



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**LUCAS QUEIROZ SILVA**

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA  
SUBSTITUIÇÃO DO AÇO CARBONO POR AÇO  
INOXIDÁVEL NOS TUBOS DE TRANSPORTE DE  
TRIGO LAVADO**

**Uberlândia – MG**

**2022**

**LUCAS QUEIROZ SILVA**

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA  
SUBSTITUIÇÃO DO AÇO CARBONO POR AÇO  
INOXIDÁVEL NOS TUBOS DE TRANSPORTE DE  
TRIGO LAVADO**

**Projeto de Fim de Curso** apresentado ao curso de graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de **Bacharel em Engenharia Mecânica**.

Orientador: Prof. Dr. Volodymyr Ponomarov

**Uberlândia – MG**

**2022**

**LUCAS QUEIROZ SILVA**

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA  
SUBSTITUIÇÃO DO AÇO CARBONO POR AÇO  
INOXIDÁVEL NOS TUBOS DE TRANSPORTE DE  
TRIGO LAVADO**

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Volodymyr Ponomarov – Orientador  
Universidade Federal de Uberlândia

---

Prof. Dr. Leandro João da Silva  
Universidade Federal de Uberlândia

---

Profa. Dra. Anna Tokar  
Centro Universitário da Grande Dourados

**Uberlândia – MG**

**2022**

*“One of the greatest tragedies of our time is this impression that has been created that science and religion have to be at war”.*

*Francis Collins (1960 - )*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por cada oportunidade concedida. As bênçãos dele foram muitas para permitir eu chegar até aqui.

Aos meus pais Roberto da Silva e Renata Queiroz, por todo amor incondicional que têm por mim, pelo apoio em cada jornada e etapa até o presente momento.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Volodymyr Ponomarov, por ter aceitado me orientar e guiar nessa etapa, sempre prestativo e por confiar sempre na minha capacidade sempre que era solicitado o desenvolvimento de alguma parte de pesquisa.

À empresa pela oportunidade a mim dada no estágio, onde pude crescer e aprender, além de descobrir e buscar possíveis causas apresentados ao problema mostrando nesse trabalho de conclusão de curso. Assim como, ao Engenheiro responsável pela manutenção Tarcilio Rezende ao me guiar nessa fase de conhecimento e prática.

Aos colegas de curso que tanto me ajudaram, apoiaram e ensinaram em todo o percurso, em especial Guilherme Andrade, Pedro Henrique Franco e Pedro Henrique Macedo. Juntos vencemos cada uma das fases, complicadas e trabalhosas, que a graduação em engenharia me proporcionou, onde sem a ajuda deles seria impossível chegar até aqui.

Aos amigos fora da faculdade, em especial a Roberta Araújo que me acompanhou em grande parte dessa caminhada, com seu apoio e compreensão.

Por fim, a todos que me apoiaram e estiveram do meu lado para concluir essa etapa tão importante na minha vida.

QUEIROZ, L. S. **VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA SUBSTITUIÇÃO DO AÇO CARBONO POR AÇO INOXIDÁVEL NOS TUBOS DE TRANSPORTE DE TRIGO LAVADO**. 2022. 43p. Projeto de Fim de Curso. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia

## RESUMO

Em empresas do ramo de processamento de grãos, em específico o de trigo para produção de farinha e derivados, a operação mais crítica é a de lavagem dos mesmos, uma vez que é necessário o transporte através de guias-tubos e parafusos sem-fim, ainda no estado úmido e acarretando diferentes tipos de corrosão nos equipamentos. A solução usualmente adotada é a simples substituição das tubulações danificadas por outras de aço carbono, apenas como manutenção paliativa, embora seja de conhecimento da empresa os benefícios da utilização de aço inoxidável, como exemplo de que partes da tubulação já foi substituída por tubos de aço inoxidável. Como parte orçamentária da empresa, é de grande interesse da mesma o aumento da vida útil das peças expostas a esse tipo de desgaste. Para essa finalidade, se fez necessário analisar e relacionar os tipos e possíveis causas da corrosão, assim podendo determinar as formas de prevenção e materiais mais adequados, avaliando a viabilidade técnica e econômica, que foi o objetivo deste trabalho de fim de curso. Foram abordados os meios mais comuns e usados de proteção contra a corrosão na indústria em geral. No âmbito de estudo, foi feita a análise dos mecanismos corrosivos atuantes, considerando suas consequências na prática. Através de orçamentos obtidos, pode se fazer a comparação entre a atual prática adotada de manutenção paliativa e de simples substituição por peças do mesmo aço carbono, com a outra proposta de utilizar peças de aço inoxidável, avaliando se o ganho em vida útil dos equipamentos é suficiente para arcar com os custos de tal material mais durável.

QUEIROZ, L. S. **TECHNICAL AND ECONOMIC FEASIBILITY OF REPLACING CARBON STEEL WITH STAINLESS STEEL IN WASHED WHEAT TRANSPORT TUBES**. 2022. 43p. End of Course Project. Federal University of Uberlandia. Uberlandia

## ABSTRACT

In grain processing companies, specifically wheat for the production of flour and derivatives, the most critical operation is washing them, since transport through tube guides and screws without end, still in the wet state and causing different types of corrosion in the equipment. The solution usually adopted is the simple replacement of damaged pipes with carbon steel ones, just as palliative maintenance, though the company is aware of the benefits of using stainless steel, as an example of which parts of the pipe have already been replaced by stainless steel tubes. As part of the company's budget, it is of great interest to increase the service life of parts exposed to this type of wear. For this purpose, it was necessary to analyze and relate the types and possible causes of corrosion, thus being able to determine the most appropriate forms of prevention and materials, evaluating the technical and economic feasibility, which was the objective of this end-of-course work. The most common and used means of corrosion protection in the industry in general were discussed. Within the scope of the study, an analysis of the corrosive mechanisms at work was carried out, considering their consequences in practice. Through the obtained budgets, a comparison can be made between the current adopted practice of palliative maintenance and simple replacement by parts of the same carbon steel, with the other proposal of using stainless steel parts, evaluating if the gain in equipment life is enough to bear the costs of such a more durable material.

---

Keywords: corrosion, oxidation, service life.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tubulação de transporte de trigo úmido deteriorada devido a corrosão (Autoria própria) .....	2
Figura 2. Representação simplificada do conjunto de equipamentos de transporte de trigo úmido: a) Vista frontal; b) Vista lateral. (Autoria própria) .....	9
Figura 3. Parafuso sem-fim de transporte em aço inoxidável. (Autoria própria) .....	9
Figura 4. Parafuso sem-fim e carcaça de alojamento em aço inoxidável (CORPORATION, 2019) .....	10
Figura 5. Tubulação substituída em aço carbono e utilizando sistema de abraçadeiras (Autoria própria) .....	10
Figura 6. Diferentes efeitos presentes em junta soldada. (Autoria própria) .....	12
Figura 7. Corrosão em zona soldada. (HINDAWI, 2018) .....	13
Figura 8. Principais causadores de corrosão em junta soldada. (UFPR,2022) .....	14
Figura 9. Desempenho dos diferentes aços. (APERAM, 2022) .....	15
Figura 10. Sistema de lavagem de minério de ferro. (MINERALES, 2020) .....	16
Figura 11. Vagões de transporte de minério de ferro. (APERAM, 2016) .....	16
Figura 12. Caminhão Betoneira. (APERAM, 2022) .....	17
Figura 13. Projeto de um Lavador de Gases. (APERAM, 2022) .....	17
Figura 14. Projeto de Secador de Farelo. (APERAM, 2022) .....	18
Figura 15. Projeto de Talisca de esteira de Cana. (APERAM, 2022) .....	19
Figura 16. Influência do Cromo no desgaste pela abrasão-corrosão. (APERAM, 2022) ...	19



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Principais tipos de corrosão .....	4
Tabela 2. Composição do aço 1020 estudado (LEITE, 2018) .....	6
Tabela 3. Composição do aço inoxidável 316 estudado (GONTIJO, 2007) .....	6
Tabela 4. Estudos dos efeitos do Cloro em Aço carbono 1020 e Aço inoxidável 316 .....	7
Tabela 5. Produto Interno Bruto dos 15 primeiros países (FMI, 2020) .....	12
Tabela 6. Comparação de aços para Lavador de Gases (APERAM, 2022) .....	17
Tabela 7. Comparação de aços para Secador de Farelo (APERAM,2022) .....	18
Tabela 8. Comparação de aços para Talisca de esteira de Cana (APERAM, 2022) .....	19
Tabela 9. Influência dos elementos de liga nas propriedades do aço (DOLABELLA, 2016) .....	20
Tabela 10. Mecanismos de inibição (DOLABELLA, 2016) ... ..	26
Tabela 11. Técnicas de proteção (DOLABELLA, 2016) ... ..	27

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVO .....</b>	<b>3</b>
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>4</b>
<b>3.1 TIPOS DE CORROSÃO .....</b>	<b>4</b>
<b>3.2 EFEITOS DO CLORO NA CORROSÃO.....</b>	<b>6</b>
<b>3.3 EFEITO ABRASIVO DO TRANSPORTE DE GRÃOS .....</b>	<b>7</b>
<b>3.4 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA .....</b>	<b>8</b>
<b>3.5 CORROSÃO CONCENTRADA NO PONTO DE SOLDA .....</b>	<b>12</b>
<b>3.6 EXEMPLO DE APLICAÇÕES PRÁTICAS .....</b>	<b>15</b>
<b>4 METODOLOGIA.....</b>	<b>21</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>22</b>
<b>6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>24</b>
<b>7 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>26</b>
<b>8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>28</b>



# CAPÍTULO I

## INTRODUÇÃO

*“Num aspecto muito difundido e aceito universalmente, pode-se definir corrosão como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica, do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos.”*

Fonte: GENTIL, Vicente 1978

Por ser um fenômeno natural e espontâneo causado pelo contato de metais com ar e umidade, a existência da corrosão é presente desde sempre, sendo a forma mais comum através de uma reação de oxidação, popularmente conhecida como ferrugem, que se caracteriza pelo material fragilizado e desgastado, formando resíduos e degradação e a consequente diminuição de vida útil. Os óxidos são compostos químicos naturalmente mais estáveis se comparados aos elementos puros. A evidenciação no estudo dos efeitos nocivos de corrosão para a indústria pode ser representada por histórias trágicas, como por exemplo a degradação e posterior abandono de ferrovias no Brasil; segundo a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), cerca de 1/3 (um terço) de toda a linha ferroviária do país está abandonada a anos e sujeita aos efeitos da corrosão e degradação pelo ambiente (PESAGEM E AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL, 2020).

Em indústrias de processamento de trigo, uma das etapas consiste no transporte do trigo após sua lavagem com água da rede (adicionado uma porcentagem a mais de cloro em relação a um dado volume de água da rede) para um silo (conhecido como silo de descanso), através de esteiras e tubulações. Pela presença do cloro na água, somado ao efeito abrasivo causado pelo próprio grão de trigo (corrosão por abrasão), há a deterioração das tubulações tanto do próprio tubo, como nas juntas soldadas do flange, como mostrado na Fig.1 a seguir.



**Figura 1** – Tubulação de transporte de trigo úmido deteriorada devido a corrosão.

Fonte: autoria própria.

Como visualizado na Fig.1, as tubulações de transporte sofrem bastante desgaste por química e física envolvidas no processo. Mas fica evidente que esse efeito de desgaste se manifesta de forma mais intensa em certos pontos do tubo, principalmente, na zona próxima à junta soldada do flange. Destarte, surge então algumas perguntas, o que provoca esse desgaste pontual e qual é a melhor solução deste problema para a empresa em termos econômicos e técnicos? A busca pelas respostas é o objetivo deste Projeto de Fim de Curso.

## **CAPÍTULO II**

### **OBJETIVO**

Este trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade da substituição de peças em aço carbono por aço inoxidável, considerando uma investigação das principais causas da corrosão em tubulações de transporte de trigo lavado utilizadas em indústria de processamento de trigo. Através do mesmo, entender a atual posição da empresa com relação ao problema, mas também mostrar as vantagens do uso de materiais mais adequados.

O trabalho se dará em essência na fase teórica, buscando na literatura possíveis justificativas para o problema e criando a correlação com o fenômeno encontrado na realidade afim de apresentar possíveis soluções para a empresa. Destarte, a comparação com dados encontrados na literatura e nas diferentes aplicações da indústria, se farão extremamente relevantes para justificar a tese deste trabalho.

## CAPITULO III




### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nessa seção será apresentada a base teórica encontrada para comparação com a problemática em questão, elucidando os principais tipos de corrosão, a contextualização do problema, a característica específica da corrosão localizada na zona próxima ao ponto de solda e suas principais causas, assim como em exemplos de aplicações práticas.

#### 3.1 TIPOS DE CORROSÃO


Como forma mais simples de visualização e comparação entre as principais formas de corrosão, a Tabela 1 abaixo apresenta e exemplifica esses tipos.

**Tabela 1** – Principais tipos de corrosão.

Tipos de corrosão	Causas e meios corrosivos	Mecanismos de proteção	Ilustrações
<p><b>Química</b> Segundo Fogaça (2022), é característica em superfícies metálicas no ataque direto na superfície do material, do contato entre elas há a formação de um sal ou óxido.</p>	<p>Segundo Fogaça (2022), não há transferência de cargas ou elétrons, sem a formação de uma corrente elétrica. Esse fenômeno normalmente ocorre em altas temperaturas.</p>	<p>Passivação: formação de uma película inibidora superficial. Ocorre geralmente no: cádmio, cobre, prata e zinco (A CORROSÃO E OS AGENTES ANTICORROSIVOS, 2014).</p>	 <p>Fonte: autoria própria.</p>
<p><b>Eletroquímica</b> Segundo Fogaça (2022), é um processo espontâneo que ocorre quando o metal ou liga está em contato com um eletrólito, formando uma pilha de corrosão, ou quando dois metais são ligados por um eletrólito, formando uma pilha galvânica.</p>	<p>Os eletrólitos mais comuns são: a água do mar, ar atmosférico com umidade, o solo entre outros (FOGAÇA, 2022).</p>	<p>Segundo Projeto e Pesquisa em Engenharia Química (2020), os mais comuns são: modificações no processo, no metal envolvido, no meio corrosivo e a aplicação de revestimentos protetores.</p>	 <p>Fonte:(RIJEZA METALÚRGICA, 2022)</p>
<p><b>Eletrolítica</b> Segundo Fogaça (2022), é um processo não-espontâneo, que se dá com a aplicação de corrente elétrica externa, por consequência da presença das “correntes de fuga”. Observa-se furos isolados na peça onde houve a fuga de corrente para o solo.</p>	<p>As causas mais comuns dessas correntes são deficiências de isolamento ou de aterramento, ou até mesmo já deterioradas (FOGAÇA, 2022).</p>	<p>Os mais comuns são: bons sistemas de isolamento da estrutura, assim como aterramento adequado à aplicação desejada.</p>	 <p>Fonte: (FOGAÇA BRASIL ESCOLA, 2022)</p>

<p><b>Uniforme</b> Segundo Metalúrgica (2022), ocorre de maneira generalizada e homogênea pela ação de micro pilhas de ação localizada na ruptura generalizada da camada passiva e o ataque corrosivo por toda a superfície do material, resultando em perda de espessura.</p>	<p>É causada pelo contato direto com um ambiente agressivo, pela falta, degradação ou inadequada proteção, geralmente na ausência de manutenção do equipamento (METALÚRGICA, 2022).</p>	<p>Os meios mais comuns são: revestimentos para proteção superficial, materiais de base adequados (METALÚRGICA, 2022).</p>	 <p>Fonte: (METALÚRGICA, 2022)</p>
<p><b>Por placas</b> Segundo Metalúrgica (2022), a corrosão ocorre em chapas e componentes laminados e se localiza em certas regiões da superfície metálica onde não há a formação da camada de proteção, formando as escavações e a ruptura das placas.</p>	<p>As principais causas são a falta de manutenção, limpeza e lubrificação, ausência de agentes de proteção contra a umidade (METALÚRGICA, 2022).</p>	<p>Os meios mais comuns são: revestimentos protetivos através de aspersão térmica, utilizando por exemplo o Inconel 625 ou cerâmicos em aplicações de meio ácido (METALÚRGICA, 2022).</p>	 <p>Fonte: (TORINO SOLUZIONI AMBIENTALI, 2018)</p>
<p><b>Alveolar</b> Segundo Torino Soluzioni Ambientali (2018), ocorre o ataque localizado, que se caracteriza pela formação de cavidades semelhantes a alvéolos, em que seus diâmetros são maiores que a profundidade.</p>	<p>Segundo Mainier (1982), estudos mostram causas relacionados ao ácido sulfúrico. E de acordo com Ramos (1982) e Salles (1990) por sulfeto de hidrogênio.</p>	<p>Os mais comuns são: o emprego de revestimentos adequados à aplicação e uso de inibidores da ação, principalmente dos íons de cloro como nas chuvas ácidas (TOSO, 2022).</p>	 <p>Fonte: (TORINO SOLUZIONI AMBIENTALI, 2018)</p>
<p><b>Por pites</b> Segundo Metalúrgica (2022), ocorre o ataque de natureza localizada, onde em uma área há perda de passivação se tornando anódica e em outra se torna catódica, ocorrendo a corrosão galvânica localizada e com a característica de que as cavidades possuem profundidade maior que o diâmetro.</p>	<p>Segundo Chen et al (2005), foi observado em meio aquoso contendo sulfeto de hidrogênio, ademais segundo Almeida (2010) tem causas ligadas ao Sulfeto de Manganês.</p>	<p>Os mais comuns são a aplicação de revestimentos superficiais, geralmente de carboneto de cromo e de tungstênio com cromo (METALÚRGICA, 2022).</p>	 <p>Fonte: (METALÚRGICA, 2022)</p>
<p><b>Seletiva</b></p>	<p><b>Denzificação</b> Segundo Ribeiro (2017), é comum nos latões (Cu-Zn), se caracteriza pela corrosão preferencial do Zn, e ao final restando apenas o cobre, o que dá um tom avermelhado característico.</p>	<p>Os mais comuns são: aplicação da liga em ambientes menos agressivos, proteção catódica ou a adequação do teor da liga, sendo que com até 15% de zinco (latão vermelho), observa-se uma maior resistência à corrosão (RIBEIRO, 2017).</p>	 <p>Fonte: (LIB, 2013)</p>



	<p><b>Grafitização</b> Segundo Nunes (2013), é comum em ferro fundido cinzento quando exposto à temperatura ambiente, na corrosão preferencial do ferro metálico.</p>	<p>Ocorre geralmente pela diferença de nobreza, sendo que o grafite atua como catodo (se observa a zona escura) e a matriz do ferro sofre a corrosão (NUNES, 2013).</p>	<p>Os mais comuns são: rede de grafite não continua, e segundo Ponte (2012) através de revestimentos internos de tubulação com argamassa, revestimento externos adequados.</p>	 <p>Fonte: (DALMOLIN, 2022)</p>
--	---	---	--	--

Dessa maneira, através de cada um dos mecanismos apresentados anteriormente, pode se conhecer as principais formas que a corrosão se apresenta na indústria, o que serve de base para analisar o problema em epígrafe.

### 3.2 EFEITOS DO CLORO NA CORROSÃO

Assim como já mencionado, na lavagem há a presença a mais de cloro adicionado à água da rede, visando controle de organismos contaminantes. Assim, através de dois trabalhos encontrados pode se entender os efeitos do Cloro e entender sua influência na corrosão.

Primeiramente, segundo Leite (2018), o aço carbono 1020 (analisado também neste trabalho de fim de curso) possui a seguinte composição química (Tabela 2).

**Tabela 2** – Composição do aço 1020 estudado. Fonte: (LEITE, 2018)

Material	C	Mn	P	S
<b>Aço carbono 1020</b>	0,15 - 0,23	0,30 – 0,60	≤ 0,030	≤ 0,050

No segundo trabalho, por Gontijo (2007), foi analisado o aço inoxidável 316, cuja composição química é mostrada na Tabela 3 a seguir.

**Tabela 3** – Composição do aço inoxidável 316 estudado. Fonte: (GONTIJO, 2007)

Material	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Al	V	Nb	Ti
<b>Aço inoxidável 316</b>	0,022	1,44	0,49	16,68	10,21	2,108	0,001	0,039	0,013	0,006

E para comparação, segundo Gontijo (2007) e Leite (2018), através dos estudos mostraram os efeitos do Cloro em Aço Inoxidável 316 e Aço carbono 1020, respectivamente. A Tabela 4 abaixo mostra os resultados obtidos em cada um dos distintos testes, mas que puderam acrescentar a esse trabalho os efeitos de tal elemento químico na corrosão dos dois materiais.

**Tabela 4** - Estudos dos efeitos do Cloro em Aço carbono 1020 e Aço inoxidável 316.

<b>Material</b>	<b>Agente corrosivo</b>	<b>Conclusão</b>
<b>Aço carbono 1020</b>	HClO – Ácido Hipocloroso	Segundo Leite (2018), o estudo buscou a análise da perda de massa pela corrosão, em corpos de prova sem proteção e com proteção de pintura superficial. As amostras sem proteção, que se aproximam da superfície interna da tubulação de transporte de trigo lavado, tiveram cerca de 62% a mais de perda de massa e também da taxa de corrosão em 30 dias, se comparados aos que receberam a proteção superficial.
<b>Aço inoxidável 316</b>	NaCl – Cloreto de Sódio	Segundo Gontijo (2007), o estudo buscou a análise dos benefícios da nitretação a plasma na melhora das propriedades mecânicas e tribológicas. Através dos testes se confirmou que as amostras apresentam comportamento passivo quando submetidos a potenciais em soluções ácidas, apresentando uma estabilidade na densidade de corrente para diferentes potenciais ácidos.

Através dos dados apresentados, mesmo que em estudos separados, fica evidente que o efeito do Cloro é mais pronunciado no aço carbono 1020, que pode se assemelhar aos efeitos encontrados na tubulação em aço carbono utilizada na indústria do trigo.

### 3.3 EFEITO ABRASIVO DO TRANSPORTE DE GRÃOS

Gehrke (2017) estudou os efeitos abrasivos do desgaste de roscas transportadoras (parafuso sem-fim) fabricadas em aço 1020, sem tratamentos térmicos e utilizadas no transporte de grãos. A proposta do trabalho foi analisar a diferença de comportamento do material sem tratamento (igual ao usado nas tubulações apresentadas neste trabalho) com o mesmo material com revestimento cerâmico aspergida via HVOF (high velocity oxygen fuel) a base de carboneto de cromo e posteriormente tratadas com lasers de CO<sub>2</sub> e Nd YAG visando a densificação do material.

Em posse dos resultados do estudo, o autor pode concluir que a amostra de aço 1020 com revestimento de CrC posteriormente irradiado com laser de Nd YAG apresentou uma melhora de 95% de resistência ao desgaste se comparado à amostra sem nenhum tratamento. Destarte, como a tubulação de transporte de trigo em aço 1020 se assemelha à amostra sem tratamento do estudo, pode se entender os impactos graves da própria abrasão do grão.

Como estudado por Faria (2012), na avaliação do comportamento mecânico-tribológico do aço inoxidável 316 submetido a tratamentos de nitretação e/ou cementação utilizando ensaios de riscamento (Scratch Test). Os estudos e testes puderam mostrar que, em aplicações em que é

necessária a resistência tanto à corrosão quanto à abrasão (como no transporte de grãos de trigo úmido), essa segunda solicitação pode ser crítica para o material em questão.

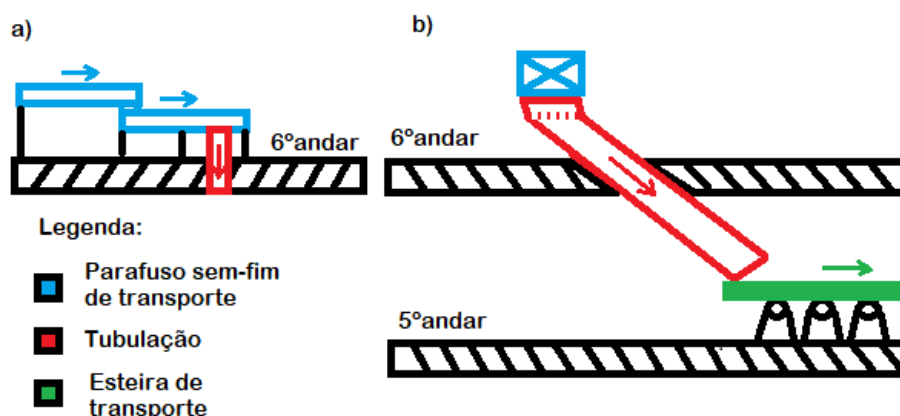
Como conclusões finais, o trabalho demonstrou que a amostras tiveram aumento de dureza do substrato, o que seria uma opção adequada para melhorar a eficiência da vida útil nas aplicações com abrasão e corrosão, como no solicitado nesse trabalho. Dessa forma, pode se visualizar que o fenômeno abrasivo pode ser crítico até mesmo para o aço inoxidável 316.

### 3.4 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

A empresa em questão, grande produtora no seu ramo, atua nesta área a cerca de 70 anos. Assim, as metodologias em termos de manutenção e engenharia ainda dispõem de uma visão já bem estabelecida, a saber, na preferência de manutenção corretiva ao invés de preventiva, assim como nas ações paliativas ao invés de sempre buscar alternativas para aumentar o tempo de vida útil.

Como citado anteriormente e demonstrado na Fig. 1, fica evidente os estragos causados durante o processo de transporte e no ambiente de trabalho. No dia a dia da empresa, tais danos refletem diretamente no desempenho da produção e no orçamento final.

Os equipamentos são apresentados esquematicamente na Fig.2 para visualizar melhor o processo de transporte do trigo úmido. Na seção “a)” é apresentada a vista frontal da linha de montagem e na seção “b)” a vista lateral da mesma.



**Figura 2** – Representação simplificada do conjunto de equipamentos de transporte de trigo úmido: a) Vista frontal; b) Vista lateral. Fonte: autoria própria.

E como já visto, é de conhecimento da empresa os benefícios dos materiais mais adequados, a exemplo que partes das tubulações já foram substituídas por aço inoxidável 316, como dois parafusos sem-fim e suas respectivas carcaças de alojamento (representados em azul na Fig.2). Tal substituição se mostrou eficiente na proteção quanto à corrosão, uma vez que o tempo corrido desde a troca até a data da Fig.3, as peças estavam em perfeito estado de funcionamento, sem danos visíveis e prejudiciais, cenário bem diferente da tubulação trocada na manutenção paliativa apresentada na Tabela 1 na corrosão química (também representada em vermelho na Fig.2), visualmente já prejudicada pelo ambiente de trabalho.



**Figura 3** – Parafusos sem-fim de transporte em aço inoxidável. Fonte: autoria própria.

Para uma melhor visualização das peças já substituídas por aço inoxidável, a Fig.4 exemplifica um parafuso sem-fim de transporte e sua carcaça de alojamento.



**Figura 4** – Parafuso sem-fim e carcaça de alojamento em aço inoxidável.

Fonte: (CORPORATION, 2019)

A respectiva tubulação em questão, que é do tipo Schedule 10 (informado pelo Engenheiro responsável), que possui 6000x150x4 milímetros de dimensão (comprimento, diâmetro e

espessura, respectivamente), que antes era dividida em duas partes, aparafusadas com um sistema de flange como visto na Fig.1, ao ser substituída novamente por aço carbono que estava em estoque na empresa (Fig.5), optou-se pelo uso de abraçadeiras no lugar do flange, e que em pouco tempo de serviço (cerca de 2 meses, aproximadamente), esta visualmente corroída pelo contato ao ambiente de trabalho. É de se imaginar que na parte interna a corrosão já esteja em estágio avançado e prejudicial. Tal desgaste se apresenta proporcional ao uso, visto que é diário e em grandes cargas horárias.



**Figura 5** – Tubulação substituída em aço carbono e utilizando sistema de abraçadeiras.

Fonte: autoria própria.

É interessante citar que a tubulação mostrada acima, proveniente de uma chapa obtida no estoque, foi calandrada na própria empresa e em seguida feitos pontos de solda estruturais de ligação das duas extremidades acima da chapa onde não haverá contato direto com o trigo úmido. Ademais, a utilização do sistema de abraçadeiras no lugar do flange soldado se mostrou boa alternativa ao problema relacionado à zona próxima a solda. Esse método é tanto aplicável ao aço carbono, como ao aço inoxidável, uma vez que poderia facilitar a produção da tubulação na própria empresa, evitando os problemas de corrosão relacionados ao controle operacional da possível soldagem do flange em aço inoxidável.

A metodologia adotada de substituição paliativa da tubulação com flange, mostrada nas Fig.1, tem como maior motivação a diferença de preços, que foi solicitado e disponibilizado por uma empresa terceirizada chegando a valores de R\$ 9000,00 e R\$19000,00 reais para a de aço carbono e aço inoxidável, respectivamente. Em posse desses valores e atrelado à necessidade de manter a produção, foi escolhida a opção já em estoque, a tubulação calandrada e sem flange, em aço carbono novamente.

Apresentado esses valores, e sendo adotada uma manutenção paliativa, em termos financeiros, a metodologia da empresa é questionável, quando se compara o valor da tubulação

com o tempo de uso, número de substituições e período de parada para manutenção. Essa dúvida se faz pertinente quando se considera a vida útil das peças, na medida que as feitas do aço inoxidável, que é aproximadamente de 2 – 4 vezes maior, em estimativa conservadora, se comparadas com a de peças de aço ao carbono, variando de acordo com a aplicação, assim como na economia de menos trocas ao longo do tempo e as perdas financeiras relacionadas à produção parada nas manutenções.

Outro fato extremamente motivador da metodologia é a questão de manter a planta da empresa em funcionamento, visto que, a única parada da mesma se dá ao fim ano junto de manutenções, limpeza e dedetização. Dessa forma, o fato ocorrido de substituição da tubulação antes desse prazo (o que acontece com as peças feitas de aço ao carbono danificadas) teve que ser feito o mais rápido possível, considerando que a parte de lavagem do trigo é indispensável no processo. Assim, para substituir a tubulação em aço carbono danificada são usados estoques de peças reservados para tal, mesmo sabendo que logo as mesmas deverão ser substituídas novamente diante do ambiente de trabalho altamente corrosivo.

No âmbito mundial, os impactos da corrosão apresentam um cenário devastador, segundo Aperam (2021) e através dos dados disponibilizados pelo Banco Mundial e pela Organização Mundial de Corrosão (WCO, em inglês), cerca de 8% do PIB global são gastos relacionados com manutenções associadas à corrosão e à abrasão de materiais. E nesse cenário que as vantagens vinculadas ao uso ao aço inoxidável se manifestam tão relevantes a essa aplicação.

Ainda sobre os custos da corrosão, segundo Vieira (2009), nas nações industrializadas, os gastos anuais com esse fenômeno são em torno de 3% a 5% do PIB das mesmas. E de acordo com O Fundo Monetário Internacional, FMI (2020), os valores de PIB (Produto Interno Bruto) nesse ano dos 15 primeiros países foram os seguintes, apresentados na Tab. 5.

**Tabela 5** - Produto Interno Bruto dos 15 primeiros países. Fonte: (FMI, 2020)

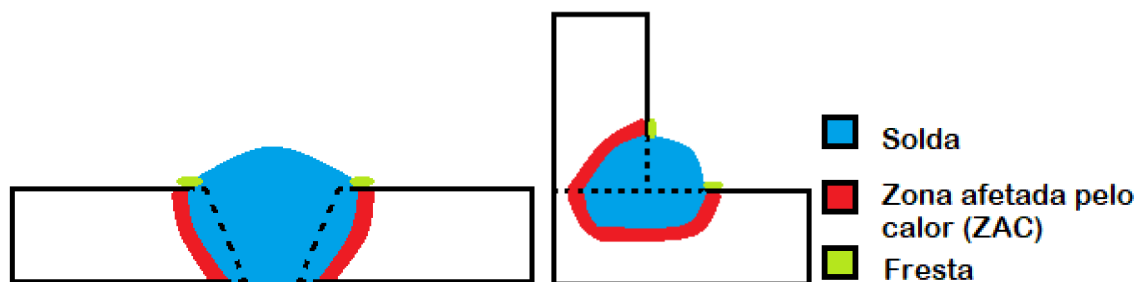
<b>Posição</b>	<b>País</b>	<b>PIB (trilhões de dólares)</b>
-----	<b>Mundo</b>	<b>84,929.508</b>
<b>1</b>	Estados Unidos	20,580,250
<b>2</b>	China	14,860,775
<b>3</b>	Japão	4,910,580
<b>4</b>	Alemanha	3.780,553
<b>5</b>	Reino Unido	2,638,296
<b>6</b>	Índia	2,592,583
<b>7</b>	França	2,551,451
<b>8</b>	Itália	1,848,222
<b>9</b>	Canadá	1,600,264
<b>10</b>	Coreia do Sul	1,586,786
<b>11</b>	Rússia	1,464,078
<b>12</b>	Brasil	1,363,767
<b>13</b>	Austrália	1,334,688

14	Espanha	1,247,464
15	Indonésia	1,088,768

Em posse desses valores, e considerando a média de 4%, os gastos relacionados com a corrosão no mundo chegam a 3,397,180 (trilhões de dólares) ao ano, valor este superior ao PIB, por exemplo, do Reino Unido e todos os outros países abaixo dele na lista. Dessa forma, a relevância da prevenção à corrosão se faz justificável, considerando esses gastos anuais exorbitantes.

### 3.5 CORROSÃO CONCENTRADA NO PONTO DE SOLDA

Como observado na Fig. 1, a corrosão se tornou mais pronunciada nas regiões próximas à região soldada do flange, chegando até o ponto de furar a parede da tubulação. Vale salientar que esse comportamento tem como principais causas os parâmetros de soldagem, ou seja, controle da atmosfera ao entorno da região soldada dentre outros. Para efeitos de representação visual, a imagem a seguir (Fig.6) representa uma junta soldada e as possíveis causas da corrosão.



**Figura 6** - Diferentes efeitos presentes em junta soldada. Fonte: autoria própria.

Para melhor visualização desse fenômeno, a Fig.7 apresenta claramente a corrosão localizada nas proximidades da zona soldada.



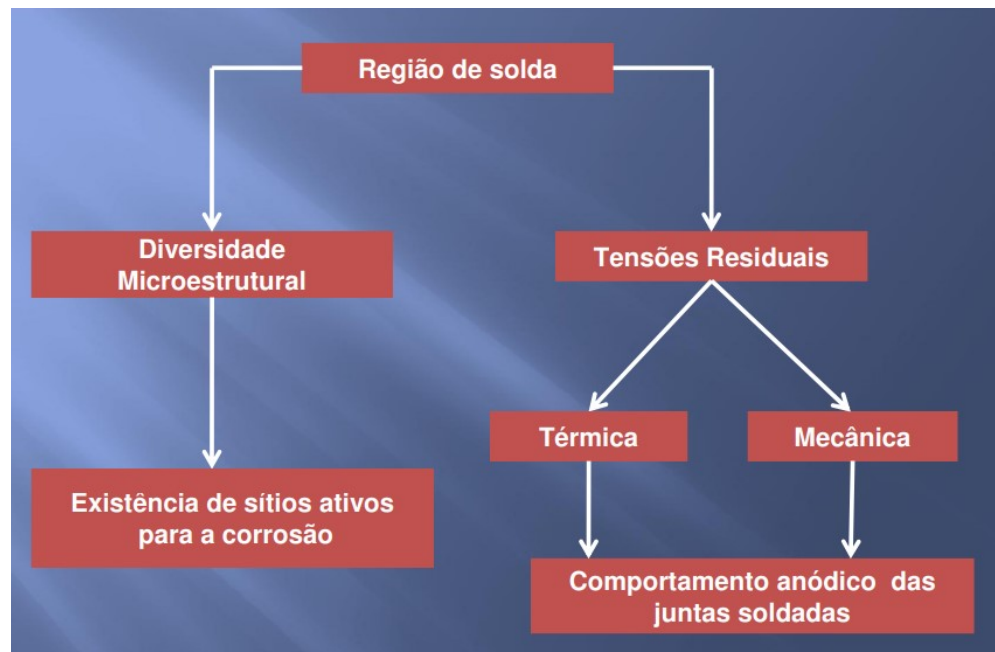
**Figura 7** – Corrosão em zona soldada. Fonte: (HINDAWI, 2018)

Segundo Zeeman (2022), em juntas soldadas a presença de descontinuidades na superfície, sem serem feitos processos de usinagem em seguida, pode facilitar corrosão do tipo por fresta, ainda mais para equipamentos que trabalham em meio agressivo como no transporte do trigo úmido. A qualidade no processo de soldagem se faz muito importante nessa situação.

Segundo Paula (2022), as principais causas de corrosão em juntas soldadas são por exemplo as tensões residuais de tração e compressão devido aos ciclos de resfriamento e aquecimento na zona soldada, diferenças microestruturas entre a zona fundida (ZF) e a zona afetada pelo calor (ZAC), diferenças químicas, microsegregação de elementos de ligas, tamanho de grão, aparição de novos precipitados e transformações de fase. Dito esses causadores, na tubulação em questão pode se observar a presença dos mesmos e as consequências no problema.

De forma representativa, o esquema abaixo da Fig.8 ilustra os principais causadores de corrosão em junta soldada.





**Figura 8** - Principais causadores de corrosão em junta soldada. Fonte: (PAULA,2022)

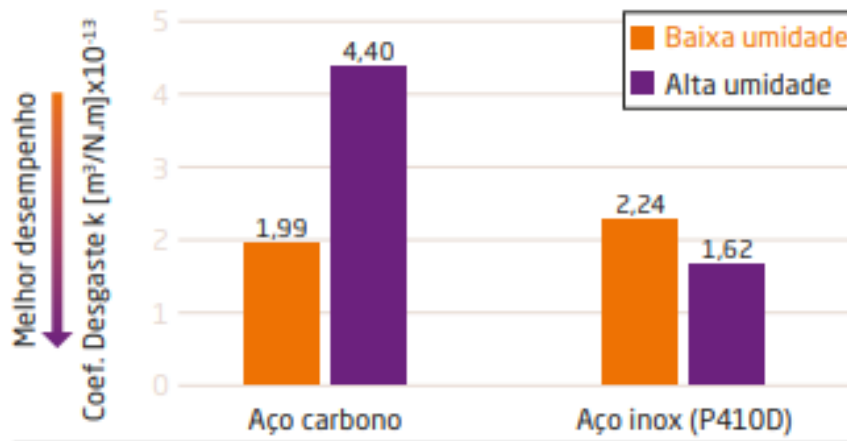
Através da imagem acima, pode se entender que na região da solda a dita diversidade microestrutural é consequência da ação do calor, tensões mecânicas e térmicas geradas no processo de solda, uma vez que há a alteração do padrão da microestrutura do material, variando de acordo com a distância do cordão de solda e caminhando ao longo da zona afetada pelo calor (ZAC) na peça. Os sítios ativos são pontos no material que tem a afinidade química para a corrosão, ou seja, eles se fazem anódicos ou catódicos, e seu controle pode ser feito através de compostos orgânicos que se adsorvem nos sítios e se estabelecem ligações químicas entre eles, diminuindo a densidade de corrente de troca da reação anódica ou catódica, por consequência há a diminuição também da densidade de corrente da corrosão. Outro ponto relevante para a corrosão são as tensões residuais, podendo ter causas térmicas, com regiões de tração ou compressão devida a diferença de temperatura entre a ZAC e regiões no entorno da mesma, e também por causas mecânicas, esforços físicos sob a região soldada. Por fim, o dito comportamento anódico na junta soldada se caracteriza pela oxidação (dissolução do metal) na solda, onde por ela é o material menos nobre e com menor área exposta.

O controle do processo de soldagem se faz muito importante para evitar a corrosão, isso pode ser feito de algumas maneiras como, por exemplo, analisar qual será o nível de agressividade do meio de trabalho da peça, selecionar um bom consumível catódico em relação ao metal da base, escolher técnicas de alívio de tensão que garantem a microestrutura adequada, fazer a limpeza adequada depois da solda, avaliar a qualidade da solda e se fizer algum reparo, que seja da maneira adequada à aplicação.

### 3.6 EXEMPLO DE APLICAÇÕES PRÁTICAS

Como dito anteriormente, um dos principais motivos para se utilizar materiais com propriedades mais resistentes à corrosão é a vida útil do mesmo. Segundo Aperam (2022), pode se comparar o comportamento de aço carbono e de aço inoxidável em alguns cenários.

Como mostrado na Fig.9, em sistemas de alta umidade, como na lavagem do trigo, o aço inoxidável se mostra muito mais eficiente na resistência à corrosão, com valores de aproximadamente 40% menos desgaste se comparado com aço carbono na mesma situação. Dito isso, fica clara que a utilização do inoxidável se faz mais adequado para a empresa na etapa de lavagem do trigo úmido. É bastante curioso que o aço carbono se mostrou melhor em condições de baixa umidade, o que justifica a prática da empresa de substituir as tubulações danificadas de aço carbono por peças de mesmo material em ambientes de trabalho com baixa aquosidade.



**Figura 9** – Desempenho dos diferentes aços. Fonte: (APERAM, 2022)

A respeito da vida útil, ainda segundo Aperam (2022), em algumas aplicações se observou a grande diferença entre os aços, como por exemplo:

- Sistema de escoamento de lavagem de minério de ferro (Fig.10): em aço carbono (90 dias de vida útil) e em aço inoxidável (mais de 720 dias de vida útil).



**Figura 10** – Sistema de lavagem de minério de ferro. Fonte: (MINERALES, 2020)

- Vagões para transporte de minério de ferro: vagões que circulam nas ferrovias brasileiras (Fig.11) em aço carbono e resistem, em média, até seis anos. Quando produzidos em aço inoxidável, as estruturas podem durar mais de 40 anos, além de menor peso do que os de carbono.



**Figura 11** – Vagões de transporte de minério de ferro. Fonte: (APERAM, 2016)

- Industria de concreto (facas de caminhão betoneira) (Fig.12): em aço carbono (4 anos de vida útil) e em aço inoxidável (12 anos de vida útil, em projeção mínima).



**Figura 12** – Caminhão Betoneira. Fonte: (APERAM, 2022)

- Sistema de lavagem de gás de caldeira (Fig.13): em aço carbono houve maior desgaste e perda de massa, já em aço inoxidável houve maior durabilidade resistência à corrosão e aproximadamente apenas 10% perda de espessura (Tabela 6).

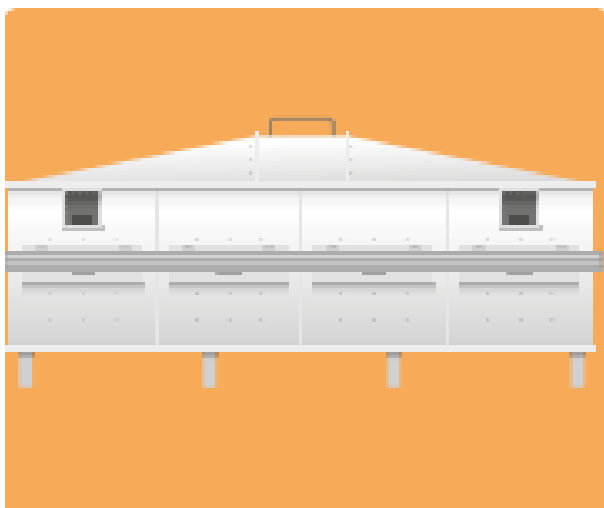


**Figura 13** – Projeto de um Lavador de Gases. Fonte: (APERAM, 2022)

**Tabela 6** - Comparação de aços para Lavador de Gases. Fonte: (APERAM, 2022)

Parâmetro	Aço ao carbono	Aço inoxidável 410
Espessura inicial (mm)	9,53	8,0
Espessura final (mm)	0	7,2
Safras	4	9
Perda de massa (%)	100%	10%

- Secador de farelo de Soja (Fig.14): em aço carbono teve vida útil de dois anos e manutenções a cada quatro meses, já em aço inoxidável decorreram dois anos de uso sem necessidade de manutenção (Tab. 7).



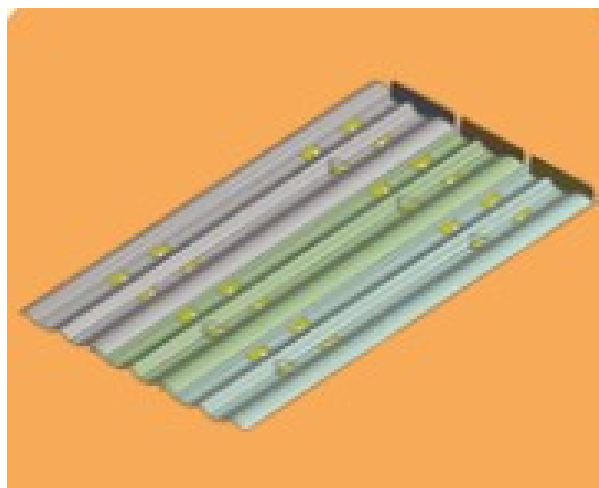
**Figura 14** – Projeto de Secador de Farelo. Fonte: (APERAM, 2022)

**Tabela 7** - Comparação de aços para Secador de Farelo. Fonte: (APERAM, 2022)

<b>Parâmetro</b>	<b>Aço ao carbono</b>	<b>Aço inoxidável 410</b>
<b>Espessura inicial (mm)</b>	3,17	3
<b>Espessura final (mm)</b>	0,5	3
<b>Período</b>	2 anos	2 anos
<b>Perda de massa (%)</b>	84,2%	0%

De acordo com Aperam (2022), houve uma considerável perda de massa, obtendo valores de 0 e 84,2% para aço inoxidável e aço carbono, respectivamente. Em posse de tais valores, o aço inoxidável se faz inúmeras vezes melhor na aplicação.

- Talisca de esteira de cana (Fig.15): em aço carbono houve maior desgaste e perda de massa, já em aço inoxidável houve maior durabilidade resistência à corrosão e menos perda de espessura (Tab. 8).

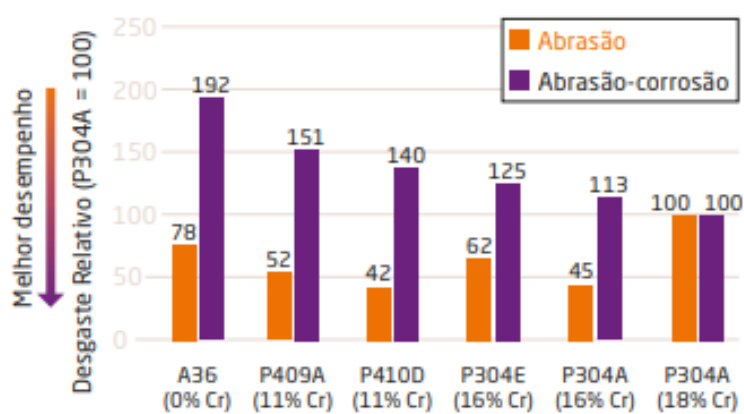


**Figura 15** – Projeto de Talisca de esteira de Cana. Fonte: (APERAM, 2022)

**Tabela 8** - Comparação de aços para Talisca de esteira de Cana. Fonte: (APERAM, 2022)

Parâmetro	Aço ao carbono	Aço inoxidável 410
Espessura inicial (mm)	9,53	6,35
Espessura final (mm)	6	6,2
Safras	3	3
Perda de massa (%)	37%	2,2%

Além disso, pode se comparar a influência da presença de cromo no aumento da resistência à abrasão-corrosão, que também está presente no processo de lavagem do trigo visto que o próprio grão é responsável por esta abrasão. Dessa forma, a figura abaixo pode apresentar em gráficos essa comparação (Fig. 16).



**Figura 16** – Influência do Cromo no desgaste pela abrasão-corrosão. Fonte: (APERAM, 2022)

Como mostrado na Fig.16, o aumento do nível de Cromo está diretamente ligado com a diminuição do desgaste relativo, considerando que um aumento de 18% adicionado é responsável

pela diminuição de aproximadamente 50% do desgaste relativo. Esse fator também é relevante na escolha do aço adequado para cada aplicação desejada.

Como dito, o próprio grão de trigo pode ser responsável pela abrasão e, segundo Aperam (2022), a adição de Cromo pode se tornar prejudicial nessa questão, uma vez que aos 18% de Cromo, o desgaste relativo a abrasão, sofreu um aumento de 22% se comparado à porcentagem nula de Cromo. Assim, o estudo correto do material se faz importante para determinar em qual cenário o uso do Cromo é mais adequado.

Existem também outros materiais que influenciam nas propriedades do aço, dentre elas resistência à corrosão e abrasão, que se fazem importantes nessa problematização (Tabela 9). Segundo Dolabella (2016), o Cromo se faz influente no aumento de ambas as propriedades.

**Tabela 9** – Influência dos elementos de liga nas propriedades do aço. Fonte: (DOLABELLA, 2016)

Influencia na Propriedade	Elementos											
	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	V	Al	Ti	Nb
Aumento da resistência mecânica	•	•	•		•				•			
Aumento da dureza	•	•	•		•							
Aumento da ductilidade	•		•	•								
Aumento da resistência em altas temperaturas								•				
Aumento da resistência ao impacto						•						
Aumento da temperabilidade							•	•				
Ação desoxidante		•				•				•		
Aumento da resistência à corrosão							•					
Aumento da resistência à abrasão							•					
Redução de soldabilidade	•											
Evitar corrosão intergranular											•	•

Dessa forma, através de tantos exemplos práticos dos benefícios do uso do aço inoxidável, assim como na influência de certos elementos nas propriedades dos materiais, a bagagem teórica foi elucidada para justificar a tese central desse trabalho, a saber, a viabilidade da substituição de peças em aço carbono por aço inoxidável em tubulações de transporte de trigo lavado utilizadas em indústria de processamento de trigo.

## **CAPÍTULO IV**

### **METODOLOGIA**

Nessa seção será discutida a metodologia de estudo aplicada nesse trabalho, utilizando os dados apresentados anteriormente como base para fundamentar a linha de pensamento. Vale salientar que o estudo se manteve na fase teórica e em comparação com as características encontradas no problema.

A metodologia deste trabalho consiste na análise como base apresentada na revisão bibliográfica anterior, sendo feito o estudo e da pesquisa dos mais comuns e usuais tipos de corrosão encontrados na prática e utilizando dos conhecimentos adquiridos no dia a dia na empresa e das diferenças de vida útil encontradas, pode se relacionar as características encontradas na tubulação com as apresentadas na literatura. Através dos dados estudados será possível determinar se a metodologia de manutenção paliativa adotada pela empresa se faz positiva e adequada e ao mesmo tempo enfatizar a viabilidade técnica e econômica da utilização de materiais com maior vida útil.



# CAPÍTULO V

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nessa seção será discutido os resultados e conclusões a respeito do problema, levando em considerações os dados obtidos, estudos apresentados e comparação com os fatos apresentados no problema. Ademais, essa discussão servirá de base para apresentar em seguida as propostas de solução para o problema da empresa.

Em posse dos dados e estudos apresentados, a ideia de substituição da tubulação por materiais mais adequados ao uso, como aço inoxidável, que também já é de conhecimento da empresa, se faz muito mais vantajoso, como mostrado na Fig.16 que em aplicações úmidas, como a própria lavação do trigo que é uma das etapas cruciais na produção da empresa, o aço inoxidável se faz muito melhor, com uma resistência à corrosão elevada o que acarreta um aumento na vida útil do sistema. Faz se importante lembrar que essa maior vida útil é de grande interesse da empresa, uma vez que além de se economizar em manutenções paliativas mais frequentes no uso de aço carbono, há também a economia com relação à parada para troca da tubulação, uma vez que para substituição da mesma é necessário parar o processo de lavação, que é crucial na produção dos derivados do trigo.

Outro fato que foi considerado relevante no trabalho foram os dados apresentados por Aperam (2022), obtidos com aplicações reais de aço inoxidável em comparação ao aço carbono, nos quais os valores de vida útil para os dois materiais foram bem diferentes, em todas as aplicações citadas, que fez com que comprovasse a relevância da utilização de materiais corretos para cada requisição da indústria. Vale salientar, que por se exemplificar diferentes cenários e até mesmo mais corrosivos que os da lavação do trigo, como por exemplo o sistema de escoamento de lavagem de minério de ferro, o uso do aço inoxidável se mostrou extremamente positivo e eficiente, o que faz se considerar que na indústria do trigo os resultados serão ainda mais expressivos.

No âmbito do estudo dos efeitos do cloro e através dos trabalhos de Leite (2018) e Gontijo (2007), mesmo que estudos separados, foi possível concluir que os danos no aço 1020 se fizeram mais presentes com relação ao aço inoxidável 316. Vale lembrar que com as peças já substituídas por aço 316 da linha de transporte, os danos até a data da foto da Fig. 3 não foram detectados, o que mostra uma maior vida útil do mesmo, como já foi elucidado antes.

A respeito da corrosão localizada no ponto de solda, ficou evidente que tal fenômeno tem por consequência o não controle dos parâmetros de soldagem, uma vez que como elucidado no texto, tais parâmetros são facilitadores dos mecanismos de corrosão citados. Dessa maneira, fica

claro que o estudo relacionado ao processo de soldagem se faz extremamente relevante nessa contextualização do problema.

Com relação ao uso de abraçadeiras no lugar do flange soldado (Fig. 5), por hora se mostrou uma boa solução para evitar os problemas decorrentes da ZAC (zona afetada pelo calor). Como dito antes, por se tratar de um dispositivo novo, precisa de mais tempo de uso para determinar sua real viabilidade e possíveis problemas inerentes.

Por fim, como defesa da tese inicial desse trabalho, em posse dos dados, argumentações e estudos, são incontáveis as vantagens do uso do aço inoxidável em ambientes e meios de trabalho corrosivos. Ademais, a diferença de preço dos materiais é facilmente aceita quando se considera os ganhos de vida útil da peça, economia nas paradas para substituição e de compra de novas peças, como demonstrado anteriormente.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSÕES

Em posse dos resultados apresentados, este trabalho enfatizou a ideia da utilização adequada dos materiais com suas propriedades e vantagens conciliadas às requisições da aplicação. Destarte, em posse das características do processo de lavagem do trigo e seu consequente cenário corrosivo, o material adequado se fez extremamente relevante para a empresa, uma vez que como dito anteriormente, a economia abrange não só no preço de constantes trocas paliativas, mas também na gerencia do tempo necessário para cada troca, que na indústria é representado por custo de produção.

As vantagens e benefícios do aço inoxidável superam a diferença de 50% a mais no valor de uma mesma tubulação em aço carbono, garantido pelo aumento de vida útil e diminuição na cadencia de trocas paliativas. Vale também lembrar que, não só como afirmado nesse trabalho, mas a própria empresa já sabe de tais benefícios, visto que parte do sistema de transporte já foram substituídas por aço inoxidável, o que leva a crer que a substituição adequada da tubulação em questão é só uma questão de tempo.

Pode se concluir também que o aço carbono é mais adequado em aplicações que o fenômeno predominante seja o da abrasão, como mostrados os estudos da Aperam (2022), assim como vale reafirmar que na problematização desse trabalho, o transporte de trigo úmido, é indiscutível os benefícios do aço inoxidável. Dessa forma, podemos lembrar que a escolha do material depende do estudo relacionado aos fenômenos ao qual estará sujeito.

A respeito da corrosão localizada próxima a zona soldada do flange, ficaram claros os possíveis motivos, relacionados aos efeitos do controle não adequado no processo de soldagem, que facilitará os meios de corrosão anteriormente citados nessa parte do trabalho. Destarte, como mostrado no trabalho, até o presente momento pode se considerar que a escolha de fixação das divisões da tubulação utilizando abraçadeiras ao invés de um flange soldado, se mostrou uma maneira melhor de se evitar a corrosão localizada visto que não haverá a dita ZAC, proveniente do processo de soldagem, mas que seria um mecanismo novo e precisaria de mais tempo de aplicação para determinar sua viabilidade e benefícios.

Por fim, esse trabalho não só demonstra as vantagens da engenharia dos materiais para esse problema, mas sim para toda a indústria em geral, levando se em consideração todo o trabalho e estudo requerido para se obter materiais cada vez mais adequados para cada aplicação. Lembrando que, a ciência deve ser respeitada e entendida que, na medida do possível, os caminhos

apresentados pelo estudo servem para melhorar a qualidade dos processos, produtos e finalidades das mais variadas aplicações existentes.

## CAPÍTULO VII

### SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Nessa seção serão apresentadas algumas sugestões consideradas pertinentes para trabalhos futuros similares aos da aplicação. Essas ideias podem não só auxiliar no estudo, mas também na prática e suas consequências positivas à situação requerida.

Sugere-se como trabalhos futuros:

- Estudo do controle da soldagem, levando em consideração todos os parâmetros controláveis e suas consequências para a integridade da solda.
- Estudo de possíveis revestimentos para obtenção de uma maior proteção à tubulação.
- Estudo de ligas presentes nos mecanismos de inibição e, assim a obtenção de uma maior resistência à corrosão (Tabela 10).

**Tabela 10** - Mecanismos de inibição. Fonte: (DOLABELLA, 2016)

Mecanismos de Inibição	Exemplo de compostos usados	
<b>Adsorção</b>	$\text{RNH}_2$	Aminas
	$\text{NH}_2\text{CSNH}_2$	Tioureia
	$\text{SbCl}_3$	Cloreto de Antimônio (III)
	$\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}$	Benzoato
<b>Passivação</b>	$\text{NO}_2$	Nitrito
	$\text{CrO}_4$	Cromato
	$\text{Pb}_3\text{O}_4$	Óxido de chumbo (vermelho)
	$\text{Ca}_2\text{PbO}_4$	Plumbato de cálcio
<b>Camada Superficial</b>	$\text{H}_2\text{PO}_4$	Fosfato monobásico
	$\text{H}_2\text{SiO}_4$	Silicato
	$\text{OH}$	Hidróxido
	$\text{HCO}_3$	Bicarbonato
	$\text{Na}_6(\text{PO}_3)_6$	Hexametáfosfato de sódio

Existem também algumas técnicas de proteção que podem ajudar no aumento da vida útil, como mostrado na Tabela 11.

**Tabela 11** – Técnicas de proteção. Fonte: (DOLABELLA, 2016)

<b>Técnica de proteção</b>		<b>Processo industrial associado à técnica</b>
<b>Remoção do agente oxidante</b>		Tratamento de água
<b>Prevenção de reação da superfície</b>		Proteção catódica – anodo de sacrifício e corrente impressa
		Proteção anódica (passivação por corrente impressa)
<b>Inibição da reação da superfície</b>		Adição de inibidores químicos em fase líquida
		Controle de pH
<b>Revestimentos</b>	<b>Orgânicos</b>	Pintura
	<b>Metálicos</b>	Eletrodeposição
		Galvanização
		Metalização
	<b>Não-metálicos inorgânicos</b>	Anodização
Revestimento por conversão		
<b>Modificação do metal</b>		Ligas (aço inoxidável, cobre-níquel, ligas de alta temperatura)
<b>Modificação das condições superficiais</b>		Manutenção para remoção dos agentes corrosivos Projetos para evitar rachaduras Projetos para evitar combinações reativas dos metais

Ademais, as ideias sugeridas devem levar em consideração o custo benefício e vida útil dos materiais, pois são fatores que se fazem extremamente relevantes para a indústria e que são responsáveis pela parte orçamentaria da produção.

## CAPÍTULO VIII

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

NORTEL A SONEPAR COMPANY. **8 tipos de corrosão mais comuns na indústria e como evitá-las**: os principais tipos de corrosão. Os principais tipos de corrosão. 2021. Disponível em: <https://nortel.com.br/blog/tipos-de-corrosao/>. Acesso em: 17 jan. 2022.

ZEEMAN, Annelise. **Corrosão em juntas soldadas**. 2022. Disponível em: [http://www.delposo.com.br/artigos/corrosao\\_js.pdf](http://www.delposo.com.br/artigos/corrosao_js.pdf). Acesso em: 29 mar. 2022.

GONTIJO, L. C. et al. **Comparação entre os comportamentos dos aços inoxidáveis AISI304L e AISI 316L nitretados a plasma**. Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo, Rio de Janeiro, v. 26, n. 3, p. 145–150, 2007.

LEITE, Denis Sales Edson. **ANÁLISE DA CORROSÃO EM AÇO 1020 UTILIZANDO MEIO DE PROTEÇÃO COM ANTICORROSIVO E MISTURA DE CLORO COM ÁGUA COMO AGENTE CORROSIVO**. Anápolis: Unievangélica, 2018. v. 2, p. 1-9.

**A Corrosão e os agentes Anticorrosivos** Frauches-Santos, C.; Albuquerque, M. A.; Oliveira, M. C. C.; Echevarria, A. Rev. Virtual Quim., 2014,6(2), 293-309. Data de publicação na Web: 20 de dezembro de 2013 <http://www.uff.br/rvq>.

**CORROSÃO: UM EXEMPLO USUAL DE FENÔMENO QUÍMICO**. Brasil: Quimica Nova Escola, n. 19, 19 maio 2004.

RONIVON, Antônio. **Manifestações patológicas em estrutura metálica: um estudo de caso da corrosão, causas e consequências em pilares treliçados na cidade de Água Nova - RN**. 2019. 73 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal Rural do Semiárido, Pau dos Ferros, 2019.

Mainier, F.B.; Sales, M., **Corrosão de Caldeiras por ácido sulfúrico e procedimentos para sua prevenção**, Rio de Janeiro, 1982.

Ramos, M.A.; Mainier, F.B.; Pimenta, G.S, **Corrosão por H<sub>2</sub>S e CO<sub>2</sub> em sistema de produção de petróleo**, Rio de Janeiro, 1982.

Salles, M., **Corrosão por H<sub>2</sub>S em FCC**, 1º Curso Funcional em FCC e Tratamento DEA, 1990.

Chen, Y.Y.; Liou Y.M.; Shih, H.C., **Stress corrosion cracking of type 321 stainless steels in simulated petrochemical process environments containing hydrogen sulfide and chloride**,

Materials Science e Engineering A 407, July 2005, p. 114-126.  
<https://doi.org/10.1016/j.msea.2005.07.011>

ALMEIDA, Neusvaldo Lira de. **CAUSAS DA OCORRÊNCIA DE PITES EM CUPONS DE AÇO CARBONO**. In: INTERCORR 2010, 1., 2010, Fortaleza. **INTERCORR2010\_267**. Fortaleza: Abraco, 2010. p. 19-20.

PONTE, Profa. Maria José J. S.. **Capítulo 3 - Formas de Corrosão**. Florianópolis, 2012. 280 slides, color. Disponível em: <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM286/CAPITULO%203.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2022.

PAULA, Fernanda B. C. de. **Corrosão em áreas com solda**. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2022. 20 slides, color.

GENTIL Vicente. Corrosão. LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 1996 – Rio de Janeiro.

GENTIL, Vicente. Corrosão. In: **Corrosão**. Guanabara dois, 1982.

AS FORMAS DE CORROSÃO: DENZIFICAÇÃO. In: KETTERMANN, Viviane. **As formas de corrosão**. Site, 26 abr. 2022. Disponível em: <https://engenheirodemateriais.com.br/2017/04/26/as-formas-de-corrosao/>. Acesso em: 31 jan. 2022.

DEZINCIFICATION: Selective Corrosion. In: LIB, Study. **Dezincification**. Site, 2013. Disponível em: <https://studylib.net/doc/12620115/dezincification--selective-corrosion->. Acesso em: 31 jan. 2022.

DALMOLIN, Carla. Química Geral: Corrosão. In: DALMOLIN, Carla. **Química Geral: Corrosão**. Site, 2022. Disponível em: <https://slideplayer.com.br/amp/10424939/>. Acesso em: 31 jan. 2022.

APERAM. **Inox na Mineração**: desempenho do aço inox. Desempenho do aço Inox. 2022. <https://brasil.aperam.com/wp-content/uploads/2018/08/Inox-na-Mineração.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2022.

APERAM. **Inox nos trilhos – Aperam fornece aço inox para vagões ferroviários**. 2016. Disponível em: <https://brasil.aperam.com/inox-sob-trilhos-aperam-fornece-aco-inox-para-vagoes-ferroviarios/>. Acesso em: 24 fev. 2022.

APERAM. **Inox é a solução contra corrosão e desgaste no Agronegócio**. 2022. Disponível em: <https://www.aperam.com/sites/default/files/documents/Aperam%20-%20Inox%20no%20Agroneg%C3%B3cio.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2022.

HINDAWI. **Corrosion of Materials after Advanced Surface Processing, Joining, and Welding**. 2018. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/ijc/2018/9408670/>. Acesso em: 23 fev. 2022.



DOLABELLA, Luiza de Marilac Pereira. **Estudo Eletroquímico sobre a Corrosão do Aço Carbono e Aço Inoxidável.** 2016. Disponível em: [file:///C:/Users/lucas/Downloads/tese\\_\\_vers\\_o\\_final\\_luiza\\_de\\_marilac\\_ee\\_ufmg.pdf](file:///C:/Users/lucas/Downloads/tese__vers_o_final_luiza_de_marilac_ee_ufmg.pdf). Acesso em: 23 fev. 2022.

USP. **Aços Carbono e Aços Liga:** aços resistentes à corrosão e ao calor. Aços Resistentes à Corrosão e ao Calor. 2022. Disponível em: <http://sites.poli.usp.br/geologiaemetalurgia/Revistas/Edi%C3%A7%C3%A3o%2011/artigo11.17.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2022.

CONSULTORIA, Conpleq. **Corrosão.** 2016. Disponível em: <https://www.conpleq.com.br/conpleq-consultoria/>. Acesso em: 24 fev. 2022.

THESTER. **Rusted Bolt:** corrosion. Corrosion. 2008. Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Corros%C3%A3o#/media/Ficheiro:Rust\\_Bolt.JPG](https://pt.wikipedia.org/wiki/Corros%C3%A3o#/media/Ficheiro:Rust_Bolt.JPG). Acesso em: 24 fev. 2022.

MINERALES, Minerios e. **Mineradora melhora produtividade com lavagem eficiente.** 2020. Disponível em: <https://revistaminerios.com.br/mineradora-melhora-produtividade-com-lavagem-eficiente/>. Acesso em: 24 fev. 2022.

CORPORATION, Henan Excellent Machinery. **A resistência à corrosão rosca transportadora para o transporte de ureia na fábrica de fertilizantes:** transportador de rosca. Transportador de Rosca. 2019. Disponível em: [https://pt.made-in-china.com/co\\_exctmach/product\\_Corrosion-Resistance-Screw-Conveyor-for-Conveying-Urea-in-Fertilizer-Plant\\_rhngghhng.html](https://pt.made-in-china.com/co_exctmach/product_Corrosion-Resistance-Screw-Conveyor-for-Conveying-Urea-in-Fertilizer-Plant_rhngghhng.html). Acesso em: 25 fev. 2022.

APERAM. **Aperam comprova alta resistência à corrosão do aço inox em equipamentos usados no agronegócio.** 2021. Disponível em: <https://brasil.aperam.com/aperam-comprova-alta-resistencia-a-corrosao-do-aco-inox-em-equipamentos-usados-no-agronegocio/>. Acesso em: 02 mar. 2022.

VIEIRA, Dr. Carlos Antonio. **Introdução à Corrosão:** engenheiro de soldagem. ENGENHEIRO DE SOLDAGEM. 2009. Disponível em: [file:///C:/Users/lucas/Downloads/MMAT-15-Introducao%20a%20corrosao\\_UNITAU\\_Vieira.pdf](file:///C:/Users/lucas/Downloads/MMAT-15-Introducao%20a%20corrosao_UNITAU_Vieira.pdf). Acesso em: 09 mar. 2022.

WIKIPÉDIA. **Lista de países por PIB nominal.** 2020. Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Lista\\_de\\_pa%C3%ADses\\_por\\_PIB\\_nominal#cite\\_note-GDP\\_IMF-19](https://pt.wikipedia.org/wiki/Lista_de_pa%C3%ADses_por_PIB_nominal#cite_note-GDP_IMF-19). Acesso em: 09 mar. 2022.

World Economic Database. **International Monetary Fund.** Outubro de 2020.

RIJEZA METALURGICA (Rio Grande do Sul). **Corrosão Eletroquímica: você sabe o que é?** 2022. Disponível em: <https://rijeza.com.br/blog/corrosao-eletroquimica-voce-sabe-o-que-e/>. Acesso em: 26 jan. 2022.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. "**Tipos de Corrosão**"; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/tipos-corrosao.htm>. Acesso em 26 de janeiro de 2022.

TORINO SOLUZIONI AMBIENTALI (Rio Grande do Sul). **Tipos de corrosão: saiba como diferenciar cada processo corrosivo**. 2018. Disponível em: <http://www.tsambientali.com.br/tipos-de-corrosao-saiba-como-diferenciar-cada-processo-corrosivo/>. Acesso em: 26 jan. 2022.

DEZINCIFICATION: Selective Corrosion. In: LIB, Study. **Dezincification**. Site, 2013. Disponível em: <https://studylib.net/doc/12620115/dezincification--selective-corrosion->. Acesso em: 31 jan. 2022.

DALMOLIN, Carla. Química Geral: Corrosão. In: DALMOLIN, Carla. **Química Geral: Corrosão**. Site, 2022. Disponível em: <https://slideplayer.com.br/amp/10424939/>. Acesso em: 31 jan. 2022.

PESAGEM E AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL, Massa. Entenda sobre os desgastes dos trilhos ferroviários. **Pesagem e Automação industrial**, [s. l.], 27 jul. 2020. Disponível em: <https://massa.ind.br/trilhos-ferroviarios/>. Acesso em: 4 abr. 2022.

PROJETO E PESQUISA EM ENGENHARIA QUÍMICA, Propeq. Corrosão eletroquímica: o que é e como evitá-la? **Pesagem e Automação Industrial**, Site, 27 ago. 2020. Disponível em: <https://propeq.com/corrosao-eletroquimica/>. Acesso em: 4 abr. 2022.

METALÚRGICA, Rijeza. Corrosão uniforme: o que é e como evitar. **Blog**, Site, 4 abr. 2022. Disponível em: <https://rijeza.com.br/blog/corrosao-uniforme-o-que-e-e-como-evitar/>. Acesso em: 4 abr. 2022.

METALÚRGICA, Rijeza. Corrosão por Placas, o que é e como prevenir?. **Blog**, Site, 4 abr. 2022. Disponível em: <https://rijeza.com.br/blog/corrosao-por-placas-o-que-e-e-como-evitar/>. Acesso em: 4 abr. 2022.

METALÚRGICA, Rijeza. Corrosão por Pites: Você sabe como reduzir?. **Blog**, Site, 4 abr. 2022. Disponível em: <https://rijeza.com.br/blog/corrosao-por-pites/#:~:text=Aplicar%20revestimentos%20superficiais%2C%20como%20carboneto,resist%C3%A0ncia%20%C3%A0%20abras%C3%A3o%20e%20eros%C3%A3o>. Acesso em: 4 abr. 2022.

TOSO, Daniel. DETERMINAÇÃO DA TAXA DE CORROSÃO POR PROCESSOS ELETROQUÍMICOS:. **Aplicações IFS**, [S. l.], p. 660-665, 4 abr. 2022. Disponível em: <https://aplicacoes.ifs.edu.br/periodicos/SNCT/article/view/1223/994>. Acesso em: 4 abr. 2022.

RIBEIRO, Rafael. **FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA: Corrosão.** In: RIBEIRO, Rafael. **EFEITO DO TRATAMENTO DE OXIDAÇÃO A PLASMA NA PRODUÇÃO DE UMA BICAMADA.** 2017. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Materiais) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", [S. l.], 2017. p. 112. Disponível em: [https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/152465/ribeiro\\_rp\\_me\\_bauru.pdf;jsessionid=B9C39E4A0B75BCEE593380CE4DDCB505?sequence=3](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/152465/ribeiro_rp_me_bauru.pdf;jsessionid=B9C39E4A0B75BCEE593380CE4DDCB505?sequence=3). Acesso em: 4 abr. 2022.

NUNES, Laerce. Corrosão Grafítica (Grafitização). **Inspeção de Equipamentos: Estudo de Casos**, [s. l.], 27 maio 2013. Disponível em: <http://inspecaoequipto.blogspot.com/2013/05/corrosao-grafitica-grafitizacao.html>. Acesso em: 4 abr. 2022.

GEHRKE, G. A. **Revestimento de roscas helicoidais agrícolas a base de CrC depositado via HVOF posteriormente irradiadas com laser de Nd YAG e de CO2.** Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2017.

FARIA, Pedro. **Avaliação do comportamento mecânico-tribológico do Aço Inoxidável AISI 316 submetido a tratamentos superficiais a plasma através de ensaios de riscamento.** 2012. 73 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO, [S. l.], 2012. Disponível em: [https://engenhariamecanica.ufes.br/sites/engenhariamecanica.ufes.br/files/field/anexo/2012-1\\_pedro\\_rosseto.pdf](https://engenhariamecanica.ufes.br/sites/engenhariamecanica.ufes.br/files/field/anexo/2012-1_pedro_rosseto.pdf). Acesso em: 5 abr. 2022.