
Copyright 2018, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2018, em São Paulo, no mês de maio de 2018.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Revestimento Epóxi Novolac de Alto Desempenho à Corrosão para Aplicação em Superfícies Ferrosas Preparadas por Meio de Ferramentas Mecânicas, nos Serviços de Manutenção Industrial

Eder Dirceu Dela Justina^a, Thiago Elias Bastos^b

Abstract

It is well known that surface treatment is a very relevant factor for effective success in an industrial maintenance process. In the vast majority of cases, the only surface treatment possible at the industrial maintenance is mechanical treatment. In this way, it is necessary to verify the efficiency of the coating system, subjecting them to corrosion tests, exposure to chemicals and pull-off adhesion. This paper is aimed to: a) verify the chemical and anticorrosive performance of a conventional epoxy mastic coating compared to a novolac epoxy; b) check the adhesion of the coatings on mechanical surface treatment.

We present the results of a study, in which chemical and anticorrosive resistance was evaluated by exposing the coating to chemical products such as acids, alkalis and solvents in addition to exposure to salt-spray test, water condensation, using as surface preparation the mechanical treatment standard St3 according standard ISO 8501-1.

Keywords: epoxy paint, novolac epoxy, surface treatment, corrosion resistance, salt-spray, chemical resistance, pull-off, coatings, surface tolerant.

Resumo

É sabido que o preparo de superfície é um fator muito relevante para o sucesso efetivo no processo de manutenção industrial. Na grande maioria dos casos, o único tratamento de superfície possível de se realizar na manutenção é o preparo de superfície realizado por meio de ferramentas mecânicas. Desta forma é preciso verificar a eficiência do esquema de pintura, submetendo-o a ensaios de corrosão, exposição a produtos químicos, aderência, dentre outros. O presente trabalho teve por objetivo: a) verificar o desempenho químico e anticorrosivo de um revestimento *mastic* convencional comparativamente a um epóxi novolac; b) verificar a adesão do revestimento sobre preparo de superfície realizado por meio de ferramentas mecânicas. Neste sentido, apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios realizados os quais permitiram avaliar a resistência química e anticorrosiva expondo o revestimento a produtos ácidos, alcalinos e solventes, além da exposição à névoa salina, sendo o preparo de superfície realizado por meio de ferramentas mecânicas ao padrão St3 (ISO 8501-1).

Palavras-chave: revestimento epóxi, epóxi novolac, preparo de superfície, resistência anticorrosiva, névoa salina, resistência química, aderência, tintas, tolerante a superfície.

^a Bacharel em Química – PAUMAR

^b Engenheiro de Materiais - PAUMAR

1. Introdução

A corrosão é o maior consumidor de aço no mundo. Cerca de 20% da produção mundial de ferro e aço é perdida com a corrosão. Um estudo da empresa norte-americana CCTechnologies (www.corrosioncost.com) avaliou que entre 1% e 5% do PIB dos países é consumido pela corrosão. No Brasil, o número é de 4%, o equivalente a R\$ 236 bilhões em 2015, conforme, com base neste estudo, aferiu a entidade International Zinc Association (IZA), com apoio da USP-SP (1)

Há várias maneiras de proteger o aço da corrosão. Uma delas é através da pintura, que consiste na criação de uma película de tinta, conhecida como revestimento, que atua de maneira semelhante a uma barreira entre o agente corrosivo e o material. A película de tinta impede que os agentes corrosivos entrem em contato com o metal, evitando a corrosão e preservando-o por muito mais tempo (2).

A aplicação de revestimentos anticorrosivos na proteção de estruturas metálicas, tubulações, tanques de armazenamentos, máquinas e equipamentos é amplamente recomendada em função de sua viabilidade técnica e econômica. As indústrias de um modo geral buscam optar cada vez mais por produtos que prolonguem a proteção anticorrosiva, minimizando assim as manutenções (3).

Contudo, a tinta resulta em uma película semipermeável o qual não impede totalmente a ação dos agentes corrosivos. Há necessidade da manutenção industrial para prolongar a vida útil do aço em questão.

Se tratando de manutenção industrial, há algumas opções de preparo de superfícies que são utilizados por apresentar viabilidade técnica além do fator econômico envolvido.

Este trabalho tem por objetivo avaliar as propriedades anticorrosivas de esquemas de pintura contendo tinta de fundo epóxi *mastic* convencional comparativamente com um esquema de pintura à base de epóxi novolac, cujos mecanismos de proteção estão baseados no de proteção por barreira, ambos aplicados sobre superfícies de aço carbono preparadas por meio de ferramentas mecânicas, padrão St3 de acordo com ISO 8501-1 (4). Para tal, foram realizados ensaios acelerados de corrosão em laboratório, a saber: exposição contínua em câmara de névoa salina, 100% umidade saturada, imersão em produtos químicos e aderência a tração.

2. Metodologia

Dois esquemas de pintura comumente utilizados para aplicação em manutenção industrial foram estabelecidos para este estudo, onde o preparo de superfície escolhido foi a limpeza mecânica manual St3 conforme norma ISO 8501-1 (4).

Para a verificação do comportamento anticorrosivo, químico e de adesão sobre este tipo de preparo de superfície, os revestimentos foram submetidos à névoa salina, 100% de umidade, exposição a produtos químicos e aderência à tração.

2.1 Esquemas de pintura

Os esquemas de pintura definidos para este estudo baseiam-se em:

- a) tinta epóxi *mastic* convencional
2 demãos de 125 micrometros seco de epóxi *mastic* alumínio
- b) tinta epóxi novolac
2 demãos de 125 micrometros seco de epóxi novolac alumínio

2.2 Condições de aplicação e de exposição

Os esquemas de pintura foram aplicados sobre painéis de aço carbono AISI-1020, com grau de intemperismo C, de acordo com a norma ISO 8501-1 (4). A preparação de superfície foi feita por meio de limpeza por meio de ferramentas mecânicas ao grau CSt3 da norma ISO 8501-1 (4). Para o ensaio de aderência a tração também foi utilizado jateamento abrasivo padrão Sa 2½ da norma ISO 8501-1 (4).

O método de aplicação das tintas utilizado para este trabalho foi pulverização através de pistola convencional.

O tempo de cura total dos esquemas para a realização dos ensaios foi de 10 dias. Durante este período os corpos-de-prova ficaram dispostos em uma sala com temperatura de $25\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ e $55\% \pm 5\%$ de umidade relativa do ar. Todos os ensaios foram realizados em triplicata.

2.3 Ensaios

2.3.1 Aderência à tração

O ensaio de aderência pelo método de resistência à tração foi executado de acordo com a norma ISO 4624 (5). O aparelho utilizado foi o Positest AT-A Automatic, do fornecedor Defelsko, empregando pinos de 20 mm de diâmetro. Para a colagem dos pinos foi utilizado o adesivo Epoxy Adhesive DP-460 Off-White da 3M Scotch-Weld.

Além do valor de ruptura, foi avaliada também a natureza da falha. Segue na Figura 1 uma forma esquemática dos possíveis locais onde a falha de aderência pode ocorrer.

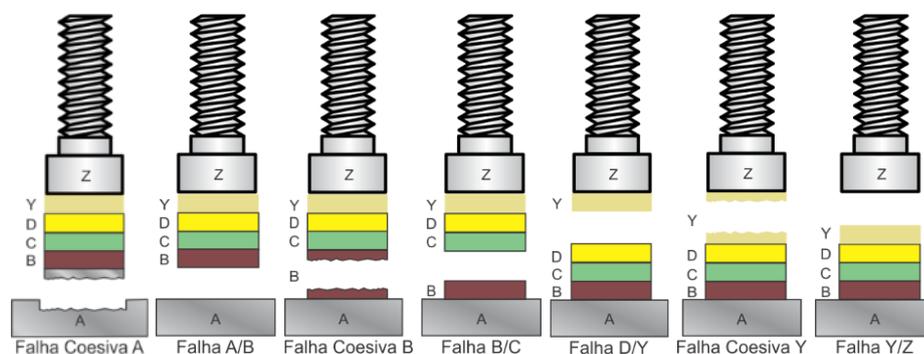


Figura 1 – Desenho esquemático dos tipos de “falha de aderência”

2.3.2 Névoa salina

A norma utilizada para o ensaio de névoa salina neutra foi a ISO 9227 (6) e foi adotado, conforme recomendações contidas na ISO 12944-6 (7), entalhe de 1,0 mm de largura nos painéis.

A duração do ensaio foi de 2300 h.

A migração da corrosão foi efetuada de acordo com a norma ISO 20340 (8) e é dada em milímetros. A avaliação do aspecto da película após a exposição à névoa salina foi conduzida conforme a norma ISO 4628 (9), onde examinou-se a presença de defeitos na película, como formação de bolhas, craqueamento, enferrujamento, destacamento da película.

Aguardou-se 24 h após o término dos ensaios para realizar as análises acima citadas.

2.3.3 100% umidade saturada

A norma utilizada para o ensaio de 100% de umidade saturada foi a ISO 6270 (10) e a avaliação do aspecto da película após a exposição foi conduzida conforme a norma ISO 4628 (9), onde examinou-se a presença de defeitos na película, como formação de bolhas, craqueamento, enferrujamento, destacamento da película.

A duração do ensaio de imersão foi de acordo com a duração da integridade da película de tinta.

2.3.4 Ensaio de imersão em produtos químicos

Com o intuito de avaliar a resistência química, os revestimentos foram expostos nos produtos químicos abaixo listados:

- Hidróxido de sódio à 30 %
- Acido sulfúrico à 40 %
- Xileno
- Água destilada à 40 °C
- Água salgada 3,5 % à 40 °C

A norma empregada foi a ISO 2812-2 (11) para imersão é água deionizada e a norma ISO 2812-1 (12) para os demais materiais.

Assim como em 100 % de umidade saturada, a duração do ensaio foi de acordo com a duração da integridade da película de tinta.

Após o tempo de exposição, avaliou-se a presença de defeitos na película, tais como empolamento, craqueamento, enferrujamento e deslocamento, conforme norma ISO 4628 (9).

3. Resultados e discussão

Na sequência são apresentados os resultados relativos ao ensaio de adesão, envelhecimento e resistência química.

3.1 Aderência à tração

A Tabela 1 informa os resultados de aderência à tração. O resultado pode também ser visualizado na Figura 2.

Tabela 1 – Aderência à tração após exposição

Tinta	Preparo	Aderência (Mpa)	Média (Mpa)	Tipo de falha
Epoxi mastique	St3	7,8	8,1	100 % falha tipo B
		8,4		100 % falha tipo B
		8,1		100 % falha tipo B
	Jato Sa 2½	6,5	7,0	100 % falha tipo B
		7,5		100 % falha tipo B
		6,9		100 % falha tipo B
Epoxi novolac	St3	20,5	19,5	100 % falha tipo B
		18,8		100 % falha tipo B
		19,3		100 % falha tipo B
	Jato Sa 2½	15,6	15,2	100 % falha tipo B
		14,9		90 % falha tipo B e 10% falha tipo -/Y
		15,2		100 % falha tipo B

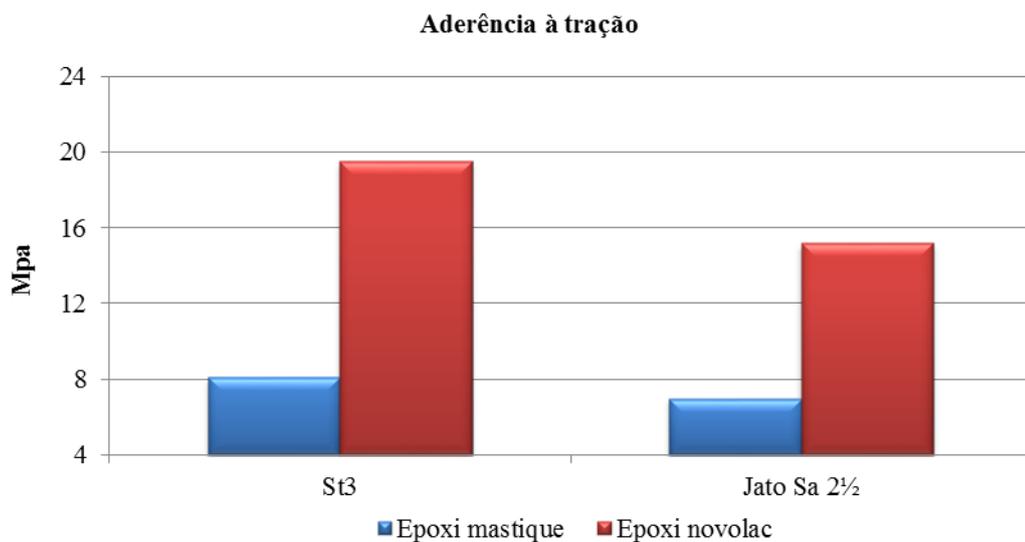


Figura 2 – Resultados do ensaio de aderência à tração

Abaixo se encontram as Figuras 3 e 4 correspondente ao ensaio de aderência a tração, sobre preparo de superfície por meio de ferramentas mecânicas padrão St3 e jateamento abrasivo padrão Sa 2½.

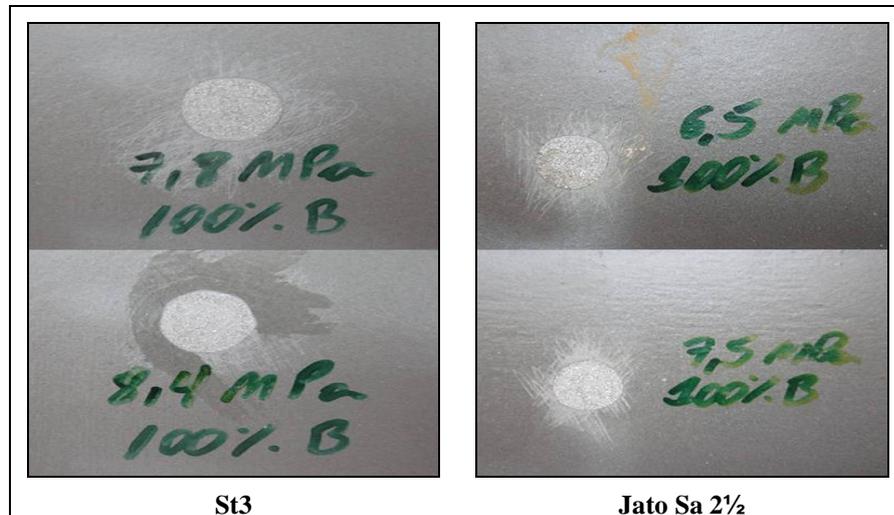


Figura 3 – Aderência à tração epóxi mastic

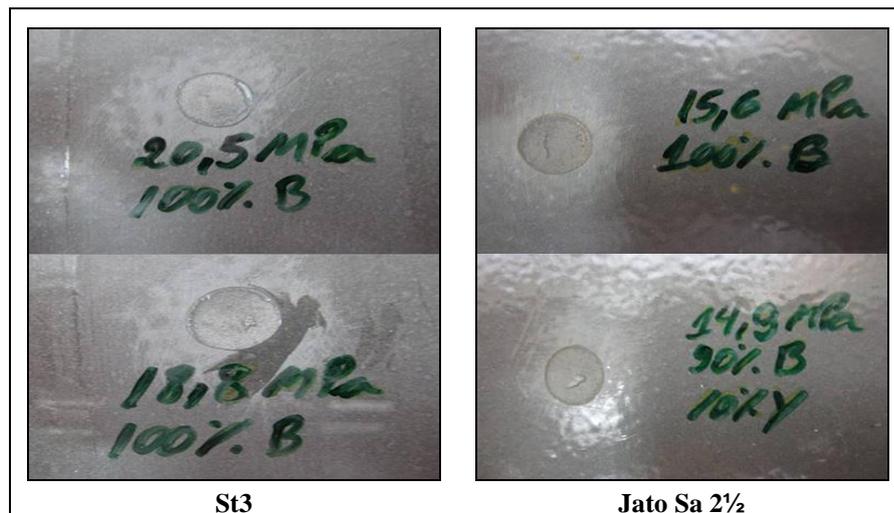


Figura 4 – Aderência à tração epóxi novolac

3.2 Névoa salina

Os resultados do avanço da corrosão sob o revestimento são apresentados na Tabela 2, representados na Figura 5 e pode ser observada na Figura 6.

Tabela 2 – Resultados de migração de corrosão em névoa salina

Tinta	Duração	Medidas da migração da corrosão (mm)			Média (mm)
Epoxi mastic	2300 h	16,4	18,3	18,1	17,6
Epoxi novolac		12,0	12,8	11,7	12,1

A migração da corrosão sob a película do epóxi *mastic* foi maior comparado aos resultados alcançados com o epóxi novolac. Presume-se que este resultado é devido ao epóxi novolac possuir maior reticulação do filme, apresentando uma adesão mais eficiente ao substrato, assim como uma resistência anticorrosiva superior.

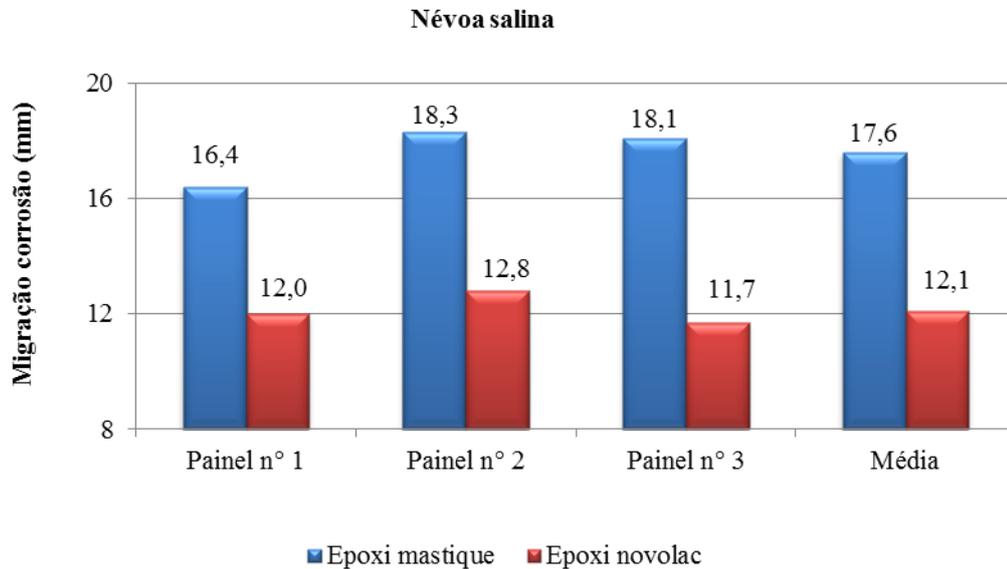


Figura 5 – Resultados da migração da corrosão

A alteração na película está informada na Tabela 3. A delaminação do epóxi *mastic* foi total, enquanto que para o epóxi novolac a área delaminada foi ao redor do entalhe.

Tabela 3 – Resultados de alteração do filme de tinta após névoa salina

Avaliação	Epoxi <i>mastic</i>	Epoxi novolac
Empolamento (ISO 4628-2)	0(S0)	0(S0)
Enferrujamento (ISO 4628-3)	Ri0	Ri0
Craqueamento (ISO 4628-4)	0(S0)	0(S0)
Destacamento (ISO 4628-5)	0(S0)	0(S0)
Delaminação (ISO 4628-6)	Total	15,0mm

Em relação ao epóxi *mastic*, a película não apresentou enferrujamento, porém após a delaminação, evidenciou-se corrosão por toda a superfície. O mesmo ocorreu com o epóxi novolac, ao redor do corte, em menor grau.

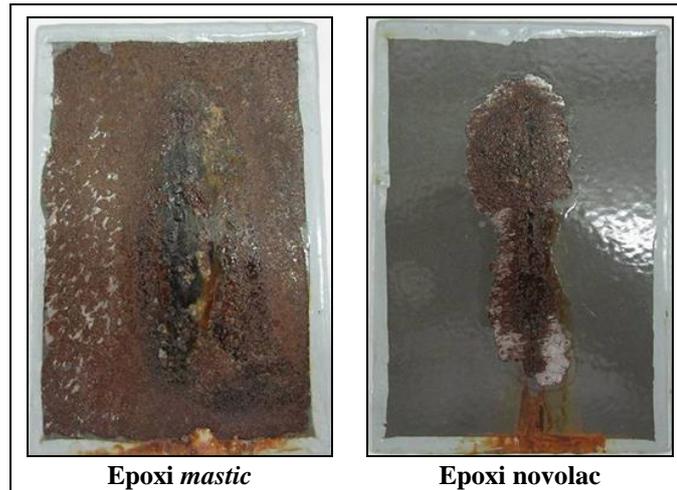


Figura 6 – Migração da corrosão em névoa salina

3.3 100% umidade saturada

Os resultados da exposição a 100 % umidade saturada estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados de alteração do filme de tinta após 100% umidade saturada

Avaliação	Epoxi mastic	Epoxi novolac
Duração	1800 h	14000 h
Empolamento (ISO 4628-2)	5(S4)	0(S0)
Enferrujamento (ISO 4628-3)	Ri0	Ri0
Craqueamento (ISO 4628-4)	4(S4)c	0(S0)
Destacamento (ISO 4628-5)	5(S5)b	0(S0)

A película de epóxi *mastic* apresentou empolamento e craqueamento e, conseqüentemente, ocorreu destacamento da tinta do substrato, conforme pode ser visualizado na Figura 7.

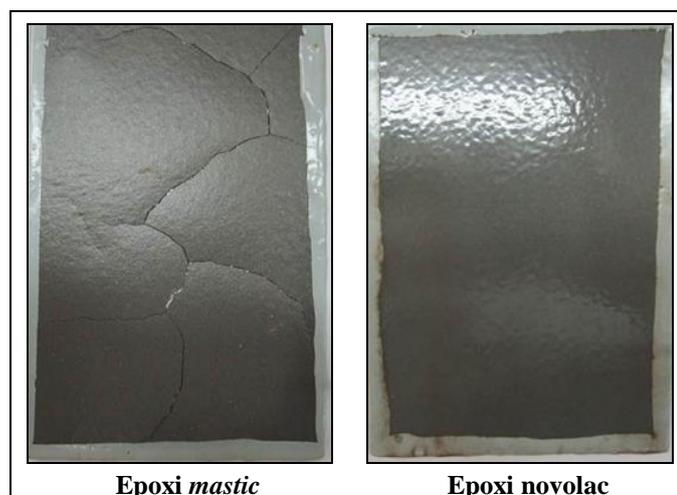


Figura 7 – 100 % de umidade saturada

3.4 Imersão em produtos químicos

Os resultados da exposição dos revestimentos à produtos químicos estão apresentados na Tabela 5 para o epóxi *mastic* e para o epóxi novolac na Tabela 6.

Tabela 5 – Resultados de alteração do filme da tinta Epoxi *mastic* após imersão em produtos químicos

Avaliação	Água deionizada à 40 °C	Água salgada à 40 °C	Xileno	Hidróxido sódio 30 %	Ácido sulfúrico 40 %
Duração	1800 h	2900 h	20000 h	1000 h	168 h
Empolamento (ISO 4628-2)	0(S0)	4(S3)	0(S0)	0(S0)	5(S5)
Enferrujamento (ISO 4628-3)	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0
Craqueamento (ISO 4628-4)	3(S4)c	0(S0)	0(S0)	3(S4)c	0(S0)
Destacamento (ISO 4628-5)	5(S5)b	0(S0)	0(S0)	5(S5)b	5(S5)b

Houve craqueamento e destacamento do epóxi *masti* em água deionizada e hidróxido de sódio 30 %. Em ácido sulfúrico a 40 %, a película formou empolamento e destacamento. Em água salgada exibiu empolamento.

As Figuras 8 e 9 demonstram a película de tinta epóxi *mastic* após a exposição aos produtos químicos.

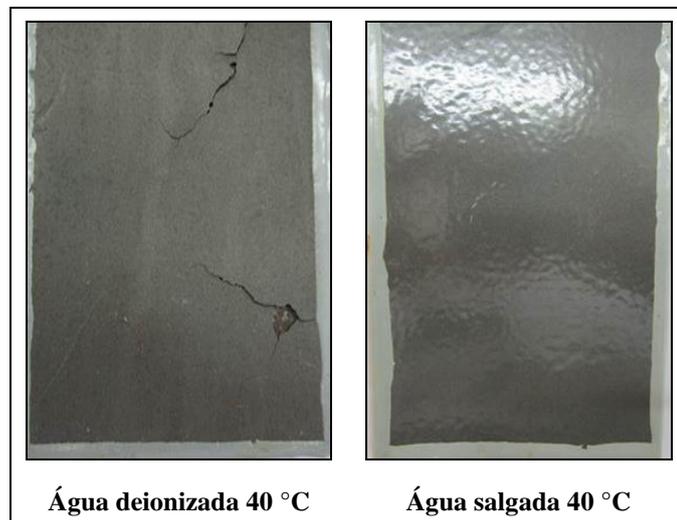


Figura 8 – Epoxi mastic em imersão

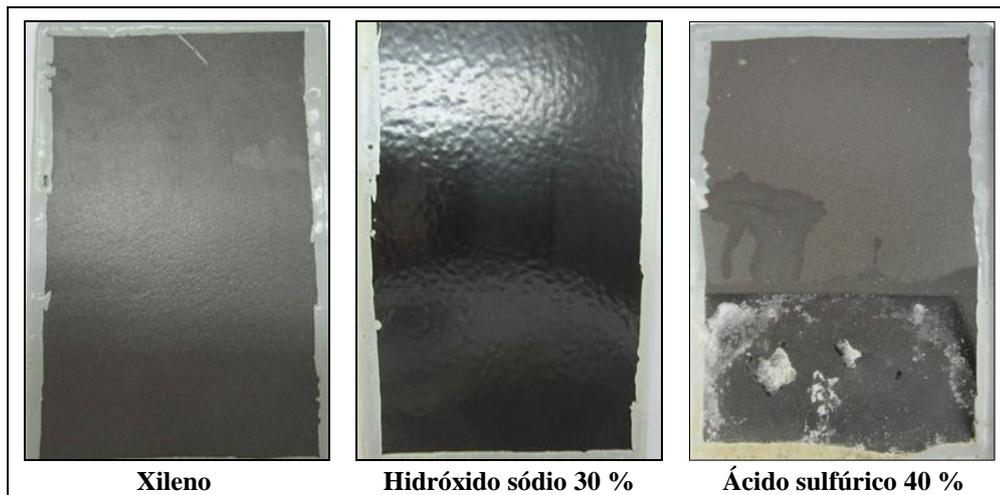


Figura 9 – Epoxi *mastic* em imersão

Tabela 6 – Resultados de alteração do filme da tinta Epoxi novolac após imersão em produtos químicos

Avaliação	Água deionizada a 40 °C	Água salgada a 40 °C	Xileno	Hidróxido sódio 30 %	Ácido sulfúrico 40 %
Duração	16000 h	16000 h	20000 h	11000 h	5400 h
Empolamento (ISO 4628-2)	0(S0)	0(S0)	0(S0)	0(S0)	0(S0)
Enferrujamento (ISO 4628-3)	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0	Ri0
Craqueamento (ISO 4628-4)	0(S0)	0(S0)	0(S0)	0(S0)	0(S0)
Destacamento (ISO 4628-5)	0(S0)	0(S0)	0(S0)	0(S0)	0(S0)

Não houve alteração da película do revestimento epóxi novolac nos ensaios de imersão em produtos químicos, conforme pode ser visualizado nas Figuras 10 e 11.

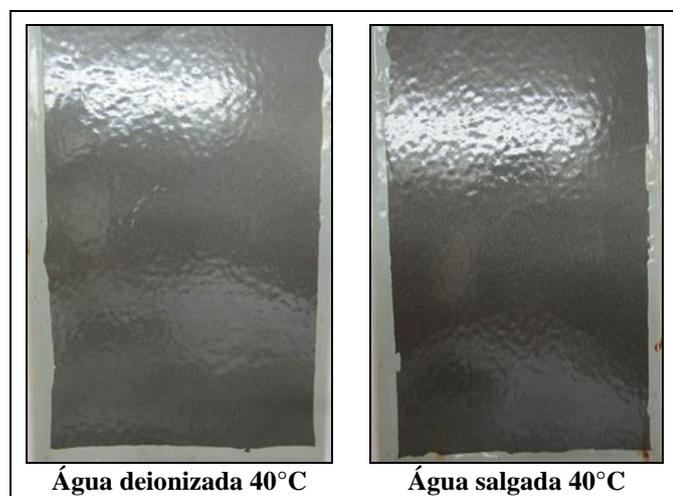


Figura 10 – Epoxi novolac em imersão

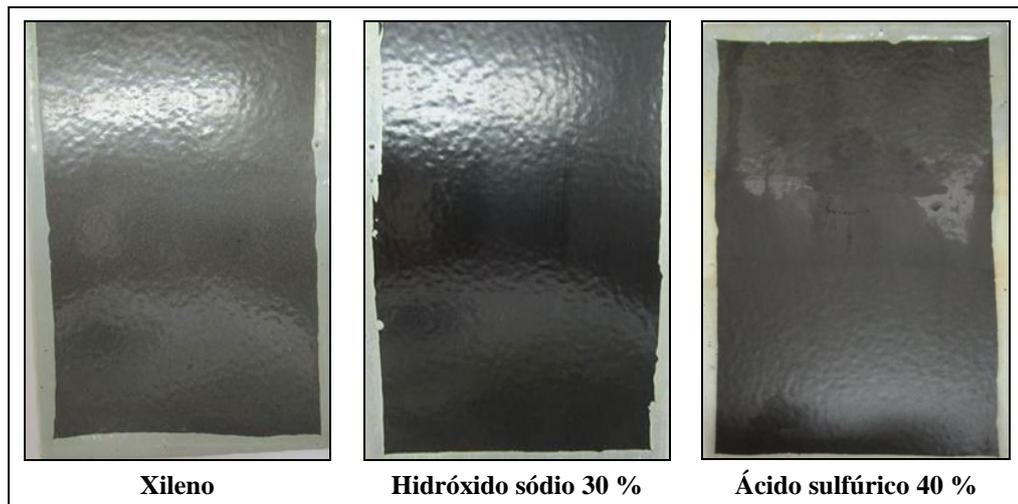


Figura 11 – Epoxi novolac em imersão

5. Conclusões

Com base nos resultados obtidos, a partir da exposição de dois revestimentos epóxi distintos em superfícies de aço preparadas por meio de ferramentas mecânicas ao grau St3, é possível concluir que:

- a) O epóxi novolac possui maior valor de tensão de ruptura no ensaio de aderência à tração, sobre jateamento abrasivo padrão Sa 2½ e até mesmo sobre preparo de superfície realizado por meio de ferramentas mecânicas ao padrão St3. Este resultado está atrelado ao fato deste revestimento possuir maior reticulação do filme, maior umectação do substrato, resultando em uma aderência química mais efetiva.
- b) No que diz respeito à resistência anticorrosiva em névoa salina e 100 % de umidade saturada, o epóxi *mastic* apresentou desempenho inferior ao epóxi novolac. Acredita-se que a adesão mais efetiva do epóxi novolac, atrelado ao filme mais reticulado, não permite a infiltração dos eletrólitos através da película de tinta, resultando em um desempenho anticorrosivo superior.
- c) Assim como em névoa salina, o epoxi *mastic* também apresentou falhas na película quando imerso em produtos químicos. O revestimento falhou em menos tempo de exposição, apresentando defeitos como empolamento, craqueamento e destacamento. Devido ao fato da película do epoxi *mastic* ter craqueado e conseqüentemente ter se destacado do substrato, acredita-se que a película não apresentou adesão apropriada ao substrato preparado mecanicamente ao padrão St3. Em relação ao epoxi novolac, o mesmo não apresentou defeitos na película quando exposto aos produtos químicos.

6. Referências bibliográficas

- (1) Brasil perde 4% do PIB com corrosão, http://www.revistafatorbrasil.com.br/ver_noticia.php?not=334281. Acesso em: 16 de jan. 2018
- (2) GENTIL, VICENTE. **Corrosão**, 6ª ed., Rio de Janeiro, LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2012, p. 258 - 259, 275
- (3) NUNES, LAERCE DE PAULA & ALFREDO C.O. LOBO. **Pintura Industrial na Proteção Anticorrosiva**, 4ª ed., Rio de Janeiro, Editora Interciência, 2012, p. 71, 100 - 101.
- (4) ISO 8501 – Preparation of steel substrates before application of paints and related products – Visual assessment of surface cleanliness - Part 1: Rust grades and preparation grades of uncoated steel substrates and of steel substrates after overall removal of previous coatings (2007).
- (5) ISO 4624 – Paints and varnishes – Pull-off test for adhesion (2003).
- (6) ISO 9227 – Corrosion tests in artificial atmospheres - Salt spray tests (2017).
- (7) ISO 12944 – Paints and varnishes - Corrosion and protection of steel structures by protective paint systems. Part 6: Laboratory performance test methods (1998).
- (8) ISO 20340 – Paints and varnishes - Performance requirements for protective paint systems for offshore and related structures (2009)
- (9) ISO 4628 – “Paints and Varnishes - Evaluation of Degradation of Coatings - Designation of Quantity and Size of Defects, and of Intensity of Uniform Changes in Appearance, 2007.
- (10) ISO 6270 - Paints and varnishes – Determination of resistance to humidity (2005).
- (11) ISO 2812 – Determination of resistance to liquids - Part 2: Water immersion method, 2007
- (12) ISO 2812 – Determination of resistance to liquids - Part 1: Immersion in liquids other than water, 2007