

5º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CATEGORIA 3

ALTERNATIVAS PARA SUBSTITUIÇÃO DE PAINÉIS DE AÇO EM VAGÕES

## INTRODUÇÃO

A empresa em estudo é voltada para transporte ferroviário de carga possuindo aproximadamente 6% da estrutura nacional brasileira, nos quais são transportados cerca de um terço de toda a produção do país. Detém cerca de 20% da frota ferroviária nacional, em torno de 20 mil vagões e aproximadamente 800 locomotivas. Dos tipos de cargas transportadas o minério de ferro se destaca em volume, sendo utilizado principalmente o vagão do tipo gôndola GDT, cuja frota aproxima-se de 10 mil vagões.

A partir de 2005, a empresa investiu na redução de tara da frota de minério de ferro. Todos os novos vagões gôndola foram modificados, comparados ao projeto original. Naturalmente, os principais objetivos deste projeto foram o alto desempenho e economia de combustível. Essas modificações aumentaram a capacidade útil do vagão em 16,4%, gerando ganhos de

produtividade e eficiência. Entretanto, em 2015, as oficinas de manutenção observaram que esses novos vagões começaram a apresentar preocupante deterioração dos painéis de revestimento, principalmente nas laterais e cabeceiras, gerando impactos operacionais e aumento dos custos de manutenção.

Após estudos realizados pelas áreas de engenharia, planejamento e manutenção, concluiu-se que a corrosão precoce das chapas tem origem na especificação do aço utilizada pelo fabricante de vagões. Assim, foi definido um plano emergencial para substituição parcial ou total das chapas de revestimento, de acordo com os níveis de degradação das séries de vagões fabricados entre 2005 e 2013, totalizando uma necessidade de intervenção em aproximadamente 5.000 vagões.

Nesse sentido, o trabalho tem por objetivo principal analisar e comparar, sob a ótica do LCC (“Life Cycle Cost”), o desempenho da chapa de aço carbono ASTM A-242, aplicada no plano emergencial de manutenção, e o aço semi-inox 410D, material esse já utilizado em outras ferrovias brasileiras e internacionais.

Seu objetivo secundário é validar um método de projeção de vida útil das chapas de aço carbono e semi-inox comparando testes de resistência à corrosão, realizados em laboratório, com dados de espessura dos painéis dos vagões, coletados em campo.

As conclusões desse estudo são de fundamental importância, pois a escolha do melhor cenário para tratamento desse problema gerará impactos estratégicos e financeiros nos próximos anos para a empresa.

## DIAGNÓSTICO

### 1. Corrosão

A corrosão é um fenômeno espontâneo, geralmente metálico, de destruição gradativa, com perda de material base, devido às modificações químicas e eletroquímicas do meio ambiente, podendo estar associado ou não a esforços mecânicos. Sendo ela um processo destrutivo contínuo diretamente no metal, pode provocar a indisponibilidade do equipamento por perfuração, trincas e solicitações mecânicas (Chiaverini, 1986).

As figuras 1 e 2 demonstram fotos que exemplificam a corrosão identificada em vagões imobilizados em uma das oficinas de manutenção da empresa.



Figura 1- Foto de chapa da lateral



Figura 2- Foto de chapa da cabeceira

Os metais, geralmente quando submetidos a uma solução aquosa, reagem entre os meios ocorrendo o desprendimento de íons para a solução, gerando uma concentração elétrica de cargas em sua superfície, que segundo Nunes (2007) ocasiona uma diferença de potencial elétrico entre a solução e o metal.

Um dos tipos de corrosão mais comum é a corrosão eletroquímica, principalmente porque seu processo está diretamente associado ao meio úmido, com presença de água ou umidade, onde se encontram várias condições favoráveis para a formação de pilhas ou células de corrosão. Sua formação geralmente ocorre em temperatura abaixo do ponto de orvalho (Telles, 2007).

A taxa de corrosão, ou a taxa de remoção de material - como consequência de ação química -, é um destacado parâmetro de corrosão. Esta pode ser expressa como taxa de penetração de corrosão (TPC), ou perda de espessura do material por unidade de tempo (Callister, 2012). O CPR (Corrosion Penetration Rate), outro termo como pode ser chamado o TPC, é convenientemente expresso tanto em milésimo da polegada por ano (mpy) como milímetros por ano (mm/yr). A norma NACE Standard TM-01-69 (2012) recomenda expressar a taxa de corrosão em mpy ou mm/yr.

As técnicas eletroquímicas são bastante populares como ferramentas de caracterização dos fenômenos de corrosão, tendo como principal objetivo prever de maneira quantitativa a taxa de corrosão. De acordo com Woynech (2003) o método de extrapolação da reta de Tafel, para determinado potencial de corrosão, determina o valor da taxa de corrosão. Esse mesmo método foi indicado pela equipe do laboratório de corrosão da UMFG como sendo satisfatório para realização do presente trabalho.

A norma NACE RP-07-75 (1999) estabelece a classificação de corrosividade de um meio como àquele que propicia uma taxa de corrosão uniforme e recomenda que a sua aplicação obedeça às faixas na tabela 1.

Tabela 1: Classificação de corrosividade (NACE 1999)

Taxa de corrosão uniforme (mm/ano)	Taxa de pite (mm/ano)	Corrosividade
< 0,025	< 0,13	Baixa
0,025 a 0,120	0,130 a 0,200	Moderada
0,130 a 0,250	0,210 a 0,380	Alta
> 0,250	> 0,380	Severa

### 1.1 Ensaio de resistência à corrosão

Foram enviadas ao Laboratório de Corrosão e Engenharia Química do Departamento de Engenharia Química da UFMG uma chapa de cada um dos aços identificados da seguinte maneira: aço atual (figura 3), aço novo ASTM A-242 (figura 4) e aço semi-inox (figura 5).



Figura 3 - Foto da chapa de aço atual



Figura 4 - Foto da chapa de aço novo



Figura 5 - Foto da chapa de aço semi-inox

A composição química dos aços indicada na tabela 2 foi utilizada para interpretação dos dados do ensaio de resistência à corrosão.

Tabela 2: Composição química dos aços

Amostra	Elemento										
	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	Al	Cu	Ti
Aço atual	0,110	0,643	0,024	0,005	0,366	0,009	0,457	0,006	0,039	0,001	0,001
Aço novo	0,129	0,756	0,028	0,007	0,285	0,080	0,271	0,007	0,039	0,266	0,028
Aço semi-inox	0,02	0,584	0,013	0,001	0,599	0,366	11,4	0,068	0,001	0,011	0,003

De acordo com o relatório técnico do laboratório de corrosão (Lins et al., 2017) além dos elementos citados na tabela 2, o aço semi-inox apresentou teor de nitrogênio inferior a 0,02%.

A fim de analisar a resistência à corrosão dos aços retratados nas figuras 3, 4 e 5, as chapas foram inicialmente cortadas em amostras com área de 1 cm<sup>2</sup> para que fossem realizados os ensaios de polarização e de espectroscopia de impedância eletroquímica. Para tanto, foram afixados às amostras fios de cobre por soldagem com estanho e o sistema foi embutido utilizando-se resina epóxi de cura rápida. Em seguida, as amostras foram lixadas numa

politriz metalográfica utilizando lixas d'água de carbeto de silício (SiC) com granulometrias de 400, 600 e 1200 mesh respectivamente. Os testes foram feitos em duplicata, a fim de confirmar o comportamento de cada amostra avaliada.

Cabe ressaltar que o meio eletrolítico utilizado no laboratório foi uma amostra de água coletada dos drenos de vagões após carregamento de minério, cujo pH foi igual a 6,8, valor esse muito próximo à neutralidade e, portanto, pouco influente sobre sua corrosividade de modo que, de acordo com Lins (2017), a agressividade desta solução pode estar associada aos íons nela presentes, sobretudo os cátions.

No ensaio de polarização por extrapolação de Tafel, as curvas foram obtidas utilizando taxa de varredura de  $1,0 \text{ mV.s}^{-1}$ , numa janela potencial em torno de 250mV (vs ECS) em relação ao potencial de circuito aberto previamente estabilizado por 3600 segundos. Os parâmetros da taxa de corrosão foram calculados pelo método de extrapolação de Tafel.

Após os testes de polarização, as amostras foram analisadas por microscopia óptica e fotos dos aspectos da superfície foram registradas.

## 1.2 Coleta de dados em campo

Para a coleta de dados sobre a espessura das chapas em campo o vagão do tipo GDT teve seus 12 painéis laterais subdivididos virtualmente em 6 seções, denominadas A, B, C, D, E e F conforme figura 6.



Figura 6 - Subdivisões virtuais dos painéis do vagão GDT

Cada seção originada do corte virtual entre painel versus subdivisão, exemplificados na figura 6, teve sua espessura coletada através de medidor de espessura ultrassônico calibrado. Foram avaliados 282 vagões GDT de diversas séries e anos de fabricação.

Em paralelo à medição de espessura das chapas foi aberta outra frente de coleta de informações com as equipes de manutenção que atuam em campo. Esse trabalho resultou na inspeção visual de 4.172 vagões catalogando trincas nas chapas laterais.

## 2. LCC ("Life Cycle Cost")

Segundo Woodward (1997) o custo do ciclo de vida ("Life Cycle Cost" ou LCC) de um produto consiste na soma de todos os custos despendidos com esse produto, desde a sua fabricação e operação até ao fim da sua vida útil.

Outra definição de LCC, semelhante à anterior, que transmite na totalidade a sua essência e é igualmente fácil de compreender é apresentada por Flanagan et al. (1989). De acordo com os autores, o LCC é uma técnica de avaliação econômica que consiste na apuração da



totalidade dos custos relacionados com um produto ao longo da sua vida operacional, incluindo não só os custos iniciais, mas também os custos de manutenção, os custos de operação e até os custos ou benefícios resultantes da sua “eliminação”.

A escolha do método LCC para cálculo dos cenários de desempenho dos aços analisados se corrobora pelo ponto de vista do consumo, que compreende o tempo desde que um produto é adquirido até que é “eliminado”. Essas atividades passam pela aquisição, operação/utilização, manutenção e venda/“eliminação” (Hansen e Mowen, 2005).

Neste sentido, sendo a análise de LCC uma previsão do futuro, diferentes métodos de estimativa de custos poderão ser aplicados, dependendo sempre da disponibilidade de dados e da fase em que estes estão a ser estimados. Fabrycky e Blanchard (1991) propõem três formas de estimação de custos: estimação por analogia, métodos de estimação paramétricos e estimação através de procedimentos de engenharia. Para orientação do presente trabalho foi escolhido esse último citado, devido aos custos serem distribuídos por cada categoria de custos detalhadamente, somando em seguida a sua totalidade. Ainda de acordo com Fabrycky e Blanchard (1991) este método pode resultar numa estimativa bastante precisa se todos os dados necessários estiverem disponíveis.

## 2.1 Parâmetros para o cálculo do LCC

Explorando a vantagem de customização dos parâmetros de entrada da técnica do cálculo do LCC, foi estipulado que as premissas de engenharia se restringirão apenas à intervenção necessária nos painéis que compõem as chapas laterais, chapas das cabeceiras e as chapas

do assoalho. Para esse estudo o custo de aquisição e operação do ativo não terá relevância, pois os vagões alvo do estudo já estão em operação e com ciclo de manutenção definido.

Premissas eleitas para compor o cálculo do LCC:

- Área das chapas dos painéis laterais, das cabeceiras e assoalho;
- Peso específico dos aços ASTM A-242 e semi-inox 410D;
- Custo / kg das chapas de aços ASTM A-242 e semi-inox 410D;
- Homem x hora (Hxh) médio do mantenedor metalúrgico para recuperação de estrutura;
- Custo do Hxh do mantenedor metalúrgico;
- Quantidade média de gasto de arame MIG para recuperação de estrutura;
- Custo / Kg do arame MIG específico para cada tipo de aço estudado;
- Quantidade média de gás (em m<sup>3</sup>) utilizada para recuperação de estrutura;
- Custo / m<sup>3</sup> dos gases específicos para cada tipo de aço estudado;
- Taxa proporcional de corrosão identificada para cada tipo de aço estudado;
- Limite de desgaste das chapas do assoalho, painéis laterais e de cabeceiras.

## **ANÁLISE DOS RESULTADOS**

1. Taxa de desgaste das chapas encontradas em campo

Após medição em campo, das chapas laterais de 282 vagões foi possível calcular uma taxa de desgaste, em mm/ano, levando em conta o ano de fabricação das séries dos ativos. A figura 7 representa o gráfico que mostra o comportamento do desgaste nas subdivisões da figura 6.

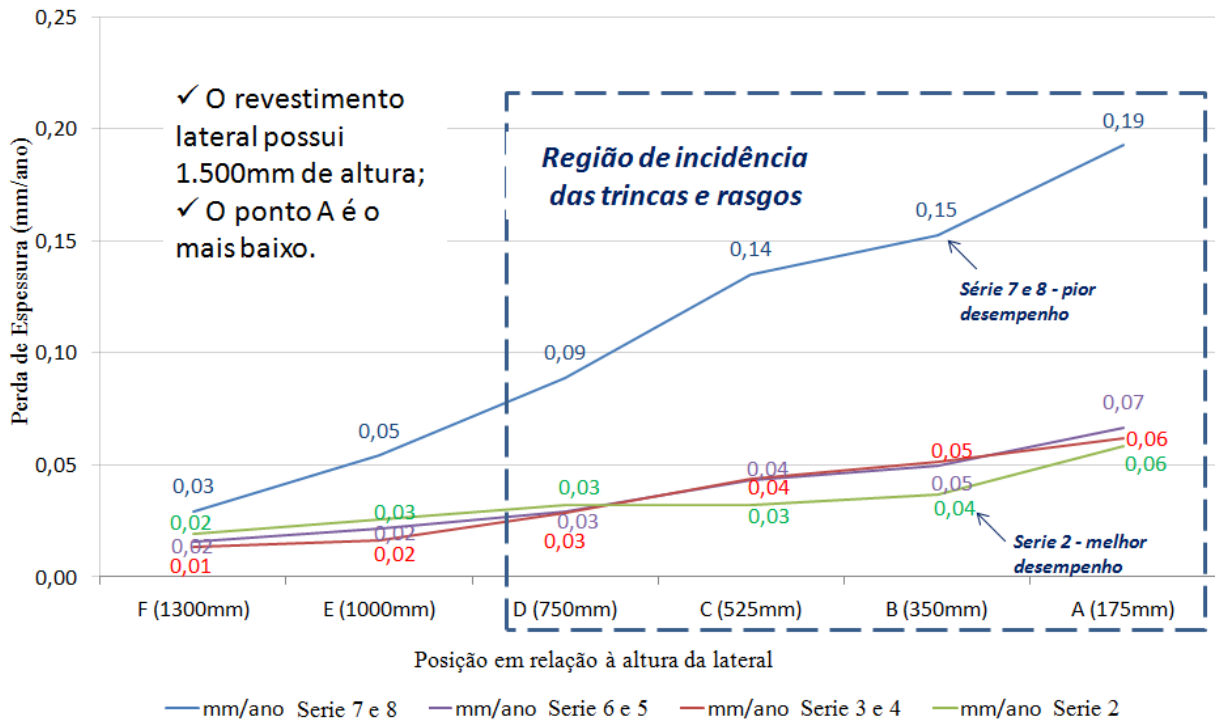


Figura 7 - Taxas de desgaste obtidas através das medições de espessura em campo

Pode-se notar a partir da análise da figura 7 que o comportamento das séries de vagões de 2 a 6 apresentam taxas de desgaste razoavelmente parecidas, enquanto as séries de vagões 7 e 8, destoam em muito das outras, chegando a 0,19 mm/ano, um desempenho 3,2 vezes pior. Interessante observar também que, independente da série, os pontos mais próximos ao assoalho do vagão apresentam maiores valores de corrosão. Esse fato pode ser explicado devido ao fato dessa região geralmente permanecer mais úmida durante o tempo em que os vagões estão carregados com minério.

Com relação à coleta de informações sobre painéis trincados visualmente a figura 8 traz um índice de “percentual de trinca por tempo médio de uso”, determinado pela relação do percentual de painéis trincados pelo tempo médio de uso dos vagões.

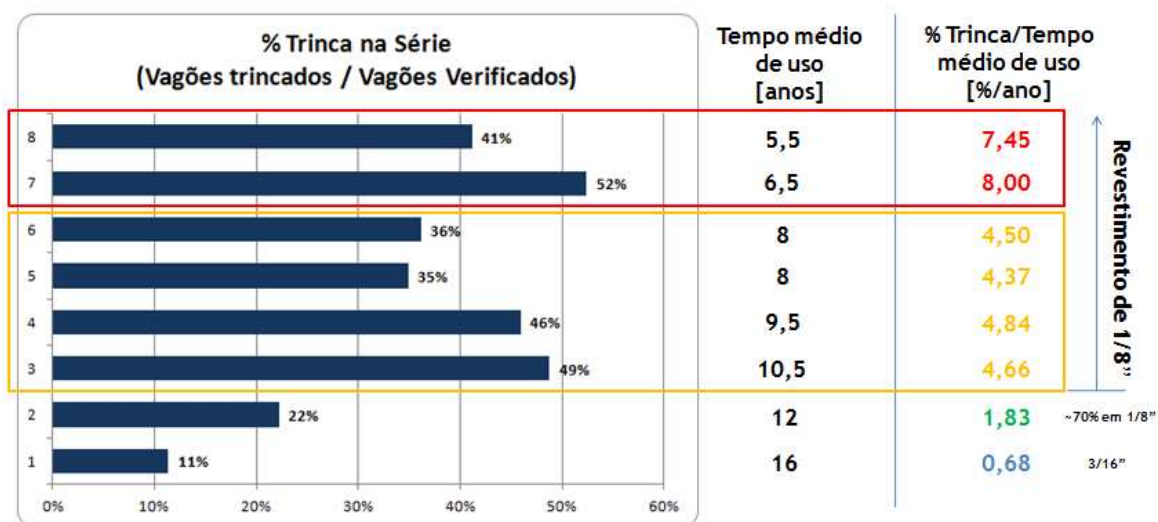


Figura 8 - Percentual de trinca por tempo médio de uso

Pode-se perceber que as séries 1 e 2 apresentam percentual muito baixo em relação à demais frotas porém deve-se segregar o desempenho da série 1 devido ao fato de que os painéis de revestimento dessa frota são de espessura diferente.

Análises químicas feitas em várias amostras de chapa de cada uma das séries apresentadas na figura 8 mostraram que as chapas utilizadas na série 2 condizem com as especificações do aço ASTM A-242 enquanto as séries 3, 4, 5 e 6 apresentam várias alterações em seus elementos, principalmente cobre, performando em média, 2,5 vezes menos que a série 2. As amostras das séries 7 e 8, que apresentam o pior índice identificado, possuem características que as identificam como sendo um aço patinável com cobre residual, informação essa

confirmada pelo fabricante, cujo desempenho apresentou-se em média 4,2 vezes menor do que as chapas da série 2.

## 2. Taxa de corrosão

Os resultados obtidos no ensaio de polarização mostram que o maior potencial de corrosão ( $E_{corr}$ ) foi observado para o aço semi-inox, conforme figura 9, que apresentou ainda a menor densidade de corrente de corrosão. Isso significa que a amostra de semi-inox é mais resistente à corrosão do que as duas outras amostras avaliadas.

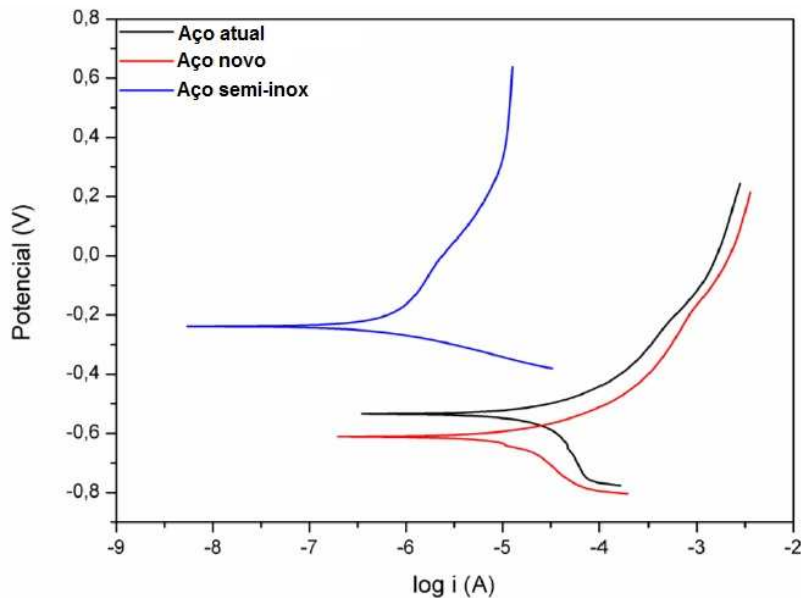


Figura 9 - Curvas de polarização para as amostras de aço (Lins 2017)

As curvas de polarização dos aços atual e aço novo apresentam perfil bastante similar, com valores próximos de potencial e de densidade de corrente de corrosão.

A tabela 3 abaixo mostra o resultado dos parâmetros de Tafel. Pode-se ver que a maior densidade de corrente de corrosão ( $j_{corr}$ ) observada para o aço atual implica em uma maior taxa de corrosão (1,4342 mm/ano), valor aproximadamente 2,3 vezes maior do que a taxa

do aço novo ASTM A-242 (0,62806mm/ano), porém consideravelmente altos quando comparados à taxa de corrosão do aço semi-inox (0,018215mm/ano), valor esse 34,5 vezes menor do que o aço novo e 78,7 vezes menor do que o aço atual.

Tabela 3: Parâmetros de Tafel (Lins 2017)

Amostra	$E_{corr}$ (mV)	$j_{corr}$ ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )	Taxa de corrosão (mm/ano)
Aço atual	-534,50	61,87	1,4342
Aço novo	-611,03	27,09	0,62806
Aço semi-inox	-239,03	0,78579	0,018215

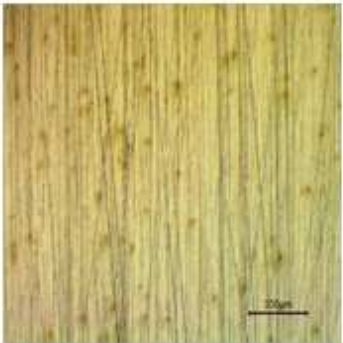
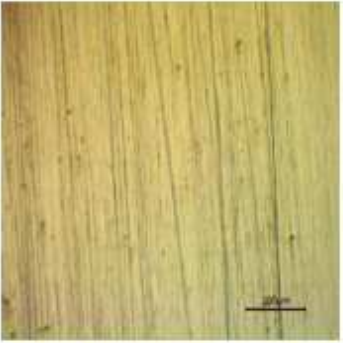

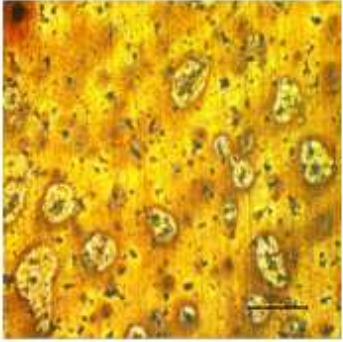
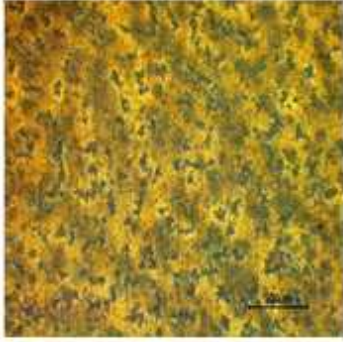

Conforme relatório técnico do laboratório de corrosão (Lins et al., 2017) o pH do meio eletrolítico utilizado no teste, que se resume à água coletada de drenos do vagão após carregamento, foi igual a 6,8, muito próximo à neutralidade de modo que a agressividade da desta solução pode estar associada a íons nela presentes, sobretudo os cátions, e pelo baixo teor de elementos de liga nos aços atual e novo (ASTM A-242), tornando-os pouco resistentes à corrosão.

Importante ressaltar que a norma NACE RP-07-75 (1999) estabelece a classificação de baixa corrosividade de um meio como àquele que propicia uma taxa de corrosão uniforme inferior a 0,025 mm/ano, portanto, pode-se inferir que entre os diferentes materiais analisados apenas a aplicação do aço semi-inox pode ser considerada satisfatória.

As figuras presentes na tabela 4 ilustram, com um aumento de 100 vezes, o efeito da polarização em cada um dos aços, pelas quais se verifica claramente a presença de produtos de corrosão, sobretudo, nos aços atual e novo. Sobre as mesmas condições eletroquímicas

de sobretensão, o aço semi-inox não teve sua superfície consideravelmente alterada, corroborando sua maior resistência à corrosão no referido meio eletrolítico em concordância com os resultados verificados nos ensaios de polarização.

Tabela 4: Imagens de microscopia antes e depois do ensaio em laboratório (Lins 2017)

	Aço atual	Aço novo	Aço semi-inox
Antes do teste			
Após o teste			

### 3. Resultado do cálculo do LCC

Apesar da definição da norma NACE RP-07-7 sugerir que apenas o aço semi-inox é indicado para exposição à solução aquosa presente no minério de ferro, conforme os resultados dos testes feitos no laboratório de corrosão foi realizada uma comparação de custos entre aplicação do aço ASTM A-242 e o aço semi-inox. Assim como demonstram esses testes, foi identificado um desempenho 2,3 vezes maior do aço ASTM A-242 comparado ao aço atual

conforme a tabela 3 “Parâmetros de Tafel”. Como essa relação de proporção de durabilidade pôde ser confirmada com as medições feitas em campo, pode-se estimar com alto grau de certeza, que o desempenho da chapa de aço semi-inox segue a mesma projeção vista em laboratório e que seu desempenho com relação ao aço ASTM A-242, para o meio estudado, é 34,5 vezes maior, novamente conforme tabela 3.

Essa alta resistência à corrosão identificada no teste pôde ser observada em campo através da medição da espessura das laterais de um vagão GDT protótipo, que está em operação a 5 anos, cujas chapas de sua estrutura são de aço semi-inox e não apresentaram nenhuma redução de espessura e conseqüentemente nenhuma trinca em seus painéis de revestimento laterais e de cabeceira, conforme figuras 10 e 11.



Figura 10 - Lateral protótipo semi-inox



Figura 11 - Interior protótipo semi-inox

De acordo com o item 5.6.4.1 do documento técnico POP-ENG-1133 utilizado pela empresa o limite operacional de espessura das chapas laterais e de cabeceira, que originalmente apresenta a espessura de 3,2mm, deve ser de no mínimo de 2,5mm. Esse é o critério de condenação utilizado para realizar a troca das chapas. Com base nesse critério e, levando-se em conta as taxas calculadas a partir das medições feitas em campo apresentadas na figura



7, a vida útil do aço ASTM A-242 nos painéis laterais e de cabeceira, para a operação do vagão GDT é de 11,7 anos e para o assoalho essa vida útil é de 20,8 anos. A vida útil da chapa de aço semi-inox ultrapassa em muito a vida útil do ativo.

Meritório destacar que o cenário do LCC para aplicação do aço ASTM A-242, não leva em conta o impacto operacional na malha ferroviária da empresa que as intervenções em uma frota de 5015 vagões podem causar, mas apenas seu custo financeiro. Sendo assim, uma estimativa de ciclo de aplicação foi realizada levando em conta a capacidade produtiva das oficinas de manutenção que realizam reparo em estruturas, que atualmente atuam de forma corretiva e emergencial nos vagões que já entraram em colapso devido à perda de espessura das chapas, e estão atualmente dimensionadas para atender 70 vagões por mês, o que gera um ciclo de intervenção na frota de 6 anos conforme mostra a figura 12.

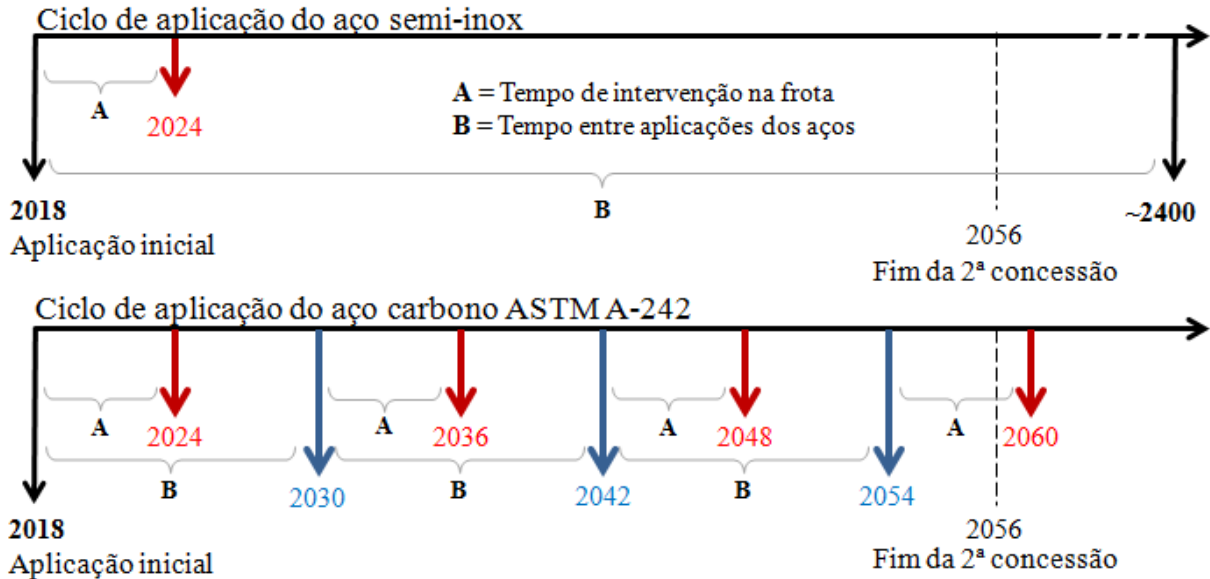


Figura 12 - Ciclo de aplicação dos aços

A tabela 5 permite verificar que para um cenário de fim da 1ª concessão da empresa, o aço ASTM A-242, mesmo não recomendado para esse tipo de operação, traz um LCC satisfatório comparado ao aço semi-inox, entretanto, ao analisar um cenário de fim de uma possível 2ª concessão o aço semi-inox se faz mais econômico ao longo da vida útil do ativo.

Tabela 5: Cálculo do custo do ciclo de vida (LCC)

	ASTM A-242		Semi inox 410D	
Custo das chapas laterais	R\$	2.367,40	R\$	4.828,09
Custo das chapas de assoalho	R\$	3.222,08	R\$	7.333,35
Custo das chapas de cabeceira	R\$	783,20	R\$	1.597,26
Custo com Hxh de metalurgico para cabeceiras e laterais	R\$	2.472,07	R\$	2.472,07
Custo com Hxh de metalurgico para assoalho	R\$	2.357,09	R\$	2.357,09
Custo dos insumos para assoalho (gases, arames, discos)	R\$	646,11	R\$	2.809,11
Custo dos insumos para cabeceiras e laterais	R\$	1.021,29	R\$	4.420,29
<b>Custo de aplicação inicial (vida útil ao final da 1ª concessão)</b>	<b>RS</b>	<b>12.869,25</b>	<b>RS</b>	<b>25.817,26</b>
Quantidade de intervenções ao final da 2ª concessão (2056)		4*		1
<b>Custo de aplicação ao final da 2ª concessão</b>	<b>RS</b>	<b>39.026,42</b>	<b>RS</b>	<b>25.817,26</b>
<b>5.015 Vagões</b>	<b>RS</b>	<b>195.717.480,25</b>	<b>RS</b>	<b>129.473.566,92</b>

\* 4 intervenções em lateral e cabeceira e 2 para assoalho em aço carbono

## CONCLUSÕES

Foi possível verificar com esse estudo que o comportamento visto no ensaio de polarização, com os parâmetros de Tafel, foi validado pelas medições de espessura realizadas em campo e a classificação de corrosividade indicada pela norma NACE pode ser adotada como premissa de projeto para novos ativos. Outra constatação importante, oriunda dos ensaios, é a de que o aço ASTM A-242 possui melhor desempenho comparado ao aço patinável da frota estudada.

Os cenários de LCC apresentados na tabela 5 possuem significativa relevância e podem servir de base para tomada de decisão sobre a melhor alternativa de intervenção da frota de vagões estudada, dado que para um marco de final da 1ª concessão a opção do aço carbono possui vantagem financeira, porém, para uma possível renovação de concessão, o aço semi-inox se torna a melhor alternativa financeira e com menor impacto operacional devido à sua necessidade de aplicação em uma única vez.

Recomenda-se para tomada de decisão final, a realização de um comparativo utilizando o método VPL (Valor Presente Líquido) adotando a taxa utilizada pela empresa, levando em conta o benefício secundário de menor carry back (peso morto residual após descarga do material) observado nos protótipos de vagões GDT que possuem chapas de aço semi-inox, que resultaram, em média, numa primeira avaliação, 640 kg a menos, comparados aos vagões dotados da chapa de aço carbono. Essa menor retenção de peso pode influenciar positivamente no consumo de combustível do trem quando circulando em vazio, viabilizando ainda mais essa opção.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALVES, Maria Bernardete M.; ARRUDA, Susana M. Como Fazer referências: bibliográficas, eletrônicas e demais formas de documentos. Santa Catarina: UFSC, 2007, 21p.

CALLISTER JR., Willian D, RETHWISCH, David G. Ciência e engenharia de materiais uma Introdução. 8 edição. Rio de Janeiro, LTC, 2012.

CASTRO, Carmen. Metodologia da pesquisa científica. 03-07 de Out de 2016. 54 p. Notas de Aula.

CHIAVERINI, Vicente. Tecnologia mecânica. 2. Ed. – São Paulo : McGrawHill, 1986.

ENGENHARIA DE MATERIAL RODANTE. Coordenação de Engenharia e Desenvolvimento. Relatório análise das trincas em caixas de vagões. Juiz de Fora. 2016. Relatório em Power point.

ENGENHARIA DE MATERIAL RODANTE. Gerência de Engenharia e Material Rodante. POP-ENG-1133 Procedimento operacional padrão preventiva VR1, VR2 e VR4 em vagões de todas as frotas. Juiz de Fora. 2016. 77 p.

Flanagan, R., G. Norman, J. Meadows, e G. Robinson (1989), Life Cycle Costing Theory and Practice, BSP Professional Books: Oxford.

Hansen, D., e M. Mowen (2005), Cost Management: Accounting and Control, 5ª Edição, Ohio: Thomson – South Western.

LINS, Vanessa de Freitas Cunha; SOARES, Renata Braga; FARIA; Ricardo Adriano Dorledo de. Relatório técnico resistência à corrosão de diferentes tipos de aços em vagões expostos a água coletada de dreno. Minas Gerais: UFMG, 2017. 9 p.

NACE RP-07-75. Standard recommended practice, preparation, installation, analysis and interpretation of corrosion coupons in oilfield operations, 1999.

NACE TM 01-69. Standard guide for laboratory immersion corrosion testing of metals, 2012. p. 10.

NUNES, Laerce de Paula. Fundamentos de resistência à corrosão. , - Rio de Janeiro:

Interciência: IBP: ABRACO, 2007.

Woodward, D. (1997), "Life Cycle costing - theory, information acquisition and application",

International Journal of Project Management, Vol.15, Nº 6, pp. 335-344.