

# ESTUDO COMPARATIVO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS AÇOS SAE 10B22 E 1005 APÓS CORROSÃO EM SOLUÇÕES ELETROLÍTICAS\*

Priscila Caroline Albuquerque da Silva<sup>1</sup>  
Fabrícia Nunes de Jesus Guedes<sup>2</sup>  
Jéssica Ferreira de Assis<sup>3</sup>  
Isadora de Mello Etrusco Lima da Costa<sup>4</sup>  
Athos Fernandes de Araújo<sup>5</sup>

## Resumo

Os danos relacionados à corrosão são frequentes e ocorrem na maioria dos materiais podendo causar grandes prejuízos econômicos. Os aços SAE 1005 modificado e SAE 10B22 são frequentemente usados na produção de fixadores como parafusos e pregos sendo de extrema necessidade a preservação das suas propriedades mecânicas e estruturais nas condições que são aplicados. Neste trabalho foram determinadas as taxas de corrosão destes aços após o contato com soluções aquosas de diferentes concentrações de NaCl e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> por 45 e 90 dias e comparadas as suas propriedades mecânicas (limite de resistência e alongamento). Os resultados mostraram variação expressiva no alongamento das amostras atacadas por ácido, porém, independente do meio corrosivo, não ocorreram significativas alterações no limite de resistência. As taxas de corrosão das amostras mesmo sendo altas, ainda podem ser consideradas toleráveis.

**Palavras-chave:** Corrosão; Aço baixo carbono; Ensaio mecânicos.

## COMPARATIVE STUDY OF MECHANICAL PROPERTIES OF SAE 10B22 AND 1005 STEELS AFTER CORROSION IN ELECTROLYTIC SOLUTIONS

### Abstract

Corrosion-related damages are frequent and occur in most materials and can cause great economic damage. SAE 1005 modified and SAE 10B22 steels are often used in the production of fasteners such as bolts and nails and the preservation of their mechanical and structural properties under the conditions that are applied is of extreme necessity. In this work the corrosion rates of these steels were determined after contact with aqueous solutions of different concentrations of NaCl and H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> for 45 and 90 days and compared to their mechanical properties (resistance and elongation limit). The results showed significant variation in the length of the samples attacked by acid, however, regardless of the corrosive medium, there were no significant changes in the resistance limit. The corrosion rates of the samples, even being high, can still be considered tolerable.

**Keywords:** Corrosion; Low-carbon steel; Mechanical tests.

<sup>1</sup> Física, Doutora, Professora, Departamento de Ciências Exatas Aplicadas e Materiais, UEMG, João Monlevade, Minas Gerais Brasil.

<sup>2</sup> Química, Mestra, Professora, Departamento de Ciências Exatas Aplicadas e Materiais, UEMG, João Monlevade, Minas Gerais Brasil

<sup>3</sup> Estudante de Engenharia Metaúrgica, UEMG, João Monlevade, Minas Gerais, Brasil.

<sup>4</sup> Estudante de Engenharia de Minas, UEMG, João Monlevade, Minas Gerais, Brasil.

<sup>5</sup> Estudante de Engenharia Metaúrgica, UEMG, João Monlevade, Minas Gerais, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com Callister [1], a corrosão metálica pode ser definida como uma transformação de um metal pela sua interação eletroquímica de modo destrutivo, sendo que esse ataque normalmente começa pela superfície. Os problemas relacionados à corrosão são frequentes e ocorrem na maioria dos materiais que são expostos a algum meio corrosivo como água, solo, atmosfera e produtos químicos. Tal fenômeno pode causar grandes transtornos, como perda de produto dentro de uma indústria e baixa eficiência em máquinas, gerando um considerável prejuízo econômico.

Conforme Panonni [2], existem quatro mecanismos de ocorrência da corrosão nos metais e suas ligas: corrosão em meios aquosos (90,0% dos casos); oxidação e corrosão quente (8,0%); em meios orgânicos (1,8%) e por metais líquidos (0,2%). A corrosão em meios aquosos é a mais comum tendo em vista que a maioria dos fenômenos de corrosão ocorre no meio ambiente, local que a água é o principal solvente. Até mesmo a corrosão causada pelo ar, uma forma de corrosão generalizada de grande incidência, ocorre através da condensação da umidade na superfície do metal.

Segundo Gentil [3], nos estudos dos processos corrosivos devem ser sempre avaliadas as variáveis dependentes do material metálico, do meio corrosivo e das condições operacionais, às quais este material estará sujeito. A extensão do problema corrosão pode ser avaliada medindo-se as propriedades mecânicas (frequentemente, limite de resistência e alongamento) de amostras antes e após o ensaio de corrosão. A análise dessas variáveis permitirá indicar o material mais adequado para ser utilizado em determinados equipamentos ou instalações.

Em concordância com Frauches-Santos, Albuquerque, Oliveira e Echevarria [4], entre 20% a 30% do aço produzido no mundo destina-se à reposição de partes de equipamentos, peças ou instalações corroídas, o que indiscutivelmente gera custos ao setor industrial. Do ponto de vista econômico, os prejuízos causados a longo prazo pela corrosão dos aços atingem custos extremamente altos, resultando em consideráveis desperdícios de investimento; isto sem falar dos acidentes e perdas de vidas humanas provocadas por contaminações, poluição e falta de segurança dos equipamentos.

Novamente, segundo Gentil [3], podemos observar que existem variados tipos de aço e seu valor comercial diretamente ligado ao tipo de liga (composição química) e suas características (propriedades mecânicas). Neste sentido, quanto maior for a resistência do aço à corrosão, maior será o seu valor no mercado. Porém, muitas vezes esses aços podem ser substituídos por outros que de menor custo e que atendam da mesma forma a aplicabilidade a que se pretende. Dentre estes o aço carbono está entre os mais utilizados na indústria de maneira geral.

De acordo com Gonçalves [5], aços com baixo teor de carbono como o SAE 10B22 e SAE 1005, na maioria das vezes são usados como fixadores (parafusos industriais e comerciais) e comumente estão expostos a condições e ambientes que podem causar a deterioração das peças. Sendo assim, é de grande importância a preservação da resistência mecânica e estrutural destes aços após o contato contínuo com meio corrosivo.

O desenvolvimento deste trabalho teve como objetivo avaliar a taxa de corrosão desses aços em diferentes concentrações de NaCl (cloreto de sódio) e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (ácido sulfúrico) e as mudanças nas propriedades mecânicas dos mesmos após o contato contínuo dos mesmos com essas soluções, durante um prazo máximo de 90 dias.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foram avaliados, do ponto de vista quantitativo, os efeitos da corrosão nas propriedades mecânicas dos aços carbono SAE 10B22 e SAE 1005. Foram utilizadas amostras de fio máquina dos aços,  $\varnothing=0,63$  cm (figura 1a), que foram cortadas em bastões de aproximadamente 30 cm (figura 1b). Ao todo, 58 amostras foram empregues, sendo 29 para cada tipo de aço. Estas amostras foram previamente avaliadas quanto as propriedades mecânicas, depois submetidas a ataques de corrosão, novos ensaios mecânicos, microscopia e comparação dos resultados.

Para o desenvolvimento foram utilizados: balança de precisão; etiquetas para identificação; estantes para tubos de ensaio; tubos de ensaio; soluções de ácido sulfúrico e cloreto de sódio 3% e 4,5%; peagâmetro; voltímetro; estufa; máquina de tração; máquina determinação de dureza Rockwell; Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV); microscópio ótico.

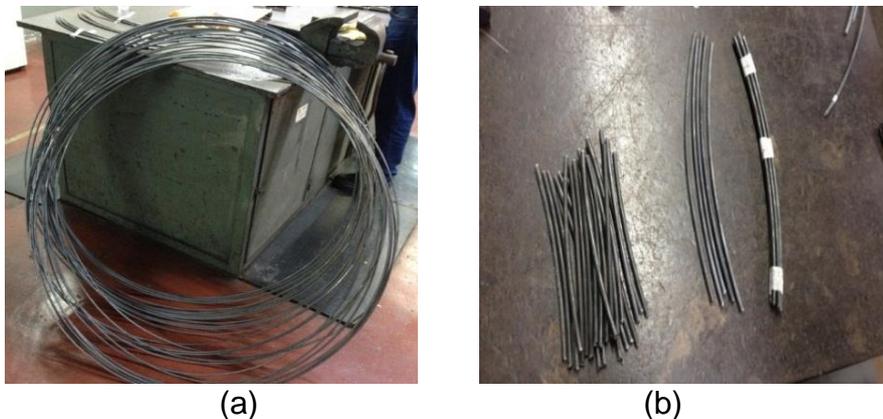


Figura 1 – Fio-máquina.(a)Espira de fio máquina e (b) bastões utilizados no trabalho. Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

### 2.1 Ensaios Mecânicos

Neste trabalho foram feitos dois ensaios mecânicos antes e após o ataque a fim de se comparar as diferenças causadas nas propriedades dos aços pela ação das soluções.

#### 2.1.1 Ensaio de tração

Para controle, inicialmente foi realizado o ensaio de tração em 5 amostras de cada um dos aços. Nestes ensaios, as amostras foram fixadas no equipamento e tracionadas até a ruptura do material, como mostra a figura 2. Na realização deste ensaio, o material se distende e desta forma foi obtido o percentual de alongamento do material (que é o quanto o material distende antes da ruptura,  $\Delta L$ , em relação ao comprimento inicial da amostra,  $L_0$ ). Foram obtidos também os valores do limite de resistência à ruptura, força máxima suportada pelo material antes do rompimento, dado em  $\text{kgf}/\text{mm}^2$ .

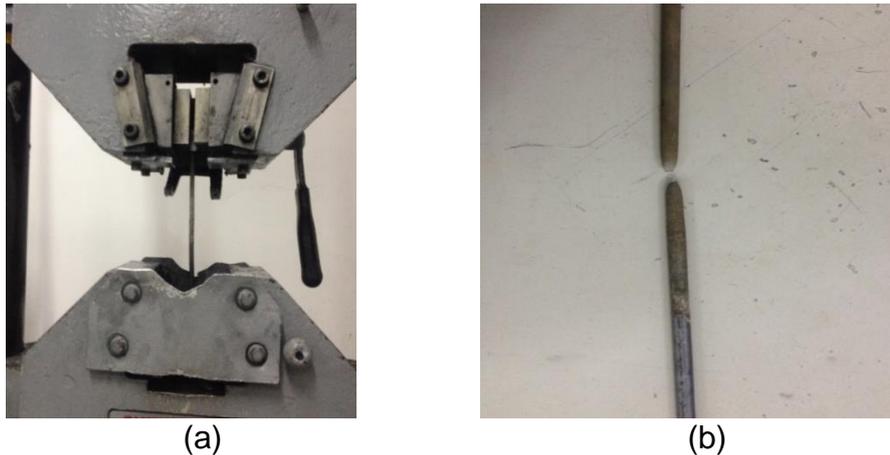


Figura 2 – Ensaio de tração. (a) Amostra do aço presa ao equipamento antes do ensaio de tração; (b) amostra rompida após o ensaio. Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

## 2.2 Ataque corrosivo

Foram determinadas as massas das 48 amostras na balança analítica de precisão, com o objetivo de obter a perda da massa entre os instantes anteriores e posteriores aos ataques corrosivos. Em seguida, as amostras foram etiquetadas quanto ao aço, ao tipo de ataque que seria submetida, à concentração do ataque e também a sequência do trio de amostras, como mostra a figura 3. As amostras foram então mergulhadas nas respectivas soluções de concentrações 3,0% e 4,5% de ácido sulfúrico ou cloreto de sódio, conforme apresentado na figura 3. As medidas de pH e DDP foram realizadas quinzenalmente, utilizando o peagômetro e voltímetro, para um melhor acompanhamento do estágio da corrosão e efetividade das soluções. Mensalmente, buscando preservar a qualidade das soluções corrosivas eram trocadas.



Figura 3 – Amostras utilizadas no trabalho. (a) amostras etiquetadas e (b) amostras submersas nas soluções. Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

Após 45 dias, 12 amostras de cada aço foram retiradas das soluções, lavadas e secas em papel e levadas a uma estufa durante 20 minutos. Foram novamente pesadas, visando determinar por meio da perda de massa, a taxa de corrosão. Posteriormente, foi realizado o ensaio de tração em cada uma das amostras, buscando os valores do limite de resistência à ruptura e percentual de alongamento, conforme descrito anteriormente. As reduções relativas dos limites de resistência das amostras em solução por 45 dias em relação aos valores que foram obtidos

antes da corrosão foram calculadas utilizando a equação (1) a seguir, onde  $LR_{inicial}$  corresponde ao valor médio do LR antes da corrosão e  $LR_{final}$  corresponde ao valor médio do LR das amostras após ataque corrosivo.

$$\text{redução relativa LR} = \frac{(LR_{final} - LR_{inicial})}{LR_{inicial}} \quad (1)$$

As reduções relativas para o percentual de alongamento foram obtidas através da equação (2), a seguir, onde  $\%l_{inicial}$  corresponde ao valor médio do percentual de alongamento antes da corrosão e  $\%l_{final}$  corresponde ao valor médio do percentual de alongamento das amostras após ataque corrosivo.

$$\text{red. relativa alongamento} = \frac{(\%l_{final} - \%l_{inicial})}{\%l_{inicial}} \quad (2)$$

Após 90 dias, as 12 amostras restantes foram removidas das soluções e os mesmos procedimentos de pesagem e ensaios de tração foram realizados. As reduções relativas do LR e do percentual de alongamento foram calculadas usando as equações 1 e 2.

As taxas de corrosão (milímetros de plegada por ano, mpy) foram calculadas através da equação (3), onde  $\Delta m$  é a perda de massa em miligramas,  $A'$  é a área ( $\text{mm}^2$ ) em contato com a solução e  $t$  é o tempo (h) em que a amostra ficou em contato com o meio corrosivo sendo 1080 h para 45 dias de ataque, e 2160 h para 90 dias.

$$\text{taxa de corrosão} = \frac{\Delta m \cdot 534}{A' \cdot t} \quad (3)$$

## 2.3 Microscopia

As amostras foram analisadas no MEV visando identificar as deposições nas superfícies das amostras bem como obter informações sobre a microestrutura com precisão e os elementos químicos constituintes dos aços. As propriedades estruturais por sua vez foram avaliadas com o microscópio ótico.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Ensaios Mecânicos

Na tabela 1 estão apresentados os valores médios e desvio padrão dos limites de resistência (LR) de ruptura e dos percentuais de alongamento obtidos nos ensaios de tração realizados nas amostras – antes da corrosão, bem como após 45 dias e 90 dias em solução. Para o aço SAE 10B22, o valor obtido para o LR médio antes da corrosão foi  $5689,82 \pm 6,65$  MPa; para o aço SAE 1005 o valor médio foi  $3428,40 \pm 2,94$  MPa. Em ambos os casos, observa-se uma redução nos valores médios após 45 dias e 90 dias em relação ao valor antes da corrosão; contudo, a redução relativa é pouco expressiva tanto para o aço SAE 10B22 quanto para o aço SAE 1005, em quaisquer das soluções (ácido ou sal) em quaisquer concentrações (3,0% ou 4,5%).

Tabela 1 – Resultados dos ensaios de tração. Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

		Limite de Resistência (MPa)			% Alongamento		
		Controle	Após 45 dias de exposição	Após 90 dias de exposição	Controle	Após 45 dias de exposição	Após 90 dias de exposição
<b>10B22 – Ácido 3%</b>	Média		5553,51 +/- 3,86	5530,95 +/- 4,08		21,36 +/- 0,63	20,34 +/- 0,45
	Redução		- 2,39%	- 2,79%		-25,68%	-29,20%
<b>10B22 – Ácido 4,5%</b>	Média		5465,54 +/- 11,47	5410,03 +/- 10,08		20,05 +/- 2,23	19,19 +/- 0,67
	Redução		- 3,94%	- 4,92%		-30,23%	-33,20%
<b>10B22 – Sal 3%</b>	Média	5689,82 +/- 6,65	5776,12 +/- 7,41	5668,24 +/- 4,55	28,74 +/- 1,82	28,36 +/- 1,37	24,73 +/- 1,06
	Redução		1,52%	- 0,38%		-1,32%	-13,95%
<b>10B22 – Sal 4,5%</b>	Média		5700,90 +/- 7,41	5661,67 +/- 4,78		28,86 +/- 1,92	27,15 +/- 1,04
	Redução		0,20%	- 1,18%		0,43%	-5,52%
<b>1005 – Ácido 3%</b>	Média		3298,27 +/- 2,05	3210,01 +/- 4,11		26,65 +/- 2,72	24,63 +/- 2,10
	Redução		-3,79%	-6,37%		-28,91%	-34,30%
<b>1005 – Ácido 4,5%</b>	Média		3314,65 +/- 1,41	3252,57 +/- 2,49		28,05 +/- 2,23	27,51 +/- 2,48
	Redução		-3,32%	-5,13%		-25,18%	-26,63%
<b>1005 – Sal 3%</b>	Média	3428,40 +/- 2,94	3510,78 +/- 7,79	3409,48 +/- 2,87	37,49 +/- 0,83	34,77 +/- 1,04	33,04 +/- 0,58
	Redução		2,40%	-0,55%		-7,26%	-11,87%
<b>1005 – Sal 4,5%</b>	Média		3484,36 +/- 2,45	3363,68 +/- 6,68		35,81 +/- 1,20	34,51 +/- 0,89
	Redução		1,54%	-1,89%		-4,48%	-7,94%

No que diz respeito ao percentual de alongamento dos aços, o valor médio obtido para o aço SAE 10B22 foi  $28,74 \pm 1,82$ , enquanto para o aço SAE 1005 foi  $37,49 \pm 0,83$ . Novamente, observa-se redução destes valores após 45 dias e 90 dias em relação ao valor de referência. Os resultados dos testes mecânicos sugerem que a corrosão provocada pelo ácido sulfúrico, independente das concentrações, leva a uma redução expressiva no percentual de alongamento nos aços SAE 10B22 e SAE 1005. Esta alteração significativa pode estar relacionada às reduções nas seções transversais destes aços que foram observadas nas imagens obtidas através do microscópio ótico. No caso das corrosões em meio salino, as reduções no percentual de alongamento não são expressivas.

Apesar desta redução expressiva no percentual de alongamento, o mesmo não podemos afirmar para a resistência à tração. Este resultado para o limite de resistência, em particular, é interessante, uma vez que os aços SAE 10B22 e SAE 1005 são utilizados principalmente na fabricação de fixadores, e sendo assim, espera-se que a resistência à tração se preserve.

### 3.2 Taxas de Corrosão

As taxas de corrosão estão apresentadas na tabela 2, é possível observar uma redução nos valores médios das taxas de corrosão referentes aos 90 dias em contato com meio ácido, que quase reduziram pela metade para as concentrações a 4,5% de ácido: passando dos  $42,48 \pm 0,41$  mpy para  $23,79 \pm 9,96$  mpy no caso do SAE 10B22 e dos  $41,96 \pm 1,36$  mpy para  $24,16 \pm 3,93$  mpy no caso do SAE 1005. No caso das corrosões em meio salino, houve um aumento nos valores médios destas taxas referentes aos 90 dias (que também foram mais expressivas para as concentrações a 4,5%) onde o aumento foi da ordem de 10 vezes.

Tabela 2– Perda de massa e taxas de corrosão. Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

		Perda de massa		Taxa de corrosão (mpy)	
		$\Delta m$ (g) 45 dias	$\Delta m$ (g) 90 dias	45 dias	90 dias
10B22	Ácido 3,0%	-1,69 +/- 0,05	-3,30 +/- 0,77	26,38 +/- 1,07	25,74 +/- 5,96
10B22	Ácido 4,5%	-2,70 +/- 0,05	-3,02 +/- 1,20	42,48 +/- 0,41	23,79 +/- 9,46
10B22	Sal 3,0%	-0,32 +/- 0,35	-1,10 +/- 0,61	4,93 +/- 5,39	8,36 +/- 4,62
10B22	Sal 4,5%	-0,08 +/- 0,00	-1,30 +/- 0,61	1,15 +/- 0,03	9,79 +/- 4,62
1005	Ácido 3,0%	-1,86 +/- 0,07	-2,68 +/- 0,72	29,03 +/- 1,08	20,94 +/- 5,60
1005	Ácido 4,5%	-2,67 +/- 0,06	-3,07 +/- 0,50	41,96 +/- 1,36	24,16 +/- 3,93
1005	Sal 3,0%	-0,07 +/- 0,00	-1,24 +/- 0,00	1,11 +/- 0,06	9,47 +/- 0,06
1005	Sal 4,5%	-0,07 +/- 0,00	-1,51 +/- 0,21	1,09 +/- 0,09	11,63 +/- 1,53

Os valores obtidos de taxa de corrosão para 45 dias em contato com o meio salino foram abaixo de 5mpy, que está relacionado à uma boa resistência à corrosão, conforme Gentil [3]. Contudo, os valores obtidos para 90 dias para solução tanto salina quanto ácida estão na faixa entre 5mpy e 50mpy, que estão relacionados à uma alta taxa de corrosão, porém tolerada.

Estas mudanças na taxa de corrosão são decorrentes de um decrescimento não linear da massa em função do tempo em contato com o meio corrosivo, como mostra a figura 4. Exceto para o SAE 10B22 (linha azul na figura 4), as diminuições da massa não ocorreram na mesma proporção nos primeiros 45 dias e nos 45 dias seguintes (totalizando os 90 dias).

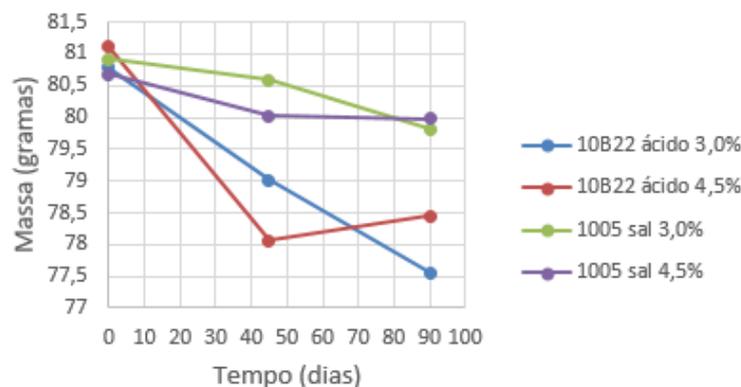


Figura 4: Gráfico dos valores médios da massa das amostras em função do tempo de contato com meio corrosivo. Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

### 3.3 Microscopia

A figura 5 mostra os resultados da análise de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) de uma amostra do aço SAE 1005 exposta ao ácido sulfúrico com concentração 4,5%. É possível observar diferenças no aspecto da superfície da peça, dividindo assim a superfície em 4 regiões. A região 1, de coloração branca, é composta por Fe (99,07%) e Mn (0,93%), indicando que esta região não foi atacada pela corrosão, mantendo assim as características químicas originais do aço. Na Região 2, com tom de cinza claro, há predominância de Fe (80,31%) e O (18,36%), indicando a ocorrência da formação de óxido ferroso (FeO). Na Região 3, cinza mais escuro, há aumento no teor de O (45,39%) e redução do Fe (42,08%) em relação à região 2; isto sugere que nesta área onde é possível encontrar os óxidos ferroso e férrico (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). E por fim, na região 4, são observados Fe (64,88%) e O (33,07%),

indicando a existência do óxido férrico. A análise desta imagem sugere que a corrosão se propaga das regiões mais externas para as mais internas do material, promovendo o aumento gradual do estado oxidativo do metal.

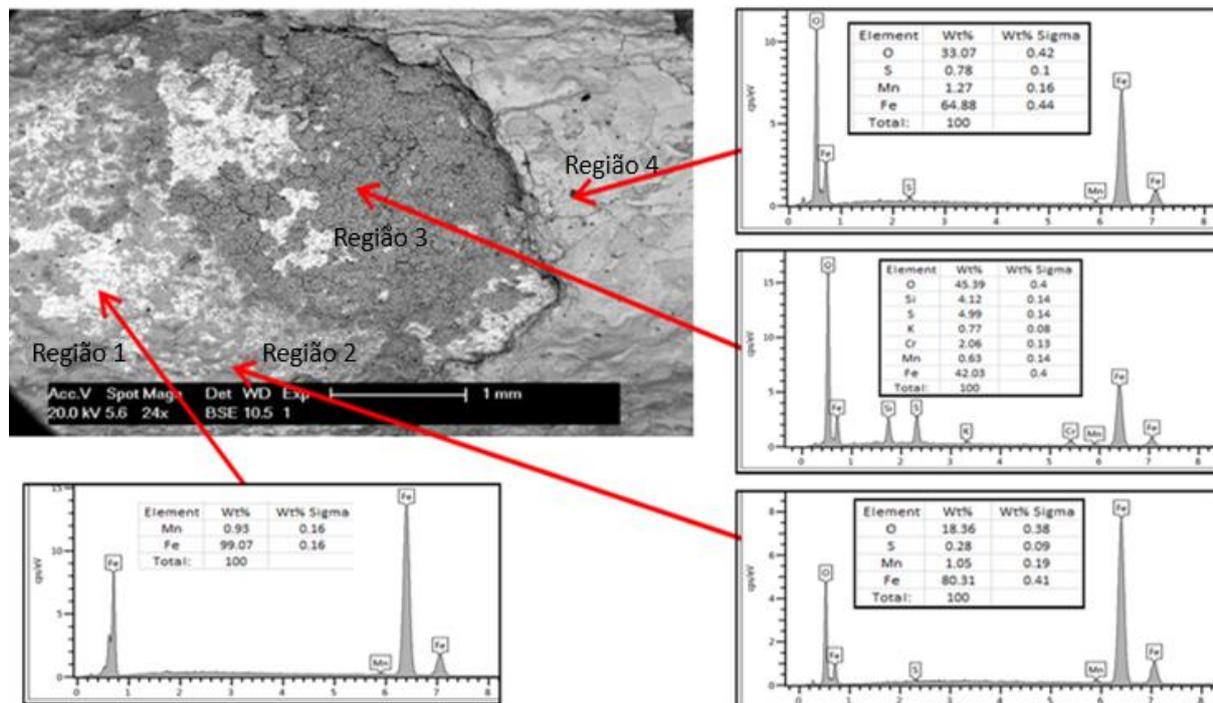


Figura 5 – Microscopia Eletrônica de Varredura da corrosão no aço SAE 1005. Fonte: Elaborada pelos autores (2017).

A figura 6 mostra o resultado da análise realizada no microscópio óptico de duas amostras do aço SAE 1005 que foram submetidas à corrosão em ácido nas concentrações de 3,0% (figura 6a) e 4,5% (figura 6b). As duas figuras mostram que a corrosão por ácido sulfúrico não provocou alteração na microestrutura, entretanto, a corrosão diminuiu consideravelmente a área da seção transversal da amostra. Este pode ser um dos motivos para a redução no percentual de alongamento nos ensaios de tração.

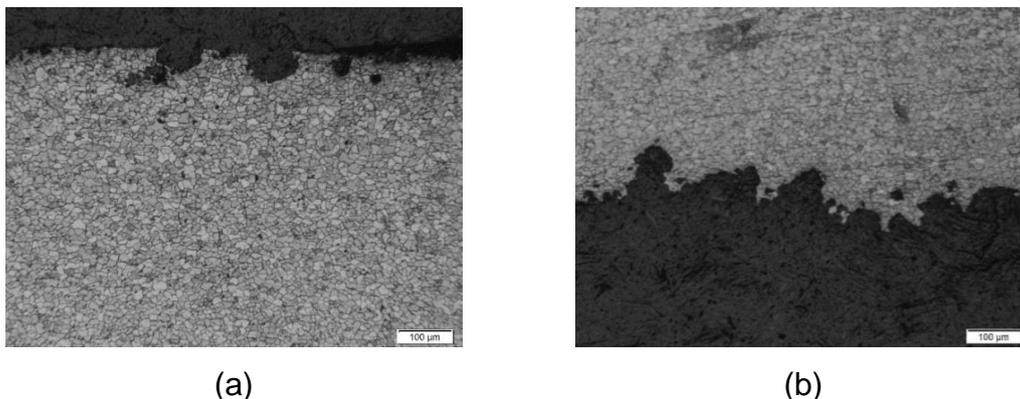


Figura 6 – Amostras do aço SAE 1005 submetidas à corrosão em ácido. (a) Ataque a 3,0% e (b) ataque a 4,5%, microscopia óptica. Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

As seções transversais das amostras do aço SAE 10B22 que também foram expostas ao ácido também apresentaram redução considerável (imagens não apresentadas). As seções das amostras que foram expostas ao sal também foram

analisadas no microscópio ótico, contudo, não foram observadas alterações nestes casos (imagens não apresentadas).

#### 4 CONCLUSÃO

O desenvolvimento deste trabalho buscou avaliar os efeitos corrosivos do cloreto de sódio e do ácido sulfúrico nas concentrações 3,0% e 4,5% nos aços SAE 10B22 e SAE 1005 após 45 dias e 90 dias de contato com estas soluções aquosas.

Os ensaios de tração que foram realizados nas amostras controle (não submetidas à corrosão) mostraram que o aço SAE 10B22 é mais resistente à ruptura em relação ao aço SAE 1005, contudo, a sua ductilidade é menor (menor alongamento do material antes da ruptura).

Os resultados dos ensaios de tração que foram realizados nas amostras que foram submetidas à corrosão por ácido sulfúrico (3,0% e 4,5%) sugerem que a corrosão por este ácido leva a uma redução expressiva no alongamento tanto no aço SAE 10B22 quanto no aço SAE 1005, porém, não há uma alteração expressiva no limite da resistência à ruptura em ambos os casos. Estes resultados são interessantes, uma vez que estes aços são empregados principalmente como fixadores; sendo assim, é importante que as suas propriedades mecânicas sejam preservadas. Estes aços apresentaram uma alta taxa de corrosão em meio com ácido sulfúrico, porém na faixa tolerável (entre 5 mpy e 50 mpy).

Para a corrosão em meio com cloreto de sódio (3,0% e 4,5%) não foi observada uma variação expressiva no limite de ruptura e no alongamento destes aços. Houve uma mudança na taxa de corrosão entre 45 dias e 90 dias em contato com o meio salino, passando da faixa de boa resistência à corrosão (abaixo de 5 mpy) para alta taxa de corrosão, porém tolerável (entre 5 mpy e 50 mpy).

A finalização deste trabalho de pesquisa despertou o interesse pela avaliação das propriedades mecânicas destes aços para um intervalo maior de tempo de contato com estes meios corrosivos, uma vez que foi observada uma tendência à redução nos valores médios do limite de resistência e do alongamento. As taxas de corrosão calculadas para 45 dias e 90 dias mostram que a velocidade da corrosão ainda não atingiu a estabilidade, reforçando a necessidade de se avaliar a corrosão nestes materiais por um intervalo maior de tempo.

Sendo assim, este trabalho foi conduzido de modo que os objetivos propostos foram atingidos, levantando perspectivas para investigações futuras sobre os resultados que foram gerados.

#### Agradecimentos

Agradecemos ao Programa Institucional de Apoio a Pesquisa – PAPq/UEMG Edital 02/2016, à orientadora Prof. Priscila Caroline Albuquerque da Silva e à co-orientadora Fabrícia Nunes de Jesus Guedes pelas orientações e suporte durante todo o trabalho de pesquisa.

#### REFERÊNCIAS

- 1 Callister WD. Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução. Rio de Janeiro: LTC; 2016.
- 2 Panonni FD. Princípios da Proteção de Estruturas Metálicas em situação de Corrosão e Incêndio. Ouro Branco: Coletânea do uso do aço; 2007.
- 3 Gentil V. Corrosão. Rio de Janeiro: LTC; 2011.

- 4 Gonçalves FV. Influência da temperatura de revenido na fragilização por hidrogênio no aço ABNT 10B22-modificado. Porto Alegre: Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2013
- 5 Frauches-Santos C, Albuquerque MA, Oliveira MCC, Echevarria A. A corrosão e os agentes corrosivos. Revista virtual de Química. 2013; 293-309