

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS

MOACIR JEAN RODRIGUES

**AVALIAÇÃO DA LIGNINA E DA GALACTOMANANA COMO
INIBIDORES DE CORROSÃO NO AÇO CARBONO EM ÁCIDO
CLORÍDRICO**

MARACANAÚ-CE

2018

MOACIR JEAN RODRIGUES

AVALIAÇÃO DA LIGNINA E DA GALACTOMANANA COMO INIBIDORES DE
CORROSÃO NO AÇO CARBONO EM ÁCIDO CLORÍDRICO

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado Acadêmico em Energias Renováveis do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) – Campus de Maracanaú, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Energias Renováveis. Área de concentração: Energias Renováveis.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Monteiro Valente Parente.

Co-orientador: Prof. Dr. Men de Sá Moreira de Souza Filho.

MARACANAÚ-CE

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Ficha catalográfica elaborada pelo Bibliotecário
Luiz Carlos Silveira de Sousa - CRB-3/942

R696 Rodrigues, Moacir Jean.
Avaliação da lignina e da galactomanana como
inibidores de corrosão no aço carbono em aço
clorídrico / Moacir Jean Rodrigues -- 2018.
96 f.

Dissertação (Mestrado Acadêmico em Energias
Renováveis) -- Instituto Federal de Educação
Ciência e Tecnologia do Ceará, *campus* Maracanaú,
2018.
Orientador: Prof. Dr. Marcelo Monteiro Valente
Parente.

1.CORROSÃO. 2.INIBIDORES DE CORROSÃO.
3.ANTICORROSIVO DE ORIGEM VEGETAL. I.Título.

620.11223

Agradecimentos

A Deus, pela sua misericórdia, pela força e pela coragem, para que a cada dia eu possa alcançar os meus objetivos. Muito obrigado Senhor!

A minha família pela educação e pelos ensinamentos.

Ao Prof. Dr. Marcelo Monteiro Valente Parente, pela orientação, pelos ensinamentos, pela confiança no meu trabalho e principalmente pela amizade.

Ao Prof. Dr. Men de Sá Moreira de Souza Filho, pela orientação, pelos ensinamentos, por sempre acreditar no meu trabalho e principalmente pela amizade.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) e ao Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis (PPGER), pela infraestrutura disponibilizada e pela excelente equipe de docentes e funcionários.

A Embrapa Agroindústria Tropical, em especial ao laboratório de Tecnologia da Biomassa (LTB), pela excelente estrutura disponibilizada e pela grande equipe que dele fazem parte.

A todos aqueles que de alguma forma me ajudaram na realização deste trabalho, por meio de conselhos, ensinamentos e principalmente pela preciosa amizade. Meu muito obrigado!

RESUMO

Os metais, devido as suas diversas propriedades mecânicas, apresentam grande importância em nossa vida cotidiana. Contudo, estão suscetíveis ao processo corrosivo causado pelo meio onde se encontram. Pesquisas são realizadas visando diminuir ao máximo os danos causados por esse fenômeno. Atualmente, além dessa preocupação inicial, é necessário desenvolver novos produtos que não sejam nocivos aos seres humanos e ao meio ambiente. Com isso, surge a oportunidade de aproveitar a grande disponibilidade de matéria-prima oriunda de fontes renováveis. O presente trabalho utilizou a lignina e a galactomanana como inibidores de corrosão no aço carbono em solução de HCl 0,5 mol L⁻¹, também foi utilizada para estudo comparativo a substância comercial anilina. Para caracterização dos extratos foram realizadas análises de Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR), análises de Termogravimetria (TGA) e Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC). A eficiência dos inibidores foi avaliada pelas análises de perda de massa, potencial de circuito aberto (PCA), polarização potenciodinâmica e impedância eletroquímica. Com relação à lignina o espectro de FTIR apresentou bandas de absorção características das unidades guaicila (1029 cm⁻¹) e siringílica (1118 e 831 cm⁻¹). Já para a galactomanana a análise apresentou bandas características dos grupamentos, hidroxila (3340 cm⁻¹), metileno (2920 cm⁻¹), além de vibrações em 1198 e 983 cm⁻¹ que representam os açúcares na estrutura dessa substância. As análises de TGA e DSC apresentaram uma boa estabilidade térmica dos extratos com temperaturas de degradação de 355°C e 302°C para lignina e galactomanana, respectivamente. Análise de perda de massa apresentou uma diminuição na cinética de dissolução do aço carbono na presença dos inibidores propostos em todas as concentrações com eficiência máxima calculada de 74,20%. O ensaio de PCA apresentou uma diminuição do potencial de corrosão. As curvas obtidas no ensaio de polarização exibiram uma diminuição na densidade de corrente na presença dos inibidores em todas as concentrações estudadas, com eficiência de 98,66%. Os resultados das isotermas de adsorção indicaram que todos os extratos inibiram o processo de corrosão em meio ácido em virtude da eficiência de adsorção e a inibição melhorou com a concentração. O ensaio de impedância eletroquímica apresentou um aumento da resistência à corrosão na presença de todos os inibidores.

Palavras-chave: *Corrosão, inibidor de corrosão, lignina, galactomanana.*

ABSTRACT

The metals, due to their diverse mechanical properties, have great importance in our daily life. However, they are susceptible to the corrosive process caused by their environment. Research is done to minimize the damage caused by this phenomenon. Currently, in addition to this initial concern, it is necessary to develop new products that are not harmful to humans and environment. Therefore, there is the opportunity to take advantage of the great availability of raw material from renewable sources. The present work used lignin and galactomannan as corrosion inhibitors in carbon steel in 0.5 mol L⁻¹ HCl solution, also used for comparative study of the commercial substance aniline. To characterize the extracts were Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), Thermogravimetry (TGA) and Differential Scanning Calorimetry (DSC) analyzes. The efficiency of the inhibitors was evaluated by mass loss, open circuit potential (OCP), potentiodynamic polarization and electrochemical impedance analyzes. With respect to lignin, the FTIR spectrum showed absorption bands characteristic of the units guaiacyl (1029 cm⁻¹) and syringil (1118 and 831 cm⁻¹). For the galactomannan, the analysis showed groups of caracaterístcas of groups, hydroxyl (3340 cm⁻¹), methylene (2920 cm⁻¹), and vibrations in 1198 and 983 cm⁻¹ representing the sugars in the structure of this substance. The TGA and DSC analyzes showed good thermal stability of the extracts with degradation temperatures of 355 °C and 302 °C for lignin and galactomannan, respectively. Mass loss analysis showed a decrease in dissolution kinetics of carbon steel in the presence of proposed inhibitors at all concentrations with calculated maximum efficiency of 74.20%. The OCP test showed a decrease in corrosion potential. The curves obtained in the polarization assay showed a decrease in current density in the presence of inhibitors at all concentrations studied, with efficiency of 98.66%. The results of the adsorption isotherms indicated that all the extracts inhibited the corrosion process in acid medium by virtue of the adsorption efficiency and the inhibition improved with the concentration. The electrochemical impedance test showed an increase in corrosion resistance in the presence of all inhibitors.

Key-words: *Corrosion, corrosion inhibitor, lignin, galactomannan.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gastos com a corrosão por setor econômico.	13
Figura 2 - Rompimento de tubulações entre 1984 a 2003.	14
Figura 3 - Principais tipos de biomassa.	18
Figura 4 - Estruturas básicas da lignina. (a) siringila, (b) guaiacila e (c) <i>p</i> -Hidroxifenila.	18
Figura 5 - Estrutura da molécula da lignina.	19
Figura 6 - Parede celular vegetal.	20
Figura 7 - Estrutura da galactomanana.	22
Figura 8 - Produção mineral comercializada em 2015.	23
Figura 9 - Ciclo dos metais.	26
Figura 10 - Corrosão Uniforme.	28
Figura 11 - Corrosão por pites.	28
Figura 12 - Corrosão intergranular.	29
Figura 13 - Corrosão em tubos de cobre.	30
Figura 14 - Corrosão sob tensão.	30
Figura 15 - Mecanismo de ação dos inibidores na superfície metálica.	32
Figura 16 - Mecanismo de ação de inibidores inorgânicos.	34
Figura 17 - Adsorção de compostos orgânicos: (A) quimissorção, e (B) fisissorção.	36
Figura 18 - Fluxograma do processo de extração da galactomanana.	38
Figura 19 - Fluxograma do Processo de Extração da lignina.	40
Figura 20 - Corpos de prova de aço carbono 1010.	42
Figura 21 - Eletrodos de trabalho.	43
Figura 22 - Ensaio de perda de massa: a) suporte; b) fio de nylon; c) corpo de prova.	44
Figura 23 - Célula eletroquímica: a) eletrodo de referência; b) contra-eletrodo; c) eletrodo de trabalho.	46
Figura 24 - Método de extrapolação de Tafel.	46
Figura 25 - Espectro FTIR da lignina.	49
Figura 26 - Espectro FTIR da galactomanana.	50
Figura 27 - Análise térmica da lignina.	52
Figura 28 - Análise de DSC da Lignina.	53
Figura 29 - Análise térmica da galactomanana.	54
Figura 30 - Análise de DSC da galactomanana.	55
Figura 31 - Análise de perda de massa.	57
Figura 32 - Análise de potencial de circuito aberto.	59
Figura 33 - Curvas de polarização.	60
Figura 34 - Isotermas de adsorção.	61
Figura 35 - Gráficos de impedância eletroquímica.	63
Figura 36 - Principais precursores da lignina e seus sítios ativos (*).	65
Figura 37 - Esquema de inibição da galactomanana.	66
Figura 38 - Aminas adsorvidas a superfície do metal.	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química do aço carbono AISI 1010.	24
Tabela 2 - Taxas de corrosão com valores apropriados de K.	45
Tabela 3 - Resultado da taxa de corrosão e eficiência de inibição.	57
Tabela 4 - Valores obtidos a partir das curvas de polarização.	62
Tabela 5 - Resultados da análise de impedância.	64

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	10
1.1.	JUSTIFICATIVA	13
1.2.	OBJETIVOS	16
1.2.1.	Objetivo Geral.....	16
1.2.2.	Objetivos Específicos	16
2.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	17
2.1.	Biomassa	17
2.2.	Lignina	18
2.3.	Galactomanana.....	22
2.4.	Metais e ligas metálicas	23
2.5.	Corrosão.....	25
2.6.	Tipos de corrosão.....	27
2.6.1.	Corrosão uniforme	27
2.6.2.	Puntiforme ou por pites.....	28
2.6.3.	Intergranular.....	29
2.6.4.	Dezincificação	29
2.6.5.	Corrosão sob tensão	30
2.7.	Controle da Corrosão	31
2.8.	Inibidores de Corrosão.....	31
2.8.1.	Tipos de Inibidores	32
2.8.1.1.	Inibidores Orgânicos.....	32
2.8.1.2.	Inibidores Inorgânicos	33
2.9.	Compostos naturais como inibidores de corrosão	34
2.10.	Mecanismo de ação dos inibidores orgânicos.....	35
3.	METODOLOGIA	36
3.1.	Extração	37
3.1.1.	Preparo da matéria-prima.....	37
3.1.2.	Extração da galactomanana.....	38
3.1.3.	Extração da lignina	39

3.2.	Caracterização da galactomanana e da lignina	40
3.2.1.	Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)	40
3.2.2.	Análises Térmicas	41
3.3.	Preparo das soluções de estudo	41
3.4.	Preparo dos corpos de prova	42
3.5.	Ensaio de Corrosão	43
3.5.1.	Análise de Perda de Massa	43
3.5.2.	Ensaio eletroquímico	45
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4.1.	Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)	49
4.1.1.	Análise de FTIR da lignina	49
4.1.2.	Análise de FTIR da galactomanana	50
4.2.	Análises Térmicas	51
4.2.1.	Análise de TGA da lignina	51
4.2.2.	Análise de DSC da lignina	53
4.2.3.	Análise de TGA da galactomanana	54
4.2.4.	Análise de DSC da galactomanana	55
4.3.	Ensaio de corrosão	56
4.3.1.	Análise de Perda de Massa	56
4.3.2.	Ensaio de Potencial de Circuito Aberto (PCA)	58
4.3.3.	Ensaio Polarização Potenciostática	59
4.3.4.	Ensaio Impedância Eletroquímica	63
4.3.5.	Efeito dos inibidores na superfície metálica	65
5.	CONCLUSÕES	67
	REFERÊNCIAS	68

1. INTRODUÇÃO

A importância dos materiais para a humanidade é tão grande, que as eras iniciais da civilização (idade da pedra, idade do bronze e idade do ferro), foram assim nomeadas de acordo com a relação ou domínio que o homem tinha sobre os mesmos (ZARBIN, 2007).

A utilização de materiais metálicos tem sido essencial para o progresso e sucesso da humanidade (MATHUR, PANDEY e JAIN, 2010). Segundo MRIDHA (2016) a civilização moderna teve início a partir da descoberta dos metais.

As explorações do cobre e do ferro juntamente com o avanço da tecnologia de fundição ajudaram no desenvolvimento da agricultura; Aplicações de metais como urânio e silício promoveram o desenvolvimento de tecnologias contemporâneas (ZHANG *et al.*, 2012).

A raça humana também tem uma longa história de exploração de substâncias de origem vegetal, como o amido para fins alimentícios e a celulose para materiais de vestuário (SITTIKIYOTHIN, TORRES e GONÇALVES, 2005). Materiais como lã, couro, algodão, madeira e seda também têm sido importantes para o homem (ZIA *et al.*, 2015).

A busca constante por novos materiais e de fontes de energia alcançou a era dos combustíveis fósseis, o que proporcionou ao homem uma vasta gama de produtos como gasolina, óleo e outros produtos derivados.

No século 20 a economia foi baseada completamente nesses combustíveis (GOLTISOV, 2010). O Petróleo viabilizou novas aplicações, através dos motores de combustão interna (ciclo Otto) (GOLDEMBERG, 2009). Além disso, também tem sido a principal fonte de matéria-prima da indústria de polímeros (PACHECO-TORGAL, 2016).

Atualmente as energias renováveis tem recebido grande atenção (HUANG, 2016). Isso é resultado do aumento populacional e conseqüentemente o maior consumo de energia (JAHIRUL *et al.*, 2012). A crescente demanda pública por produtos mais ecológicos, o esgotamento de recursos petrolíferos e novas leis de proteção ambiental, também tem influenciado as pesquisas por materiais sustentáveis (KRISHNAN *et al.*, 2015).

A ascensão de fontes de energia renováveis pode vir a ajudar a transformar o sistema de energia convencional que é dependente de combustíveis fósseis e nucleares (NISHIGUCHI e TABATA, 2016). Para que isso ocorra, o apoio governamental a essas tecnologias, bem como políticas de benefícios financeiros, aparecem como pontos cruciais para o desenvolvimento de economias de baixo carbono (McCORMICK *et al.*, 2016).

O Brasil possui características como grande incidência solar, grande quantidade de água doce, biodiversidade e pioneirismo na utilização de recursos naturais para produção de biocombustíveis, o que torna o país grande candidato em assumir a liderança na utilização dessas fontes renováveis (CARIOCA, ALMEIDA e SEIDL, 2010).

Fontes alternativas como, energia solar, eólica, hidroelétrica e biomassa, fornecem energia e ao mesmo tempo promovem a diminuição de gases estufa provenientes de combustíveis não renováveis (WELKER *et al.*, 2015). Dentre essas fontes, a biomassa tem recebido grande atenção por ser abundante e renovável (LEE, LIM e LEE, 2013).

Os Produtos derivados de plantas podem ser produzidos a partir de processos de fermentação ou tratamentos químicos da biomassa (VAN DAM *et al.*, 2005). Por exemplo, temos o etanol que é considerado um combustível limpo e alternativo a gasolina (PATEL, KUMAR, 2016). O biodiesel é outro combustível renovável que pode ser usado para substituir o diesel comum (ZULETA *et al.*, 2012).

Indústrias como aeroespacial, automotiva, construção e de embalagens tem mostrado grande interesse no desenvolvimento de novos materiais compósitos (ASHORI, 2008). Por exemplo, a produção de compósitos de plástico-madeira (WPC do inglês *Wood Plastic Composite*), já é bem consolidada (REDIGHIERI e COSTA, 2008). Esses materiais que podem ser utilizados na construção civil são biodegradáveis e são preparados tradicionalmente com lignina, celulose e outros químicos (SHIMANOUCI *et al.*, 2015).

A exploração de produtos naturais de origem vegetal como inibidores de corrosão também é um importante campo de estudo (OGUZIE, 2007). Extratos de várias partes das plantas como, sementes, frutos, folhas e flores, podem ser utilizados como inibidores de corrosão (EL HAMDANI *et al.*, 2015).

Por exemplo, autores como AVWIRI e IGHO (2003), estudaram o efeito do extrato das folhas da planta *Vernonia amygdalina* como inibidor de corrosão em ligas de alumínio em meio ácido. Já os autores CHAUHAN e GUNASEKARAN (2007), realizaram o estudo sobre o efeito de inibição do extrato da planta *Zenthoxylum alatum* no aço carbono frente à ação corrosiva de 5% e 15% de HCl.

Outro trabalho foi o de BOUMHARA *et al.* (2015), que avaliaram o efeito de um óleo essencial extraído da planta *Artemisia Mesatlantica* como inibidor de corrosão no aço carbono em solução de HCl 1 mol L⁻¹ e conseguiram uma eficiência de 92%.

Há mais de 100 anos a lignina tem sido um objeto de estudo devido a sua estrutura química e as reações que a envolvem, o que proporcionou uma grande quantidade de artigos científicos (HEITNER, DIMMEL e SCHMID, 2016).

A lignina é uma molécula tridimensional com várias ramificações que contém diferentes grupos funcionais (fenol, aldeído, álcool, hidroxila e carboxila), que são centros ativos para interações químicas e físicas e que a tornam capaz de ser utilizada como inibidor de corrosão (ALTWAIQ *et al.*, 2011).

As galactomananas estão presentes no endosperma das sementes de plantas leguminosas sendo utilizada como reserva energética (CERQUEIRA *et al.*, 2012). Esses polissacarídeos são constituídos de uma cadeia de β -(1,4)-D-manose com uma única cadeia lateral de D-galactose ligadas em α -(1-6) (PAWAR e LALITHA, 2016).

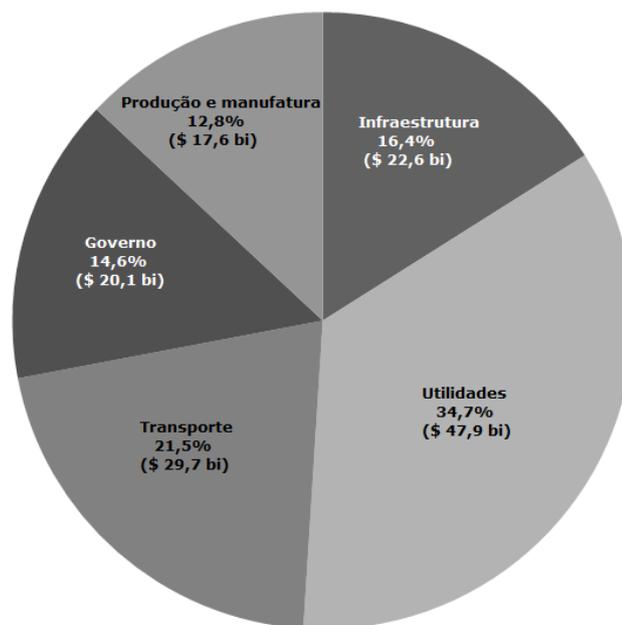
Devido à facilidade da extração, e a um baixo custo, o interesse para aplicações comerciais das galactomananas tem crescido bastante, por exemplo, na indústria farmacêutica (NURNADIAH *et al.*, 2013), na indústria de alimentos (VENUGOPAL e ABHILASH, 2010) e mais recentemente como inibidores de corrosão onde apresentam características como bom inibidor de adsorção (ALIYU *et al.*, 2015).

1.1. JUSTIFICATIVA

A corrosão tem um enorme impacto econômico e ambiental em praticamente todos os ramos da infraestrutura mundial, em indústrias de petróleo e gás e também em sistemas de água e efluentes (SCHMITT, 2009). Na indústria, por exemplo, os fenômenos corrosivos representam um problema primordial (KRIM *et al.*, 2016).

Danos causados pela corrosão levam a significantes perdas anualmente (BAI *et al.*, 2015). A Figura 1 apresenta um estudo de KOCH *et al.* (2002), os autores realizaram um levantamento dos gastos com a corrosão por setor da economia.

Figura 1 - Gastos com a corrosão por setor econômico.



Fonte: Adaptado de KOCH *et al.* (2002).

Observa-se na Figura 1, que a corrosão tem um custo bastante elevado chegando a um montante de \$137,9 bilhões de dólares. Mais recentemente em um estudo elaborado por KOCH *et al.* (2016), estimou-se um custo global de US\$ 2,5 trilhões.

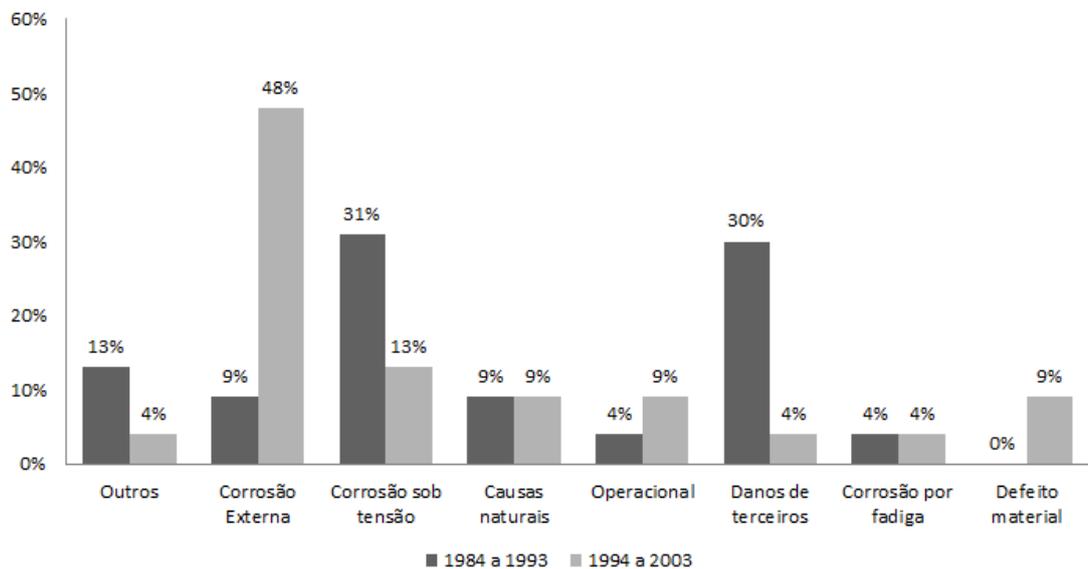
Além da perda de material, a corrosão pode interferir na segurança humana e representar um perigo para o meio ambiente. (ODUSOTE *et al.*, 2016).

Por exemplo, nos sistemas de distribuição de água potável a corrosão das tubulações provoca o aumento de íons metálicos e outros produtos de corrosão na água, diminuindo a eficiência do processo de distribuição e influenciando em sua qualidade (ABU-DALO, RAWASHDEH e ABABNEH, 2013). Esses danos podem até provocar problemas de saúde nos consumidores (SANCY *et al.*, 2010).

Outro inconveniente é o rompimento de tubulações de óleo e gás que pode causar danos econômicos, ao meio ambiente e aos seres-humanos (MIRGANE e RAMDAS, 2009).

Em um trabalho realizado por JEGLIC (2004), foi realizado um estudo do sistema de tubulações do Canadá entre 1984 a 2003. A pesquisa foi dividida em dois períodos, primeiro entre 1984 a 1993 e depois de 1994 a 2003. A Figura 2 apresenta os dados das rupturas das tubulações durante o estudo.

Figura 2 - Rompimento de tubulações entre 1984 a 2003.



Fonte: Adaptado de JEGLIC (2004).

Na Figura 2 observa-se a relação entre as rupturas de tubulações e suas causas. Nota-se que a corrosão foi a principal causa dos rompimentos com 44% dos casos entre 1984 a 1993 e chegou a 65% no período de 1994 a 2003.

Os inibidores de corrosão têm sido a primeira opção em processos do setor industrial (HAYYAN *et al.*, 2012). Diferentes tipos de inibidores já vêm sendo utilizados há anos, por exemplo, compostos contendo cromatos, dicromatos, molibdatos, nitratos e nitritos (ARENAS, CONDE e DAMBORENEA, 2002). O problema é que os inibidores sintéticos apresentam em sua composição substâncias que podem causar prejuízos à saúde humana e ao meio ambiente (FADARE, OKORONKWO e OLASEHINDE, 2016).

Por exemplo, inibidores a base de cromatos tem uma longa história de sucesso comercial, pois são extremamente efetivos no combate a corrosão sob diversas condições (ABDEL-GABER *et al.*, 2011). Contudo, o uso de compostos contendo cromo tem sido limitado desde 1982, devido seus efeitos cancerígenos (TWITE e BIERWAGEN, 1998). Sendo essa a principal razão do banimento de revestimentos contendo esse composto na Europa (SHCHUKIN *et al.*, 2006).

Com isso, surge a necessidade do estudo e desenvolvimento de um produto inibidor que não seja prejudicial ao homem nem a natureza. O uso de produtos naturais como agentes anticorrosivos têm sido uma alternativa aos compostos tóxicos, pois são ambientalmente corretos e inofensivos (PATEL *et al.*, 2013).

Por exemplo, os autores ALANEME e OLUSEGUN (2012) utilizaram a lignina extraída da *Tithonia Diversifolia* como inibidor de corrosão em aço carbono em uma solução de H_2SO_4 1 mol L^{-1} . Em relação à galactomanana os autores ROY *et al.* (2014) estudaram a galactomanana graftada com poliacrilamida como inibidor no aço carbono em HCl 1 mol L^{-1} .

Este trabalho utilizou as substâncias naturais lignina e galactomanana como inibidores de corrosão no aço carbono 1010 em solução de HCl $0,5 \text{ mol L}^{-1}$.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

- O presente trabalho tem como objetivo realizar um estudo comparativo entre os compostos naturais lignina e galactomanana e a substância comercial anilina como inibidores de corrosão no aço carbono 1010 frente à ação corrosiva de uma solução de HCl 0,5 mol L⁻¹.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar a extração da lignina.
- Realizar a extração da galactomanana.
- Realizar a caracterização química e térmica da lignina.
- Realizar a caracterização química e térmica da galactomanana.
- Verificar por meio de ensaios de perda de massa e ensaios eletroquímicos a ação inibidora das substâncias lignina, galactomanana e anilina.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Biomassa

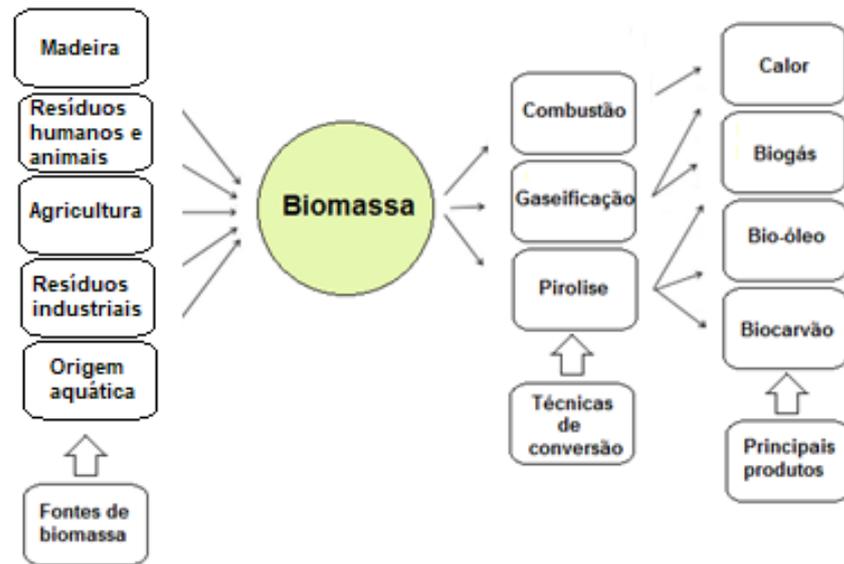
A biomassa é um termo genérico para qualquer material orgânico que é constituído principalmente por carbono, hidrogênio, nitrogênio e pequenas quantidades de enxofre (OLADEJI, ITABIYI e OKEKUNLE, 2015). Os autores KIM, LEE e KIM (2016), a definem como um material polimérico heterogêneo que compreende carboidratos (celulose e hemicelulose), lignina e outros componentes.

A biomassa é considerada uma boa fonte alternativa para fins energéticos e produtos químicos, devido à sua grande disponibilidade, baixo custo e por ser renovável (HUSSIN *et al.*, 2014). É um recurso natural que tem o potencial para prover energia em grandes proporções e oferecer muitas oportunidades de emprego e renda (WATKINSON, BRIDGWATER e LUXMORE, 2012).

Atualmente a principal utilização é na indústria de polpação e papel, seguida dos setores de energia e construção (ANCA-COUCÉ, 2016). A partir da biomassa é possível produzir biocombustíveis (bioetanol e biogás), além de poder ser usada para produção de outros produtos de maior valor agregado (RAVINDRAN e JAISWAL, 2016).

Na atualidade é a única fonte energética capaz de ser convertida em três diferentes formas de combustíveis: sólidos, líquidos e gases (TRIPATHI, SAHU e GANESAN, 2016). A Figura 3 mostra algumas fontes de obtenção da biomassa, os processos de conversão e os principais produtos gerados.

Figura 3 - Principais tipos de biomassa.

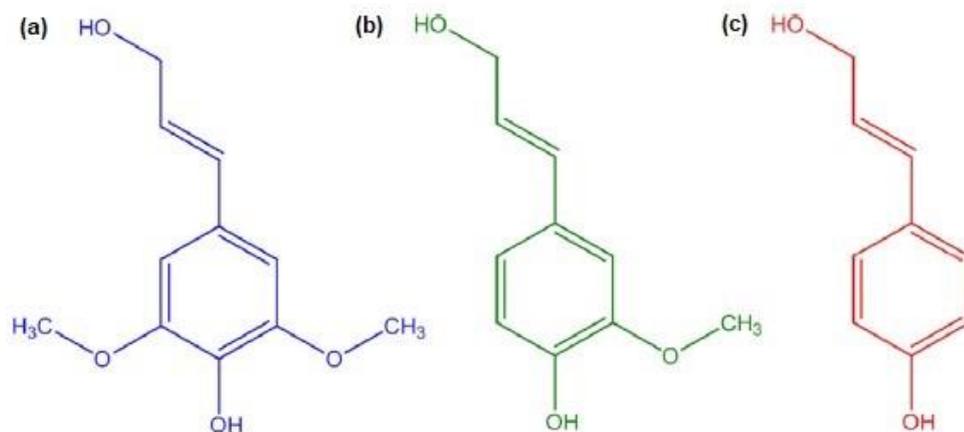


Fonte: Adaptado de TRIPATHI, SAHU e GANESAN (2016).

2.2. Lignina

A palavra lignina vem do latim *lignum*, e significa madeira (LEONOWICZ *et al.*, 1999). Segundo ZHAO *et al.* (2016), é um polímero amorfo composto por três unidades básicas de fenilpropano, que são siringila (S), guaiacila (G) e *p*-hidroxifenila (H).

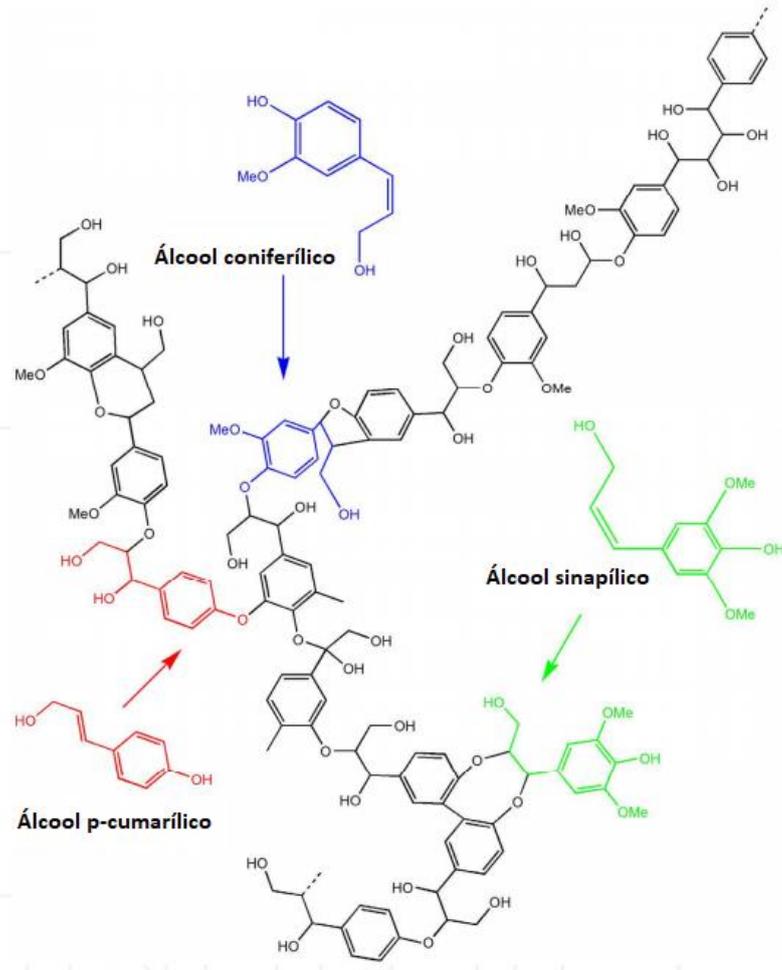
Figura 4 - Estruturas básicas da lignina. (a) siringila, (b) guaiacila e (c) *p*-Hidroxifenila.



Fonte: LUPOI *et al.* (2015).

As três unidades H, G e S citadas anteriormente, são produzidas respectivamente pelos álcoois p-cumarílico, coniferílico e sinapílico (BOERJAN, RALPH e BAUCHER, 2003), a partir de reações radiculares (CARVALHO *et al.*, 2009). A Figura 5 mostra uma representação simples da formação da estrutura da lignina.

Figura 5 - Estrutura da molécula da lignina.

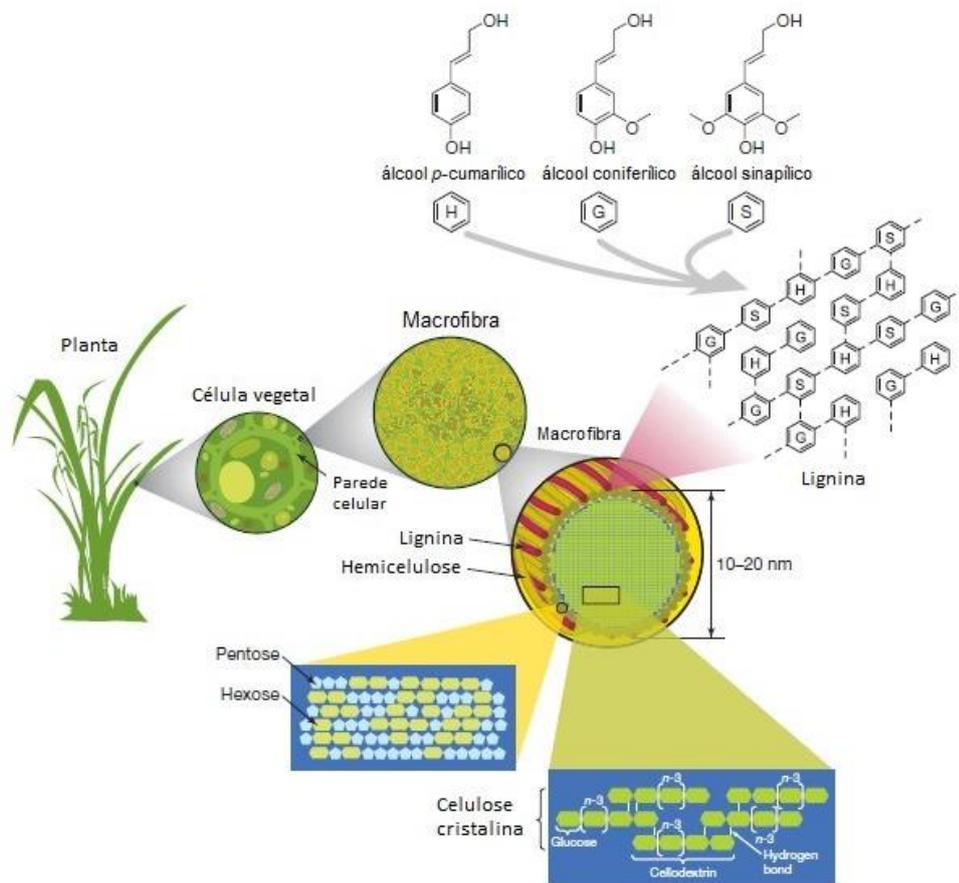


Fonte: SHARMIN, AHMAD e ZAFAR (2012).

A molécula da lignina é muito complexa e varia de acordo como o tipo de planta (PASQUALI e HERRERA, 1997), da localização morfológica na parede celular (CABALLERO *et al.*, 1993), do tipo de célula e do estágio de desenvolvimento do tecido celular (DOUGLAS, 1996).

A constituição da parede celular é feita por redes de fibras de celulose (DING *et al.*, 2012) que são envolvidas por uma matriz composta por hemicelulose e lignina (KUČEROVÁ *et al.*, 2016). Em outras palavras, celulose, lignina e hemicelulose estão conectadas por ligações covalentes cruzadas (SHARMA, 1996). A lignina está localizada na lamela média (ADSUL *et al.*, 2011) e age unindo a hemicelulose e a celulose (LIU *et al.*, 2016). A Figura 6 mostra uma representação da estrutura da célula vegetal e seus componentes.

Figura 6 - Parede celular vegetal.



Fonte: RUBIN (2008).

A função biológica da lignina junto com outros polissacarídeos é fornecer resistência estrutural para as plantas (LAUBERTS *et al.*, 2017). Também oferece proteção microbiológica (ZIMMERMANN, 1990) e contra os ataques físicos e/ou químicos (SPASOJEVIĆ *et al.*, 2016). Ajuda no transporte de água das plantas (SPIRIDON *et al.*, 2015) e ainda é responsável pelo armazenamento de quase 40% da energia solar nas plantas (FELDMAN, LACASSE e BEZNACZUK, 1986).

A lignina existente na parede celular é chamada de protolignina, sendo impossível realizar o isolamento da mesma sem que sua estrutura seja afetada (TERASHIMA, ATALLA e VANDERHART, 1997). Muitas características importantes (como o teor de grupos fenólicos, o número de ligações Alquil Aril Éter e o grau de polimerização) são alteradas devido às severas reações que ocorrem durante o processo de isolamento (MILSTEIN *et al.*, 1993).

O processo de extração organosolv tem recebido grande atenção ultimamente, pois promove um isolamento com alta qualidade da celulose, hemicelulose e lignina (STEWART *et al.*, 2016). Segundo AZADI *et al.* (2013) o termo "Organosolv" é referente a um grupo de processos de polpação que utilizam solventes orgânicos (por exemplo: álcool e metanol) misturados com água e ácido (por exemplo: ácido fórmico e ácido acético).

Atualmente a lignina é obtida em biorefinarias (CHENG *et al.*, 2016) e na indústria de papel como um subproduto do processo de polpação da madeira (GORDOBIL, 2015). O processo de polpação tem o objetivo de quebrar a matriz de hemicelulose e lignina para assim ter acesso a celulose (BALAN *et al.*, 2009), geralmente esse processo gera uma polpa rica em celulose e um líquido rico em lignina degradada (HEMMILÄ, TRISCHLER e SANDBERG, 2013).

Somente na indústria de papel são produzidas anualmente mais de 50 milhões de toneladas, sendo que apenas 2% são utilizadas para geração de energia com uma eficiência menor que 30% (NUMAN-AL-MOBIN *et al.*, 2016). De acordo com PAWAR *et al.* (2016), a lignina usada como combustível não é um produto com grande valor econômico chegando a valer apenas \$0,18/kg.

Sua estrutura química mostra potencial para ser uma matéria-prima renovável para produção de combustíveis, químicos (SHI *et al.*, 2017) e para síntese de produtos com diversas aplicações (SHWETA e JHA, 2015). Segundo ÇETIN e ÖZMEN (2002), essa substância tem enorme potencial para ser utilizada em várias aplicações industriais substituindo produtos à base de petróleo.

Vários trabalhos são encontrados na literatura utilizando a lignina como uma alternativa renovável, não tóxica e de baixo custo em substituição a produtos de características opostas. Por exemplo, CONSOLIN FILHO *et al.* (2007), avaliaram a lignina reticulada como material adsorvente de metileno em meio aquoso em substituição ao carbono ativado de maior custo.

Os autores QIN *et al.* (2016), utilizaram a lignina como base de um compósito com amina para adsorção de metais pesados em água, evitando o uso de surfactantes mais caros.

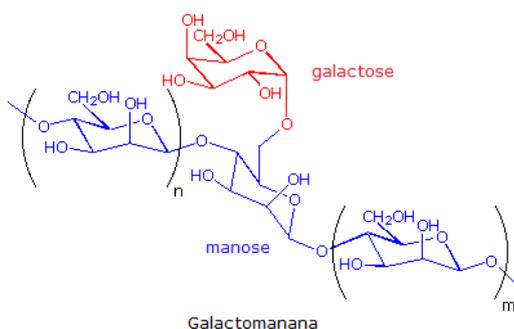
2.3. Galactomanana

As galactomananas são hemiceluloses que estão presentes nas paredes celulares primárias, tendo função estrutural e nas sementes servindo como reserva energética de algumas espécies de plantas (FERREIRA, ROCHA e DA SILVA, 2009). Segundo LEE, LIM e LEE (2013) são as principais hemiceluloses presentes em madeiras macias.

São polissacarídeos de grande disponibilidade na natureza (PANDEY e MISHRA, 2014), com alto peso molecular com aproximadamente 50-8000 kDa (WOODWARD *et al.*, 2012). Essas substâncias podem ser extraídas de uma grande variedade de plantas, principalmente as leguminosas (ALBUQUERQUE *et al.*, 2016), onde são armazenadas no endosperma das sementes (PINHEIRO *et al.*, 2011).

Segundo LIYANAGE *et al.* (2015), as galactomananas são compostas por unidades de manose (M) e galactose (G), sendo que a razão M/G influencia na sua solubilidade, estabilidade térmica, e propriedades reológicas. A razão M/G varia entre 1,5/1 até 2/1 e depende principalmente de variações climáticas (JAMSHIDIAN *et al.*, 2014), da espécie de planta e do método utilizado para extração (GRISEL *et al.*, 2015). Sua estrutura consiste de uma ligação residual (1-4) na cadeia de β -D-manopiranosose com cadeias laterais de ligações (1-6) α -D-galactopiranosose (SINGH *et al.*, 2014).

Figura 7 - Estrutura da galactomanana.



Fonte: <https://www2.chemistry.msu.edu/faculty/reusch/virttxtjml/carbhyd.htm>. Acessado em 22/08/2017.

Galactomananas naturais são classificadas de acordo com sua origem, comportamento e estrutura química, sendo que as de maiores significância comercial são goma guar (GG – do inglês: *gua gum*) extraída da *C. tetragonolobus*, e a LBG (do inglês: *Locust Bean Gum*) extraída da *C.siliqua* (MIRHOSSEINI e AMID, 2012).

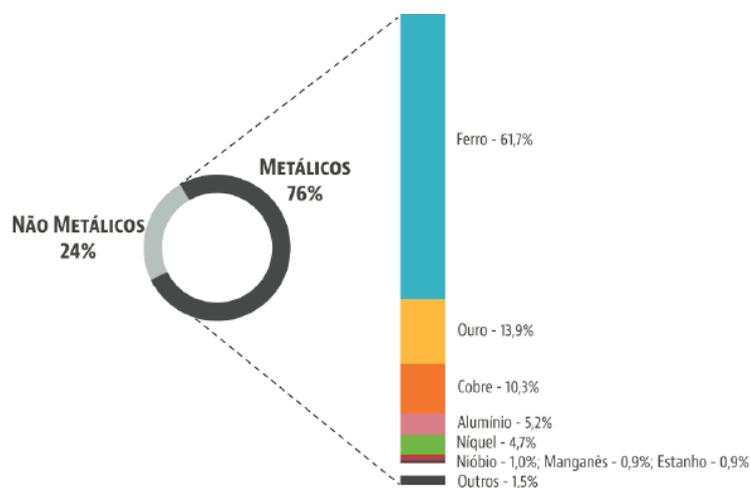
Esse polissacarídeo é o mais utilizado depois da celulose e do amido (ROSSI *et al.*, 2016). Isso se deve a boas características como agentes de suspensão, gelificação e emulsão, tendo larga aplicação em vários setores da indústria de papel, têxtil, cosméticos, farmacêutica, alimentícia e petróleo (MITTAL, MATTU e KAUR, 2016).

Trabalhos que utilizaram a galactomanana para diversos fins são encontrados na literatura. Por exemplo, DE ALMEIDA *et al.* (2015), utilizaram a galactomanana como matriz para uso farmacêutico da mangiferina. Os autores TIRAFERRI *et al.* (2008), utilizaram a galactomanana como estabilizante de nanopartículas de ferro de valência zero para tratamentos de lençóis freáticos.

2.4. Metais e ligas metálicas

Segundo o Ministério de Minas e Energias do Brasil (BRASIL, 2016), a classe dos metais correspondeu a 76% do valor total da produção mineral brasileira que foi de R\$ 67,5 bilhões, sendo o ferro o de maior participação nesse montante (Figura 8).

Figura 8 - Produção mineral comercializada em 2015



Fonte: Ministério de Minas e Energia do Brasil (2016).

O ferro é indispensável para fabricação de peças automotivas, construção de pontes e grandes edifícios, isso graças a suas características de ductilidade, dureza e rigidez (RAJESWARI *et al.*, 2014). É um metal de fácil processamento, com grandes reservas na crosta terrestre e tem como característica ligar-se com outros elementos metálicos e não metálicos, sendo que o carbono é o elemento mais comum (CHIAVERINI, 2012).

O carbono adicionado ao ferro provoca a diminuição do ponto de fusão o que proporciona a produção de ligas ferrosas como os aços e ferros fundidos (COLPAERT, 1994). Na composição do aço esse elemento exerce um papel importante na microestrutura e nas propriedades mecânicas do material (APOSTOLOPOULOS, 2016).

Aços são ligas ferro-carbono que contêm entre 0,008 a 2,14% de carbono (CALLISTER, 2011). O limite inferior significa à máxima solubilidade do carbono no ferro à temperatura ambiente, já o limite superior corresponde à máxima quantidade de carbono que é dissolvido no ferro a 1148°C (CHIAVERINI, 2012).

Devido à importância do carbono adicionado ao aço foi desenvolvida uma classificação para os diferentes tipos de aços produzidos (VAN VLACK, 1970).

As instituições internacionais AISI (do inglês: *American Iron and Steel Institute*) e a SAE (do inglês: *Society of Automotive Engineering*) classificam os aços com um sistema de quatro ou cinco dígitos, onde os dois primeiros dígitos representam o elemento principal da liga, e os dois ou três últimos dígitos referem-se à porcentagem de carbono (ASKELAND, FULAY e WRIGHT, 2010).

A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) segue essas especificações internacionais (DE SOUZA, 1989). Além do carbono existem outros quatro elementos residuais provenientes do processo de fabricação, são eles: Manganês (Mn), Silício (Si), Fósforo (P) e Enxofre (S) (DE SOUZA, 1989).

Tabela 1 - Composição química do aço carbono AISI 1010.

AISI	C	Mn	Si	P	S
1010	0,0954	0,351	0,0083	0,0150	0,0084

Fonte: Adaptado de MOREIRA, SOARES e RIBEIRO (2014).

O aço carbono é produzido em larga escala sendo aplicado em vários setores como o automotivo, transporte, construção e maquinários (RANA, LAHAYNE e RAY, 2014). Suas propriedades mecânicas e seu baixo custo, também proporcionam sua utilização em ambientes de exploração de óleo e gás natural (FENG *et al.*, 2016).

Na indústria de petróleo e gás (LI *et al.*, 2016), pode ser encontrado em equipamentos como reatores químicos, caldeiras e tubulações de transporte de gás e óleo (ABDULLAHI, FARZAM e IRANNEJAD, 2014). Atualmente é estimado que a rede de tubulações de aço carbono que transporta gás e óleo em todo planeta, seja de uma extensão que ultrapasse um milhão de quilômetros (AKKOUICHE *et al.*, 2016).

Devido à variedade de aplicações o aço carbono pode entrar em contato com diferentes produtos químicos (AL-SENANI, 2015). Por exemplo, o ácido clorídrico (HCl) que é largamente utilizado na indústria para decapagem de metais (WANG, LIU e XIN, 2004).

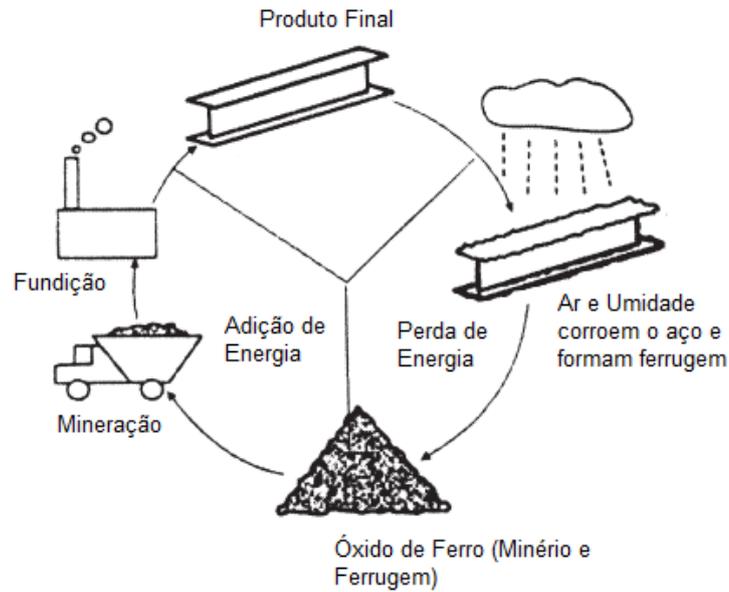
Nesses ambientes agressivos é facilmente afetado pela corrosão (QIAN *et al.*, 2009), o que vem a limitar sua utilização (SANTANA, 2013). A baixa resistência desse material é devido a não formação de uma camada de óxido em sua superfície, o que viria a protegê-lo desses ambientes (RIVERA-GRAU, 2013).

2.5. Corrosão

Tradicionalmente o termo corrosão tem significado a deterioração de metais e ligas em contato com o ambiente (CHAWLA e GUPTA, 1993). Apesar de agir principalmente em materiais metálicos, também pode ocorrer em concretos e polímeros orgânicos (MERÇON, GUIMARÃES e MAINIER, 2004).

A extração do metal a partir do minério envolve a redução da forma oxidada para o metal livre, resultando em aumento da energia interna (BOGAERTS, 2006). Assim causa básica da corrosão nos metais é a forte tendência que esses materiais têm em regressar a um estado de maior estabilidade energética (AL-SAHLANEE, SULTAN e AL-FAIZE, 2013). A Figura 9 apresenta o ciclo dos metais.

Figura 9 - Ciclo dos metais.



Fonte: Adaptado de DAVIS (2000).

Ação destrutiva da corrosão nos metais pode ser provocada por reações químicas ou eletroquímicas (UHLIG e REVIE, 2008). A corrosão química ocorre em altas temperaturas (KAPPS, SIMOES e CUSTODIO, 2012). É conhecida como corrosão seca, pois não necessita de água, e corresponde a um ataque de um agente químico na superfície do metal, não havendo a transferência de elétrons de um local para outro (MERÇON, GUIMARÃES e MAINIER, 2004).

O processo de corrosão eletroquímica envolve uma reação química de transferência de elétrons do metal para um receptor externo, o que causa a liberação de íons metálicos no meio e conseqüentemente a deterioração do material (BEECH e SUNNER, 2004). Esse processo de corrosão é mais comum na natureza na presença de água (AMBROZIN, 2009).

A ação da corrosão pode provocar uma deterioração irreversível nas propriedades dos metais (SHARMIN, AHMAD e ZAFAR, 2012). O que ocasiona a perda de características básicas como resistência mecânica, maleabilidade e ductilidade e acaba resultando em um produto indesejável e de pouca qualidade (RAMANATHAN, 1986).

Em equipamentos provoca a diminuição da eficiência e da vida útil, e em casos avançados pode provocar acidentes com grandes perdas (KULANDAI e VASUDHA, 2015). Os danos causados pela corrosão geram não só elevados custos de inspeção, reparação e/ou substituição, mas podem representar riscos a segurança humana (BENTISS, LEBRINI e LAGRENÉE, 2005).

Na indústria petrolífera problemas relacionados à corrosão ocorrem em diferentes etapas dos processos de produção e estocagem (RIOS *et al.*, 2015). Em plantas de craqueamento catalítico a maioria dos equipamentos é feita por aço carbono e o processo corrosivo que ataca esses equipamentos pode levar a ocorrência de acidentes graves, através de vazamentos de gases inflamáveis e até a perda total do equipamento (VIEIRA, 2002). Esses problemas são bastante estudados, pois representam grande parte dos custos de produção de óleo e gás a cada ano (FINŠGAR e JACKSON, 2014).

A corrosão localizada em vergalhões no concreto é outro problema muito comum que às vezes leva a acidentes catastróficos (LIN *et al.*, 2010). Os custos com a corrosão geralmente envolvem aplicações de revestimentos (tintas, tratamentos de superfície), inspeção e reparos de superfícies e estruturas corroídas (WANG e BIERWAGEN, 2009).

2.6. Tipos de corrosão

De acordo com UHLIG e REVIE (2008), existem cinco tipos principais de corrosão que são classificados de acordo com a aparência externa ou propriedades físicas alteradas.

2.6.1. Corrosão uniforme

A corrosão generalizada envolve reações de oxidação e redução (redox) que ocorrem simultaneamente em toda a superfície do metal que está em contato com um agente oxidante, resultando na diminuição da espessura do material (BIDETTI *et al.*, 2012).

Figura 10 - Corrosão Uniforme.



Fonte: <https://www.nace.org/Corrosion-Central/Corrosion-101/Uniform-Corrosion/>. Acessado em 22/08/2017.

Exemplos desse tipo de corrosão são vários, incluindo a oxidação de pontes de aço, ferrugem de dutos subterrâneos, manchas em objetos de prata e a formação de patina em estátuas de bronze (SHAW e KELLY, 2006).

2.6.2. Puntiforme ou por pites

Esta forma de corrosão localizada ocorre quando a camada passiva do metal é rompida na presença de eletrólitos resultando numa dissolução localizada e formação de cavidades na superfície do material (CODARO, 2002).

Figura 11 - Corrosão por pites.



Fonte: GINZEL e KANTERS (2002).

A corrosão por pites está presente em vários tipos de metais e ambientes (VALOR *et al.*, 2007). Os ânions cloretos (Cl⁻) são os principais causadores de pites em metais e ligas (PISTORIUS e BURSTEIN, 1992).

2.6.3. Intergranular

Esta é uma forma de corrosão relativamente rápida e localizada que está associada a uma microestrutura defeituosa conhecida como precipitação de carbonetos (ATLAS STEEL, 2013). Esse tipo de corrosão é muito comum em aços austeníticos (AYDOĞDU e AYDINOL, 2006), ocorrendo em processos de soldagem ou quando utilizados em altas temperaturas (SHIMADA *et al.*, 2002).

Figura 12 - Corrosão intergranular.



Fonte: <https://corrosion.ksc.nasa.gov/intercor.htm>. Acessado em 31/08/2017.

2.6.4. Dezincificação

Este tipo envolve a remoção seletiva por corrosão de um dos elementos de uma liga por ataque localizado ou pela dissolução do material da matriz (ROBERGE, 2008). A dezincificação é um tipo de corrosão comum em latões (BARROS, 1993).

Figura 13 - Corrosão em tubos de cobre



Fonte: https://www.copper.org/applications/rodbar/alloy360/corrosion_tests.html. Acessado em 31/08/2017.

Quando o latão sofre corrosão, uma camada de óxido de zinco é inicialmente formada o que passiva a superfície do material (RAJ e RAJENDRAN, 2011). O processo de dezincificação leva a uma séria deterioração da superfície e das propriedades mecânicas dessa liga (KUMAR *et al.*, 2006). Um dos principais métodos de combate a esse tipo de corrosão é a utilização de inibidores de corrosão (RAVICHANDRAN e RAJENDRAN, 2005).

2.6.5. Corrosão sob tensão

A corrosão sob tensão (CST) é um processo decorrente da ação conjunta de um meio corrosivo específico e tensões de tração residuais ou aplicadas (SENATORE, FINZETTO e PEREA, 2007). É possivelmente a mais séria forma de corrosão encontrada em processos industriais (NICHOLLS, 1993).

Figura 14 - Corrosão sob tensão.



Fonte: <https://corrosion.ksc.nasa.gov/stresscor.htm>. Acessado em 31/08/2017.

2.7. Controle da Corrosão

O estudo de processos corrosivos tem como objetivo principal conhecer e caracterizar os meios agressivos que causam a corrosão e depois reduzir esses efeitos com o uso de agentes inibidores (ROSSI *et al.*, 2007). A exposição dos metais em diferentes ambientes agressivos tem proporcionado a constantes pesquisas sobre formas de inibição (BANCZEK *et al.*, 2005).

Os inibidores de corrosão têm um papel importante nos estudos de prevenção da corrosão (ÖZCAN *et al.*, 2008). Esses compostos já são utilizados com sucesso por décadas, por exemplo, em tubulações de aço e tanques (HANSSON, MAMMOLITI e HOPE, 1998).

Em ambientes ácidos o uso de inibidores é um dos métodos mais práticos de proteção (LEBRINI *et al.*, 2007). Os inibidores mais indicados para esses locais são os que têm características de adsorção (adsorvem nas regiões anódicas e/ou catódicas do metal) (CARDOSO *et al.*, 2005). A redução da taxa de corrosão nos metais tem benefícios econômicos, aumenta a vida útil dos equipamentos e diminui a dissolução de metais tóxicos no ambiente (SOLMAZ, 2014).

2.8. Inibidores de Corrosão

Inibidores são compostos que são adicionados ao meio em pequenas quantidades com objetivo de controlar, reduzir ou prevenir reações entre o metal e o ambiente (BENTISS *et al.*, 2002). A adição de inibidores pode ser contínua ou periódica dependendo do tipo de corrosão (DEYAB *et al.*, 2016).

A atuação dessas substâncias ocorre através de processos de adsorção na superfície do material, sua eficiência depende das características do ambiente de ação, da superfície e do potencial eletroquímico do metal (ŞAFK *et al.*, 2012). Segundo SASTRI (2012) o princípio de ação dos inibidores é a formação de uma camada ou filme na superfície do material a ser protegido.

2.8.1. Tipos de Inibidores

De acordo com AHMAD (2006), existem duas classes principais de inibidores que são os inibidores orgânicos e inibidores inorgânicos.

2.8.1.1. Inibidores Orgânicos

Inibidores orgânicos são compostos que contêm átomos de nitrogênio, enxofre e oxigênio (BENTISS, TRAISNEL e LAGRENEE, 2000). A eficiência de adsorção desses elementos tem a seguinte sequência: Oxigênio (O) < Nitrogênio (N) < Enxofre (S) (EL-NAGGAR, 2007).

A presença desses átomos com pares de elétrons livres, além de anéis aromáticos com ligações π e um alto peso molecular promovem a eficiência de inibição (ACHARYA *et al.*, 2013). A ação inibidora desses compostos é usualmente atribuída às interações com a superfície metálica por adsorção (FERREIRA *et al.*, 2004).

Os inibidores quando adsorvidos na superfície metálica bloqueiam os locais de superfície ativa, reduzindo assim as reações eletroquímicas envolvidas nos processos de transferência de carga (GROSSER, BARROS e GONÇALVES, 2014). A Figura 15 apresenta o mecanismo de ação dos inibidores orgânicos.

Figura 15 - Mecanismo de ação dos inibidores na superfície metálica.



Fonte: Adaptado de GUO *et al.* (2017).

Um exemplo de inibidores orgânicos são as anilinas. Tais compostos são aminas que contêm um grupo fenila ligado diretamente ao nitrogênio (ALLINGER *et al.*, 1985). Essas substâncias são conhecidas por serem boas inibidoras de corrosão em metais e ligas em diferentes meios corrosivos (SHERIF e PARK, 2006).

Essas aminas aromáticas protegem os metais contra corrosão em meios ácidos por formarem uma camada que é adsorvida na superfície do metal através de átomos de nitrogênio (MANN, LAUER e HULTIN, 1936). Contudo, a anilina é considerada uma substância tóxica que pode contaminar o organismo humano quando ingerido, inalado ou em contato com a pele (BONNARD *et al.*, 2010).

Vários estudos foram realizados sobre a toxicidade crônica e o caráter cancerígeno dessa substância (CANADIAN ENVIRONMENTAL PROTECTION, 1993). Outro problema causado por essa substância é a metemoglobinemia (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2000), que é um tipo de anemia funcional (CARVALHO *et al.*, 2011).

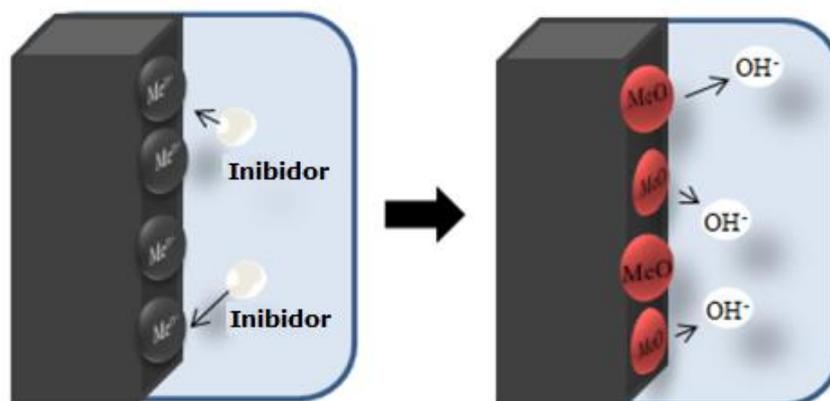
Em relação à contaminação do meio ambiente os autores FOX *et al.* (2004) classificaram esse composto como um poluente atmosférico perigoso. As principais fontes responsáveis pela presença desse composto poluente no meio-ambiente são as águas residuais e vapores provenientes de indústrias químicas ou farmacêuticas, que utilizam a anilina como matéria-prima (MUCHA *et al.*, 2010).

2.8.1.2. Inibidores Inorgânicos

Os inibidores inorgânicos são utilizados como uma alternativa aos inibidores orgânicos devido à possibilidade destes se degradarem com o tempo e a temperatura (ANTONIJEVIC e PETROVIC, 2008).

As substâncias inorgânicas adequadas para utilização como inibidores de corrosão devem oxidar facilmente o metal para formar uma camada impermeável que impeça a interação direta de íons, assim, retardar a taxa de dissolução do metal no meio (UMOREN, 2014). Segundo GENTIL (2011), essa camada é geralmente composta por hidróxidos.

Figura 16 - Mecanismo de ação de inibidores inorgânicos.



Fonte: DARIVA e GALIO (2014).

Elementos como níquel (Ni), cobre (Cu), crômio (Cr) e Molibdênio (Mo) são bastante eficientes no combate a corrosão em ligas de ferro (LU et al., 2016). Os compostos com Cr (VI) são largamente utilizados em meio aquoso (BETHENCOURT *et al.*, 1998). Porém, tais compostos têm propriedades cancerígenas (BIRBILIS, 2005).

2.9. Compostos naturais como inibidores de corrosão

A maioria dos inibidores comercialmente disponíveis têm substâncias tóxicas que devem ser substituídos por novos inibidores que não prejudiquem o meio ambiente (STUPNIŠEK-LISAC, GAZIVODA e MADŽARAC, 2002). O interesse em compostos naturais é devido ao fato desses materiais não serem tóxicos, serem ecologicamente corretos, terem um baixo custo e por serem renováveis (SOLOMON *et al.*, 2010).

Extratos de plantas contêm proteínas, polissacarídeos, ácidos policarboxílicos e alcaloides que são potenciais inibidores de corrosão em diversos metais (ZUCCHI e OMAR, 1985). Os compostos poliméricos têm mostrado bastante estabilidade como inibidores de corrosão, isso é devido às estruturas desses compostos, pois as mesmas apresentam vários centros ativos de adsorção como anéis aromáticos e heteroátomos (CHETOUANI *et al.*, 2003).

A lignina contém vários grupos funcionais orgânicos que proporcionam sítios ativos para a adsorção nas superfícies dos metais (LALVANI, WILTOWSKI e WESTON, 1997). Análises eletroquímicas mostram que compostos a base de lignina são eficientes inibidores de corrosão (SHARMIN, AHMAD e ZAFAR, 2012). Vários estudos mostram que essa eficiência em reduzir a corrosão no metal pode ser de até 80% (YAHYA *et al.*, 2013).

As galactomananas são constituídas por uma cadeia ramificada e longa de $\beta(1-4)$ manose com subunidades de $\alpha(1-6)$ galactopirranose (CODAGNONE *et al.*, 2004). Devido a sua composição, as galactomananas extraídas de fontes naturais são efetivas como inibidores de corrosão, atraindo grande atenção no ramo da corrosão (UMOREN e EDUOK, 2016).

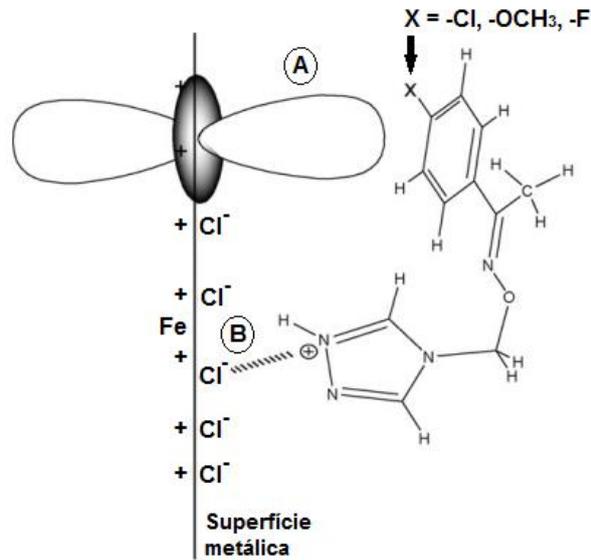
Em um trabalho de ABDALLAH (2004), o autor estudou o efeito da galactomanana como inibidor no aço carbono e concluiu que a presença de heteroátomos como oxigênio em sua estrutura possibilitou a adsorção por ligações coordenadas entre elétrons desemparelhados do oxigênio e a superfície do metal.

2.10. Mecanismo de ação dos inibidores orgânicos

A adsorção na superfície metálica requer forças de atração entre a espécie adsorvida e o metal (BENTISS, 2009). Segundo o mesmo autor, de acordo com o tipo de força, a adsorção pode ser fisissorção (adsorção física), quimissorção (adsorção química) ou uma combinação de ambas.

Segundo SINGH, SINGH e EBENSO (2014), a fisissorção requer a presença da superfície carregada eletricamente do metal e das espécies carregadas do inibidor. Já a quimissorção envolve o compartilhamento ou transferência de elétrons das moléculas do inibidor para a superfície para formar uma ligação de tipo coordenada (BENTISS, TRAISNEL e LAGRENEE, 2001). A Figura 17 ilustra a ação de compostos orgânicos em superfícies metálicas.

Figura 17 - Adsorção de compostos orgânicos: (A) quimissorção, e (B) fisissorção.



Fonte: Adaptado de Li *et al* (2007).

Segundo FOUDA e MAHFOUZ (2009), metais como ferro e cobre, possuem grande afinidade com compostos aromáticos. O ferro tem o subnível d incompleto, o que determina seu papel como um receptor de elétrons, assim, todas as condições requeridas para a formação de uma ligação de quimissorção são satisfeitas (EL-MAKSOUUD e FOUDA, 2005).

3. METODOLOGIA

Neste trabalho foram utilizadas como matéria-prima as vagens da algaroba.

As seguintes etapas foram realizadas:

- Preparo da matéria-prima.
- Extração e caracterização da lignina.
- Extração e caracterização da galactomanana.

A preparação dos corpos de prova de aço carbono 1010 e dos ensaios eletroquímicos, foram realizados no Laboratório de Inspeção e Análises de Falhas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - Campus de Maracanaú.

As seguintes etapas foram realizadas:

- Preparo dos corpos de prova (aço carbono 1010).
- Preparo das soluções de estudo.
- Ensaios de corrosão.

3.1. Extração

Para o preparo da matéria-prima e extração da galactomanana, foi seguida a metodologia utilizada por SOUZA FILHO *et al.* (2013). Para a extração da lignina, foi seguida a metodologia utilizada por FIGUEREDO-SOBRINHO (2017), com algumas modificações.

3.1.1. Preparo da matéria-prima

Inicialmente as vagens da algaroba foram imersas em água por 24 horas em uma proporção 1:2 (m/v), após esse período o material foi processado em um liquidificador industrial, com a finalidade de separar as cápsulas das vagens.

A matéria sólida resultante foi seca em estufa a 55 °C durante 24 horas. A separação das fibras das vagens e das cápsulas foi realizada com o auxílio de uma peneira (abertura de 18 mesh).

Logo após as fibras e as capsulas contendo as sementes foram separadamente moídas em um moinho tipo Willey com peneira de 30 mesh. Obteve-se um produto homogêneo que foi armazenado em sacos plásticos para posterior utilização na extração da galactomanana e lignina.

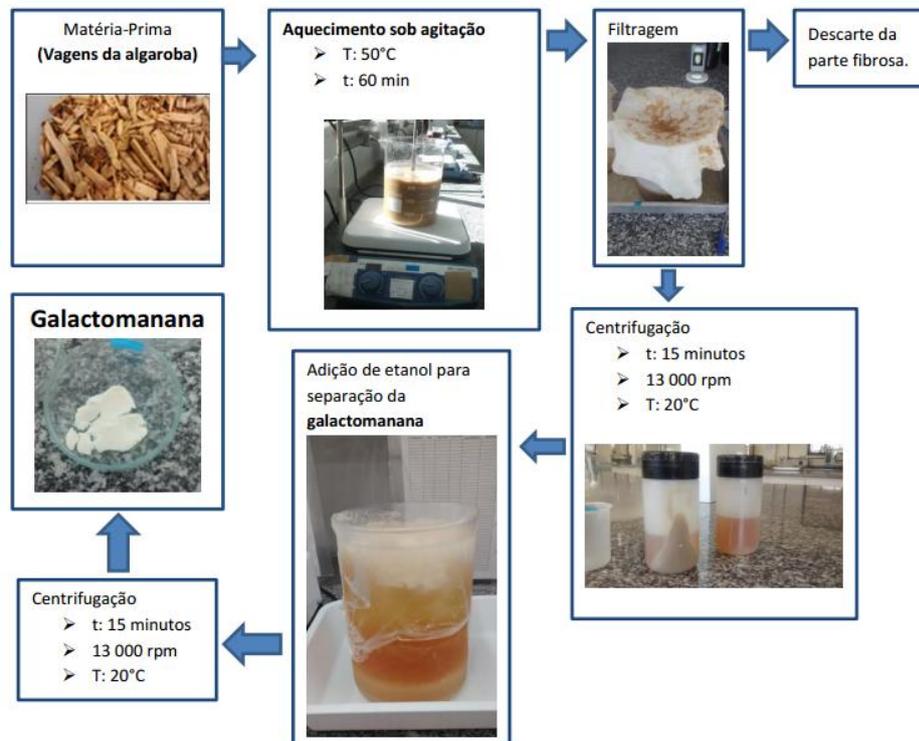
3.1.2. Extração da galactomanana

Para a extração da galactomanana foi utilizado 200 g de cápsulas moídas que foram postas em água destilada (razão de 1:6) sob agitação por 1 hora a 50 °C. Após o término do aquecimento filtrou-se o material e obteve-se uma porção fibrosa (fibra das cápsulas) que foi descartada e uma solução viscosa que foi centrifugada para remoção de impurezas por duas vezes durante 15 minutos a 13000 RPM a 20 °C.

Após a centrifugação ao sobrenadante foi adicionado álcool etílico comercial (92,8° INPM) na proporção de 1:2 para precipitação da galactomanana, que novamente foi centrifugada (mesmas condições descritas anteriormente) para obtenção da galactomanana em forma de goma.

A goma obtida foi levada para uma estufa a vácuo a 40°C por 48 horas, após esse período foi moída em um moinho analítico IKA, modelo A11 basic e armazenadas em frascos plásticos. A Figura 18 apresenta o fluxograma do processo de extração da galactomanana.

Figura 18 - Fluxograma do processo de extração da galactomanana.



Fonte: O autor.

3.1.3. Extração da lignina

Primeiramente adicionou-se a massa inicial da fibra (vagens moídas) uma solução Organosolv (120 ml de etanol 65% (v/v), 15 ml de água destilada e 15 ml de H₂SO₄ 1% (m/m)), numa proporção de 1:10 (m:v).

A mistura foi então levada para hidrólise em um mini-reator de alta pressão da marca Berghof modelo *hight predactor*, onde o sistema foi mantido a 120 °C por um período de 1 hora.

Logo após a reação ocorrida no mini-reator, a fibra residual, foi lavada com solução organosolv a uma temperatura de 80 °C, utilizando um funil de Büchner. A lavagem teve como objetivo a retirada total da lignina da fibra e ocorreu até o filtrado apresentar aparência incolor.

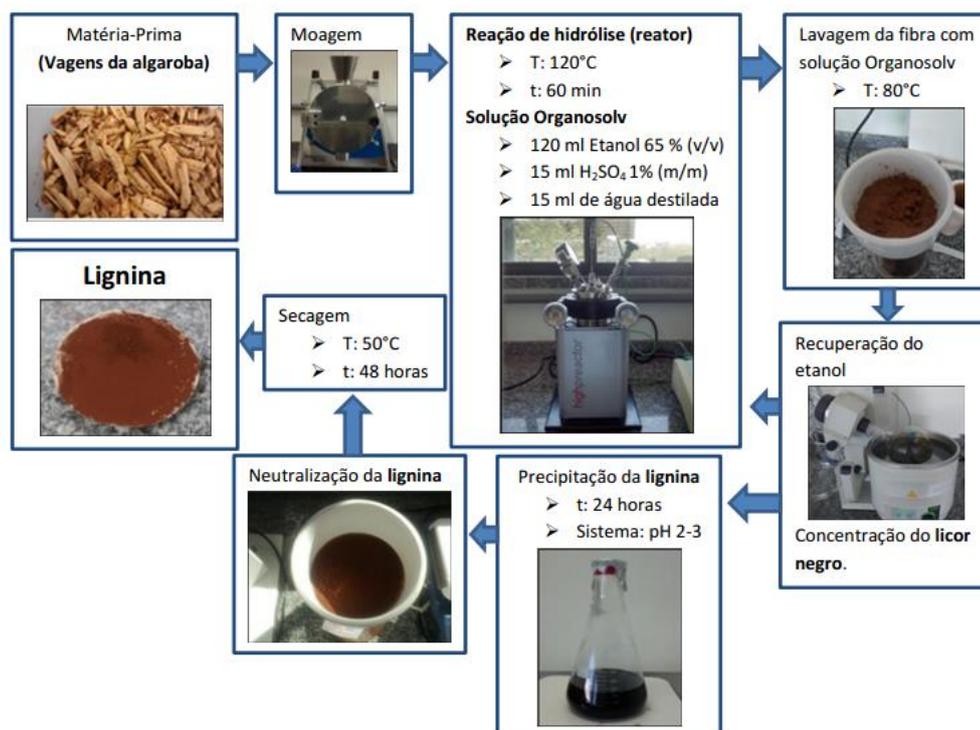
O líquido obtido chamado de “licor negro”, rico em lignina foi então rota-evaporado para ser obtido um líquido mais concentrado e também recuperar parte do etanol utilizado.

Após a rota-evaporação ao volume de licor negro concentrado foi adicionado 3 vezes o volume com água destilada e 20 ml de HCl 0,1 mol L⁻¹.

O sistema ficou em repouso por 24 horas, e então, foi novamente filtrado em funil de Büchner com papel filtro de 8 µm (faixa preta) até a neutralização.

A lignina contida foi levada para secagem e permaneceu em estufa a 50 °C por 48 horas. Obteve-se um extrato em forma de um pó de cor marrom que foi armazenado para posterior caracterização e utilização como inibidor. A Figura 19 mostra o fluxograma do processo de extração.

Figura 19 - Fluxograma do Processo de Extração da lignina.



Fonte: O Autor.

3.2. Caracterização da galactomanana e da lignina

As caracterizações da galactomanana e da lignina foram realizadas utilizando a técnica de Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR - do inglês: *Fourier Transform Infrared Spectroscopy*).

O comportamento térmico foi estudado pela análise Termogravimétrica (TGA - do inglês: *Thermogravimetric Analysis*) e por Calorimetria Exploratória de Varredura (DSC - do inglês: *Differential Scanning Calorimetry*).

3.2.1. Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

A análise de FTIR da lignina foi realizada no Laboratório de Química de Produtos Naturais da Embrapa Agroindústria Tropical. Para obtenção dos espectros vibracionais na região do infravermelho, utilizou-se um espectrofotômetro modelo Cary 660 (VARIAN). A região do espectro analisada foi de 4000 a 400 cm^{-1} . As amostras foram preparadas na forma de pastilhas de KBr.

A análise de FTIR da galactomanana foi realizada no Departamento de Química Orgânica e Inorgânica da Universidade Federal do Ceará (UFC), em um espectrofotômetro modelo FTLA 2000-102 (ABB-BOMEM). A região analisada foi de 4000 a 400 cm^{-1} . As amostras foram preparadas na forma de pastilhas de KBr.

3.2.2. Análises Térmicas

As análises de TGA e DSC da lignina e da galactomanana foram realizadas no Laboratório de Tecnologia da Biomassa da Embrapa Agroindústria Tropical.

As análises de TGA foram executadas em um equipamento modelo STA 6000 (Perkin Elmer). A taxa de aquecimento foi de 10 $^{\circ}\text{C min}^{-1}$ na faixa de 25 a 900 $^{\circ}\text{C}$ sob atmosfera de nitrogênio, com fluxo de 30 mL min^{-1} . Para a análise da lignina utilizou-se 24,760 mg de amostra. Já para a análise da galactomanana utilizou-se 24,350 mg de amostra.

Para as análises de DSC foi utilizado um calorímetro diferencial de varredura modelo Q20 Universal V4.7a (TA Instruments). A taxa de aquecimento foi de 10 $^{\circ}\text{C min}^{-1}$ na faixa de 25 a 400 $^{\circ}\text{C}$ sob atmosfera de nitrogênio, com fluxo de 50 mL min^{-1} . Para a análise da lignina utilizou-se 6,200 mg de amostra. Já para a análise da galactomanana utilizou-se 6,000 mg de amostra.

3.3. Preparo das soluções de estudo

Para a utilização das substâncias lignina, galactomanana e anilina como inibidores, foram preparadas soluções nas seguintes concentrações: 25 mg L^{-1} , 50 mg L^{-1} e 75 mg L^{-1} . Foi utilizado HCl 0,5 mol L^{-1} como solução padrão.

Para o preparo das soluções com lignina, primeiramente adicionou-se junto ao extrato 20 ml de etanol P.A. e 20 ml de HCl 0,5 mol L^{-1} . Utilizou-se um bastão de vidro para ajudar na dissolução. Logo após completou-se o volume de 1000 ml com a solução padrão. O etanol foi utilizado para ajudar na dissolução da lignina e por ser um solvente não tóxico (ZHANG e JUN, 2014).

Para as soluções com galactomanana, inicialmente adicionou-se junto ao extrato 20 ml de etanol P.A. e 20 ml de HCl 0,5 mol L⁻¹, sob aquecimento a uma temperatura de 50 °C por 30 minutos. Durante o aquecimento foi utilizado um bastão de vidro para ajudar na dissolução. Logo após completou-se o volume de 1000 ml com a solução padrão.

As soluções de anilina foram preparadas a partir de uma solução estoque de 300 mg L⁻¹. Utilizou-se anilina P.A da marca Synth.

Na solução padrão de HCl 0,5 mol L⁻¹, também foi adicionado 20 ml de etanol. Neste estudo essa solução foi denominada como solução 0 mg L⁻¹ (Branco).

Essas soluções foram utilizadas para as análises de perda de massa, análise de potencial de circuito aberto, polarização potenciodinâmica e impedância eletroquímica.

3.4. Preparo dos corpos de prova

Para análise de perda de massa foram cortadas peças retangulares com dimensões de aproximadamente (2,5 cm x 2,5 cm x 0,25 cm) e área superficial de 6,25 cm². Todos os corpos de prova foram furados na extremidade para amarração de um fio de nylon em um suporte, para que assim os mesmos permanecessem suspensos na solução (Figura 20).

Figura 20 - Corpos de prova de aço carbono 1010.



Fonte: O autor.

Para o acabamento foram utilizadas lixas d'água de 100 mesh. Utilizou-se uma politriz horizontal APL-4 AROTEC, com rotação de 300 RPM. Logo após as peças foram lavadas com álcool e água destilada, e secas com ar quente.

Para os ensaios eletroquímicos foram cortadas peças em formato retangular com área de aproximadamente 0,75 cm², que foram conectadas ao um fio de cobre e embutidas em um molde cilíndrico com resina epóxi (Figura 21).

Figura 21 - Eletrodos de trabalho



Fonte: O autor.

O acabamento da superfície foi realizado com lixas de diferentes granulometrias na seguinte sequência 100, 220, 320, 400, 500 e 600 mesh. Para evitar corrosão por frestas os eletrodos de trabalhos tiveram a região limite entre a resina e o metal protegida com esmalte. A secagem do esmalte foi realizada em um dessecador.

3.5. Ensaios de Corrosão

3.5.1. Análise de Perda de Massa

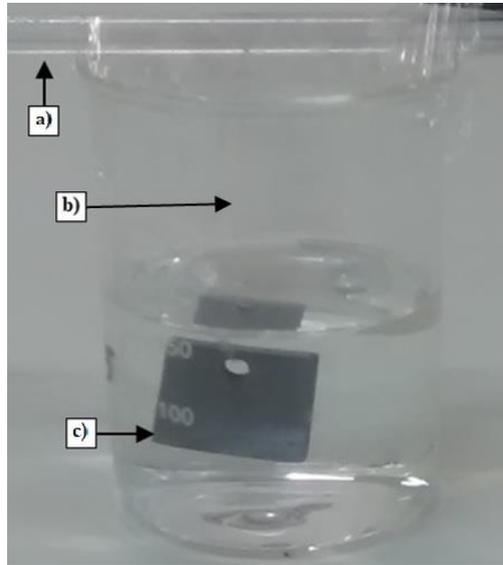
Para análise de perda de massa, foi utilizada a metodologia de TEIXEIRA *et al.* (2015) e ALTWAIQ *et al.* (2011), com algumas modificações.

Inicialmente os corpos de prova foram imersos em béqueres de 250 mL com 200 mL das soluções de estudo na ausência e na presença dos inibidores propostos nas diferentes concentrações preparadas. O sistema foi envolvido com filme plástico para evitar evaporação e contaminação (Figura 22).

A cada 24 horas os corpos de prova eram retirados, limpos com acetona e água destilada. Logo em seguida secos com ar quente, pesados e imersos novamente na solução de estudo. O tempo total de análise foi de 96 horas em temperatura ambiente.

O experimento foi realizado em triplicata e a média das perdas de massa foi considerada para avaliação da eficiência de inibição e taxa de corrosão.

Figura 22 - Ensaio de perda de massa: a) suporte; b) fio de nylon; c) corpo de prova.



Fonte: O autor.

A eficiência do inibidor ($EI_{PM}\%$) foi calculada de acordo com a Equação 1, seguindo as diretrizes de FARES, MAAYTA e AL-QUDAH (2012).

$$EI_{PM}\% = \left(\frac{P_0 - P}{P_0} \right) * 100 \quad \text{Equação (1)}$$

Na qual P_0 e P , correspondem a perda de massa na ausência e na presença dos inibidores em solução de HCl $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, respectivamente.

A taxa de corrosão (TC_{PM}) foi calculada a partir da Equação 2 de acordo com ALTWAIQ *et al.* (2011).

$$TC_{PM} = \left(\frac{PM * K}{\rho * A * t} \right) \quad \text{Equação (2)}$$

Na qual, PM é a perda de massa (g), K é uma constante igual a $8,75 \times 10^4$, ρ é a massa específica igual a $7,86 \text{ g cm}^{-3}$, A é a área exposta (cm^2) e t é o tempo de exposição (horas). Vale salientar que a constante K foi utilizada de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 - Taxas de corrosão com valores apropriados de K.

Unidade de taxa de corrosão	Área	K
mpy	pol ²	5,34 x 10 ⁵
mpy	cm ²	3,45 x 10 ⁶
mm/ano	cm ²	8,75 x 10 ⁴

Fonte: Adaptado de ALTWAIQ *et al.* (2011).

Na Tabela 2, (mpy) corresponde à milésimo de polegada de penetração por ano, e (mm/ano) milímetros por ano. Neste trabalho a unidade mm/ano foi utilizada nos cálculos da taxa de corrosão.

As análises de perda de massa foram realizadas em triplicata. Para o cálculo do limite de confiança da média (μ), foi utilizado a Equação 3 (BACCAN *et al.*, 1985).

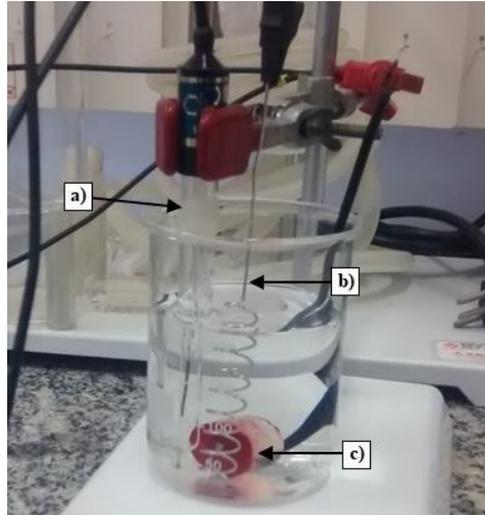
$$\mu = \bar{X} \pm \frac{2\sigma}{\sqrt{N}} \quad \text{Equação (3)}$$

Na qual, \bar{X} é a média, σ é o desvio padrão, N é o número de determinações. A Equação 3 promove um resultado com 95% de confiança.

3.5.2. Ensaio eletroquímicos

As análises eletroquímicas foram realizadas em um potenciostato da marca AUTOLAB modelo PGSTAT 128N, os resultados foram tratados pelo *software* NOVA versão 1.8. Foi utilizado uma célula eletroquímica padrão contendo o eletrodo de trabalho, um eletrodo de referência Ag/AgCl (prata/cloreto de prata) e um contra-eletrodo de platina com formato de uma espiral o que proporcionou uma grande área superficial em relação ao eletrodo de trabalho (Figura 23). Os ensaios eletroquímicos foram realizados em triplicatas a temperatura ambiente.

Figura 23 - Célula eletroquímica: a) eletrodo de referência; b) contra-eleto; c) eletrodo de trabalho.

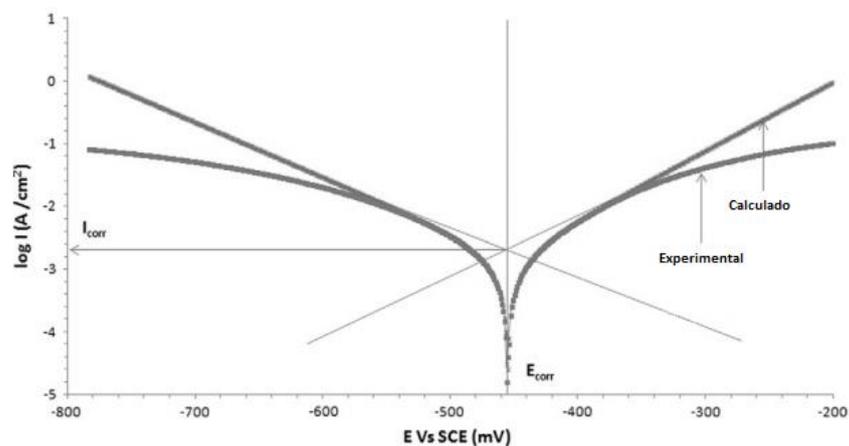


Fonte: O Autor.

A análise de potencial de circuito aberto (PCA) foi realizada durante a estabilização por 60 minutos, anotou-se o potencial do sistema a cada 10 minutos para posterior análise. As curvas de polarização foram obtidas em uma faixa de potencial de -200 mV em torno do PCA e a velocidade de varredura utilizada foi de 2 mV s^{-1} .

Os parâmetros de densidade de corrente (I_{corr}) foram determinados através da técnica de Tafel que consiste da extrapolação das regiões lineares das curvas de polarização até as intersecções destas, o que resulta em um ponto que define um valor aproximado da densidade de corrosão e do respectivo potencial de corrosão (TIU e ADVINCULA, 2015). A Figura 24 ilustra a Técnica de Tafel utilizada.

Figura 24 - Método de extrapolação de Tafel.



Fonte: RAJA *et al.* (2013).

O calculo da eficiência do inibidor ($EI\%_{PP}$) foi realizado de acordo com a Equação 4 (REZA, AHMAD e KAREEM, 2012).

$$EI\%_{PP} = \left(\frac{I_{corr_0} - I_{corr}}{I_{corr_0}} \right) * 100 \quad \text{Equação (4)}$$

Na qual I_{corr_0} e I_{corr} , são as densidades de corrente sem os inibidores e com os inibidores, respectivamente.

O calculo da taxa de corrosão foi realizado conforme a Equação 5 (SOLMAZ, 2014).

$$TC_{PP} = \left(\frac{I_{corr} * t * M}{F} \right) \quad \text{Equação (5)}$$

Na qual I_{corr} é a densidade de corrente ($A \text{ cm}^{-2}$), t é o tempo de imersão (s), M é a massa equivalente do ferro que é aproximadamente $27,993 \text{ g mol}^{-1}$, F é a constante de Faraday que tem valor aproximado de $96.500 \text{ C mol}^{-1}$.

A partir dos gráficos de polarização também foi possível determinar o grau de adsorção das moléculas do inibidor (θ) que foi calculado a partir da Equação 6 (OGUZIE, 2008).

$$\theta = 1 - \left(\frac{TC_{corr}}{TC_{corr_0}} \right) \quad \text{Equação (6)}$$

Na qual TC_{corr} e TC_{corr_0} , são as taxas de corrosão na presença e ausência dos inibidores, respectivamente.

As isotermas de adsorção são muito importantes para o entendimento do mecanismo de ação do inibidor de corrosão, promovendo informações sobre a interação entre as moléculas do inibidor e a superfície metálica (MOBIN, ZEHRA e PARVEEN, 2016).

A isoterma de adsorção de Langmuir é utilizada, pois a mesma fornece a melhor descrição para o comportamento de adsorção do inibidor investigado. Os termos C/θ e C são obtidos a partir da isoterma de adsorção de Langmuir que corresponde a Equação 7 (MOBIN, ZEHRA e PARVEEN, 2016).

$$\frac{C}{\theta} = \frac{1}{K} + C \quad \text{Equação (7)}$$

Na qual, θ é o grau de adsorção das moléculas do inibidor, C é a concentração do inibidor e K é a constante de equilíbrio da adsorção.

Os diagramas de impedância também foram obtidos após 1 hora do tempo de imersão, sob condição de potencial de circuito aberto, com variação de frequência de 40 kHz a 2,5 mHz e amplitude de potencial de 10 mV.

A eficiência de inibição ($EI_{IMP}\%$) obtida da análise de impedância foi calculada a partir da Equação 8 de acordo com TORRES *et al.* (2011).

$$EI_{IMP}\% = \left(\frac{R_{ct} - R_{ct_0}}{R_{ct}} \right) * 100 \quad \text{Equação (8)}$$

Na qual R_{ct} e R_{ct_0} correspondem as resistências de transferência de carga na presença e ausência dos inibidores propostos.

Para o cálculo da capacitância da dupla camada elétrica foi utilizada a Equação 9 de acordo com os autores KAMAL e SETHURAMAN (2012).

$$Cdl = \frac{1}{2\pi * f * R_{ct}} \quad \text{Equação (9)}$$

Na qual f é a frequência máxima encontrada no eixo Z_{img} e R_{ct} e a resistência de transferência de carga encontrada no eixo Z_{real} .

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

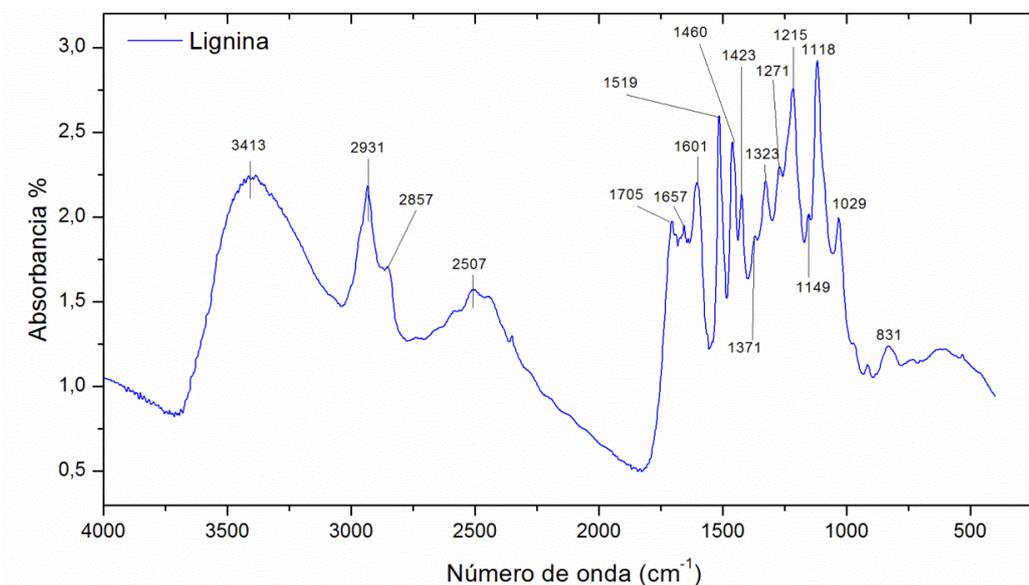
4.1. Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

4.1.1. Análise de FTIR da lignina

A espectroscopia de FTIR é um método não destrutivo utilizado para o estudo da lignina (GHAFAR e FAN, 2013). O espectro de FTIR representa a estrutura química e a pureza da amostra (BOERIU *et al.*, 2004).

As propriedades da lignina são influenciadas tanto pela fonte vegetal de onde pode ser obtida, como também pelo método de extração utilizado (NADA *et al.*, 1998). Assim uma boa identificação é importante para determinar sua real aplicação (EL MANSOURI e SALVADÓ, 2006).

Figura 25 - Espectro FTIR da lignina.



Fonte: O autor.

Na Figura 25 consta o espectro de absorção na região do infravermelho da lignina. Primeiramente observa-se uma banda de absorção em 3413 cm⁻¹ que corresponde à vibração do estiramento O-H (BOERIU *et al.*, 2004).

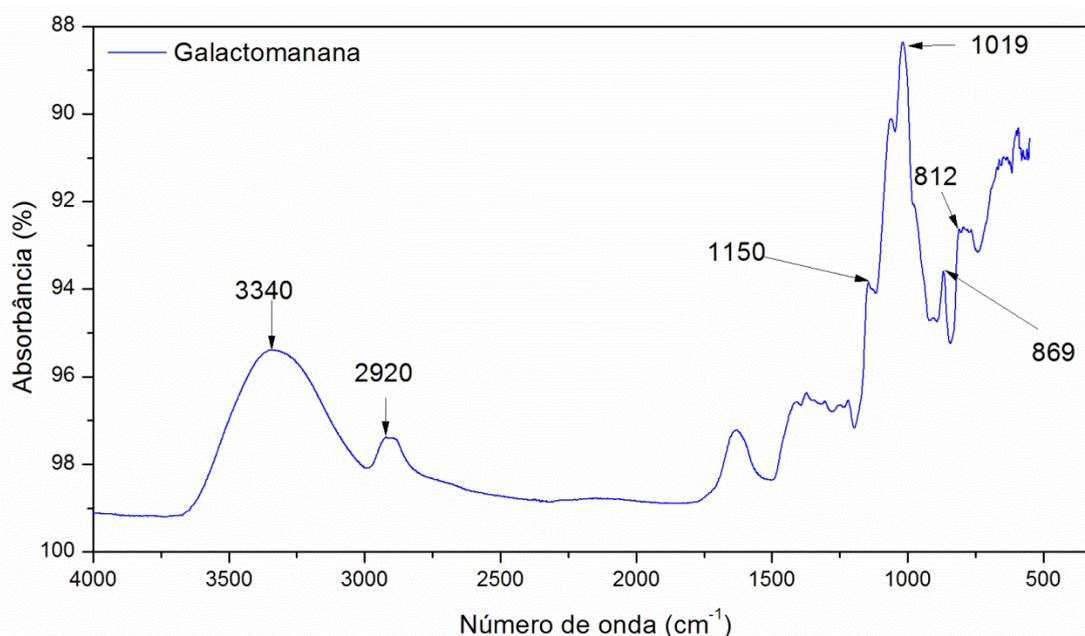
No espectro também são identificadas duas bandas de absorção em 2931 e 2857 cm^{-1} que podem ser atribuídas aos estiramentos dos grupos metil e metileno (KONNERTH *et al.*, 2015). De acordo com AZADFAR *et al.* (2015), as presenças dos grupos, álcool e fenol também podem ser confirmadas por essas frequências vibracionais. Outras bandas que aparecem em 1601, 1519 e 1423 cm^{-1} , correspondem às vibrações dos anéis aromáticos da cadeia do fenilpropano (TEJADO *et al.*, 2007).

De acordo ERDOCIA *et al.* (2014), que extraíram a lignina das podas da árvore oliveira (*Olea europaea*), as bandas apresentadas no espectro em 1118 cm^{-1} e 831 cm^{-1} indicam a presença da unidade siringílica, e a banda em 1029 cm^{-1} a unidade guacílica. Essas unidades são derivadas dos álcoois coniferílico e sinapílico que são precursores da lignina (GOSSELINK *et al.*, 2004).

4.1.2. Análise de FTIR da galactomanana

A análise de FTIR é uma técnica simples e rápida que é utilizada para identificação das galactomananas (ELIASSON, 2006).

Figura 26 - Espectro FTIR da galactomanana.



Fonte: O autor.

A Figura 26 apresenta o espectro de absorção da galactomanana. A primeira banda identificada foi em cerca de 3340 cm^{-1} . Os autores BALLESTEROS *et al.* (2015), dizem que um largo pico na região de $3600\text{ a }3200\text{ cm}^{-1}$ representa a vibração do estiramento O-H.

Também foi identificada uma banda de absorção em cerca de 2920 cm^{-1} . Segundo ALBUQUERQUE (2014), uma absorção na região de $3000\text{ a }2800\text{ cm}^{-1}$ pode ser atribuída à vibração do grupo metileno (C-H). No espectro observa-se uma banda em 1150 cm^{-1} , o autor LÓPEZ-FRANCO (2013), afirma que bandas nessa região representam as vibrações dos grupos C-O e C-O-H da cadeia do carboidrato.

No espectro tem-se uma banda em 1019 cm^{-1} . Segundo CERQUEIRA *et al.* (2011), que obtiveram a galactomanana de diferentes fontes (*Gleditsia triacanthos*, *Caesalpinia pulcherrima* e *Adenanthera pavonina*), uma banda entre 1198 cm^{-1} a 983 cm^{-1} é resultado do estiramento de C-O em ligações C-O-H, e está relacionada com a composição de açúcares das galactomananas.

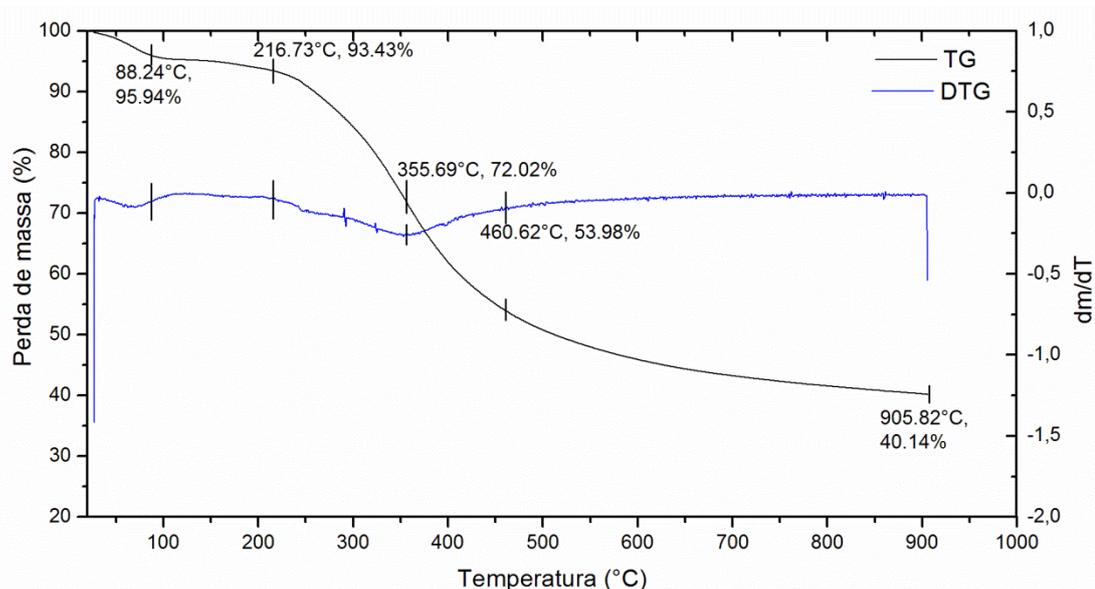
No espectro também foram identificadas bandas em 869 cm^{-1} e 812 cm^{-1} . Segundo DA SILVA (2016), uma banda em 876 cm^{-1} representa as ligações aromáticas da manose. De acordo com PAWAR e LALITHA (2015), que extraíram a galactomanana das sementes da planta *Senna tora*, bandas em 875 cm^{-1} e 813 cm^{-1} representam respectivamente, as unidades anoméricas (α e β) e as ligações glicosídicas do polissacarídeo.

4.2. Análises Térmicas

4.2.1. Análise de TGA da lignina

A Figura 27 apresenta o termograma da lignina, o mesmo é composto pela curva (TG) e por sua derivada primeira (DTG). A curva TG mostra o teor de compostos voláteis e a massa residual (YANG L. *et al.*, 2016). De acordo com os mesmos autores, a temperatura em que a lignina exhibe a máxima taxa de degradação pode ser identificada no gráfico de DTG.

Figura 27 - Análise térmica da lignina.



Fonte: O autor.

O gráfico TG mostrou uma pequena perda de massa de 4,06% abaixo de 100 °C, que representa a perda de umidade da amostra. Os autores YANG Z. *et al.* (2016), obtiveram um resultado de 2,3% de perda de massa, entre 30 a 150 °C e atribuíram essa perda a desidratação da lignina.

A lignina apresenta decomposição lenta, abrangendo uma ampla faixa de temperatura, isso ocorre devido aos vários grupos que formam sua estrutura e que apresentam diferentes temperaturas de decomposição (BREBU e VASILE, 2010). Essa ampla faixa citada pode ser observada no gráfico DTG apresentado, sendo a temperatura inicial de 216,73 °C até uma temperatura final de 460,62 °C, com degradação de 27,98% da amostra a uma temperatura máxima de 355,69 °C. No trabalho de JIN *et al.* (2016), os autores obtiveram um resultado semelhante, com uma degradação de 30%, porém a uma temperatura de 383 °C.

De acordo com WATKINS *et al.* (2015), essa degradação pode ser atribuída a conversão dos carboidratos em gases como CO, CO₂ e CH₄. Segundo XIAO, SUN e SUN (2001), essa larga faixa de temperatura representa a estabilidade da degradação da lignina.

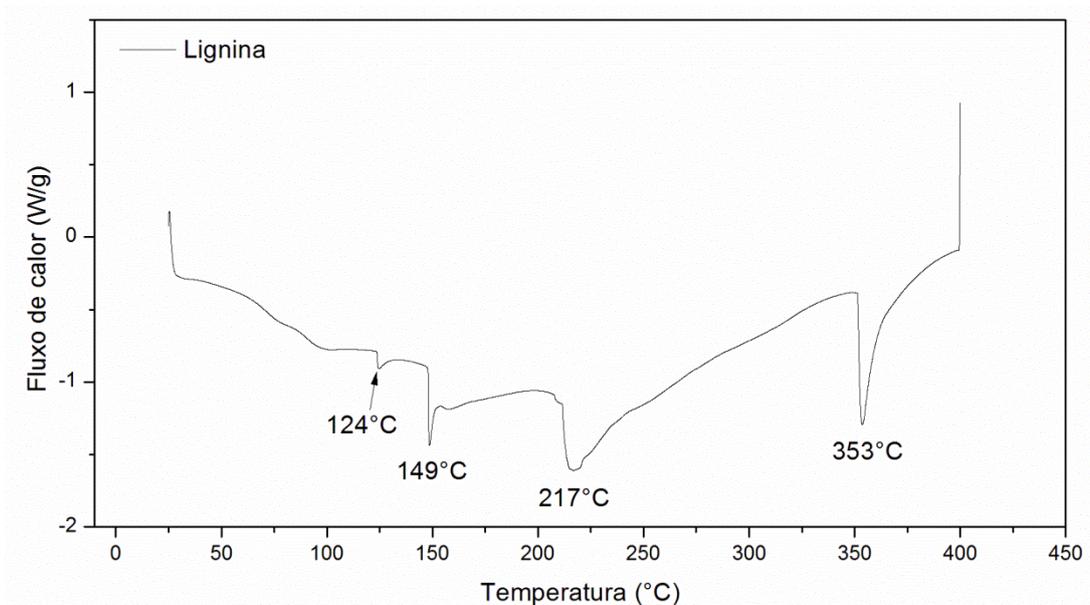
Acima de 500 °C, os anéis aromáticos são rearranjados e condensam liberando hidrogênio (FERDOUS *et al.*, 2002). Segundo TEJADO *et al.* (2007), acima dos 800 °C apresentam-se os componentes não voláteis devido as estruturas aromáticas muito condensadas. De acordo com JAKAB, FAIX e TILL (1997), em 850 °C as cinzas residuais variam entre 26% a 39%, dependendo do tipo de lignina. Como pode ser visualizado no gráfico foi obtido um valor residual de 40,14% a 905,82 °C.

4.2.2. Análise de DSC da lignina

A decomposição térmica da lignina é um processo ligeiramente endotérmico quando a taxa de aquecimento é moderada, e ocorre em uma ampla faixa de temperatura (CABALLERO, FONT e MARCILLA, 1996).

A análise de DSC é o método mais aceitável para definir a temperatura de transição vítrea (Tg) da lignina (GORDOBIL, 2015). Porém, segundo o mesmo autor esse parâmetro é bastante difícil de determinar, devido à estrutura complexa desse polímero.

Figura 28 - Análise de DSC da Lignina.



Fonte: O autor.

Na Figura 28, observa-se um decaimento do gráfico, até que em 124 °C surge um pico endotérmico. Segundo PINHEIRO *et al.* (2017), o surgimento de um pico endotérmico de 70 a 150 °C é provavelmente devido a evaporação de água e/ou a evaporação de outros componentes presentes na amostra.

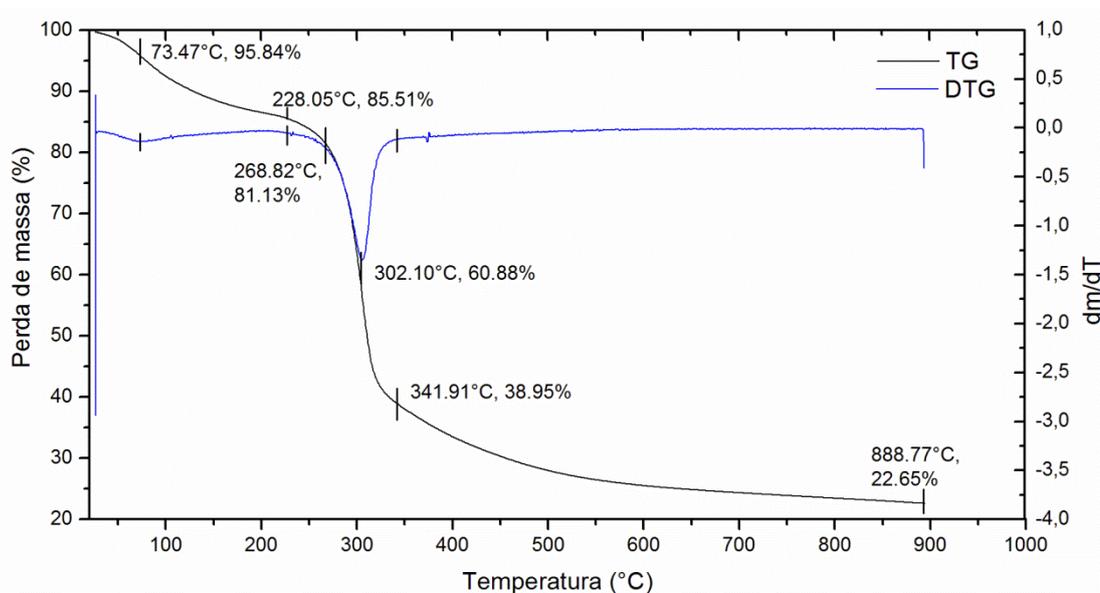
Outro pico endotérmico mais agudo é apresentado em 149 °C. Segundo GORDOBIL (2015), a lignina comercial e a lignina organosolv apresentam T_g por volta de 158 °C e 144 °C, respectivamente.

Um pico em 217 °C e um grande pico endotérmico em 353 °C podem representar segundo HOWE *et al.* (2016), o início da pirólise do material. Esses picos também concordam com o gráfico de TG/DTG (Figura 27) onde foi observada uma degradação nessa região.

4.2.3. Análise de TGA da galactomanana

A análise de TGA é utilizada para entender melhor o comportamento térmico e a sua influência na estrutura do polissacarídeo (CERQUEIRA *et al.*, 2011).

Figura 29 - Análise térmica da galactomanana.



Fonte: O autor.

A Figura 29 apresenta um gráfico TG que mostra um primeiro evento em 73,47 °C com 4,16% perda de massa, e que pode ser atribuído a uma perda de umidade da amostra. Os autores ALBUQUERQUE *et al.* (2017), encontraram um pico em 65 °C e atribuíram esse evento a desidratação que ocorreu por processos de evaporação que são característicos de polissacarídeos de natureza hidrofílica.

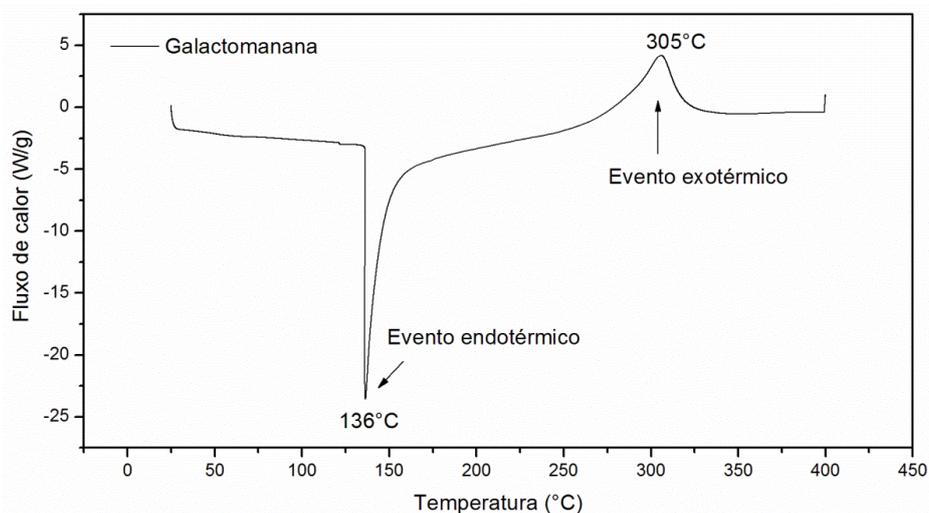
Segundo os autores MISHRA e KUMAR (2011), a temperatura de degradação da galactomanana inicia em 230 °C, no gráfico apresentado obteve-se uma temperatura inicial de degradação em 228 °C. Os autores NEP e CONWAY (2010), encontraram uma temperatura inicial de degradação em 267 °C e sugeriram representar uma boa estabilidade térmica.

O principal evento apresentado no gráfico ocorre em 302 °C. Os autores VENDRUSCOLO *et al.* (2009), encontraram um evento semelhante, e atribuíram a perda de massa a decomposição do polissacarídeo. Os autores DODI, HRITCU e POPA (2011), que encontraram uma temperatura inicial de degradação em 230 °C e temperatura final de 350 °C, também atribuíram esse evento à degradação do polímero.

4.2.4. Análise de DSC da galactomanana

A análise de DSC é utilizada para o estudo do comportamento térmico da galactomanana (CERQUEIRA *et al.*, 2011).

Figura 30 - Análise de DSC da galactomanana.



Fonte: O autor.

Pelo gráfico de DSC apresentado na Figura 30, é observado um evento endotérmico em 136 °C. Segundo CERQUEIRA *et al.* (2011), um evento endotérmico numa região entre 99 °C a 224 °C representa a evaporação de água. Pelo gráfico também nota-se um evento exotérmico em 305 °C. Este pico reforça os resultados obtidos no gráfico de TG/DTG (Figura 29), onde foi verificado um evento nessa região que foi atribuído a decomposição do polissacarídeo.

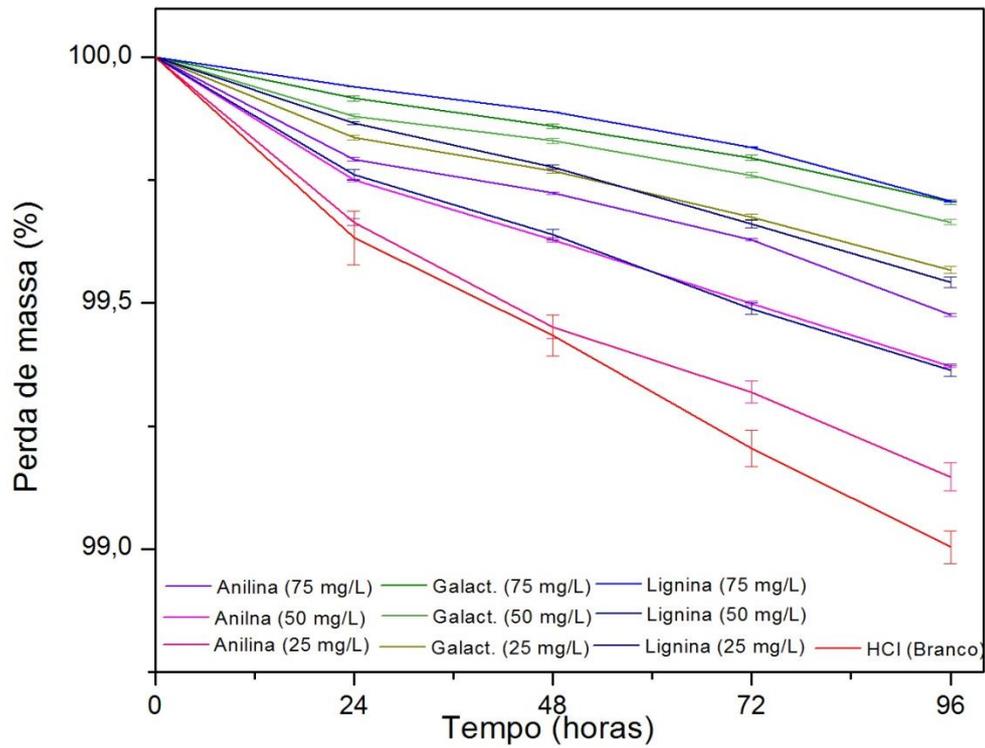
Os resultados obtidos das análises térmicas indicam que tanto a lignina como a galactomanana apresentam uma temperatura de degradação maior que a substância comercial anilina que é de 76 °C (ISO FAR, 2013). Segundo GENTIL (2011), as caldeiras de baixa pressão apresentam uma temperatura de trabalho por volta de 200 °C. Isso indica uma possível aplicação da lignina e da galactomanana. Entretanto, é necessário realizar novos estudos que comprovem as características inibitórias desses inibidores naturais em ambientes de maior temperatura.

4.3. Ensaios de corrosão

4.3.1. Análise de Perda de Massa

A Figura 31 apresenta os resultados das análises de perda de massa do aço carbono 1010 em solução de HCl 0,5 mol L⁻¹ na presença e ausência dos inibidores.

Figura 31 - Análise de perda de massa.



Fonte: O autor.

A Tabela 3 apresenta os valores taxa de corrosão (TC_{PM}) e da eficiência de inibição ($EI_{PM}\%$) obtidos a partir das análises de perda de massa do aço carbono 1010.

Tabela 3 - Resultado da taxa de corrosão e eficiência de inibição.

C ($mg L^{-1}$)	TC_{PM} (mm/ano)	$EI_{PM}\%$
0 (Branco)	2,69	-
25 (Anilina)	2,20	18,19
50 (Anilina)	1,63	39,35
75 (Anilina)	1,40	48,04
25 (Galactomanana)	1,09	59,42
50 (Galactomanana)	0,81	70,00
75 (Galactomanana)	0,69	74,20
25 (Lignina)	1,83	31,88
50 (Lignina)	1,37	48,99
75 (Lignina)	0,73	72,97

Fonte: O autor.

Pelos resultados apresentados na Figura 31 e na Tabela 3, é possível constatar que a taxa de corrosão diminui e a eficiência de inibição aumenta de acordo com o acréscimo das concentrações dos inibidores propostos. De acordo com HEGAZY, EL-ETRE e BERRY (2015), com o aumento da concentração há também uma maior presença das moléculas do inibidor na superfície do metal, o que influencia em sua eficiência.

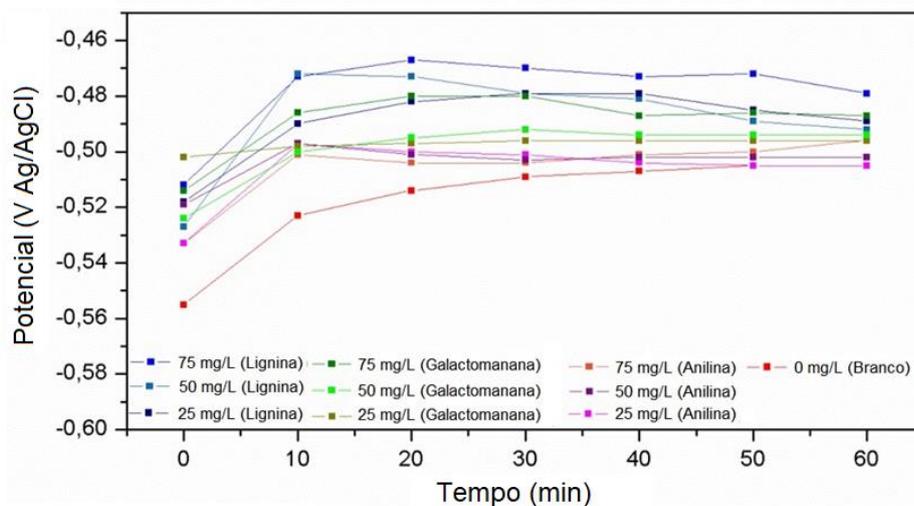
Esses resultados podem significar também que as moléculas do inibidor agem por adsorção na superfície do metal (DÖNER *et al.*, 2011), diminuindo a área exposta do material no meio agressivo (SHABAN, 2015). Segundo KUMAR (2013), a capacidade de adsorção na superfície metálica é devido à tendência das moléculas do inibidor em fazer ligações químicas com os átomos de ferro.

De acordo com os valores apresentados na Tabela 3, verifica-se que a galactomanana na concentração de 75 mg L^{-1} apresentou os melhores resultados para esta análise com eficiência de 74,2% e taxa de corrosão de 0,69 mm/ano. O sistema com 75 mg L^{-1} de lignina apresentou uma eficiência de 72,97%. De todos os sistemas com os inibidores naturais analisados somente o que continha 25 mg L^{-1} de lignina teve menor eficiência que a substância anilina nas concentrações de 75 mg L^{-1} e 50 mg L^{-1} .

4.3.2. Ensaio de Potencial de Circuito Aberto (PCA)

O monitoramento do potencial de circuito aberto para o aço carbono em solução de HCl $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ na presença e na ausência dos inibidores de estudo em função do tempo é apresentado na Figura 32.

Figura 32 - Análise de potencial de circuito aberto.



Fonte: O autor.

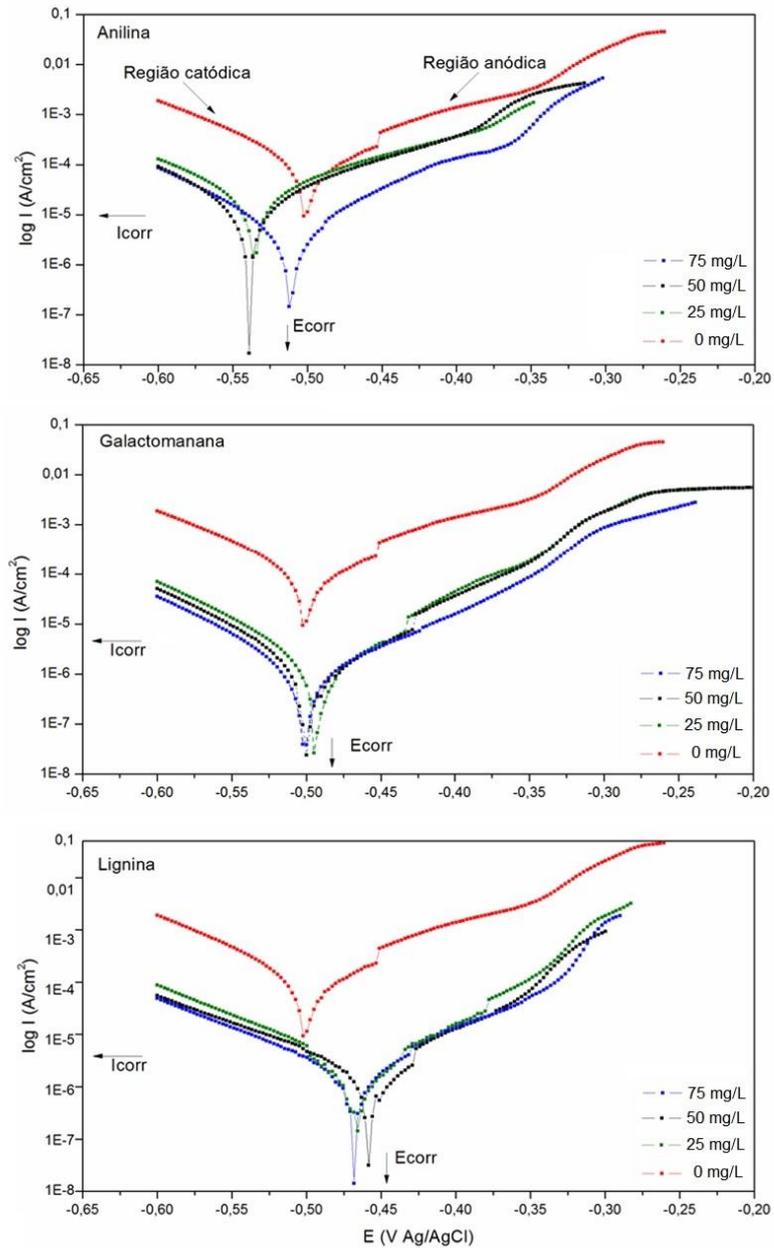
Visualizando a Figura 32, notou-se que os valores de PCA's sofrem um deslocamento para potenciais mais catódicos com o aumento da concentração dos inibidores, tanto para lignina, galactomanana e para anilina. Observa-se também que após o intervalo de 40 minutos a 60 minutos (1 hora) houve uma estabilização dos valores dos PCA's. Esse resultado sugere que o sistema está termodinamicamente e cineticamente estável. Visto que nesse intervalo de tempo os PCA's exibem valores aproximadamente constantes.

4.3.3. Ensaio Polarização Potenciodinâmica

Na Figura 33 é apresentado as curvas de polarização obtidas para o aço carbono em solução de HCl 0,5 mol L⁻¹, na presença e ausência dos inibidores propostos. Nessas curvas é possível visualizar duas regiões.

A região catódica que representa a reação de evolução do hidrogênio, e a região anódica que corresponde à reação de dissolução do metal (BEHPOUR *et al.*, 2011).

Figura 33 - Curvas de polarização.

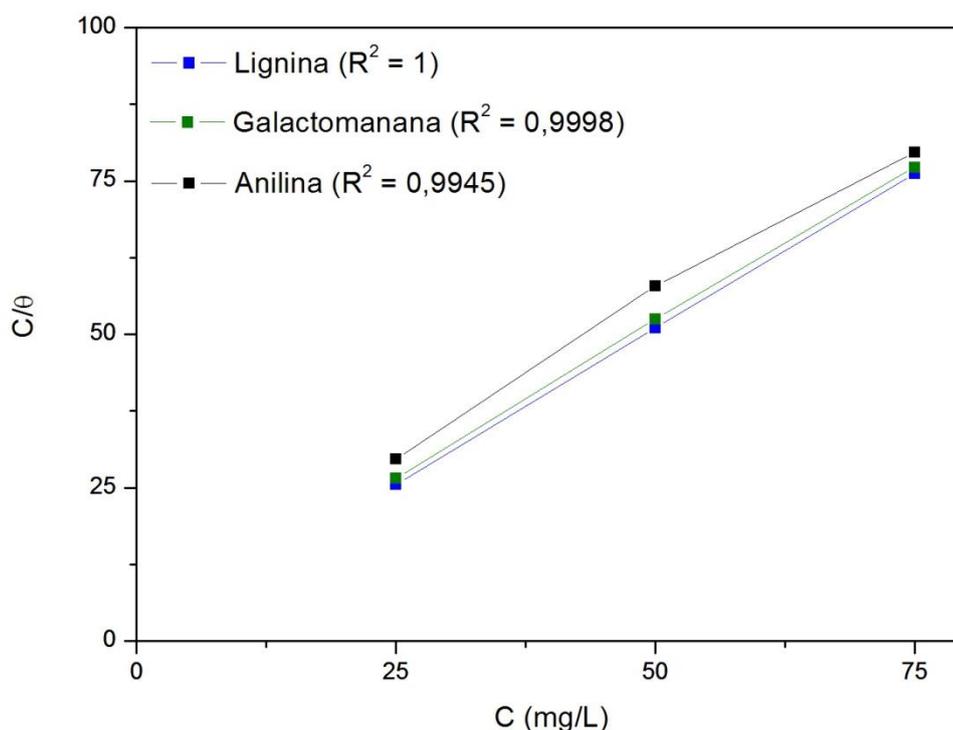


Fonte: O autor.

Com base na análise visual das curvas de polarização na Figura 33, observa-se que as regiões das curvas catódicas e anódicas são deslocadas no sentido de uma menor densidade de corrente, de acordo com aumento das concentrações dos inibidores propostos. Isso sugere que os inibidores em estudo apresentam uma ação mista (TEIXEIRA *et al.*, 2015). A partir das curvas de polarização da Figura 33, foram obtidos os valores da corrente de corrosão “ I_{corr} ” através da extrapolação de Tafel.

Na Figura 34 é apresentado as isotermas de adsorção em solução de HCl 0,5 mol L⁻¹, na presença dos inibidores propostos.. As isotermas de adsorção são geralmente utilizadas para descrever a relação entre o adsorbato (fase líquida) e o adsorvente (fase sólida) a temperatura constante (TRAN, YOU e CHAO, 2016).

Figura 34 - Isotermas de adsorção.



Fonte: O autor.

De acordo com a análise visual da Figura 34 podemos verificar que a eficiência da adsorção das substâncias avaliadas foi gradualmente aumentando de acordo com a concentração dos inibidores (GAO e LIANG, 2007).

Os valores dos coeficientes de correlação (R^2) obtidos ficaram muito próximos da unidade, indicando que os sistemas obedeceram às isotermas de adsorção de Langmuir e que os extratos tiveram forte adsorção na superfície metálica (AL-SENANI, 2015). De acordo com BENTISS, LEBRINI e LAGRENÉE (2005), esses resultados também sugerem que o processo de adsorção foi por quimissorção.

Segundo UMOREN e MADHANKUMAR (2016), a ação mista dos inibidores pode ser determinada quando a diferença dos valores do potencial de corrosão (E_{corr}) entre as soluções com inibidores e à solução sem inibidores é menor que 85 mV. O que pode ser constatado pelos valores de E_{corr} apresentados na Tabela 4 a seguir.

Tabela 4 - Valores obtidos a partir das curvas de polarização.

C (mg L ⁻¹)	I _{CORR} (μ A/cm ²)	E _{CORR} (mV)	TC _{PM} (g cm ⁻²)	EI _{PM} %	θ
0 (Branco)	117,97	-503,61	122,89	-	-
25 (Anilina)	18,52	-535,85	19,29	84,30	0,8430
50 (Anilina)	16,07	-538,08	16,74	86,38	0,8638
75 (Anilina)	6,90	-511,94	7,19	94,15	0,9415
25 (Galactomanana)	6,93	-493,55	7,22	94,77	0,9413
50 (Galactomanana)	5,62	-499,65	5,85	95,76	0,9524
75 (Galactomanana)	3,39	-498,87	3,53	97,44	0,9713
25 (lignina)	2,34	-465,52	2,44	98,23	0,9802
50 (lignina)	2,25	-458,10	2,34	98,30	0,9809
75 (lignina)	1,78	-468,12	1,85	98,66	0,9849

Fonte: O autor.

Os resultados apresentados na Tabela 4 mostram que as densidades de corrente (I_{corr}) diminuem e que a eficiência de inibição (EI_{PM}%) aumenta. O que vem a concordar com os autores (SILVA *et al.*, 2006), que dizem que quanto menor a densidade de corrente melhor é a eficiência de inibição. Esse comportamento também pode ser atribuído ao aumento da cobertura superficial (θ) pela adsorção dos inibidores na superfície do aço (ABDALLAH, 2004).

De acordo como ZARROUK *et al.* (2016), esses resultados sugerem uma adsorção dos inibidores na superfície do metal formando uma barreira que evita tanto o transporte de massa quanto a transferência de cargas provocados pelas reações anódicas e catódicas.

A partir dos dados apresentados na Tabela 4, é possível observar que os compostos extraídos obtiveram melhores resultados comparados à anilina. Para análise de polarização a lignina obteve um melhor resultado, o que difere do resultado da análise de perda de massa, no qual a galactomanana teve melhor eficiência.

De acordo com MURALIDHARAN, QURAIISHI e IYER (1995), a diferença observada nos resultados pode ser atribuída ao fato de que o método de perda de massa proporciona uma média da taxa de corrosão, enquanto que os métodos eletroquímicos proporcionam uma taxa de corrosão instantânea.

O tempo da análise de polarização potenciodinâmica foi de 1 hora, já a análise de perda de massa teve um período de 96 horas. Com o passar do tempo o mecanismo de corrosão pode ter sofrido alterações o que pode ter influenciado nos resultados finais.

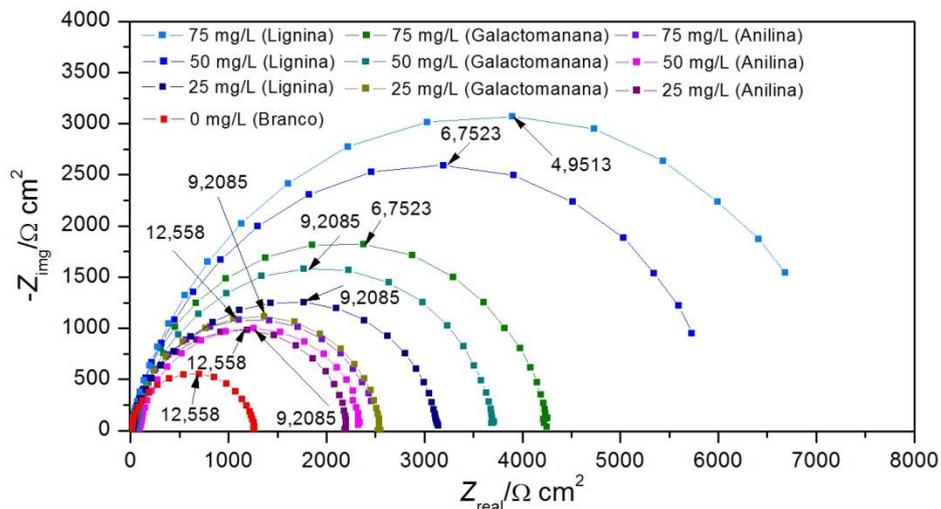
Segundo ROY *et al.* (2014) que avaliaram um composto de galactomanana graftada com poliacrilamida, o aumento da eficiência de inibição na análise de perda de massa de acordo com o tempo de imersão é devido a expansão da cobertura da superfície pelas moléculas inibidoras bloqueando a superfície diminuindo conseqüentemente o efeito da cinética da corrosão sobre a superfície metálica.

De acordo com BANERJEE, SRIVASTAVA e SINGH (2012), a diminuição da eficiência de um inibidor de origem natural com o passar do tempo, está relacionada com biodegradação do mesmo. Isso pode vir a explicar a menor eficiência da lignina em relação à galactomanana, e que esta apresentou uma maior estabilidade na solução de estudo por um maior período de tempo.

4.3.4. Ensaio Impedância Eletroquímica

As medidas de impedância eletroquímica foram utilizadas para determinação do comportamento do aço carbono 1010 na solução de HCl 0,5 mol L⁻¹ na presença e ausência dos inibidores lignina, galactomanana e anilina. A Figura 35 apresenta os diagramas de Nyquist obtidos da análise de impedância.

Figura 35 - Gráficos de impedância eletroquímica.



Fonte: O autor.

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos dos diagramas de Nyquist (Figura 35). Os valores de R_{ct} foram obtidos pela extrapolação dos gráficos até o eixo das abscissas (Z_{real}). Os valores de $EI_{IMP}(\%)$ e Cdl foram obtidos através das Equações 8 e 9, respectivamente.

Tabela 5 - Resultados da análise de impedância.

C (mg L ⁻¹)	R_{ct} ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)	$EI_{IMP}(\%)$	Cdl ($\mu\text{F}/\text{cm}^2$)
0 (Branco)	1256,22	-	$1,01 \text{ e}^{-5}$
25 (Anilina)	2204,23	43,01	$5,75 \text{ e}^{-6}$
50 (Anilina)	2333,50	46,17	$7,41 \text{ e}^{-6}$
75 (Anilina)	2484,32	49,43	$5,10 \text{ e}^{-6}$
25 (Galactomanana)	2548,96	50,72	$6,78 \text{ e}^{-6}$
50 (Galactomanana)	3717,39	66,21	$4,65 \text{ e}^{-6}$
75 (Galactomanana)	4256,03	70,48	$5,54 \text{ e}^{-6}$
25 (Lignina)	3157,21	60,21	$5,48 \text{ e}^{-6}$
50 (Lignina)	6001,23	79,07	$3,93 \text{ e}^{-6}$
75 (Lignina)	7337,06	82,88	$4,38 \text{ e}^{-6}$

Fonte: O autor.

Pelos resultados apresentados na Figura 35, observa-se que, de acordo com o aumento da concentração dos compostos estudados, ocorre um aumento gradativo dos arcos capacitivos aumentam em relação à solução de 0 mg L⁻¹ (Branco).

Esses resultados indicam que a corrosão no aço carbono 1010 em solução de HCl 0,5 mol L⁻¹ apresenta uma cinética de corrosão mais lenta na presença dos inibidores (ZHANG *et al.*, 2016). De acordo com YESUDASS *et al.* (2016), isso pode representar também a formação de um filme na superfície metálica.

Observa-se ainda que para cada concentração estudada, há um único arco capacitivo que declina até o eixo das abscissas. Segundo GHAZOU *et al.* (2014), isso indica que a corrosão nas soluções estudadas é controlada principalmente pelo processo de transferência de cargas e pela formação de uma camada protetora na superfície do metal.

Pelos resultados apresentados na Tabela 5, verifica-se que a resistência de transferência de carga (R_{ct}) aumenta de acordo com as concentrações dos inibidores. Segundo YESUDASS *et al.* (2016), esses resultados indicam um aumento na cobertura da superfície do metal pelo inibidor por adsorção. Isso diminui a área exposta a reações, o que dificulta o processo de transferência de carga (YADAV *et al.*, 2013).

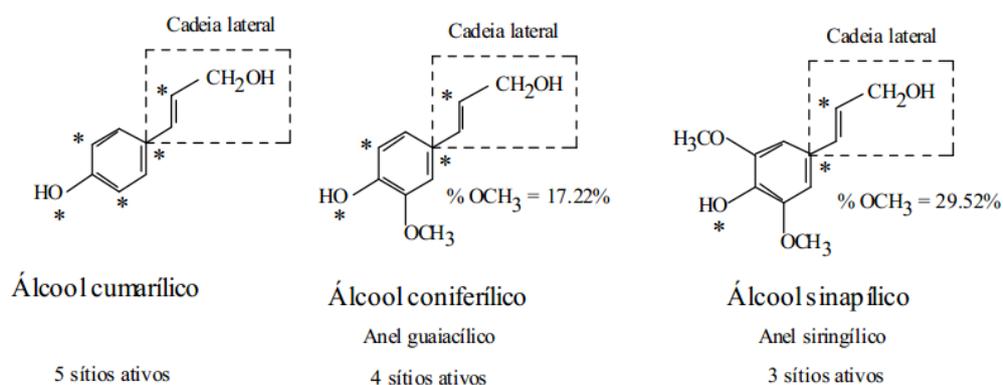
Para a análise de impedância as substâncias lignina e galactomanana em todas as concentrações estudadas obtiveram melhores resultados em relação à anilina. Esses resultados estão em concordância com os obtidos na análise de polarização potenciodinâmica.

4.3.5. Efeito dos inibidores na superfície metálica

Conforme a literatura de YAHYA *et al.* (2015), o efeito inibitório da lignina pode ser atribuído à adsorção dos grupamentos hidroxila (OH-) e metóxi (-OCH₃) na superfície do metal, criando uma barreira protetora entre o metal e o eletrólito. Esses grupos exibem um efeito indutivo que resulta em deslocar a densidade eletrônica do anel aromático, o que pode conferir melhor adsorção ao inibidor (ZEMEDE e KUMAR, 2014).

Ainda em relação à lignina de acordo com os autores AKBARZADEH, IBRAHIIM e RAHIM (2012), a lignina possui uma estrutura composta por monômeros polifenólicos (Figura 36) que adsorvem nas superfícies dos metais devido à presença de grupos doadores de elétrons.

Figura 36 - Principais precursores da lignina e seus sítios ativos (*).

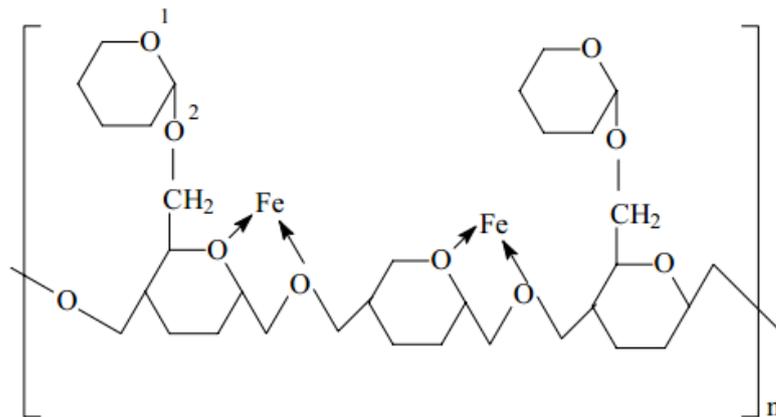


Fonte: MONTEIRO, PEREIRA E ABREU (2004).

Segundo (ABDALLAH, 2004), o efeito inibitório causado pela galactomanana é devido a sua adsorção na superfície do metal. A eficiência da adsorção pode ser atribuída pela interação de elétrons π ou pela presença de heteroátomos em sua estrutura (EDDY, AMEH e ODIONGENYI, 2014).

A presença de átomos de oxigênio em sua cadeia torna possível a adsorção por ligações coordenadas através da transferência de elétrons livres do oxigênio (UMOREN *et al.*, 2006). De acordo com KESAVAN, GOPIRAMAN e SULOCHANA (2012), é possível que haja uma interação entre os íons de Fe e os átomos de oxigênio presentes na cadeia do polímero. A Figura 37 ilustra o esquema de interação da galactomanana com o ferro.

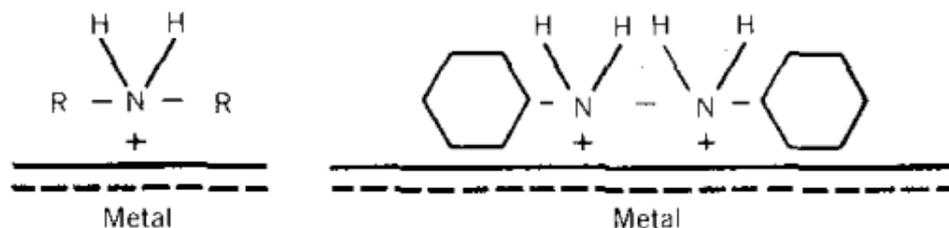
Figura 37 - Esquema de inibição da galactomanana.



Fonte: ABDALLAH (2004).

Em relação à anilina, o efeito inibitório é atribuído à interação entre a nuvem de elétrons π do anel aromático e a vacância do subnível d do metal, formando ligações coordenadas entre Fe-N (KHALED e AMIN, 2009). Segundo CHAUDHARI *et al.* (2012), os átomos de nitrogênio agem como um centro ativo devido sua alta densidade eletrônica. A Figura 38 apresenta o esquema de adsorção das aminas na superfície metálica.

Figura 38 - Aminas adsorvidas a superfície do metal.



Fonte: Adaptado de VON KOEPPEN, PASOWICZ e METZ (1972).

5. CONCLUSÕES

A análise FTIR mostrou-se eficiente na determinação qualitativa tanto da lignina como da galactomanana apresentando várias bandas características dessas substâncias de acordo com a literatura consultada.

A análise de TGA e DSC também foi uma forma de caracterização da lignina e galactomanana. Essas análises mostraram que os comportamentos térmicos dos extratos foram estáveis e semelhantes aos da literatura.

Da análise de perda de massa realizada no período de 96 horas, pode-se concluir que lignina, galactomanana e a anilina diminuíram cineticamente o processo corrosivo do aço carbono 1010 na solução de HCl 0,5 mol L⁻¹.

O ensaio eletroquímico de polarização potenciodinâmica realizado mostrou-se eficiente. Os resultados sugeriram que os inibidores em estudo apresentam comportamentos mistos.

A partir do ensaio de polarização potenciodinâmica obteve-se os gráficos de isotermas de adsorção. Os mesmos demonstraram que o efeito de adsorção das substâncias estudadas aumentou de acordo com o aumento da concentração e que o processo de adsorção foi por quimissorção.

O ensaio de impedância eletroquímica mostrou que a cinética de corrosão do metal diminuiu de acordo com o aumento das concentrações dos inibidores estudados, o que mostra a influência desses compostos frente à ação do meio corrosivo.

Para todos os ensaios de corrosão realizados a lignina e a galactomanana apresentaram melhores resultados comparados aos da anilina. Conclui-se que esses compostos naturais serviram como inibidores de corrosão no aço carbono nas condições propostas no estudo.

REFERÊNCIAS

- ABDALLAH, M. Guar gum as corrosion inhibitor for carbon steel in sulfuric acid solutions. **Portugaliae Electrochimica Acta**, v. 22, n. 2, p. 161-175, 2004.
- ABDEL-GABER, A. M. et al. A natural extract as scale and corrosion inhibitor for steel surface in brine solution. **Desalination**, v. 278, n. 1, p. 337-342, 2011.
- ABDULLAHI, M.; FARZAM, M.; IRANNEJAD, A. A schiff base compound as effective corrosion inhibitor for carbon steel AISI 1018 in NaCl 3.5% media. **Researcher**, v. 6, n. 10, p. 71-77, 2014.
- ABU-DALO, M. A.; AL-RAWASHDEH, N. AF; ABABNEH, A. Evaluating the performance of sulfonated Kraft lignin agent as corrosion inhibitor for iron-based materials in water distribution systems. **Desalination**, v. 313, p. 105-114, 2013.
- ACHARYA, M. et al. Green inhibitors for prevention of metal and alloys corrosion: an overview. **Chemistry and Materials Research**, v. 3, n. 6, p. 16-24, 2013.
- ADSUL, M. G. et al. Development of biocatalysts for production of commodity chemicals from lignocellulosic biomass. **Bioresource technology**, v. 102, n. 6, p. 4304-4312, 2011.
- AHMAD, Z. **Principles of corrosion engineering and corrosion control**. 1. ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2006.
- AKBARZADEH, E.; IBRAHIM, M. N. M.; RAHIM, A. A. Monomers of lignin as corrosion inhibitors for mild steel: study of their behaviour by factorial experimental design. **Corrosion Engineering, Science and Technology**, v. 47, n. 4, p. 302-311, 2012.
- AKKOUICHE, R. et al. Influence of soil moisture on the corrosion processes of carbon steel in artificial soil: Active area and differential aeration cells. **Electrochimica Acta**, v. 213, p. 698-708, 2016.
- ALANEME, K. K.; OLUSEGUN, S. J. Corrosion Inhibition performance of lignin extract of sun flower (*Tithonia Diversifolia*) on medium carbon low alloy steel immersed in H₂SO₄ solution. **Leonardo Journal of Sciences**, v. 20, n. 1, p. 59-70, 2012.

ALBUQUERQUE, P. et al. Characterization and rheological study of the galactomannan extracted from seeds of *Cassia grandis*. **Carbohydrate Polymers**, v. 104, p. 127-134, 2014.

ALBUQUERQUE, P. et al. Immobilization of bioactive compounds in *Cassia grandis* galactomannan-based films: Influence on physicochemical properties. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 96, p. 727-735, 2017.

ALBUQUERQUE, P. et al. Investigating a galactomannan gel obtained from *Cassia grandis* seeds as immobilizing matrix for Cramoll lectin. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 86, p. 454-461, 2016.

ALIYU, M. et al. Adsorption and Inhibitive properties of *Ficus sycomorus* gum on the corrosion of aluminium in HCl. **International Journal of Scientific and Research Publications**, 2015.

ALLINGER, N. L. et al. **Química Orgânica**, 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois, 1985.

AL-SAHLANEE, H. H.; SULTAN, A. A.; AL-FAIZE, M. M. Corrosion Inhibition of Carbon Steel in 1M HCl Solution Using *Sesbania Sesban* Extract. **Aquatic Science and Technology**, v. 1, n. 2, p. 135-151, 2013.

AL-SENANI, G. The use of green leafy vegetables extracts as corrosion inhibitors for carbon steel in acidic medium, **World Applied Sciences Journal**, v. 33, p. 1659-1666, 2015.

ALTWAIQ, A. et al. The role of extracted alkali lignin as corrosion inhibitor. **Journal of Materials and Environmental Science**, v. 2, n. 3, p. 259-270, 2011.

AMBROZIN, A. R. P.; KURI, S. E.; MONTEIRO, M. R. Corrosão metálica associada ao uso de combustíveis minerais e biocombustíveis. **Química Nova**, v. 32, n. 7, p. 1910-1916, 2009.

ANCA-COUCÉ, A. Reaction mechanisms and multi-scale modelling of lignocellulosic biomass pyrolysis. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 53, p. 41-79, 2016.

ANTONIJEVIC, M. M.; PETROVIC, M. B. Copper corrosion inhibitors. A review. **International Journal of Electrochemical Science**, v. 3, n. 1, p. 1-28, 2008.

APOSTOLOPOULOS, G. et al. The influence of carbon on the resistivity recovery of proton irradiated Fe-11at.% Cr alloys. **Nuclear Materials and Energy**, v. 9, p. 465-470, 2016.

ARENAS, M. A.; CONDE, A.; DE DAMBORENEA, J. J. Cerium: a suitable green corrosion inhibitor for tinplate. **Corrosion Science**, v. 44, n. 3, p. 511-520, 2002.

ASHORI, A. Wood-plastic composites as promising green-composites for automotive industries!. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 11, p. 4661-4667, 2008.

ASKELAND, D.; FULAY, P.; WRIGHT, W. The science and engineering of materials 6th edition. **Thomson learning Inc**, p. 232-250, 2010.

ATLAS STEELS. **Atlas steels technical handbook of stainless steels**. [S.l.], 2013.

AVWIRI, G. O.; IGHO, F. O. Inhibitive action of Vernonia amygdalina on the corrosion of aluminium alloys in acidic media. **Materials Letters**, v. 57, n. 22, p. 3705-3711, 2003.

AYDOĞDU, G. H.; AYDINOL, M. K. Determination of susceptibility to intergranular corrosion and electrochemical reactivation behaviour of AISI 316L type stainless steel. **Corrosion Science**, v. 48, n. 11, p. 3565-3583, 2006.

AZADFAR, M. et al. Structural characterization of lignin: A potential source of antioxidants guaiacol and 4-vinylguaiacol. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 75, p. 58-66, 2015.

AZADI, P. et al. Liquid fuels, hydrogen and chemicals from lignin: A critical review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 21, p. 506-523, 2013.

BACCAN, N. et al. **Química Analítica Quantitativa Elementar**. 2. Ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1985.

BAI, P. et al. Initiation and developmental stages of steel corrosion in wet H₂S environments. **Corrosion Science**, v. 93, p. 109-119, 2015.

BALAN, V. et al. Lignocellulosic biomass pretreatment using AFEX. **Biofuels: Methods and Protocols**, v. 581, p. 61-77, 2009.

BALLESTEROS, F. et al. Characterization of polysaccharides extracted from spent coffee grounds by alkali pretreatment. **Carbohydrate Polymers**, v. 127, p. 347-354, 2015.

BANCZEK, E. P. et al. Study of the Electrochemical behaviour of Tolitriazole in phosphating bathings of carbon steel 1008. **Portugaliae Electrochimica Acta**, v. 23, n. 3, p. 379-391, 2005.

BANERJEE, S.; SRIVASTAVA, V.; SINGH, M. Chemically modified natural polysaccharide as green corrosion inhibitor for mild steel in acidic medium. **Corrosion Science**, v. 59, p. 35-41, 2012.

BARROS, L. M. T. S. et al. **Influência dos elementos de liga na resistência à dezincificação das ligas CuZn 40**. Porto, 1993. 45 p.

BEECH, I. B.; SUNNER, J. Biocorrosion: towards understanding interactions between biofilms and metals. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 15, n. 3, p. 181-186, 2004.

BEHPOUR, M. et al. The effect of two oleo-gum resin exudate from *Ferula assa-foetida* and *Dorema ammoniacum* on mild steel corrosion in acidic media. **Corrosion Science**, v. 53, n. 8, p. 2489-2501, 2011.

BENTISS, F. et al. 2, 5-Bis (n-methoxyphenyl)-1, 3, 4-oxadiazoles used as corrosion inhibitors in acidic media: correlation between inhibition efficiency and chemical structure. **Corrosion Science**, v. 44, n. 10, p. 2271-2289, 2002.

BENTISS, F.; LEBRINI, M.; LAGRENÉE, M. Thermodynamic characterization of metal dissolution and inhibitor adsorption processes in mild steel/2, 5-bis (n-thienyl)-1, 3, 4-thiadiazoles/hydrochloric acid system. **Corrosion Science**, v. 47, n. 12, p. 2915-2931, 2005.

BENTISS, F.; TRASNEL, M.; LAGRENEE, M. Influence of 2, 5-bis (4-dimethylaminophenyl)-1, 3, 4-thiadiazole on corrosion inhibition of mild steel in acidic media. **Journal of Applied Electrochemistry**, v. 31, n. 1, p. 41-48, 2001.

BENTISS, F.; TRASNEL, M.; LAGRENEE, M. The substituted 1, 3, 4-oxadiazoles: a new class of corrosion inhibitors of mild steel in acidic media. **Corrosion Science**, v. 42, n. 1, p. 127-146, 2000.

BENTISS, F. et al. Corrosion control of mild steel using 3, 5-bis (4-methoxyphenyl)-4-amino-1, 2, 4-triazole in normal hydrochloric acid medium. **Corrosion Science**, v. 51, n. 8, p. 1628-1635, 2009.

BETHENCOURT, M. et al. Lanthanide compounds as environmentally-friendly corrosion inhibitors of aluminium alloys: a review. **Corrosion Science**, v. 40, n. 11, p. 1803-1819, 1998.

BIDETTI, B. B. et al. Uma experiência didática de corrosão usando colorimetria visual. **Química Nova**, p. 634-637, 2012.

BIRBILIS, N. et al. Inhibition of AA2024-T3 on a phase-by-phase basis using an environmentally benign inhibitor, cerium dibutyl phosphate. **Electrochemical and solid-state letters**, v. 8, n. 11, p. 180-183, 2005.

BOERIU, C. et al. Characterisation of structure-dependent functional properties of lignin with infrared spectroscopy. **Industrial Crops and Products**, v. 20, n. 2, p. 205-218, 2004.

BOERJAN, W.; RALPH, J.; BAUCHER, M. Lignin biosynthesis. **Annual review of plant biology**, v. 54, n. 1, p. 519-546, 2003.

BOGAERTS, W. **Materials Engineering for the Chemical Process Industries**. CPI Materials Engineering, 2006.

BONNARD, N. et al. Fiche Toxicologique FT 19. **Institut National de Recherche et de Sécurité**, Paris, 2010.

BOUMHARA, K. et al. Artemisia Mesatlantica essential oil as green inhibitor for carbon steel corrosion in 1M HCl solution: Electrochemical and XPS investigations. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 29, p. 146-155, 2015.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Anuário Mineral Brasileiro, principais substâncias metálicas**. Brasília, DF, 2016. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/anuario-mineral-brasileiro-2016-metalicos>>. Acesso em: 08 abr. 2017.

BREBU, M.; VASILE, C. Thermal degradation of lignin—a review. **Cellulose Chemistry & Technology**, v. 44, n. 9, p. 353, 2010.

CABALLERO, J. A. et al. Flash pyrolysis of Klason lignin in a Pyroprobe 1000. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 27, n. 2, p. 221-244, 1993.

CABALLERO, J. A.; FONT, R.; MARCILLA, A. Study of the primary pyrolysis of Kraft lignin at high heating rates: yields and kinetics. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 36, n. 2, p. 159-178, 1996.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Materials Science and Engineering**. NY: John Wiley & Sons, 2011.

CARDOSO, S. P. et al. Avaliação de indicadores de uso diverso como inibidores de corrosão. **Química Nova**, v. 28, n. 5, p. 756, 2005.

CARIOCA, J. O.; ALMEIDA, M. F. L.; SEIDL, P. R. **Química verde no Brasil: 2010–2030**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010.

CARVALHO, C. et al. Metemoglobinemia: Revisão a Propósito de um Caso. **Arquivos de Medicina** 25, n. 3, p. 100-106, 2011.

CARVALHO, W. et al. Uma visão sobre a estrutura, composição e biodegradação da madeira. **Química Nova**, v. 32, n. 8, p. 1-5, 2009.

CANADIAN ENVIRONMENTAL PROTECTION. **Priority substances list assessment report**. Environment Canada and Health Canada, Ottawa, 1993. p. 1-56.

CERQUEIRA, M. A. et al. Effect of glycerol and corn oil on physicochemical properties of polysaccharide films—A comparative study. **Food Hydrocolloids**, v. 27, n. 1, p. 175-184, 2012.

CERQUEIRA, M. A. et al. Structural and thermal characterization of galactomannans from non-conventional sources. **Carbohydrate Polymers**, v. 83, n. 1, p. 179-185, 2011.

ÇETIN, N. S.; ÖZMEN, N. Use of organosolv lignin in phenol-formaldehyde resins for particleboard production: II. Particleboard production and properties. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, v. 22, n. 6, p. 481-486, 2002.

CHAUDHARI, H. G.; MAHIDA, M. M. Aliphatic amines as corrosion inhibitors for zinc in hydrochloric acid. **Scholars Research Library**, v. 4, n. 6, p. 2305-2312, 2012.

CHAUHAN, L. R.; GUNASEKARAN, G. Corrosion inhibition of mild steel by plant extract in dilute HCl medium. **Corrosion Science**, v. 49, n. 3, p. 1143-1161, 2007.

CHAWLA, S. L.; GUPTA, R. K. **Materials Slection for Corrosion Control**. Geauga County: ASM international, 1993.

CHENG, Y. et al. Improvement of direct liquefaction of technical alkaline lignin pretreated by alkaline hydrogen peroxide. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 122, p. 277-281, 2016.

CHETOUANI, A. et al. Poly (4-vinylpyridine isopentyl bromide) as inhibitor for corrosion of pure iron in molar sulphuric acid. **Progress in Organic Coatings**, v. 46, n. 4, p. 312-316, 2003.

CHIAVERINI, V. **Aços e Ferros Fundidos**. 7. ed. São Paulo: ABM, 2012.

CODAGNONE, A. F. et al. Phosphated guar gum: Potential ingredient in the development of ethylcellulose isolated films. **Acta Farmacéutica Bonaerense**, v. 23, n. 4, 2004.

CODARO, E. N. et al. An image processing method for morphology characterization and pitting corrosion evaluation. **Materials Science and Engineering: A**, v. 334, n. 1, p. 298-306, 2002.

COLPAERT, H. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns**. 4. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2008.

CONSOLIN FILHO, N. et al. Methylene blue adsorption onto modified lignin from sugar cane bagasse. **Eclética Química**, v. 32, n. 4, p. 63-70, 2007.

DA SILVA, D. et al. Preparação e caracterização de filmes a base quitosana e galactomanana. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química: Criar e Empreender, 39., 2016, Goiânia. **Anais...**, Goiânia, 2016.

DARIVA, C. G.; GALIO, A. F. Corrosion inhibitors—principles, mechanisms and applications. In: **Developments in corrosion protection**. Londres: InTech, 2014. cap. 16, p. 365-379.

DAVIS, J. R. **Corrosion: Understanding the basics**. Geauga County: ASM International, 2000.

DE ALMEIDA, R. R. et al. Exploring the potential of *Dimorphandra gardneriana* galactomannans as drug delivery systems. **Industrial Crops and Products**, v. 69, p. 284-289, 2015.

DE SOUZA, S. **Composição Química do Aços**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1989.

DEYAB, M. A. et al. Experimental evaluation of new inorganic phosphites as corrosion inhibitors for carbon steel in saline water from oil source wells. **Desalination**, v. 383, p. 38-45, 2016.

DING, S. et al. How does plant cell wall nanoscale architecture correlate with enzymatic digestibility?. **Science**, v. 338, n. 6110, p. 1055-1060, 2012.

DODI, G.; HRITCU, D.; POPA, M. Carboxymethylation of guar gum: Synthesis and characterization. **Cellulose Chemistry and Technology**, v. 45, n. 3, p. 171, 2011.

DÖNER, A. et al. Experimental and theoretical studies of thiazoles as corrosion inhibitors for mild steel in sulphuric acid solution. **Corrosion Science**, v. 53, n. 9, p. 2902-2913, 2011.

DOUGLAS, C. Phenylpropanoid metabolism and lignin biosynthesis: from weeds to trees. **Trends in Plant Science**, v. 1, n. 6, p. 171-178, 1996.

EDDY, N.; AMEH, P.; ODIONGENYI, A. Physicochemical characterization and corrosion inhibition potential of Ficus benjamina (FB) gum for aluminum in 0.1 M H₂SO₄. **Portugaliae Electrochimica Acta**, v. 32, n. 3, p. 183-197, 2014.

EL HAMDANI, N. et al. Alkaloids extract of Retama monosperma (L.) Boiss. seeds used as novel eco-friendly inhibitor for carbon steel corrosion in 1M HCl solution: Electrochemical and surface studies. **Applied Surface Science**, v. 357, p. 1294-1305, 2015.

EL MANSOURI, N. E.; SALVADÓ, J. Structural characterization of technical lignins for the production of adhesives: Application to lignosulfonate, kraft, soda-anthraquinone, organosolv and ethanol process lignins. **Industrial Crops and Products**, v. 24, n. 1, p. 8-16, 2006.

ELIASSON, A. **Carbohydrates in food**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2006.

EL-MAKSOUUD, S. A.; FOUUDA, A. S. Some pyridine derivatives as corrosion inhibitors for carbon steel in acidic medium. **Materials Chemistry and Physics**, v. 93, n. 1, p. 84-90, 2005.

EL-NAGGAR, M. M. Corrosion inhibition of mild steel in acidic medium by some sulfa drugs compounds. **Corrosion Science**, v. 49, n. 5, p. 2226-2236, 2007.

ERDOCIA, X. et al. Effect of different organosolv treatments on the structure and properties of olive tree pruning lignin. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 20, n. 3, p. 1103-1108, 2014.

FADARE, O. O.; OKORONKWO, A. E.; OLASEHINDE, E. F. Assessment of anti-corrosion potentials of extract of *Ficus asperifolia*-Miq (Moraceae) on mild steel in acidic medium. **African Journal of Pure and Applied Chemistry**, v. 10, n. 1, p. 8-22, 2016.

FARES, M. M.; MAAYTA, A. K.; AL-QUDAH, M. M. Pectin as promising green corrosion inhibitor of aluminum in hydrochloric acid solution. **Corrosion Science**, v. 60, p. 112-117, 2012.

FELDMAN, D.; LACASSE, M.; BEZNACZUK, L. M. Lignin-polymer systems and some applications. **Progress in Polymer Science**, v. 12, n. 4, p. 271-299, 1986.

FENG, R. et al. Electrochemical Corrosion of Ultra-high Strength Carbon Steel in Alkaline Brines Containing Hydrogen Sulfide. **Electrochimica Acta**, v. 212, p. 998-1009, 2016.

FERDOUS, D. et al. Pyrolysis of lignins: experimental and kinetics studies. **Energy & Fuels**, v. 16, n. 6, p. 1405-1412, 2002.

FERREIRA, E. S. et al. Evaluation of the inhibitor effect of L-ascorbic acid on the corrosion of mild steel. **Materials Chemistry and Physics**, v. 83, n. 1, p. 129-134, 2004.

FERREIRA, V.; ROCHA, D.; DA SILVA, F. Potencialidades e oportunidades na química da sacarose e outros açúcares. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 623-638, 2009.

FIGUEREDO-SOBRINHO, F. A. A. **Poliuretanos à base de lignina do endocarpo do coco seco como potencial sistema de liberação controlada de fertilizantes**. 2017. Dissertação (Mestre em Química) - Departamento de Química, Universidade Federal do Ceará.

FINŠGAR, M.; JACKSON, J. Application of corrosion inhibitors for steels in acidic media for the oil and gas industry: A review. **Corrosion Science**, v. 86, p. 17-41, 2014.

FOUDA, A. S.; MAHFOUZ, H. Inhibition of corrosion of α -brass (Cu-Zn, 67/33) in HNO₃ solutions by some arylazo indole derivatives. **Journal of the Chilean Chemical Society**, v. 54, n. 4, p. 408-413, 2009.

FOX, M. A. et al. Toxicological resources for cumulative risk: an example with hazardous air pollutants. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, v. 40, n. 3, p. 305-311, 2004.

GAO, G.; LIANG, C. 1, 3-Bis-diethylamino-propan-2-ol as volatile corrosion inhibitor for brass. **Corrosion Science**, v. 49, n. 9, p. 3479-3493, 2007.

GENTIL, V. **Corrosão**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC Livro Técnico e Científicos SA, 2011.

GHAFFAR, S.; FAN, M. Structural analysis for lignin characteristics in biomass straw. **Biomass and bioenergy**, v. 57, p. 264-279, 2013.

GHAZOU, A. et al . Investigation of adsorption and corrosion inhibition of mild steel in hydrochloric acid solution by 6-phenylpyridazin-3(2H)-one. **Journal of Chemical and Pharmaceutical Research**, v. 6, n. 2, p.724-732, 2014.

GINZEL, R.; KANTERS, W. Pipeline Corrosion and Cracking and the Associated Calibration Considerations for Same Side Sizing Applications. **Eclipse Scientific Products Inc. Williamsford, Ontario**, v. 7, n. 7, 2002. Disponível em: <http://www.ndt.net/article/v07n07/ginzel_r/ginzel_r.htm>. Acesso em: 19 set. 2017.

GOLDEMBERG, J. Biomass and energy. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 582-587, 2009.

GOLTSOV, V. A. et al. **Sustainable human future, hydrogen civilization**. Donetsk: Knowledge, 2010.

GORDOBIL, O. et al. Kraft lignin as filler in PLA to improve ductility and thermal properties. **Industrial Crops and Products**, v. 72, p. 46-53, 2015.

GOSSELINK, R. J. A. et al. Characterisation and application of NovaFiber lignin. **Industrial Crops and Products**, v. 20, n. 2, p. 191-203, 2004.

GRISEL, M. et al. Impact of fine structure of galactomannans on their interactions with xanthan: Two co-existing mechanisms to explain the synergy. **Food Hydrocolloids**, v. 51, p. 449-458, 2015.

GROSSER, F. N.; BARROS, T. I. T; GONÇALVES, R. S. Electrochemical evidences of linalyl acetate (LA) adsorption on low-carbon steel in aqueous and ethanol medium. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 25, n. 2, p. 290-297, 2014.

GUO, L. et al. Theoretical insight into an empirical rule about organic corrosion inhibitors containing nitrogen, oxygen, and sulfur atoms. **Applied Surface Science**, v. 406, p. 301-306, 2017.

HANSSON, C. M.; MAMMOLITI, L.; HOPE, B. B. Corrosion inhibitors in concrete—part I: the principles. **Cement and Concrete Research**, v. 28, n. 12, p. 1775-1781, 1998.

HAYYAN, M. et al. Utilizing of sodium nitrite as inhibitor for protection of carbon steel in salt solution. **International Journal of Electrochemical Science**, v. 7, n. 8, p. 6941-6950, 2012.

HEGAZY, M.; EL-ETRE, A.; BERRY, K. Novel inhibitors for carbon steel pipelines corrosion during acidizing of oil and gas wells. **Journal of Basic and Environmental Sciences**, v. 2, p. 36-51, 2015.

HEITNER, C.; DIMMEL, D.; SCHMIDT, J. **Lignin and lignans: advances in chemistry**. 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 2016.

HEMMILÄ, V.; TRISCHLER, J.; SANDBERG, D. Lignin: an adhesive raw material of the future or waste of research energy?. In: Meeting of the Northern European network for wood science and engineering, 9., 2013, Hanover. **Anais...** Hanover: Leibniz Universität, 2013. p. 98-103.

HOWE, D. et al. Thermal pretreatment of a high lignin SSF digester residue to increase its softening point. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, 2016.

HUANG, Y. et al. Microwave pyrolysis of lignocellulosic biomass: Heating performance and reaction kinetics. **Energy**, v. 100, p. 137-144, 2016.

HUSSIN, M. H. et al. Impact of catalytic oil palm fronds (OPF) pulping on organosolv lignin properties. **Polymer Degradation and Stability**, v. 109, p. 33-39, 2014.

ISOFAR INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE PRODUTOS QUÍMICOS LTDA. Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos - FISPQ. Disponível em: <<http://isofar.com.br:7080/wp/?p=40>>. Acesso em: 10 fev. 2018.

JAHIRUL, M. I. et al. Biofuels production through biomass pyrolysis—a technological review. **Energies**, v. 5, n. 12, p. 4952-5001, 2012.

JAKAB, E.; FAIX, O.; TILL, F. Thermal decomposition of milled wood lignins studied by thermogravimetry/mass spectrometry. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 40, p. 171-186, 1997.

JAMSHIDIAN, M. et al. Stretching properties of xanthan and hydroxypropyl guar in aqueous solutions and in cosmetic emulsions. **Carbohydrate Polymers**, v. 112, p. 334-341, 2014.

JEGLIC, F.. Analysis of ruptures and trends on major Canadian pipeline systems. In: 2004 International Pipeline Conference. American Society of Mechanical Engineers, 2004. Calgary. **Anais...**, 2004. p. 2655-2663.

JIN, W. et al. Evaluation of the co-pyrolysis of lignin with plastic polymers by TG-FTIR and Py-GC/MS. **Polymer Degradation and Stability**, v. 133, p. 65-74, 2016.

KAMAL, C.; SETHURAMAN, M. G. Spirulina platensis–A novel green inhibitor for acid corrosion of mild steel. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 5, n. 2, p. 155-161, 2012.

KAPPS, V.; SIMÕES, A. L. C.; CUSTÓDIO, A. B. Experimentos de baixo custo em corrosão e proteção de dutos de aço em meios ácidos. **Revista de Engenharia da Universidade Católica de Petrópolis**, v. 7, n. 2, p. 23-38, 2012.

KESAVAN, D.; GOPIRAMAN, M.; SULOCHANA, N. Green inhibitors for corrosion of metals: A review. **Chemical Science Review and Letters**, v. 1, n. 1, p. 1-8, 2012.

KHALED, K. F.; AMIN, M. A. Corrosion monitoring of mild steel in sulphuric acid solutions in presence of some thiazole derivatives–molecular dynamics, chemical and electrochemical studies. **Corrosion Science**, v. 51, n. 9, p. 1964-1975, 2009.

KIM, J. S.; LEE, Y. Y.; KIM, T. H. A review on alkaline pretreatment technology for bioconversion of lignocellulosic biomass. **Bioresource technology**, v. 199, p. 42-48, 2016.

KOCH, G. et al. International Measures of Prevention, Application, and Economics of Corrosion Technologies Study. **NACE International**, Houston, 2016.

KOCH, G. et al. Corrosion cost and preventive strategies in the United States. **NACE International**, Houston, 2002.

KONNERTH, H. et al. Base promoted hydrogenolysis of lignin model compounds and organosolv lignin over metal catalysts in water. **Chemical Engineering Science**, v. 123, p. 155-163, 2015.

KRIM, O. et al. Synthesis, Characterization and Corrosion Protection Properties of Imidazole Derivatives on Mild Steel in 1.0 M HCl. **Portugaliae Electrochimica Acta**, v. 34, n. 3, p. 213-229, 2016.

KRISHNAN, Asha et al. Sisal nanofibril reinforced polypropylene/polystyrene blends: Morphology, mechanical, dynamic mechanical and water transmission studies. **Industrial Crops and Products**, v. 71, p. 173-184, 2015.

KUČEROVÁ, V. et al. The effects of both insoluble lignin and the macromolecular traits of cellulose on the content of saccharides within solids during hydrothermal pretreatment of hybrid poplar wood. **Industrial Crops and Products**, v. 91, p. 22-31, 2016.

KULANDAI, T.; VASUDHA, V. Thermodynamic and adsorption studies for corrosion inhibition of mild steel using millingtonia hortensis. **International Journal of Information Research and Review**, v. 2, n. 1, p. 261-266, 2015.

KUMAR, S. A. et al. Magnolia Champaca-Flower Extracts As Corrosion Inhibitor For Mild Steel In Acid Medium. **IOSR Journal of Engineering**. V. 3, p. 10-14, 2013.

KUMAR, S. et al. Dezincification of brass in sulfide polluted sodium chloride medium: evaluation of the effectiveness of 2-mercaptobenzothiazole. **International Journal of Electrochemical Science**, v. 1, p. 456-469, 2006.

LALVANI, S. B.; WILTOWSKI, T.; WESTON, A. Metal Ions Removal from Wastewater by Adsorption. **ACS Fuel Reprints**, v. 42, 3, p. 877-879, 1997.

LAUBERTS, M. et al. Fractionation of technical lignin with ionic liquids as a method for improving purity and antioxidant activity. **Industrial Crops and Products**, v. 95, p. 512-520, 2017.

LEBRINI, M. et al. Enhanced corrosion resistance of mild steel in normal sulfuric acid medium by 2, 5-bis (n-thienyl)-1, 3, 4-thiadiazoles: electrochemical, X-ray photoelectron spectroscopy and theoretical studies. **Applied Surface Science**, v. 253, n. 23, p. 9267-9276, 2007.

LEE, H.; LIM, W.; LEE, J. Improvement of ethanol fermentation from lignocellulosic hydrolysates by the removal of inhibitors. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 19, n. 6, p. 2010-2015, 2013.

LEONOWICZ, A. et al. Biodegradation of lignin by white rot fungi. **Fungal Genetics and Biology**, v. 27, n. 2-3, p. 175-185, 1999.

- LI, Y. Z. et al. Crevice corrosion of N80 carbon steel in CO₂-saturated environment containing acetic acid. **Corrosion Science**, v. 112, p. 426-437, 2016.
- LI, W. et al. Experimental and theoretical investigation of the adsorption behaviour of new triazole derivatives as inhibitors for mild steel corrosion in acid media. **Electrochimica Acta**, v. 52, n. 22, p. 6386-6394, 2007.
- LIN, B. et al. A study on the initiation of pitting corrosion in carbon steel in chloride-containing media using scanning electrochemical probes. **Electrochimica Acta**, v. 55, n. 22, p. 6542-6545, 2010.
- LIU, Z. et al. The utilization of soybean straw III: Isolation and characterization of lignin from soybean straw. **Biomass and Bioenergy**, v. 94, p. 12-20, 2016.
- LIYANAGE, S. et al. Chemical and physical characterization of galactomannan extracted from guar cultivars (*Cyamopsis tetragonolobus* L.). **Industrial Crops and Products**, v. 74, p. 388-396, 2015.
- LÓPEZ-FRANCO, Y. L. et al. Physicochemical characterization and functional properties of galactomannans from mesquite seeds (*Prosopis* spp.). **Food Hydrocolloids**, v. 30, n. 2, p. 656-660, 2013.
- LU, Y. et al. Recommend design of filler metal to minimize carbon steel weld metal preferential corrosion in CO₂-saturated oilfield produced water. **Applied Surface Science**, v. 389, p. 609-622, 2016.
- LUPOI, J. et al. Recent innovations in analytical methods for the qualitative and quantitative assessment of lignin. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 49, p. 871-906, 2015.
- MANN, C. A.; LAUER, B. E.; HULTIN, C. T. Organic inhibitors of corrosion aromatic amines. **Industrial & Engineering Chemistry**, v. 28, n. 9, p. 1048-1051, 1936.
- MATHUR, N.; PANDEY, G.; JAIN, G. C. Male reproductive toxicity of some selected metals: A review. **Journal of Biological Sciences**, v. 10, n. 5, p. 396-404, 2010.
- MCCORMICK, K. et al. Advancing sustainable solutions: an interdisciplinary and collaborative research agenda. **Journal of Cleaner Production**, v. 123, p. 1-4, 2016.

MERÇON, F.; GUIMARÃES, P.; MAINIER, F. Corrosão: um exemplo usual de fenômeno químico. **Química Nova na escola**, v. 1, n. 19, p. 11-14, 2004.

MILSTEIN, O. et al. Transformation of lignin-related compounds with laccase in organic solvents. **Journal of Biotechnology**, v. 30, n. 1, p. 37-48, 1993.

MIRGANE, S. R.; RAMDAS, B. G. Investigation of Soil Corrosivity in Thane Region of Maharashtra, India. **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**, v. 5, n. 5, p. 680-688, 2009.

MIRHOSSEINI, H.; AMID, B. T. A review study on chemical composition and molecular structure of newly plant gum exudates and seed gums. **Food Research International**, v. 46, n. 1, p. 387-398, 2012.

MISHRA, V.; KUMAR, R. Grafting of 4-aminoantipyrine from guar gum substrates using graft atom transfer radical polymerization (ATRP) process. **Carbohydrate polymers**, v. 86, n. 1, p. 296-303, 2011.

MITTAL, N.; MATTU, P.; KAUR, G. Extraction and derivatization of *Leucaena leucocephala* (Lam.) galactomannan: Optimization and characterization. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 92, p. 831-841, 2016.

MRIDHA, S. Metallic Materials. **Reference Module in Materials Science and Materials Engineering**, 2016.

MOBIN, M.; ZEHRRA, S.; PARVEEN, M. L-Cysteine as corrosion inhibitor for mild steel in 1 M HCl and synergistic effect of anionic, cationic and non-ionic surfactants. **Journal of Molecular Liquids**, v. 216, p. 598-607, 2016.

MONTEIRO, M. B. O.; PEREIRA, R. P. W.; ABREU, H. S. Bioquímica da lignificação de células xilemáticas. **Florestas e Ambiente**, v. 11, n. 2, p.48-57, 2004.

MOREIRA, R.; SOARES, T.; RIBEIRO, J. Electrochemical investigation of corrosion on AISI 316 stainless steel and AISI 1010 carbon steel: study of the behaviour of imidazole and benzimidazole as corrosion inhibitors. **Advances in Chemical Engineering and Science**, v. 4, n. 04, p. 503, 2014.

MUCHA, K. et al. Mechanism of aniline degradation by yeast strain *Candida methanosorbosa* BP-6. **Polish Journal of Microbiology**, v. 59, n. 4, p. 311-315, 2010.

MURALIDHARAN, S.; QURAIISHI, M. A.; IYER, S. V. K. The effect of molecular structure on hydrogen permeation and the corrosion inhibition of mild steel in acidic solutions. **Corrosion Science**, v. 37, n. 11, p. 1739-1750, 1995.

NADA, A. A. et al. Infrared spectroscopy of some treated lignins. **Polymer Degradation and Stability**, v. 62, n. 1, p. 157-163, 1998.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Acute exposure guideline levels for selected airborne chemicals**. v. 1. Washington: National Academies Press, 2000.

NEP, E. I.; CONWAY, B. R. Characterization of grewia gum, a potential pharmaceutical excipient. **Journal of Excipients and Food Chemicals**, v. 1, n. 1, p. 30-40, 2010.

NICHOLLS, M. 12th International Corrosion Congress. Houston, TX, NACE, Houston TX, p. 1237, 1993.

NISHIGUCHI, S.; TABATA, T. Assessment of social, economic, and environmental aspects of woody biomass energy utilization: Direct burning and wood pellets. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 57, p. 1279-1286, 2016.

NUMAN-AL-MOBIN, A. M. et al. Effect of water-carbon dioxide ratio on the selectivity of phenolic compounds produced from alkali lignin in sub- and supercritical fluid mixtures. **Fuel**, v. 185, p. 26-33, 2016.

NURNADIAH, R. et al. Synthesis and Characterization of Crosslinked Galactomannan Nanoparticles for Drug Delivery Application. In: **Advanced Materials Research**. Zurich: Trans Tech Publications, 2013. p. 12-19.

ODUSOTE, J. K. et al. Inhibition Efficiency of Moringa Oleifera Leaf Extract on the Corrosion of Reinforced Steel Bar in HCl Solution. **The West Indian Journal of Engineering**, v. 38, p. 64-70, 2016.

OGUZIE, E. E. Corrosion inhibition of aluminium in acidic and alkaline media by Sansevieria trifasciata extract. **Corrosion Science**, v. 49, n. 3, p. 1527-1539, 2007.

OGUZIE, E. E. Evaluation of the inhibitive effect of some plant extracts on the acid corrosion of mild steel. **Corrosion science**, v. 50, n. 11, p. 2993-2998, 2008.

OLADEJI, J. T.; ITABIYI. E.A.; OKEKUNLE, P.O. A comprehensive review of biomass pyrolysis as a process of renewable energy generation. **Journal of Natural Sciences Research**, v. 5, n. 5, p. 99-105, 2015.

ÖZCAN, M. et al. Adsorption properties of barbiturates as green corrosion inhibitors on mild steel in phosphoric acid. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 325, n. 1, p. 57-63, 2008.

PACHECO-TORGAL, F. et al. (Ed.). Biopolymers and Biotech Admixtures for Eco-efficient Construction Materials. **Woodhead Publishing**, 2016.

PANDEY, S.; MISHRA, S. B. Catalytic reduction of p-nitrophenol by using platinum nanoparticles stabilised by guar gum. **Carbohydrate polymers**, v. 113, p. 525-531, 2014.

PASQUALI, C.; HERRERA, H. Pyrolysis of lignin and IR analysis of residues. **Thermochimica Acta**, v. 293, n. 1-2, p. 39-46, 1997.

PATEL, M.; KUMAR, A. Production of renewable diesel through the hydroprocessing of lignocellulosic biomass-derived bio-oil: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 58, p. 1293-1307, 2016.

PATEL, N. S. et al. Mild steel corrosion inhibition by various plant extracts in 0.5 M sulphuric acid. **International Journal of Electrochemical Science**, v. 8, n. 2635, p. 2655, 2013.

PAWAR, H. A.; LALITHA, K. G. Comparative Study of Sustained Release Potential of a Newly Isolated Senna tora Seed Galactomannan with Commercially Available Polymers. **Journal of Bioequivalence and Bioavailability**, v. 8, p. 015-026, 2016.

PAWAR, H. A.; LALITHA, K. G. Extraction, characterization, and molecular weight determination of Senna tora (L.) seed polysaccharide. **International Journal of Biomaterials**, v. 2015, 2015.

PAWAR, S. N. et al. Engineering physical and chemical properties of softwood kraft lignin by fatty acid substitution. **Industrial Crops and Products**, v. 89, p. 128-134, 2016.

PINHEIRO, A. C. et al. Rheological characterization of κ -carrageenan/galactomannan and xanthan/galactomannan gels: Comparison of galactomannans from non-traditional sources with conventional galactomannans. **Carbohydrate Polymers**, v. 83, n. 2, p. 392-399, 2011.

PINHEIRO, F. et al. Optimization of the acetosolv extraction of lignin from sugarcane bagasse for phenolic resin production. **Industrial Crops and Products**, v. 96, p. 80-90, 2017.

PISTORIUS, P. C.; BURSTEIN, G. T. Metastable pitting corrosion of stainless steel and the transition to stability. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, v. 341, n. 1662, p. 531-559, 1992.

QIAN, M. et al. Two-part epoxy-siloxane hybrid corrosion protection coatings for carbon steel. **Thin Solid Films**, v. 517, n. 17, p. 5237-5242, 2009.

QIN, Li et al. Poly (ethylene imine) anchored lignin composite for heavy metals capturing in water. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v. 71, p. 84-90, 2016.

RAJ, X. J.; RAJENDRAN, N. Corrosion inhibition effect of substituted thiadiazoles on brass. **International Journal of Electrochemical Science**, v. 6, n. 2, p. 348-366, 2011.

RAJA, P. B. et al. Neolamarckia cadamba alkaloids as eco-friendly corrosion inhibitors for mild steel in 1M HCl media. **Corrosion Science**, v. 69, p. 292-301, 2013.

RAJESWARI, V. et al. Corrosion inhibition of Eleusine aegyptiaca and Croton rottleri leaf extracts on cast iron surface in 1M HCl medium. **Applied Surface Science**, v. 314, p. 537-545, 2014.

RAMANATHAN, L. V. **Corrosão e seu Controle**, São Paulo: Hermus, 1986.

RANA, R.; LAHAYE, C.; RAY, R. K. Overview of lightweight ferrous materials: strategies and promises. **The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society**, v. 66, n. 9, p. 1734-1746, 2014.

RAVICHANDRAN, R.; RAJENDRAN, N. Influence of benzotriazole derivatives on the dezincification of 65–35 brass in sodium chloride. **Applied Surface Science**, v. 239, n. 2, p. 182-192, 2005.

RAVINDRAN, R.; JAISWAL, A. A comprehensive review on pre-treatment strategy for lignocellulosic food industry waste: challenges and opportunities. **Bioresource technology**, v. 199, p. 92-102, 2016.

REDIGHIERI, K. I.; COSTA, D. A. Compósitos de polietileno reciclado e partículas de madeira de reflorestamento tratadas com polietileno modificado. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 18, n. 1, 2008.

REZA, I.; AHMAD, E.; KAREEM, F. Corrosion inhibition mechanism of Piperacillin Sodium for mild steel protection in acidic media. **AfinidAd**, v. 69, n. 557, 2012.

RIOS, E. C. et al. Corrosion of AISI 1020 steel in crude oil studied by the electrochemical noise measurements. **Fuel**, v. 150, p. 325-333, 2015.

RIVERA-GRAU, L. M. et al. Effect of organic corrosion inhibitors on the corrosion performance of 1018 carbon steel in 3% NaCl solution. **International Journal of Electrochemical Science**, v. 8, n. 2, p. 2491-2503, 2013.

ROBERGE, P. R. **Corrosion Engineering**. 1. ed. New York: McGraw-Hill, 2008.

ROSSI, B. et al. An aerogel obtained from chemo-enzymatically oxidized fenugreek galactomannans as a versatile delivery system. **Carbohydrate polymers**, v. 144, p. 353-361, 2016.

ROSSI, C. G. F. T. et al. Estudo comparativo da eficiência da difenilcarbazida e do óleo de coco saponificado microemulsionados na inibição da corrosão de aço carbono. **Química nova**, v. 30, n. 5, p. 1128-1132, 2007.

ROY, P. et al. Corrosion inhibition of mild steel in acidic medium by polyacrylamide grafted Guar gum with various grafting percentage: Effect of intramolecular synergism. **Corrosion Science**, v. 88, p. 246-253, 2014.

RUBIN, E. M. Genomics of cellulosic biofuels. **Nature**, v. 454, n. 7206, p. 841, 2008.

ŞAFAK, S. et al. Schiff bases as corrosion inhibitor for aluminium in HCl solution. **Corrosion science**, v. 54, p. 251-259, 2012.

SANCY, M. et al. Mechanism of corrosion of cast iron covered by aged corrosion products: Application of electrochemical impedance spectrometry. **Corrosion Science**, v. 52, n. 4, p. 1222-1227, 2010.

SANTANA, I. et al. Silica-based hybrid coatings for corrosion protection of carbon steel. Part I: Effect of pretreatment with phosphoric acid. **Surface and Coatings Technology**, v. 236, p. 476-484, 2013.

SASTRI, V. S. **Green corrosion inhibitors: theory and practice**. 1. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2012.

SCHMITT, G. Global needs for knowledge dissemination, research, and development in materials deterioration and corrosion control. **World Corrosion Organization**, New York, 2009.

SENATORE, M.; FINZETTO, L.; PEREA, E. Estudo comparativo entre os aços inoxidáveis dúplex e os inoxidáveis AISI 304L/316L. **Revista Escola de Minas**, v. 60, n. 1, p. 175-181, 2007.

SHABAN, S. M. et al. Inhibition of mild steel corrosion in acidic medium by vanillin cationic surfactants. **Journal of Molecular Liquids**, v. 203, p. 20-28, 2015.

SHARMA, H. S. S. Compositional analysis of neutral detergent, acid detergent, lignin and humus fractions of mushroom compost. **Thermochimica acta**, v. 285, n. 2, p. 211-220, 1996.

SHARMIN, E.; AHMAD, S.; ZAFAR, F. Renewable Resources in Corrosion Resistance. In: **Corrosion Resistance**. Londres: InTech, 2012. cap. 20, p. 449-473.

SHAW, B. A.; KELLY, R. G. What is corrosion?. **Interface-Electrochemical Society**, v. 15, n. 1, p. 24-27, 2006.

SHCHUKIN, D. G. et al. Layer-by-Layer assembled nanocontainers for self-healing corrosion protection. **Advanced Materials**, v. 18, n. 13, p. 1672-1678, 2006.

SHERIF, E. M.; PARK, S. Inhibition of copper corrosion in acidic pickling solutions by N-phenyl-1, 4-phenylenediamine. **Electrochimica Acta**, v. 51, n. 22, p. 4665-4673, 2006.

SHI, Y. et al. Directed bioconversion of Kraft lignin to polyhydroxyalkanoate by *Cupriavidus basilensis* B-8 without any pretreatment. **Process Biochemistry**, v. 52, p. 238-242, 2017.

SHIMADA, M. et al. Optimization of grain boundary character distribution for intergranular corrosion resistant 304 stainless steel by twin-induced grain boundary engineering. **Acta Materialia**, v. 50, n. 9, p. 2331-2341, 2002.

SHIMANOUCI, T. et al. Surface properties of woody thin boards composed of commercially available lignin and cellulose: Relationship between the orientation of lignin and water repellency. **Applied Surface Science**, v. 347, p. 406-413, 2015.

SHWETA, K.; JHA, H. Rice husk extracted lignin–TEOS biocomposites: effects of acetylation and silane surface treatments for application in nickel removal. **Biotechnology Reports**, v. 7, p. 95-106, 2015.

SILVA, D. K. et al. Benzotriazole and tolyltriazole as corrosion inhibitors of carbon steel 1008 in sulfuric acid. **Portugaliae Electrochimica Acta**, v. 24, n. 3, p. 323-335, 2006.

SINGH, A.; SINGH, A.; EBENSO, E. Inhibition effect of cefradine on corrosion of mild steel in HCl solution. **International Journal of Electrochemical Science**, v. 9, p. 352-364, 2014.

SINGH, V. K. et al. FTIR, electrochemical impedance and iontophoretic delivery analysis of guar gum and sesame oil based bigels. **International Journal of Electrochemical Science**, v. 9, p. 5640-50, 2014.

SITTIKIYOTHIN, W.; TORRES, D.; GONÇALVES, M. P. Modelling the rheological behaviour of galactomannan aqueous solutions. **Carbohydrate Polymers**, v. 59, n. 3, p. 339-350, 2005.

SOLMAZ, R. Investigation of adsorption and corrosion inhibition of mild steel in hydrochloric acid solution by 5-(4-Dimethylaminobenzylidene) rhodanine. **Corrosion Science**, v. 79, p. 169-176, 2014.

SOLOMON, M. M. et al. Inhibitive and adsorption behaviour of carboxymethyl cellulose on mild steel corrosion in sulphuric acid solution. **Corrosion science**, v. 52, n. 4, p. 1317-1325, 2010.

SOUZA FILHO, M. et al. Extração e caracterização de galactomanana de vagens de Algaroba (*Prosopis juliflora*). **Embrapa Agroindústria Tropical**, n. 209, 2013.

SPASOJEVIĆ, D. et al. Lignin model compound in alginate hydrogel: a strong antimicrobial agent with high potential in wound treatment. **International journal of antimicrobial agents**, v. 48, n. 6, p. 732-735, 2016.

SPIRIDON, I. et al. Evaluation of PLA–lignin bioplastics properties before and after accelerated weathering. **Composites Part B: Engineering**, v. 69, p. 342-349, 2015.

STEWART, H. et al. Surfactant stabilisation of colloidal lignin microparticulates produced through a solvent attrition process. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 498, p. 194-205, 2016.

STUPNIŠEK-LISAC, E.; GAZIVODA, A.; MADŽARAC, M. Evaluation of non-toxic corrosion inhibitors for copper in sulphuric acid. **Electrochimica acta**, v. 47, n. 26, p. 4189-4194, 2002.

TEIXEIRA, V. M. et al. Estudo da Ação Inibidora do Extrato de Camellia sinensis na Corrosão do Aço-carbono 1020 em HCl 1 mol L⁻¹. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 5, p. 1780-1794, 2015.

TEJADO, A. et al. Physico-chemical characterization of lignins from different sources for use in phenol–formaldehyde resin synthesis. **Bioresource Technology**, v. 98, n. 8, p. 1655-1663, 2007.

TERASHIMA, N.; ATALLA, R. H.; VANDERHART, D. Solid state NMR spectroscopy of specifically ¹³C-enriched lignin in wheat straw from coniferin. **Phytochemistry**, v. 46, n. 5, p. 863-870, 1997.

TIRAFERRI, A. et al. Reduced aggregation and sedimentation of zero-valent iron nanoparticles in the presence of guar gum. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 324, n. 1, p. 71-79, 2008.

TIU, B. D. B.; ADVINCULA, Rigoberto C. Polymeric corrosion inhibitors for the oil and gas industry: design principles and mechanism. **Reactive and Functional Polymers**, v. 95, p. 25-45, 2015.

TRAN, H.; YOU, S; CHAO, H. Thermodynamic parameters of cadmium adsorption onto orange peel calculated from various methods: a comparison study. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 4, n. 3, p. 2671-2682, 2016.

TRIPATHI, M.; SAHU, J. N.; GANESAN, P. Effect of process parameters on production of biochar from biomass waste through pyrolysis: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 55, p. 467-481, 2016.

TORRES, V. et al. Inhibitory action of aqueous coffee ground extracts on the corrosion of carbon steel in HCl solution. **Corrosion Science**, v. 53, n. 7, p. 2385-2392, 2011.

TWITE, R. L.; BIERWAGEN, G. P. Review of alternatives to chromate for corrosion protection of aluminum aerospace alloys. **Progress in organic coatings**, v. 33, n. 2, p. 91-100, 1998.

UHLIG, H. H.; REVIE, R. W. **Corrosion and Corrosion Control: an Introduction to Corrosion Science and Engineering**. 4. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2008.

UMOREN, S. A. et al. Gum arabic as a potential corrosion inhibitor for aluminium in alkaline medium and its adsorption characteristics. **Anti-corrosion Methods and Materials**, v. 53, n. 5, p. 277-282, 2006.

UMOREN, S. A. et al. Inhibition of mild steel corrosion in H₂SO₄ solution by coconut coir dust extract obtained from different solvent systems and synergistic effect of iodide ions: Ethanol and acetone extracts. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 2, n. 2, p. 1048-1060, 2014.

UMOREN, S. A.; EDUOK, U. M. Application of carbohydrate polymers as corrosion inhibitors for metal substrates in different media: a review. **Carbohydrate polymers**, v. 140, p. 314-341, 2016.

UMOREN, S. A., MADHANKUMAR, A. Effect of addition of CeO₂ nanoparticles to pectin as inhibitor of X60 steel corrosion in HCl medium, **Journal of Molecular Liquids**, v. 224, pp. 72-82, 2016.

VALOR, A. et al. Stochastic modeling of pitting corrosion: a new model for initiation and growth of multiple corrosion pits. **Corrosion science**, v. 49, n. 2, p. 559-579, 2007.

VAN DAM, J. E. et al. Securing renewable resource supplies for changing market demands in a bio-based economy. **Industrial crops and products**, v. 21, n. 1, p. 129-144, 2005.

VAN VLACK, L. H. **Princípios de ciência dos materiais**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1970.

VENDRUSCOLO, C. W. et al. Physicochemical and mechanical characterization of galactomannan from *Mimosa scabrella*: Effect of drying method. **Carbohydrate Polymers**, v. 76, n. 1, p. 86-93, 2009.

VENUGOPAL, K. N.; ABHILASH, M. Study of hydration kinetics and rheological behaviour of guar gum. **International Journal of Pharma Sciences and Research**, v. 1, n. 1, p. 28-39, 2010.

VIEIRA, M. M. et al.; Efeito do pH na corrosão e permeação de hidrogênio em aço carbono em presença de água ácida desaerada. In: COTEQ, 6., 2002, Salvador. **Anais...**, Salvador, 2002

VON KOEPPEN, A.; PASOWICZ, A. F.; METZ, B. A. Non-chromate corrosion inhibitors. **Industrial Water Engineering**, p-25-29, 1972.

WANG, D.; BIERWAGEN, G. P. Sol-gel coatings on metals for corrosion protection. **Progress in organic coatings**, v. 64, n. 4, p. 327-338, 2009.

WANG, H.; LIU, R.; XIN, J. Inhibiting effects of some mercapto-triazole derivatives on the corrosion of mild steel in 1.0 M HCl medium. **Corrosion Science**, v. 46, n. 10, p. 2455-2466, 2004.

WATKINS, D. et al. Extraction and characterization of lignin from different biomass resources. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 4, n. 1, p. 26-32, 2015.

WATKINSON, I. I.; BRIDGWATER, A. V.; LUXMORE, C. Advanced education and training in bioenergy in Europe. **Biomass and bioenergy**, v. 38, p. 128-143, 2012.

WELKER, C. M. et al. Engineering plant biomass lignin content and composition for biofuels and bioproducts. **Energies**, v. 8, n. 8, p. 7654-7676, 2015.

WOODWARD, A. M. et al. Characterization of the interaction between hydroxypropyl guar galactomannan and galectin-3. **Biochemical and biophysical research communications**, v. 424, n. 1, p. 12-17, 2012.

XIAO, B.; SUN, X.; SUN, R. Chemical, structural, and thermal characterizations of alkali-soluble lignins and hemicelluloses, and cellulose from maize stems, rye straw, and rice straw. **Polymer Degradation and Stability**, v. 74, n. 2, p. 307-319, 2001.

YADAV, M. et al. Substituted amines as corrosion inhibitors for N80 steel in 15% HCl. **Journal of Materials and Environmental Science**, v. 4, n. 5, p. 691-700, 2013.

YAHYA, S. et al. Surface morphology studies of low carbon steel treated in aqueous lignin. **Sains Malaysiana**, v. 42, n. 12, p. 1793-1798, 2013.

YAHYA, S. et al. The influence of temperature on the inhibition of carbon steel corrosion in acidic lignin. **Anti-Corrosion Methods and Materials**, v. 62, n. 5, p. 301-306, 2015.

YANG, L. et al. Effect of different isolation methods on structure and properties of lignin from valonea of *Quercus variabilis*. **International journal of biological macromolecules**, v. 85, p. 417-424, 2016.

YANG, Z. et al. β -cyclodextrin grafted on lignin as inverse phase transfer catalyst for the oxidation of benzyl alcohol in H₂O. **Tetrahedron**, v. 72, n. 14, p. 1773-1781, 2016.

YESUDASS, S. et al. Experimental and theoretical studies on some selected ionic liquids with different cations/anions as corrosion inhibitors for mild steel in acidic medium. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v. 64, p. 252-268, 2016.

ZARBIN, A. J. Química de (nano) materiais. **Química Nova**, v. 30, n. 6, p. 1469, 2007.

ZARROUK, A. et al. Inhibitive properties, adsorption and theoretical study of 3, 7-dimethyl-1-(prop-2-yn-1-yl) quinoxalin-2 (1H)-one as efficient corrosion inhibitor for carbon steel in hydrochloric acid solution. **Journal of Molecular Liquids**, v. 222, p. 239-252, 2016.

ZEMEDE, Y.; KUMAR, A.. Synthesis, Characterization, Corrosion inhibition and Biological Evaluation of Schiff Bases. **Synthesis**, v. 7, n. 01, p. 279-286, 2014.

ZHANG, W. et al. Electrochemical and surface analysis studies of 2-(quinolin-2-yl) quinazolin-4 (3H)-one as corrosion inhibitor for Q235 steel in hydrochloric acid. **Journal of Molecular Liquids**, v. 222, p. 671-679, 2016.

ZHANG, X. et al. Impacts of lead/zinc mining and smelting on the environment and human health in China. **Environmental monitoring and assessment**, v. 184, n. 4, p. 2261-2273, 2012.

ZHANG, Y.; JUN, M. B. Feasibility of lignin as additive in metalworking fluids for micro-milling. **Journal of Manufacturing Processes**, v. 16, n. 4, p. 503-510, 2014.

ZHAO, X. et al. Effect of mechanical activation on structure changes and reactivity in further chemical modification of lignin. **International journal of biological macromolecules**, v. 91, p. 1081-1089, 2016.

ZIA, K. M. et al. Alginate based polyurethanes: A review of recent advances and perspective. **International journal of biological macromolecules**, v. 79, p. 377-387, 2015.

ZIMMERMANN, W. Degradation of lignin by bacteria. **Journal of biotechnology**, v. 13, n. 2-3, p. 119-130, 1990.

ZUCCHI, F.; OMAR, I. H. Plant extracts as corrosion inhibitors of mild steel in HCl solutions. **Surface Technology**, v. 24, n. 4, p. 391-399, 1985.

ZULETA, E C. et al. The oxidative stability of biodiesel and its impact on the deterioration of metallic and polymeric materials: a review. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 23, n. 12, p. 2159-2175, 2012.