

CAPÍTULO 14

AVALIAÇÃO ECONÔMICA SOBRE A PRODUÇÃO E USO DE COMPOSTOS BASE LIGNINA COMO INIBIDORES DA CORROSÃO RENOVÁVEIS PARA O MERCADO DE COMBUSTÍVEIS



<https://doi.org/10.22533/at.ed.1351625170314>

Data de submissão: 30/10/2025.

Data de aceite: 11/11/2025

Flávia Roberta dos Santos Masieiro Cardoso

Universidade do Estado do Rio de Janeiro
(UERJ), Faculdade de Ciências Exatas e
Engenharias (FCEE)
Rio de Janeiro – RJ
ORCID: (0009-0008-0284-123X)

Rodolfo Salazar Perez
Universidade Federal do Rio de Janeiro
(UFRJ), Escola de Química
Rio de Janeiro
Universidade do Estado
do Rio de Janeiro (UERJ), Faculdade de
Ciências Exatas e Engenharia ORCID:
(0000-0001-9816-6903)

Leonardo da Silva Marinho

Universidade do Estado do Rio de Janeiro
(UERJ), Faculdade de Ciências Exatas e
Engenharias (FCEE)
Rio de Janeiro – RJ
ORCID: (0009-0004-7756-6843)

Jesébel Costa Santos
(FCEE)

Rio de Janeiro – RJ
ORCID: (0000-0001-6732-4606)

Wilma Clemente de Lima Pinto

Universidade do Estado do Rio de Janeiro
(UERJ), Faculdade de Ciências Exatas e
Engenharias (FCEE)
Rio de Janeiro – RJ
ORCID: (0000-0002-3771-8871)

Ana Isabel de Carvalho Santana

Universidade do Estado do Rio de Janeiro
(UERJ), Faculdade de Ciências Exatas e
Engenharias (FCEE)
Rio de Janeiro – RJ
ORCID: (0000-0002-2000-5859)

Neyda de la Caridad Om Tapanes

Universidade do Estado do Rio de Janeiro
(UERJ), Faculdade de Ciências Exatas e
Engenharias (FCEE)
Rio de Janeiro – RJ
ORCID: (0000-0002-9818-3655)

RESUMO: A avaliação econômica de uma tecnologia de inovação gerada durante uma pesquisa no laboratório representa um passo importante para o scale-up do processo e a inserção do produto obtido no mercado. Várias são as pesquisas desenvolvidas atualmente que geram produtos ou tecnologias com potencialidade para se inserir no mercado brasileiro e internacional, dentre estes novos produtos destacam-se os químicos renováveis obtidos a partir do aproveitamento de resíduos ou co-produtos industriais, o que além de representar uma economia, pelo

baixo custo da matéria prima, também possui víes ambientais, minimizando os impactos no solo, na água, no ar e nos ecossistemas em geral. Os produtos renováveis considerados neste capítulo foram a lignina e o lignosulfonato de sódio (LSS), produzidos a partir do bagaço de cana de açúcar, os quais possuem boa adsorção em superfícies metálicas, alta interação com os sítios ativos do metal e são biodegradáveis o que o revelam como potenciais inibidores verdes de corrosão. Na avaliação econômica foram aplicadas metodologias de estimativas históricas e por analogia, utilizando os Indicadores de Custos Industriais (ICI) da Confederação Nacional da Indústria (CNI) e a estimativa do preço de venda Precificação por meio do markup. Os resultados demonstram a viabilidade econômica do uso da lignina e do LSS, obtidos a partir do bagaço de cana de açúcar, como inibidores da corrosão. Especificamente, a lignina extraída a partir pelo método organosolv se desponta como um inibidor verde de elevado potencial econômico, e conjuntamente com os comprovados resultados técnicos, a colocam como uma opção renovável atrativa para substituir os atuais inibidores sintéticos.

PALAVRAS-CHAVE: Materiais Metálicos. Inibidor da corrosão. Lignina. Lignosulfonato. Avaliação econômica

ECONOMIC EVALUATION OF THE PRODUCTION AND USE OF LIGNIN-BASED COMPOUNDS AS RENEWABLE CORROSION INHIBITORS FOR THE FUEL MARKET

ABSTRACT: The economic evaluation of an innovative technology generated during laboratory research represents an important step towards scaling up the process and introducing the resulting product to the market. Several research projects are currently underway that generate products or technologies with the potential to enter the Brazilian and international markets. Among these new products, renewable chemicals obtained from the utilization of industrial waste or by-products stand out. Besides representing cost savings due to the low cost of raw materials, they also have environmental advantages, minimizing impacts on soil, water, air, and ecosystems in general. The renewable products considered in this chapter were lignin and sodium lignosulfonate (SLS), produced from sugarcane bagasse. These products exhibit good adsorption on metallic surfaces, high interaction with the metal's active sites, and are biodegradable, revealing them as potential green corrosion inhibitors. In the economic evaluation, historical and analogical estimation methodologies were applied, using the Industrial Cost Indicators (ICI) of the National Confederation of Industry (CNI) and the estimation of the selling price through markup. The results demonstrate the economic viability of using lignin and LSS, obtained from sugarcane bagasse, as corrosion inhibitors. Specifically, lignin extracted using the organosolv method stands out as a green inhibitor with high economic potential, and together with the proven technical results, positions it as an attractive renewable option to replace current synthetic inhibitors.

KEYWORDS: Metallic materials. Corrosion inhibitor. Lignin. Lignosulfonate. Economic evaluation

INTRODUÇÃO

A sustentabilidade econômica de uma empresa depende de sua capacidade de produzir e oferecer bens ou serviços de forma competitiva. Nesse contexto, a avaliação econômica de tecnologias inovadoras desenvolvidas em laboratório é essencial para o *scale-up* de processos e inserção de novos produtos no mercado.

Entre as pesquisas recentes, destacam-se aquelas voltadas à produção de compostos químicos renováveis para aplicação na indústria de combustíveis e biocombustíveis. Esses produtos, obtidos a partir do aproveitamento de resíduos industriais, como o bagaço de cana-de-açúcar, combinam baixo custo de matéria-prima com benefícios ambientais, alinhando-se ao conceito de Resíduo Zero, que busca minimizar os impactos sobre o solo, a água e o ar (ALIANÇA, 2021).

Entre esses compostos destacam-se a lignina e o lignosulfonato de sódio (LSS), que apresentam potencial como inibidores de corrosão verdes. Estudos realizados no LPIN e no LABEMM (TAPANES, 2020; SANTOS, 2017; OLIVEIRA, 2017; ROCHA, 2019) demonstraram a aplicabilidade desses derivados de lignina como aditivos anticorrosivos e antioxidantes em combustíveis fósseis e misturas com biodiesel.

A corrosão de materiais metálicos representa um problema de grande relevância industrial, com prejuízos econômicos e ambientais significativos. Estima-se que o impacto econômico global anual ultrapasse 2,5 trilhões de dólares, o que corresponde a cerca de 3,4% do PIB mundial (NACE, 2019). Na indústria do petróleo e gás, a corrosão pode comprometer a integridade de equipamentos, gerar riscos ambientais e afetar a imagem corporativa (OLIVEIRA FILHO, 2017).

Entre as medidas de controle, o uso de inibidores de corrosão destaca-se como uma das soluções mais simples e eficazes, capaz de reduzir em até 95% a velocidade das reações corrosivas e prolongar a vida útil dos equipamentos em até cinco vezes (GARCIA, 2013; OLIVEIRA FILHO, 2017). Quando produzidos a partir de matérias-primas renováveis, esses compostos apresentam ainda melhor relação custo-benefício.

O desempenho dos inibidores depende de fatores como a causa da corrosão, as propriedades e condições de aplicação e, principalmente, a viabilidade econômica (GARCIA, 2013). Este último aspecto constitui o foco deste trabalho, considerando que os demais parâmetros já se mostraram tecnicamente satisfatórios em estudos anteriores.

Dessa forma, o presente capítulo tem como objetivo principal avaliar o potencial econômico da lignina e do lignosulfonato de sódio, obtidos do bagaço de cana-de-açúcar, como inibidores de corrosão renováveis. Os objetivos específicos incluem:

- Avaliar economicamente a produção e o uso desses compostos na substituição de inibidores sintéticos;
- Identificar os parâmetros técnicos e econômicos que influenciam a viabilidade;
- Estabelecer uma base metodológica aplicável à avaliação de produtos similares.

INIBIDORES DA CORROSÃO UTILIZADOS ATUALMENTE NOS COMBUSTÍVEIS

O contato dos combustíveis com componentes metálicos de sistemas de transporte e armazenamento pode provocar a corrosão metálica, processo de degradação química ou eletroquímica que compromete a integridade dos equipamentos e gera perdas econômicas e ambientais.

Entre as medidas de prevenção, o uso de inibidores de corrosão destaca-se por ser uma das estratégias mais eficazes e economicamente viáveis. Esses compostos formam uma película protetora sobre a superfície metálica, reduzindo a taxa de corrosão sem alterar as propriedades do material nem interferir nas especificações de qualidade dos combustíveis e lubrificantes (GENTIL, 2011; ANP, 2020).

A produção e o fornecimento desses inibidores no Brasil são dominados por empresas estrangeiras, o que, aliado à desvalorização cambial, eleva significativamente os custos industriais. As formulações comerciais geralmente contêm substâncias tóxicas e de baixa biodegradabilidade, como aminas orgânicas, cromatos, nitritos, fosfatos e sais metálicos, o que limita sua sustentabilidade ambiental.

Os inibidores podem atuar de forma anódica, catódica ou mista, formando barreiras protetoras por adsorção (FRAUCHES-SANTOS, 2014). Na indústria do petróleo, gás e biocombustíveis, utilizam-se preferencialmente inibidores orgânicos de adsorção, ricos em átomos de nitrogênio, oxigênio ou enxofre, que interagem com os sítios ativos do metal e neutralizam a acidez do meio (GARCIA, 2013).

Entre os compostos mais comuns destacam-se aminas, imidazolinas, aldeídos, mercaptanas e ésteres de fosfato (HOLLAUER, 2005). Neste estudo, foram considerados quatro inibidores sintéticos amplamente utilizados, etanolamina, imidazol, anilina e tributilamina, para fins de análise econômica comparativa com o inibidor verde proposto.

BIOMASSAS E SEUS DERIVADOS BASE LIGNINA

Biomassas lignocelulosicas

A biomassa pode ser definida como toda matéria orgânica de origem vegetal ou animal utilizada para a produção de energia (CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 2022). Inclui subprodutos agrícolas, pecuários e florestais. A Agência Internacional de Energias Renováveis (IRENA) estima que cerca de 75% da energia renovável mundial tem origem em biomassas (IRENA, 2022).

Entre as biomassas vegetais, o bagaço de cana-de-açúcar é um dos principais resíduos do setor sucroalcooleiro e o mais abundante no Brasil, maior produtor mundial da matéria-prima. Na safra 2020/21, o país produziu cerca de 654 milhões de toneladas de cana, gerando 196 milhões de toneladas de bagaço (CONAB, 2022). Parte desse

material é usado para geração de energia, fabricação de papel, ração e insumos químicos, restando um excedente superior a 20 milhões de toneladas por ano (NOVACANA, 2013).

O bagaço é uma biomassa lignocelulósica, composta majoritariamente por celulose, hemicelulose e lignina, e apresenta teor elevado desta última, podendo alcançar 32% em massa. Tal característica confere alto potencial para obtenção de derivados lignínicos com valor agregado (SALVE, 2020).

Lignina

A lignina é um polímero aromático tridimensional que atua como elemento de ligação entre a celulose e a hemicelulose, conferindo rigidez às plantas (TOMME, 1995). Sua estrutura é composta por unidades de álcool p-cumarílico, sinapílico e coniferílico, originando as frações p-hidroxifenila (H), siringila (S) e guaiacila (G) (BES, 2019).

- Conforme a biomassa, distinguem-se três tipos principais de lignina:
- Coníferas: predominância de unidades guaiacila;
- Folhosas: teores equilibrados de guaiacila e siringila;

Gramíneas: presença dos três tipos, com predominância de p-hidroxifenila — caso da lignina da cana-de-açúcar (AGUIAR, 2020).

A estrutura e as propriedades da lignina são fortemente influenciadas pelo método de extração empregado (TEJADO, 2007). Os principais processos industriais são:

- Kraft: método mais difundido, utiliza hidróxido e sulfeto de sódio em meio alcalino a altas temperaturas. Possui elevada eficiência energética, mas gera compostos sulfurados e resíduos tóxicos, limitando o uso não energético (ERÔNIMO, 2006).
- Sulfito: promove a sulfonação da lignina com sais de sulfito. O produto contém enxofre e impurezas, demandando purificação e encarecendo o processo (FAN, 2008).
- Polpação alcalina: emprega soluções de NaOH, gerando lignina de alta pureza e baixo teor de enxofre, adequada para aplicações químicas, embora de menor rendimento (MAZIERO, 2012; ORIEZ, 2019).
- Organosolv: utiliza solventes orgânicos (etanol, metanol, glicerol, etc.) sob temperaturas moderadas, permitindo a recuperação de solventes e obtenção de lignina de alta pureza (ZHANG, 2016; RODRIGUES, 2017).

Esses métodos diferem em custo, rendimento e pureza, fatores decisivos na viabilidade de produção e nas aplicações dos derivados lignínicos.

Derivado da lignina: Lignosulfonatos

Os lignosulfonatos (LS) são os derivados de lignina mais produzidos e aplicados industrialmente, com produção global anual estimada em 1 milhão de toneladas (MANSOURI, 2006). São compostos aniónicos, solúveis em água, formados por grupos sulfônicos distribuídos na estrutura polimérica, o que lhes confere caráter surfactante e alta reatividade (BARBOSA, 2018).

São comercializados principalmente como sais de sódio, cálcio, magnésio e amônio, sendo utilizados como dispersantes, plastificantes e redutores de viscosidade em diversos setores, como o de cimento e o de petróleo (DE OLIVEIRA, 2010).

Graças à sua boa adsorção em superfícies metálicas e à biodegradabilidade, os lignosulfonatos vêm sendo estudados como inibidores de corrosão ecológicos (XU, 2017). Sua produção baseia-se na sulfonação da lignina, e a qualidade final depende diretamente da pureza do material de origem. A Figura 1 apresenta a reação genérica da sulfonação da lignina.

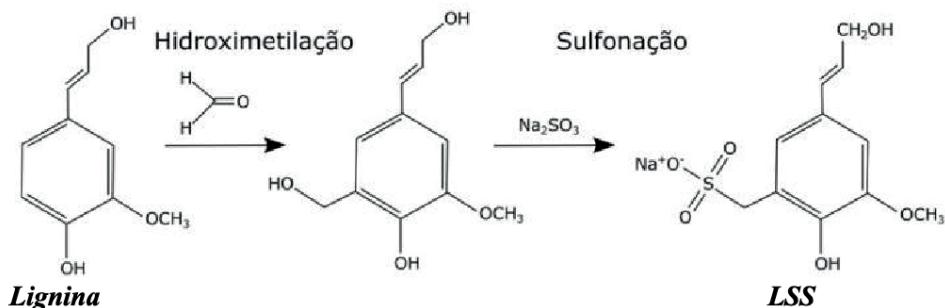


Figura 1 - Reação genérica da sulfonação da lignina

Derivados base lignina como inibidores da corrosão

A aplicação de compostos naturais como “inibidores verdes” tem crescido devido ao potencial das moléculas lignínicas e seus derivados, ricos em grupos fenólicos e heteroátomos capazes de adsorver-se às superfícies metálicas e formar camadas protetoras (MAHMOOD, 2017).

Estudos relatam bons resultados com lignina extraída por diferentes métodos (ALTWAIQ, 2011; AKBARZADEH, 2011; HUSSIN, 2013), demonstrando eficiência de inibição acima de 80% em soluções ácidas e salinas. Pesquisas recentes com lignosulfonato de cálcio indicam desempenho promissor como antioxidante e anticorrosivo em misturas de diesel e biodiesel (SANTOS, 2017; TAPANES, 2020).

De modo geral, os trabalhos apontam que compostos derivados da lignina podem substituir inibidores sintéticos com eficácia técnica comparável e menor impacto ambiental. No entanto, ainda há lacunas na avaliação econômica dessa aplicação, o que motiva o

presente estudo voltado à análise de viabilidade de uso desses inibidores na indústria de combustíveis.

METODOLOGIAS PARA ESTIMATIVA DOS CUSTOS E PREÇOS

Metodologias para estimativa dos custos

As principais metodologias para estimativa dos custos em projetos industriais são: Metodologia de Estimativa histórica; Metodologia do fator de capacidade; Estimativas por analogias e Modelo paramétrico.

A Metodologia de Estimativa histórica utiliza uma série histórica de dados, que podem ser extraídos da literatura, de observações de dados próprios ou de concorrentes. Neste método é obtido um valor de custo estimado por unidade de um determinado produto final (ROVAI, 2004; IBEC, 2022). A Metodologia do fator de capacidade, assim como o das unidades do produto final, requer de uma série histórica de dados, a diferença é que no cálculo é incorporado um fator de capacidade (HUEBER, 2016). A Estimativas por analogias utiliza os custos reais de projetos anteriores similares como base para a estimativa do custo do projeto corrente, sendo necessário que as semelhanças nos projetos sejam elevadas (HUEBER, 2016; WBS, 2000). O Modelo Paramétrico consiste em determinar a função matemática que representa o comportamento dos custos no empreendimento, considerando a relação entre parâmetros preestabelecido com o custo operacional. É um dos métodos mais complexos e caros pois precisa de um estudo que forneça informações suficientes e confiáveis para obter a função matemática, tanto o custo quanto a precisão do modelo (HUEBER, 2016; WBS, 2000).

Comumente para produção e inserção no mercado de novos produtos, a aplicação de um único método não é suficiente para estimar de forma correta os custos, se recomenda o uso interligado de métodos de modo de obter resultados próximos da realidade.

Metodologia CNI para estimativa dos custos

A Confederação Nacional da Indústria (CNI) é a principal entidade representativa do setor industrial brasileiro, responsável por desenvolver metodologias que apoiam a gestão e a competitividade das empresas. Entre essas iniciativas destaca-se a Metodologia CNI para Estimativa dos Custos, baseada no método de estimativas por analogia, que utiliza dados reais de empresas industriais nacionais (Portal CNI, 2025).

A metodologia apoia-se nos Indicadores de Custos Industriais (ICI), criados para monitorar a evolução dos gastos do setor produtivo brasileiro. O ICI é composto por três grandes componentes: custo de produção, custo de capital de giro e custo tributário. Esses indicadores consideram a estrutura de custos da indústria desde 2006, com base

na Pesquisa Industrial Anual (PIA/IBGE), e vêm sendo atualizados trimestralmente pela CNI desde 2014 (CNI, 2024).

O objetivo da publicação é divulgar a evolução dos custos industriais e subsidiar políticas e ações voltadas à competitividade do setor. Em razão das oscilações econômicas provocadas pela pandemia de Covid-19, as publicações estão em revisão metodológica e encontram-se temporariamente suspensas. Por essa razão, neste estudo foram considerados os indicadores de 2014, corrigidos pela edição janeiro–março de 2024, última versão disponível.

Essa metodologia oferece uma base sistematizada e de ampla cobertura nacional, sendo amplamente utilizada na avaliação da competitividade e da viabilidade econômica de novos empreendimentos industriais.

METODOLOGIA CNI PARA ESTIMATIVA DO PREÇO DE VENDA

O preço de venda é um dos principais parâmetros na avaliação econômico-financeira de um empreendimento, pois deve cobrir todos os custos, garantir lucro e manter a competitividade no mercado. Sua definição requer revisão periódica e alinhamento com os objetivos de sustentabilidade e expansão da empresa (RESENDE, 2013; GASPARINI, 2019).

Entre os métodos recomendados pelo SEBRAE para a formação do preço em produtos industriais destacam-se três abordagens: precificação por concorrência, por margem de contribuição e por *markup*.

A precificação por concorrência baseia-se na pesquisa de preços de mercado para produtos similares. É útil quando há histórico de comercialização, mas apresenta limitações por não considerar custos fixos, variáveis ou o lucro pretendido, o que pode gerar distorções, especialmente em empresas de menor porte (EMITTE, 2022).

A precificação por margem de contribuição (MC) permite calcular o preço mínimo de venda capaz de cobrir custos e gerar lucro. A margem é dada pela relação entre o preço de venda (PV) e os custos variáveis. Esse método oferece maior controle financeiro, porém exige informações detalhadas sobre custos e receitas (EMITTE, 2021).

O método do *markup* é o mais utilizado por sua simplicidade e aplicabilidade em diferentes portes de empresa. Baseia-se no custo total de produção, incluindo impostos, despesas fixas e lucro desejado. O fator *markup* incorpora custos fixos, variáveis e margem de lucro, permitindo estimar o preço de forma direta e padronizada (RESENDE, 2013).

Neste capítulo, o método do *markup* foi adotado em conjunto com a estrutura de custos da CNI, possibilitando avaliar a viabilidade econômica e competitividade dos inibidores de corrosão propostos.

ESTUDO DE CASO

O estudo para a avaliação econômica foi dividido em três partes: i) Estimativas das premissas técnicas e monetárias para a produção dos inibidores verdes considerados no estudo, a lignina de bagaço da cana e seu derivado lignosulfonato de sódio, ii) Analise econômica da produção dos inibidores verdes, aplicando os índices ICI da Confederação Nacional da Indústria (CNI) e o método Markup estabelecida para definir preço de venda dos produtos industriais e iii) Comparativo econômico do uso do inibidor verde x inibidores sintéticos comerciais

Premissas técnicas e econômicas para a produção e uso dos inibidores verdes

Foi considerada a lignina extraída do bagaço de cana-de-açúcar, a qual pode ser obtida nas indústrias que processam cana de açúcar e até em estabelecimentos de venda de caldo de cana. O LSS considerado é o produzido a partir da lignina extraída do bagaço de cana mediante as reações de hidroximetilação e sulfonação. As figuras 2, 3 e 4 mostram os processos avaliados Pré- tratamento do bagaço bruto, a Extração da lignina e a produção de LSS por Hidroximetilação e sulfonação da lignina. O pré-tratamento no bagaço de cana tem como objetivo a abertura das fibras e retirada dos açúcares que ainda poderiam estar impregnados.

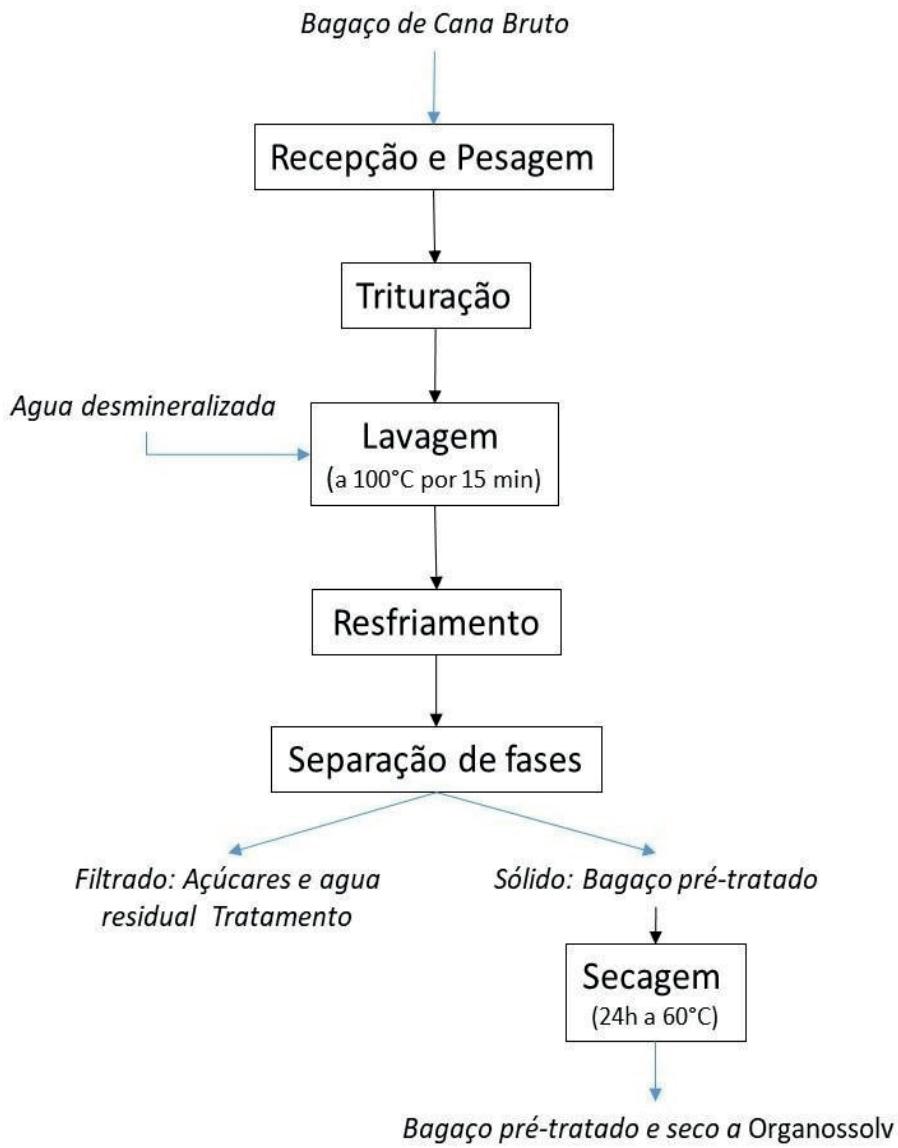


Figura 2 - Pré-tratamento do bagaço bruto

Fonte: O autor, 2021

Para a extração de lignina foi selecionado o método organossolv. A escolha do etanol como solvente é atribuída à alta razão de deslignificação, o baixo custo de aquisição e a elevada disponibilidade no país.

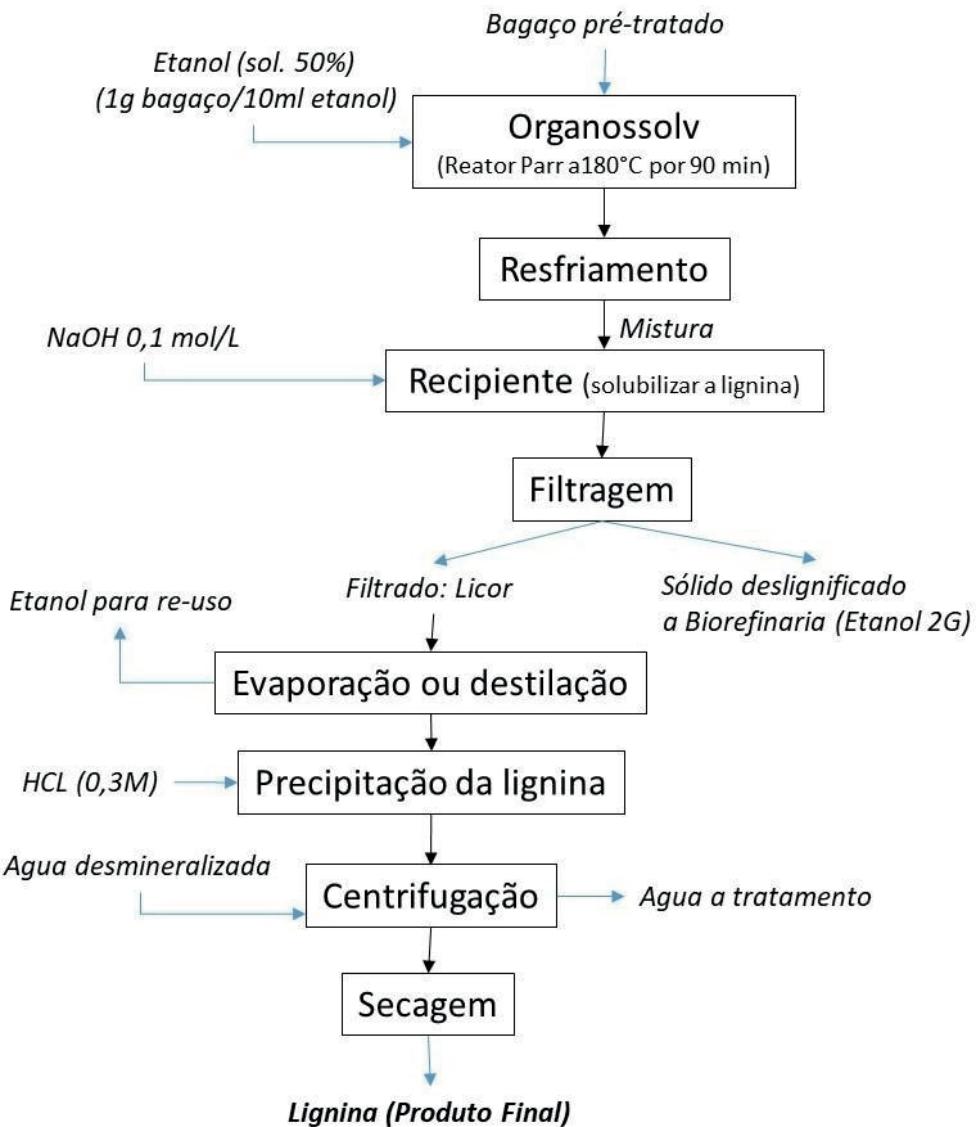


Figura 3 - Extração da lignina

Fonte: O autor, 2021

Com base nas tecnologias definidas a Tabela 1 expõe as premissas que caracterizam o pré-tratamento do bagaço de cana e a extração da lignina relacionadas aos custos de Matérias primas e componentes.

Premissa	Unidade	Valor
Pré-tratamento do bagaço de cana:		
Bagaço de Cana Bruto	Ton.	1
Preço do Bagaço de Cana Bruto	R\$/t	200
Extração de lignina:		
Etanol (sol. 50%)	L/kg bagaço	10
Recuperação do Etanol	Vezes	10
NaOH 0,1 mol/L ou 4 g/l	%	1-3%
Licor negro (após recuperação do etanol)	L de licor negro/kg bagaço	5
Sol. HCL 0,3 mol/l (ou 10,95 g/l)	L sol. ácida/L licor negro	2
	L sol. ácida/kg bagaço	10
Água desmineralizada	Kg/kg bagaço	20
Densidade da água	kg/m ³	1000
Densidade da lignina	Kg/m ³	1500
Teor de lignina do bagaço de cana bruto	%	30
Rendimento do processo (pré-trat.+extraç.)	%	75
Rendimento real do processo de produção	% lignina/bagaço	22,5%
Preço do Etanol	R\$/l	11
Preço do NaOH microperolas ACS reagente, ≥97,0%	R\$/kg	178
Preço HCL ACS 37%	R\$/L	10,93
Preço da água desmineralizada	R\$/m ³	

Tabela 1 - Premissas técnicas utilizadas no processo de produção da lignina relativas aos custos de Matérias primas e componentes

Para a produção de LSS, a tecnologia avaliada baseou-se na solubilização da lignina, seguida pela pre-óxidação, hidroximetilação e posterior sulfonação. A Tabela 2 expõe as premissas técnicas e econômicas utilizadas para a avaliação econômica das etapas de Hidroximetilação e sulfonação da lignina. Observa-se que todas as premissas podem ser expressadas por kg de bagaço processado, considerando que o rendimento real da extração de lignina a partir do bagaço de cana bruto foi de 22,5% m/m.

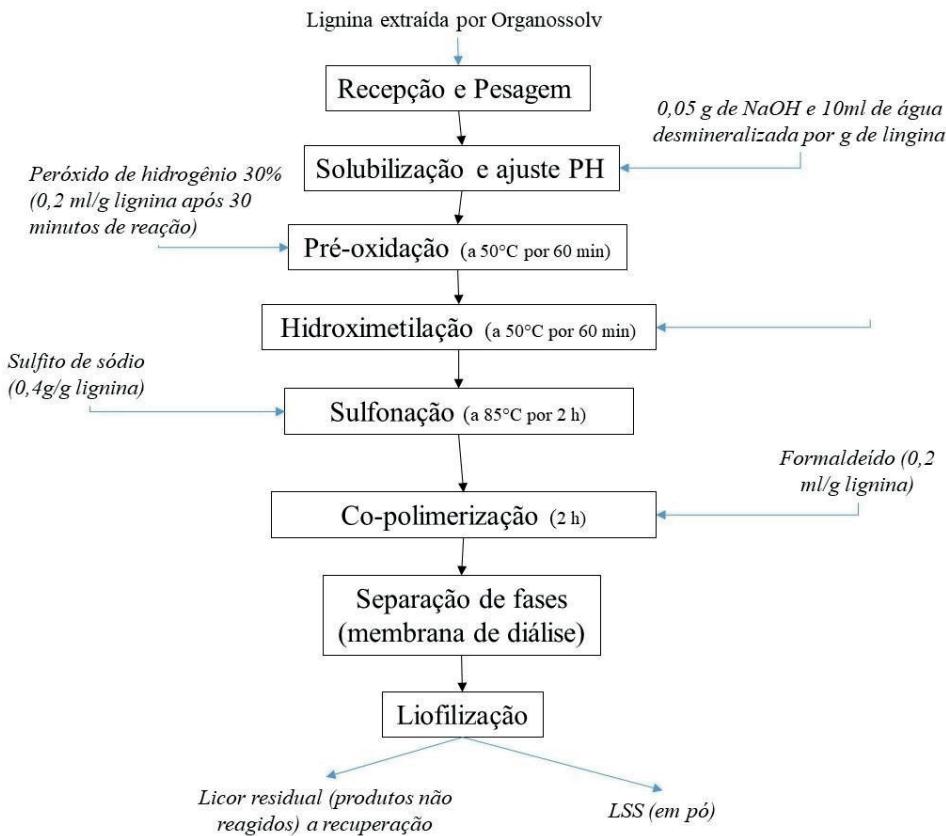


Figura 4 - Hidroximetilação e sulfonação da lignina

Premissa	Unidade	Valor
Lignina extraída (final da etapa B)	kg/kg bagaço	0,225
Água desmineralizada	l/kg de lignina	10
NaOH microporosas ACS reagente, ≥97.0%	l/kg de bagaço	2,25
	kg/kg lignina	0,05
Peróxido de hidrogênio 30% v/v	kg/kg bagaço	0,0112
	l/kg de lignina	0,2
Formaldeído 37%	l/kg de bagaço	0,045
	l/kg de lignina	0,5
Sulfito de sódio (Na SO ₃)	l/kg de bagaço	0,1125
	kg/kg de lignina	0,4
23kg/kg bagaço		0,09
Rendimento da hidroximetilação+ sulfonação	%	95%
Densidade LSS	Kg/m ³	500 (ACS, 2022)

Preço do peróxido de hidrogênio	30%R\$/L	22,31
Preço formaldeído	37%R\$/L	11,29
Preço de Sulfito de sódio (Na ₂ SO ₃)	R\$/kg	30,14

Tabela 2 - Dados dos Inibidores da corrosão sintéticos tomados como premissas no estudo econômico

RESULTADOS

A Figura 5 mostra uma análise comparativa entre os componentes dos custos operacionais observando-se que o preço da matéria prima (bagaço) só representa o 0,99% do custo total, resultado lógico se tratando de um resíduo industrial. Na maioria dos processos produtivos o uso

de uma matéria prima influencia significativamente no custo total. Comumente para a fabricação de químicos não renováveis, o custo da matéria prima representa entre 50 e 70% do custo total de produção, e é neste sentido que a Associação Mundial de Contadores e Profissionais Financeiros em Negócios (Institute of Management Accountants, IMA) definem as matérias primas de um

processo como as commodities do empreendimento (Sindhuja,2021). Ou seja, reduzir o custo dessas commodities são a chave para conseguir um empreendimento viável. Desta forma, o uso

de um resíduo lignocelulósico para produzir um composto capaz de substituir um químico sintético, já representa um avanço em direção a um empreendimento atrativo, econômica e ambientalmente.

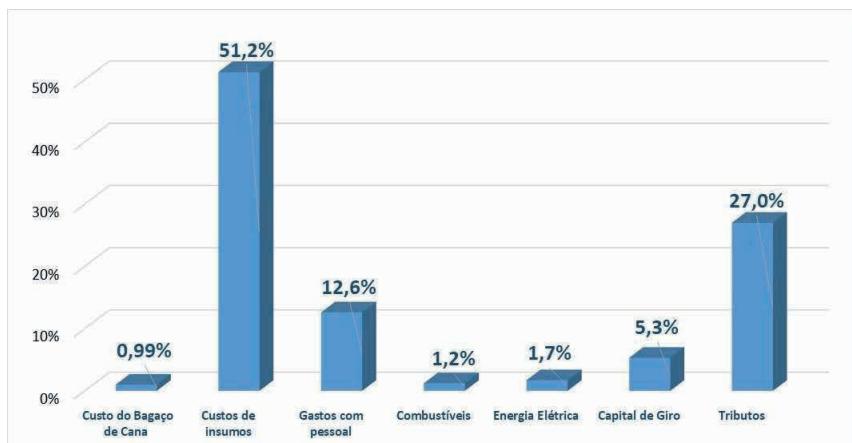


Figura 5. Gráfico de custos individuais sobre o custo total na produção de lignina a partir de bagaço de cana

Fonte: O autor, 2021

Na figura 5 também se observa que os gastos em insumos, seguido pelos tributos e os gastos com pessoal representam o 90,8% do custo de produção. Especificamente o valor dos tributos chama a atenção, pois representa o segundo componente de maior valor percentual no gráfico.

Resultado coerente se considerarmos que a carga tributária brasileira é elevada. O relatório “Estatísticas Tributárias na América Latina e Caribe 2021” mostra que a carga tributária no Brasil representa 33,1% do PIB, valor que o posiciona como o terceiro país com maiores gastos em tributos, só inferior a Cuba e a Barbados (OECD, 2021).

Este resultado, mostrado na Figura 5, poderia até desestimular um investidor a implantar um empreendimento deste tipo no Brasil, no entanto é importante destacar que a estimativa dos tributos realizada neste estudo não considerou isenções. As isenções dos tributos é condição que pode acontecer quando a produção é realizada a partir de matérias-primas renováveis, como neste estudo.

É sobre esta base ambiental que tem sido possível o crescimento acelerado da grande maioria das indústrias da área das energias renováveis. A isenção de tributos por este conceito tem trazido a possibilidade de diversos investidores do mundo implantar seus empreendimentos no Brasil, tais como as produtoras de biodiesel (BIODIESELBR, 2022), bioetanol (União Nacional da Bioenergia, 2022), biogás (GOLDBERG, 2022) e mais recentemente bioquerosene (MACHADO, 2021).

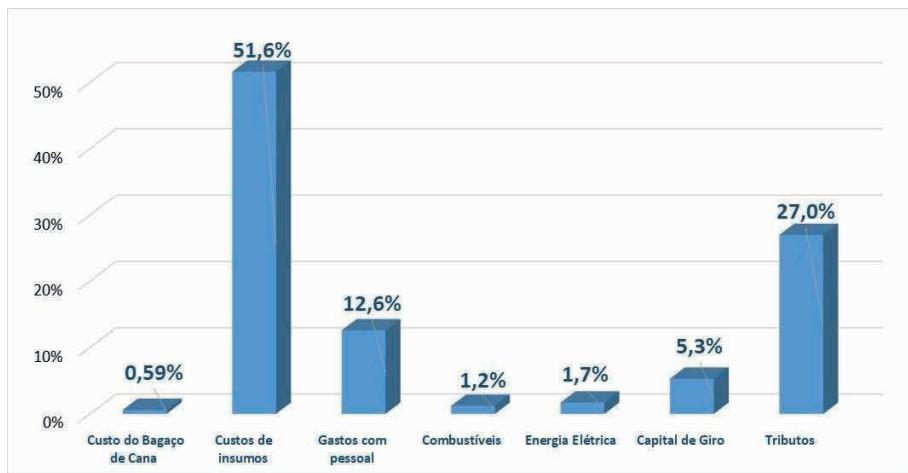


Figura 6. Gráfico de custos individuais sobre o custo total na produção de LSS a partir de bagaço de cana

Fonte: O autor, 2021

A Figura 6 mostra uma análise comparativa entre os componentes dos custos operacionais da produção de LSS a partir do bagaço de cana. Similar aos resultados obtidos nas estimativas de produção de lignina, na Figura 6 é possível observar que o

preço da matéria prima (bagaço) possui pouca influência sobre o custo total (0,59%). E analogamente os gastos operacionais recaem sobre os insumos, os tributos e gastos com pessoal, os quais representam 91,2% do custo de produção.

Os resultados da estimativa do PVV da lignina e do LSS produzido são expostos na Tabela 3. Seguindo o método markup para definir o valor da venda, os resultados mostram preços de 170,58 e 284,18 R\$/kg do produto respectivamente.

Item	Lignina	LSS
Custo da mercadoria vendida	89,85 R\$/kg lignina	149,68 R\$/kg LSS
% impostos	29,33%	29,33%
%Comissões	3,00%	3,00%
%CF	0%	0%
% Lucro	15,00%	15,00%
Σ %	47,33%	47,33%
PVV	170,58 R\$/kg lignina	284,18 R\$/kg LSS

Tabela 3- Estimativas do Preço de venda à vista (PVV) da Lignina e do LSS

Comparativo de preços da lignina e o LSS: estimados x comercializados

Os preços de venda obtidos neste estudo foram de R\$ 170,58/kg para a lignina e R\$ 284,18/kg para o lignosulfonato de sódio (LSS), representando os valores mínimos recomendados segundo o método de precificação adotado.

Quando comparados aos preços praticados por empresas que comercializam produtos de qualidade semelhante no Brasil, como Sigma-Aldrich/Merck, Domsjö Fabriker, Aboissa e LignoStar Group BV, observa-se que os valores de mercado variam amplamente entre R\$ 400 e R\$ 2.500/kg, podendo ser de 3 a 10 vezes superiores aos calculados neste estudo.

Essa diferença evidencia uma margem econômica favorável, indicando que o processo proposto apresenta alto potencial de rentabilidade e competitividade para futuros investidores.

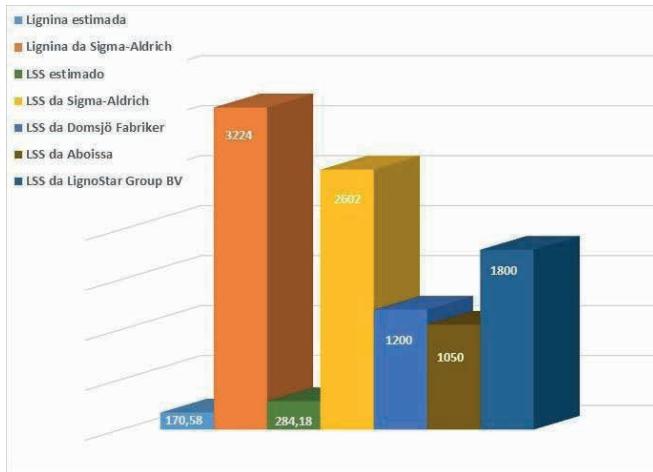


Tabela 3- Estimativas do Preço de venda à vista (PVV) da Lignina e do LSS

O Gasto Evitado foi utilizado como indicador econômico para comparar o uso de inibidores verdes e sintéticos, representando a diferença de custo entre ambos. Considerando concentrações equivalentes de aplicação, os preços estimados da lignina e do LSS mostraram- se significativamente inferiores aos dos inibidores comerciais avaliados.

Os resultados indicaram um gasto evitado de R\$ 211/kg e R\$ 1.277,27/kg ao substituir a etanolamina e o imidazol pela lignina, respectivamente. Para o LSS, os valores foram de R\$ 154,82/kg e R\$ 1.220,82/kg. Essas diferenças expressivas demonstram o forte potencial econômico dos inibidores renováveis, atribuído principalmente ao baixo custo da matéria-prima

— o bagaço de cana-de-açúcar —, que representa menos de 1% do custo total de produção.

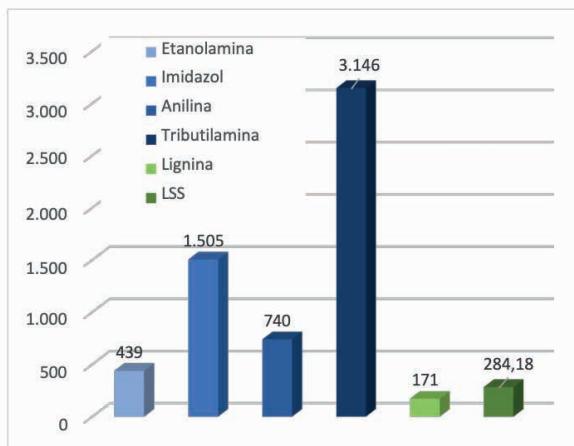


Figura 7. Gráfico de preços dos inibidores comerciais e os preços da lignina e o LSS estimados no estudo (R\$/kg)

Fonte: O autor, 2021

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos confirmam a viabilidade econômica do uso da lignina e do lignosulfonato de sódio (LSS), obtidos a partir do bagaço de cana-de-açúcar, como inibidores de corrosão renováveis. O aproveitamento desse resíduo biomássico reduziu significativamente o custo de produção, representando apenas 0,99% e 0,59% do custo total da lignina e do LSS, respectivamente.

As variáveis custo dos insumos e tributos mostraram-se fatores críticos para a viabilidade econômica, sendo necessário monitoramento especial sobre incentivos fiscais voltados a matérias-primas renováveis. A combinação das metodologias de Estimativa Histórica, Estimativa por Analogia e Precificação pelo *Markup* mostrou-se eficiente, fornecendo uma base de dados inédita para análises futuras.

O comparativo com inibidores sintéticos evidenciou uma ampla vantagem dos inibidores verdes: o gasto evitado variou entre R\$ 154,82 e R\$ 1.277,27/kg, reforçando seu potencial competitivo no mercado.

Assim, os inibidores avaliados destacam-se por seu baixo custo, caráter sustentável e elevado potencial de aplicação industrial, especialmente a lignina obtida pelo método organosolv, que se mostrou promissora para substituir compostos sintéticos.

Embora este estudo não contemple custos de investimento em infraestrutura ou financiamento, seus resultados apontam um forte potencial de mercado e podem servir de base para futuras análises logísticas e de implantação industrial desses inibidores verdes no Brasil.

REFERÊNCIAS

ABOISSA. *Lignosulfonato de sódio*. 2022. Disponível em: <https://www.aboissa.com.br/pt/industrias/produtos/lignosulfonato-de-sodio>. Acesso em: 29 out. 2025.

AGUIAR, N. V. V.; VIEIRA, R. M.; MATOS, A. P.; FORIM, M. R. Extração e caracterização da lignina da palha do milho (*Zea mays* L.). *Revista Virtual de Química*, v. 12, n. 6, 2020. Disponível em: <http://static.saq.org.br/rvq.saq.org.br/pdf/RVq150920-a1.pdf>. Acesso em: 29 out. 2025.

AKBARZADEH, E. *The lignin of oil palm as green corrosion inhibitor of steel: a comprehensive study on native soda and kraft lignin*. Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing, 2011. 136 p.

ALIANÇA RESÍDUO ZERO BRASIL. *Aliança Resíduo Zero Brasil*. Disponível em: <https://polis.org.br/dissertacao/alianca-residuo-zero/>. Acesso em: maio 2021.

ALTWAIQ, A. M. 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.

AMERICAN CHEMICAL SOCIETY. *Sodium lignosulfonate*. 2022. Disponível em: https://commonchemistry.cas.org/detail?cas_rn=8061-51-6. Acesso em: 29 out. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). *Qualidade de produtos 2020*. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/qualidade-de-produtos>. Acesso em: 29 out. 2025.

BARBOSA, J. V. L. *Influência do lignosulfonato de sódio no processo de inibição de corrosão em meio ácido sobre aço 304L*. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/39239/3/2018_tcc_jvlbarbosa.pdf.

BES, K. et al. Extração e caracterização da lignina proveniente do pré-tratamento de biomassa para produção de etanol de 2^a geração. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 24, n. 1, p. 55–60, fev. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522019156352>.

BIODIESELBR. *Lista de usinas de biodiesel do Brasil por região*. 2022. Disponível em: https://www.biodieselbr.com/usinas_brasil/regioes. Acesso em: 29 out. 2025.

CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS. *Biomass*. Disponível em: <https://dictionary.cambridge.org/pt/dicionario/ingles/biomass>. Acesso em: 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). *Metodologia: Indicador de Custos Industriais*. Brasília, 2014. 20 p. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/28/61/28612008-192c-4c3d-a493-1897f47af715/indicadoresdecustosindustriais_metodologia_verso_1_1.pdf.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). *Indicador de Custos Industriais – Estatísticas*. 2024. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/estatisticas/indicador-de-custos-industriais/>. Acesso em: 29 out. 2025.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). *Série histórica das safras*. Brasília, 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>. Acesso em: 22 jul. 2022.

DE OLIVEIRA, F. *Lignosulfonato de sódio como agente de modificação da superfície de fibras lignocelulósicas e da formulação de termorrígido fenólico*. 2010. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, Universidade de São Carlos, São Carlos, 2010.

DOMSJÖ FABRIKER. *Produtos químicos industriais*. 2022. Disponível em: <https://www.lumasquimicos.com.br/distribuicoes/domsjoj/>. Acesso em: 29 out. 2025.

EMITTE. *Precificação de produtos: conheça 4 métodos e dicas para fazer*. 2021. Disponível em: <https://blog.emitte.com.br/precificacao-de-produtos/>. Acesso em: 29 out. 2025.

ERÔNIMO, L. H.; FOELKEL, C. E. B.; FRIZZO, S. M. B. Anthraquinone addition in the alkaline pulping of *Eucalyptus saligna*. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 10, n. 2, p. 31–37, 2006.

FAN, J.; ZHAN, H. Optimization of synthesis of spherical lignosulfonate resin and its structure characterization. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, v. 16, n. 3, p. 407–410, 2008.

FRAUCHES-SANTOS, C.; ALBUQUERQUE, M. A.; OLIVEIRA, M. C. C.; ECHEVARRIA, A. A. Acorrosão e os agentes anticorrosivos. *Revista Virtual de Química*, v. 6, n. 2, p. 293–309, 2014.

GARCIA, L. P.; SANTOS, A. R. Aplicação de inibidores de corrosão na indústria de petróleo e gás. *Unisanta Science and Technology*, p. 19–23, 2013.

GASPARINI, A. *4 métodos para definir o preço de venda*. 2019. Disponível em: <https://clubedocomprador.com.br/metodos-para-definir-o-preco-de-venda/>. Acesso em: 29 out. 2025.

GENTIL, V. *Corrosão*. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

HOLLAUER, E.; CARDOSO, et al. Avaliação de indicadores de uso diversos como inibidores de corrosão. *Química Nova*, v. 28, p. 756, 2005.

HUSSIN, M. H. et al. Physicochemical characterization of alkaline and ethanol organosolv lignins from oil palm (*Elaeis guineensis*) fronds as phenol substitutes for green material applications. *Industrial Crops and Products*, v. 49, p. 23–32, 2013.

HUÉBER, C.; HOREJSI, K.; SCHLEDJEWSKI, R. Review of cost estimation: methods and models for aerospace composite manufacturing. *Advanced Manufacturing: Polymer & Composites Science*, v. 2, n. 1,p. 1–13, 2016. Disponível em: <https://iom3.tandfonline.com/loi/yadm20>.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). *Renewable Energy Statistics 2022*. Abu Dhabi: IRENA, 2022. ISBN 978-92-9260-446-2. Disponível em: <https://irena.org/publications/2022/Jul/Renewable-Energy-Statistics-2022>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE CUSTOS (IBEC). *Conheça 6 metodologias de estimativa de custos para engenharia*. 2022. Disponível em: <https://ibecensino.org.br/conheca-6-metodologias-de-estimativa-de-custos-para-engenharia/>. Acesso em: 29 out. 2025.

LIGNOSTAR GROUP BV. *Our products: lignosulfonates*. 2022. Disponível em: <https://www.lignostar.com/en/our-products/lignosulfonates/>. Acesso em: 29 out. 2025.

MACHADO, N. *Brasil tem potencial para produzir até 9 bilhões de litros de bioquerosene a partir de resíduos*. 2021. Disponível em: <https://epbr.com.br/brasil-tem-potencial-para-produzir-ate-9-bilhoes-de-litros-de-bioquerosene-a-partir-de-residuos/>. Acesso em: 29 out. 2025.

MAHMOOD, Z. et al. *Lignin: trends and applications*. Capítulo: “Lignin as natural antioxidant capacity.” 2017. DOI: 10.5772/intechopen.73284.

MANSOURI, L.; SALVADÓ, N.-E. 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, jul. 2006.

MAZIERO, P. et al. Structural features of lignin obtained at different alkaline oxidation conditions from sugarcane bagasse. *Industrial Crops and Products*, v. 35, p. 61, 2012.

NACE INTERNATIONAL. *Impact breaks new ground in the study of corrosion management*. 2021. Disponível em: <http://impact.nace.org/>. Acesso em: abr. 2021.

NOVACANA. *Disponibilidade de bagaço e palha para os processos de hidrólise*. 2013. Disponível em: <https://www.novacana.com/estudos/disponibilidade-bagaco-palha-para-processos-hidrolise-241013>. Acesso em: 2022.

OLIVEIRA, A. S. M.; TAPANES, N. L. C. O.; ARANDA, D. A. G. Influência do enxofre e da insaturação de amostras de diesel na corrosão de um aço microligado. In: *XXI Simpósio Brasileiro de Eletroquímica e Eletroanalítica*, 2017, Natal. Anais... Natal: Galoá, 2017.

OLIVEIRA FILHO, J. A.; MARTINS, C. A.; PANOSSIAN, Z. Inibidores de corrosão: confiabilidade e redução de custos. *Revista Corrosão & Proteção*, v. 4, n. 14, p. 9–12, 2017.

ORIEZ, V. et al. Sugarcane bagasse mild alkaline fractionation and production of purified fractions by pulse chromatography with water. *Industrial Crops and Products*, v. 125, p. 370–378, 2018. DOI: 10.1016/j.indcrop.2018.09.019.

PORTAL CNI. *Confederação Nacional da Indústria*. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/cni/>. Acesso em: 29 out. 2025.

RESENDE, J. F. B. *Como elaborar o preço de venda*. Belo Horizonte: SEBRAE/MG, 2013. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/MT/BIS/como%20formar%20o%20pre%C3%A7o%20de%20venda.pdf>.

ROCHA, S. M. et al. Corrosão: causas e soluções no âmbito da bioeconomia. In: *16ª Semana Nacional de Ciência e Tecnologia da Zona Oeste*, 2019, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: UEZO, 2019.

RODRIGUES, D. S.; GAMBETTA, R. *Processo Organosolv para fracionamento de biomassa lignocelulósica*. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2017. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1085326/1/DOC25CNPAE.pdf>.

ROVAI, R. L.; SILVA, M. M.; CAMPANÁRIO, M. A. Metodologias de estimativa de prazos, custos e orçamentos em projetos de T.I. In: *1º CONTECSI – Congresso Internacional de Gestão de Tecnologia e Sistemas de Informação*, 21–23 jun. 2004, São Paulo. Anais... São Paulo: USP, 2004.

SALVE, A. P. *Métodos de extração e aproveitamento da lignina proveniente de biomassa vegetal*. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia) – Universidade Federal de São Carlos, 2020. Disponível em: https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/13702/TG-Ana%20Paula%20Salve_final.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 2022.

SANTOS, A. A.; TAPANES, N. L. C. O.; SOLER, P. B. et al. Aditivo anticorrosivo e antioxidante para a indústria naval obtido a partir do bagaço de cana. In: *XXI Simpósio Brasileiro de Eletroquímica e Eletroanalítica*, 2017, Natal. Anais... Natal: Galoá, 2017.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS (SEBRAE). *Custos e preço de venda na indústria*. 2019. Disponível em: https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ufs/ap/artigos/custos-e-preco-de-venda-na-industria_6ba6164ce51b9410VgnVCM1000003b74010aRCRD. Acesso em: 29 out. 2025.

SINDHUJA, S. *Cost: elements, nature and types industry*. 2021. Disponível em: <https://www.businessmanagementideas.com/cost-accounting/cost-elements-nature-and-types-industry/10483>. Acesso em: 29 out. 2025.

TAPANES, N. C. O. et al. Anticorrosive for the use of microalloyed steel in contact with high sulfur diesel in maritime vessels. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 6, p. 36929–36949, 2020.

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

UNIÃO NACIONAL DA BIOENERGIA. ANP espera sete novas usinas de etanol em 2022; no total, 23 estão em construção. 2022. Disponível em: <https://www.udop.com.br/noticia/2022/03/08/np-espera-sete-novas-usinas-de-etanol-em-2022-no-total-23-estao-em-construcao.html>. Acesso em: 29 out. 2025.

WBS. Corpo do Conhecimento em Gerência de Projetos (PMBOK®). Capítulo 7.2. Estimativas dos Custos. Disponível em: https://www.cin.ufpe.br/~if717/Pmbok2000/pmbok_v2p/wsp_7.2.html

XU, C.; FERDOSIAN, F. *Conversion of lignin into bio-based chemicals and materials*. Springer, 2017.

YARA BRASIL. Produção Mundial de Cana-de-Açúcar. Disponível em: <https://www.yarabrasil.com.br/conteudo-agronomico/blog/producao-mundial-de-cana-de-acucar/>. Acesso em: 2020.

ZHANG, K.; PEI, Z.; WANG, D. Organic solvent pretreatment of lignocellulosic biomass for biofuels and biochemicals: a review. *Bioresource Technology*, Oxon, v. 199, p. 21–33, 2016.