto com baixo custo de implantação e manutenção. O RALF separa o biogás, esgoto e lodo devendo ter uma boa capacidade de sedimentação, desenvolvendo um lodo granular.

As partes inferiores do reator contêm um manto de lodo previamente formado e rico em bactérias anaeróbias, onde o esgoto é misturado em fluxo ascendente com o lodo. Assim, a matéria orgânica contida no esgoto fica retida neste manto de lodo, o qual é degradado e estabilizado por meio da atividade metabólica das bactérias, transformando a matéria orgânica em produtos estáveis como água, biogás e outros elementos inertes. Na parte superior do reator existe uma parede defletora servindo de interface da zona de digestão e de decantação. Os gases formados se concentram na parte superior interna do reator de que através de um tubo são descartados ou reaproveitados para fins energéticos. Este processo é muito agressivo a estrutura do RALF, sendo necessário um sistema de proteção eficaz para a estrutura. A formação de ácido sulfúrico (H_2SO_4) na zona aérea de reatores, reage com o carbonato de cálcio presente no concreto, originando o estufamento e desagregação da estrutura. Quanto ao fenômeno de expansão, Ribeiro et.al (2014) diz que “o ácido sulfúrico reage com o hidróxido de cálcio livre ou com o aluminato tricálcico, ambos presentes no concreto, produzindo cristais de sulfoaluminato de cálcio, que se expandem provocando primeiro a fissuração e depois a desagregação do concreto, expondo a armadura ao meio exterior.”

4. REVESTIMENTOS IMPERMEABILIZANTES PROTETORES

Uma película de proteção constitui-se de material que se interpõe entre o substrato e o meio, formando uma barreira protetora contra líquidos e gases. As películas estudadas são compostas por materiais orgânicos e todas possuem características de base água.

4.1 Resina Epoxídica

Com o desenvolvimento de endurecedores (ou agentes de cura) a resina epóxi atingiu propriedades diferentes, como resistência química, física e mecânica. Com estas alterações a resina epóxi foi introduzida para uso na indústria. Os epóxios são polímeros que após o endurecimento não podem ser transformados, isto é, após se solidificar formam um corpo sólido e estável que não poderá voltar a amolecer (MATEUS, 2009). O epóxi possui alta resistência mecânica como tração, flexão, compressão, resistência ao choque, resistência ao desgaste e durabilidade. As formulações em epóxi são excelentes em relação à resistência ao ataque químico e, em geral, quanto maior for a resistência à compressão, maior será a resistência ao ataque químico.

4.2 Resina à base de Poliuréia híbrido de poliuretano/poliuréia

De acordo com Silva (2012) a poliuréia foi introduzida no mercado nos EUA em 1987 e, devido a suas elevadas propriedades químicas, físicas e alta resistência e durabilidade, é muito utilizada no mercado na indústria da construção em pisos, recobrimentos, etc. A poliuréia é basicamente composta por duas partes: o Isocianato (-NCO) e a amina (-NH₂ ou -NH), conforme estrutura apresentada na

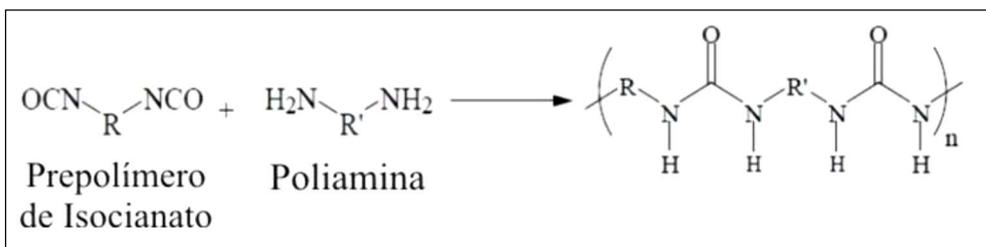


Figura 1.

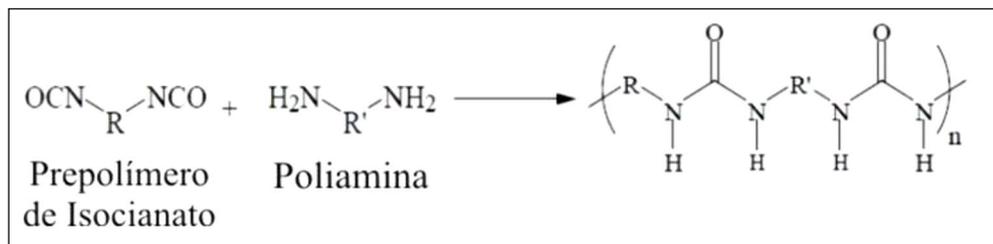


Figura 1 - Composição da Poliuréia. (Fonte: Silva, 2012)

Quando do tipo aromática, a poliuréia tende a amarelar quando exposta aos raios UV, necessitando de revestimento se o fator estético for relevante. Já a poliuréia alifática é estável aos raios UV e, por isto, possui um custo mais elevado. De acordo com Ambar (s.d.) a membrana formada após a aplicação possui elevado alongamento e elevadas resistências mecânicas e químicas, que tornam tal material uma solução ótima para áreas de difícil acesso e de necessidades diferenciadas. Ainda, possui excelente aderência à maioria dos materiais utilizados na construção civil.

A aplicação é realizada por meio de máquina de spray de alta pressão (do tipo airless) com controle de temperatura, em movimentos constantes, atingindo-se espessuras finas e precisas. Destaca-se que é necessária mão de obra especializada para a sua aplicação.

4.3 Resina à base de Poliuretano Vegetal

O poliuretano (PU) utilizado na indústria foi desenvolvido por Otto Bayer e colaboradores em 1937. Este material é muito utilizado para a fabricação de espumas rígidas e flexíveis, adesivos, tintas, etc. As resinas à base de PU são utilizadas em diversos segmentos industriais devido a sua grande variação de densidade e versatilidade de aplicação (SILVA, 2003). A polimerização dos poliuretanos ocorre quando um composto com dois ou mais isocianatos em sua estrutura reage com um poliol (SILVA, 2003), conforme reação apresentada na Figura 2.

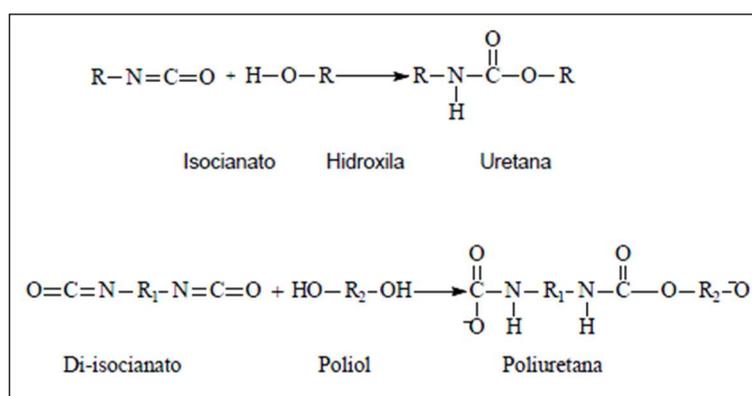


Figura 2 - Polimerização dos Poliuretanos – (Fonte: Silva, 2003)

As resinas de poliuretano podem ser derivadas do petróleo e de óleos vegetais, podendo ser mono componentes ou bi componentes. Silva (2003) cita que a resina de poliuretano apresenta-se na forma bi componente constando de um poliol e um pré-polímero, possui baixo peso específico, baixo coeficiente de condutividade térmica e alta resistência mecânica, oferecendo facilidade de montagem e processamento.

5. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Os ensaios foram baseados na Norma ASTM-G20-10 – Standard Test Method for Chemical Resistance of Pipeline Coatings.

Após sete dias da moldagem das amostras, conforme determina o manual do fabricante, cortaram-se as películas nas dimensões 9 cm (comprimento) x 6 cm (largura), com total de 13 películas de cada material. Conforme demonstrado na Tabela 1, uma amostra de cada produto foi mantida íntegra para referência de comparação.

Soluções	pH	Avaliação	Quantidade de películas		
			EPÓXI	POLIURETANO	POLIURÉIA
0,024%	3,0	30 dias	1	1	1
		60 dias	1	1	1
		90 dias	1	1	1
5%	0,6	30 dias	1	1	1
		60 dias	1	1	1
		90 dias	1	1	1
20%	0	30 dias	1	1	1
		60 dias	1	1	1
		90 dias	1	1	1
50%	-1,0	30 dias	1	1	1
		60 dias	1	1	1
		90 dias	1	1	1
Referência	-	-	1	1	1
TOTAL	-	-	13	13	13

Tabela 1 – Esquema de leituras e quantidade de películas moldadas

Os recipientes de ensaio foram selecionados de maneira a atender as especificações da norma de referência, a qual diz que deve-se utilizar um recipiente de ensaio tubular, com tampa, com comprimento máximo de 14 cm e diâmetro mínimo de 6,5 cm. Ainda, atenderam-se as solicitações de boa lacração do recipiente e que o mesmo possuísse altura suficiente para fornecer uma exposição adequada para ambos os estados: imersão (líquidos) e de vapores de gases (atmosfera) dos reagentes. A Figura 3 apresenta o recipiente padrão especificado pela Norma ASTM-G20-10, o qual foi adotado neste trabalho.

Submeteram-se as películas ao agente químico por imersão e aos vapores do gás à temperatura ambiente por 30, 60 e 90 dias, tendo sido avaliadas quanto às alterações nas suas características físico-químicas.

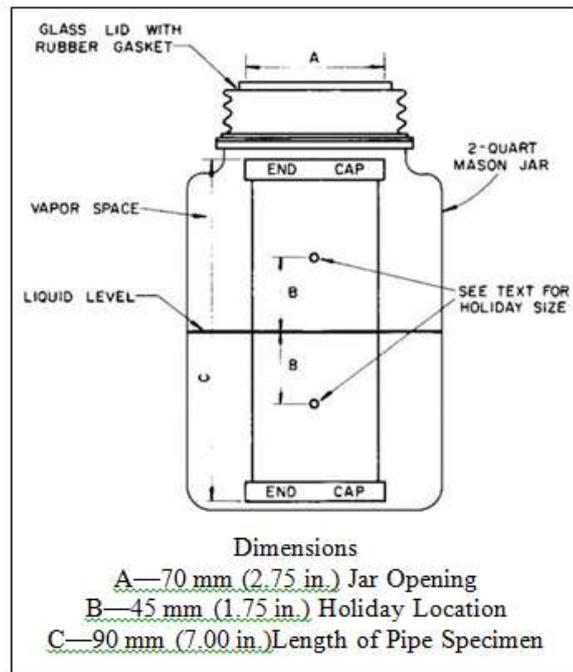


Figura 3 - Recipiente para imersão das películas segundo a norma ASTM-G20-10

A Tabela 2 apresenta as soluções de imersão utilizados para o programa experimental de acordo com suas concentrações de ácido sulfúrico (H_2SO_4) e os respectivos valores de pH.

CONCENTRAÇÃO DE ÁCIDO SULFÚRICO	pH
50%	-1,0
20%	0
5%	0,6
0,024%	3,0

Tabela 2 – Características das soluções de ácido sulfúrico (H_2SO_4) de imersão

O Gráfico 1 apresenta a solução de imersão apresentada na Tabela 2.

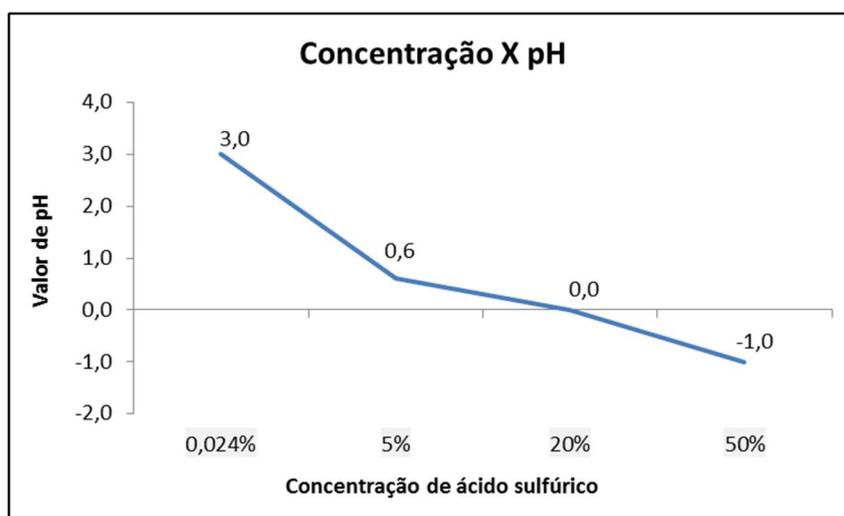


Gráfico 1 - Concentrações de ácido sulfúrico (H₂SO₄) x pH.

Quanto aos resultados “*qualitativos*” foram analisados os aspectos de enrijecimento, deformação, amolecimento, alteração de cor. Nos resultados “*quantitativos*” foram analisados perda de espessura, dureza Shore e variação de massa (perda e ganho).

Abaixo as respectivas tabelas apresentam os resultados quantitativos quanto à variação de perda e ganho de massa (%), espessura (%) e dureza Shore.

PERDA/GANHO DE MASSA (%)						
PRODUTOS	ENSAIOS		SOLUÇÕES (%)			
	Dias	Meio	0,0	5%	20%	50%
Resina Epoxídica	30	Atm	-1,2	2,06	3,02	7,26
		Sub	-1,2	2,06	3,02	7,26
	60	Atm	-1,5	0,83	2,05	7,57
		Sub	-1,5	0,83	2,05	7,57
	90	Atm	-2,2	1,09	4,04	9,93
		Sub	-2,2	1,09	4,04	9,93
Poliuréia Híbrido de poliuretano/poliuréia	30	Atm	2,1	-4,80	1,36	45,50
		Sub	2,1	-4,80	1,30	45,50
	60	Atm	2,3	1,85	1,88	36,13
		Sub	2,3	1,85	1,88	36,13
	90	Atm	2,4	1,78	1,65	40,47
		Sub	2,4	1,78	1,65	40,47
Poliuretano Vegetal	30	Atm	0,7	0,65	0,00	0,00
		Sub	0,7	0,65	0,00	0,00
	60	Atm	1,3	0,26	0,00	-5,84
		Sub	1,3	0,26	0,00	-5,84
	90	Atm	1,0	1,44	0,46	0,81
		Sub	1,0	1,44	0,46	0,81

atm = atmosfera / sub = submerso

Tabela 3 – Resultados perda/ganho de massa (%)

ESPESSURA (%)						
PRODUTOS	ENSAIOS		SOLUÇÕES (%)			
	Dias	Meio	0,0	5%	20%	50%
Resina Epoxidica	30	Atm	-6,8	-52,67	-41,33	-16,00
		Sub	20,0	-30,67	-32,00	33,33
	60	Atm	10,0	-36,00	-34,67	97,33
		Sub	10,0	-20,00	-49,33	21,33
	90	Atm	-2,0	-52,00	-12,00	-54,67
		Sub	11,0	-36,00	22,67	-48,00
Poliuréia Híbrido de poliuretano/poliuréia	30	Atm	7,7	-2,05	23,08	12,82
		Sub	2,6	-1,03	12,82	43,59
	60	Atm	0,0	7,69	7,69	51,79
		Sub	-5,1	2,56	2,56	49,23
	90	Atm	11,3	20,51	7,69	8,72
		Sub	13,9	4,62	1,54	43,59
Poliuretano Vegetal	30	Atm	-2,0	4,67	52,67	6,67
		Sub	5,3	-6,67	-4,00	-13,33
	60	Atm	16,7	22,67	8,67	14,67
		Sub	-8,3	40,00	25,33	16,00
	90	Atm	-4,0	0,00	46,67	10,00
		Sub	0,8	-20,00	43,33	-6,00

atm - atmosfera / sub - submerso

Tabela 4 – Variação de espessura (%)

DUREZA (%)						
PRODUTOS	ENSAIOS		SOLUÇÕES (%)			
	Dias	Meio	0,024%	5%	20%	50%
Resina Epoxídica	30	Atm	-12,62	3,47	5,78	-4,05
		Sub	-46,36	5,20	5,78	-4,05
	60	Atm	-12,62	-13,29	-16,76	-23,12
		Sub	-17,48	-20,81	-25,43	-24,28
	90	Atm	-7,77	-13,29	-24,86	-6,36
		Sub	-1,94	-10,40	-35,84	-4,62
Poliuréia Híbrido de poliuretano/poliuréia	30	Atm	-9,18	1,02	1,02	0,00
		Sub	0,71	1,02	1,02	-20,41
	60	Atm	-8,16	-0,51	-9,18	-3,06
		Sub	-13,27	-3,67	0,71	-18,37
	90	Atm	-1,02	-5,10	-3,06	-3,06
		Sub	-1,02	-2,04	-2,04	-23,47
Poliuretano Vegetal	30	Atm	-2,67	-1,11	-1,11	1,11
		Sub	-4,44	-1,11	-1,11	1,11
	60	Atm	0,00	-7,22	-3,33	-2,67
		Sub	33,33	-6,56	-5,56	-5,56
	90	Atm	-3,33	-3,33	-4,44	-3,33
		Sub	-3,33	-3,33	-4,44	-4,44

atm - atmosfera / sub - submerso

Tabela 5 – Variação de dureza (%)

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 Quanto aos aspectos quantitativos:

Nos períodos de 30, 60 e 90 dias, observou-se que de acordo com o aumento da concentração de ácido sulfúrico (H₂SO₄) e exposição direta (parte submersa e tempo de exposição), maiores as alterações nas características das películas analisadas.

As películas à base de Resina Epoxídica apresentaram maiores alterações nas suas características em todos os períodos e concentrações em relação às outras películas analisadas. Para as maiores concentrações e períodos as alterações das características foram mais relevantes

As películas à base de Poliuréia híbrido de poliuretano/poliuréia apresentaram em todas as concentrações maiores ganhos de massa, principalmente quando submetidas a maiores concentrações.

A variação de dureza foi muito ampla e as películas que apresentaram menor variação nas maiores concentrações foram as de base de Poliuretano Vegetal. Porém, qualquer alteração, tanto ganho quanto perda de dureza em relação a medição inicial, é prejudicial no desempenho das películas, afetando a proteção da estrutura.

6.2 Quanto aos aspectos qualitativos:

Nos períodos de 30, 60 e 90 dias, observou-se que de acordo com o aumento da concentração de ácido sulfúrico (H₂SO₄) e exposição direta (parte submersa e tempo de exposição), maiores as alterações nas características das películas analisadas.

As películas à base de Resina Epoxídica apresentaram em todas as concentrações, maiores alterações em suas características, tais como alterações de cor, visíveis deformações e aparente enrijecimento.

As películas à base de Poliuréia híbrido de poliuretano/poliuréia apresentaram alterações significativas tal como inchamento da parte submersa, no entanto, somente na condição de maior concentração (50%).

As películas à base de Poliuretano vegetal apresentaram apenas modificações de coloração na maior concentração (50%).

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AISSE, M. M; LEITE, B. Z; **Pós-Tratamento de efluentes de reatores tipo RALF em lagoas de estabilização.** ABES – Associação brasileira de engenharia sanitária e ambiental. 19º Congresso brasileiro de engenharia sanitária ambiental. Curitiba, s. d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS; **NBR 14050:1998 – Sistemas de revestimento de alto desempenho, à base de resinas epoxídicas e agregados minerais - Projeto, execução e avaliação do desempenho- Procedimento.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS; **NBR 15487:2007 – Membrana de poliuretano para impermeabilização**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS; **NBR 9800:1987 – Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário**

ASTM INTERNATIONAL; **Norma ASTM-G20-10 – Standard Test Method for Chemical Resistance of Pipeline Coatings.** 2012

FERREIRA, O. P; ALMEIDA, A. E. F. S; **Revestimentos poliméricos para proteção à corrosão bacteriológica do concreto.** São Carlos, s.d. Disponível em http://www.anapre.org.br/boletim_tecnico/imagens/boletim_ibracon.pdf (acessado em 09/08/2014)

FERREIRA, P.R.R; LIMA, M. S; MEIRA, G. R; **Estudo do comportamento de concretos em ambientes com a presença de ácido sulfúrico e cloretos,** João Pessoa, 2013.

KULISCH, D; **Ataque por sulfatos em estruturas de concreto.** Trabalho de conclusão de curso de pós graduação (lato sensu). São Paulo, 2012.

MARUMBO, J. T; **Difusão de cloretos e ataque por sulfatos e pasta de cimento Portland.** Dissertação de mestrado em ciência. São Paulo, 1997.

MATEUS, C.P.R; **Aplicação de resinas epóxi no tratamento de fissuras em rebocos exteriores.** Dissertação de mestrado em engenharia civil. Vila Real, Agosto/2009.

RIBEIRO, D. V. et al; **Corrosão em estruturas de concreto armado: Teoria, controle e métodos de análise.** Ed. Elsevier, Rio de Janeiro, 2014

SILVA, C.R.da; **Arquibancadas de estádios e centros esportivos.** Apresentação Amino. São Paulo, 2012.

SILVA, R.V.da; **Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais.** Tese de doutorado em engenharia de materiais. São Carlos, 2003.



Instituto de
Impermeabilização

<http://ibibrasil.org.br/>