

DÉBORA KYRA DOS SANTOS OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE SUPORTES DE CATALISADORES À
BASE DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR PARA A
ELETROCATÁLISE DE ESPÉCIES DO CICLO DO NITROGÊNIO.**

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós- Graduação em
Química do Instituto de Química,
UNESP, Araraquara-SP, como parte
dos requisitos para obtenção do
título de Mestre em Química.

Orientador: Prof. Dr. Denis Ricardo
Martins de Godoi

Araraquara

2024

O48d	Oliveira, Débora Kyra dos Santos Desenvolvimento de suportes catalisadores a base do bagaço da cana-de-açúcar para eletrocatalise de espécies do ciclo no nitrogênio / Débora Kyra dos Santos Oliveira. -- Araraquara, 2024 90 f. : il. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Química, Araraquara Orientador: Denis Ricardo Martins de Godoi 1. Nitritos. 2. Eletroquímica. 3. Platina. 4. Bagaço de cana. 5. Impacto ambiental. I. Título.
------	---

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Espera-se que os eletrocatalisadores suportados em materiais à base do bagaço de cana-de-açúcar desponham na redução de compostos nitrogenados, nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-), por ser um material de fácil síntese e ambientalmente sustentável.

Espera-se, que esses materiais modificados com platina, possam apresentar características diferentes e melhoradas por meio de uma interação metal-suporte da platina e com os grupos funcionais do bagaço da cana-de-açúcar.

Espera-se obter do bagaço da cana-de-açúcar um suporte que apresente características promissoras comparado aos outros materiais à base de carbono, proporcionando por meio dos grupos funcionais um material seletivo e capaz para novas aplicações na área da eletroquímica.

POTENCIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

It is hoped that the electrocatalysts supported on sugarcane bagasse-based materials will excel in the reduction of nitrogen compounds, nitrite (NO_2^-) and nitrate (NO_3^-), as they are easy to synthesize and environmentally sustainable.

It is hoped that these platinum-modified materials can present different and improved characteristics through a metal-support interaction of platinum and with the functional groups of sugarcane bagasse.

We hope to obtain support from sugarcane bagasse that has promising characteristics compared to other carbon-based materials, providing a selective and capable material for new applications in the field of electrochemistry.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: "Desenvolvimento de suportes de catalisadores à base de bagaço de cana-de-açúcar para a eletrocatalise de espécies do ciclo do nitrogênio"

AUTORA: DÉBORA KYRA DOS SANTOS OLIVEIRA

ORIENTADOR: DENIS RICARDO MARTINS DE GODOI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Química, pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. DENIS RICARDO MARTINS DE GODOI (Participação Presencial)
Departamento de Química Analítica, Físico-Química e Inorgânica / Instituto de Química - UNESP - Araraquara

Prof. Dr. ANDRÉ HENRIQUE BARALDI DOURADO (Participação Presencial)
Departamento de Química Analítica, Físico-Química e Inorgânica / Instituto de Química - UNESP - Araraquara

Profª Drª JOELMA PEREZ (Participação Presencial)
Departamento de Físico Química / Instituto de Química - USP - São Carlos

Araraquara, 22 de novembro de 2024

DADOS CURRICULARES

IDENTIFICAÇÃO

Nome: Débora Kyra dos Santos Oliveira

Nome em citações bibliográficas: Oliveira, D. K.S

Nascimento: 12/04/1994

Nacionalidade: Brasileira

Naturalidade: Limeira, SP

FORMAÇÃO ACADÊMICA

2011-2012	Técnica em Farmácia. Centro de Educação e Tecnologia – (CETEC)
2018 – 2021	Graduação em licenciatura em Química. Universidade Paulista (UNIP)
2021-2024	Mestrado em Química. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) – Instituto de Química.

PRODUÇÃO BIBLIOGRÁFICA

- de Almeida, S. G. C. Silva, V. T. F.; Souza, J. P. Prado, C. D. Oliveira, D. K. S. Silva, D. D. V. Dussán, K. J. Methods for Hemicellulose Deconstruction Aiming to Xylose Recovery: Recent Progress and Future Perspectives. In: de Almeida Felipe, M.d.G. Chandel, A.K. (Org.). Current Advances in Biotechnological Production of Xylitol. 1 ed., 2022, v. 1, p. 1-31. https://doi.org/10.1007/978-3-031-04942-2_1

PARTICIPAÇÃO EM EVENTOS CIENTÍFICOS

- Participação como apresentação de pôster no XXII Simpósio Brasileiro de pesquisa em materiais (SBM), realizado nos dias 29 de setembro a 3 de outubro de 2024 no centro de convenções, em Santos, São Paulo, Brasil. A intitulação do trabalho apresentado foi sobre o tema: Desenvolvimento de Suportes de Catalisadores a base de Bagaço de Cana-de-Açúcar para a eletrocatalise de espécies do ciclo do nitrogênio.
- 1^o Escola de Inverno em Química – Escola de Inverno IQ/UNESP: Energia Renovável e Desenvolvimento Sustentável, realizado nos dias 23 a 26 de julho de 2024 no Centro de ciências de Araraquara (CCA).
- Curso de Comunicação e Escrita Científica. Ministrado por Prof. Dr. Osvaldo Novais Oliveira Junior. ACS Publications, apresentado nos dias 06, 13 e 20 de outubro de 2022 por transmissão online, totalizando carga horária de 4h30.

AGRADECIMENTOS

Sou imensamente grata a Deus por tudo quanto tens feito em minha vida, confesso que sem Deus eu não teria forças para caminhar e continuar seguindo perante essa linda e gratificante jornada.

Agradeço ao meu esposo Jefferson por todo seu apoio motivacional, sou grata por sua vida.

Sou muito grata, por ter dois filhos lindos, Rebecca e Matheus, meus filhos e minha família é o que me mantém firme e por eles eu continuo em frente, e vou até o fim.

Agradeço aos meus pais, Maria e Marcos, minhas irmãs Rosane e Mariane, que sempre me apoiaram, me incentivaram e independente de tudo, sempre me lembram de que sou capaz de alcançar os meus sonhos e objetivos, sou imensamente grata, pois sempre que precisei eu pude contar com vocês, principalmente nos momentos mais difíceis.

Sou grata ao professor Dr. Denis Ricardo Martins de Godoi, que despertou através de sua excelente pessoa, que tudo pode ser mais leve quando temos harmonia e união para realizar a pesquisa com amor, e se não fosse por você, eu jamais teria chegado até aqui, me aceitou em seu grupo de pesquisa com todo carinho e me fez acreditar que eu conseguiria realizar através da minha capacidade o meu sonho, te agradeço muito pela sua orientação, ensinamentos e por todo seu apoio.

Agradeço as contribuições do professor Dr. André Henrique Baraldi Dourado, sou muito grata a você, te agradeço por todo seu apoio.

Agradeço ao professor Dr. Rodrigo Fernando Costa Marques e o Laboratório de Materiais Magnéticos e Coloides, pela sua contribuição com os equipamentos que foram utilizados no decorrer desta pesquisa, agradeço de coração, toda ajuda e principalmente a contribuição de todos os alunos do grupo. E a todos os professores que fizeram parte desta trajetória.

Agradeço aos meus amigos internos de laboratório e fora do laboratório que fizeram com que o fardo ficasse mais leve, trazendo alegria, apoio, e conhecimentos para o desenvolver dessa pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) Código de Financiamento 001. Processo N. 88887650499/2021-00.

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro para a realização deste trabalho: Processo N. 2019/22183-6.

“Plant, prepare the soil with care, sow with gentleness,
water with devotion,
protect with love, and feel happy doing it all,
because in this life the harvest won't always be yours,
but the action of planting itself is the real good,
is the real good”
(Augusto Branco)

RESUMO

A presença de nitrito e nitrato em ecossistemas aquáticos e terrestres causa danos ambientais e se tornou um problema global que exige soluções imediatas e eficientes. Diante disso, foram propostos novos materiais que podem reduzir esses contaminantes no meio ambiente. Este trabalho teve como objetivo sintetizar e caracterizar suportes de catalisadores baseados em bagaço de cana-de-açúcar para uso na eletrocatalise de espécies do ciclo do nitrogênio. Os suportes foram obtidos pela calcinação de uma amostra de bagaço de cana-de-açúcar previamente lavada e seca sob atmosfera controlada e diferentes condições de temperatura. Os suportes preparados foram modificados com platina metálica usando o método “shake & bake” para obter os catalisadores finais. Os materiais foram caracterizados por análise térmica (TG-DTA/DSC), difração de raios X (XRD), espectroscopia de fotoelétrons de raios X (XPS) e espectroscopias FTIR, ressonância magnética nuclear RMN de Carbono-13, Raman e microscopia eletrônica de varredura (MEV). A caracterização eletroquímica geral dos materiais e sua atividade catalítica para reações de eletroredução de nitrito e nitrato foram avaliadas usando técnicas convencionais (CV, CA, RDE) em soluções aquosas ácidas. Os resultados mostraram que os suportes à base de bagaço de cana-de-açúcar apresentam excelente condutividade e atividades catalíticas para as reações estudadas. Esse trabalho contribuiu para o desenvolvimento de materiais eficientes e de baixo custo para a eletrodegradação dessas espécies, que podem ser aplicados no campo da remediação ambiental eletroquímica.

Palavras chaves: Redução de Nitrito; nitrato; eletroquímica, nanopartículas de Pt e Bagaço da cana-de-açúcar.

ABSTRACT

The presence of nitrite and nitrate in aquatic and terrestrial ecosystems causes environmental damage and has become a global problem that requires immediate and efficient solutions. Given this, new materials that can reduce these contaminants in the environment have been proposed. This work aimed to synthesize and characterize catalyst supports based on sugar cane bagasse for use in the electrocatalysis of nitrogen cycle species. The supports were obtained by calcining a previously washed and dried sugarcane bagasse sample under controlled atmosphere and different temperature conditions. The supports prepared were modified with metallic platinum using the "shake & bake" method to obtain the final catalysts. The materials were characterized by thermal analysis (TG-DTA/DSC), X-ray diffraction (XRD), X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) and FTIR spectroscopy, nuclear magnetic resonance carbon-13 NMR, Raman spectroscopy and scanning electron microscopy (SEM). The general electrochemical characterization of the materials and their catalytic activity towards nitrite and nitrate electroreduction reactions were evaluated using conventional techniques (CV, CA, RDE) in acidic. Results showed that sugarcane bagasse-based supports display excellent conductivity and catalytic activities towards the reactions studied. This work contributed to the development of efficient and inexpensive materials for the electrodegradation of these species which can be applied to the electrochemical environmental remediation field.

Keywords: Nitrite reduction; nitrate; electrochemistry, Pt nanoparticles and sugarcane bagasse.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Vias mecanísticas principais para redução de nitrito (NO_2^-) e (NO_3^-).....	23
Figura 2- Estrutura química da celulose.....	27
Figura 3- Estrutura química da hemicelulose.....	28
Figura 4- Estrutura química da lignina.....	29
Figura 5- Etapas de transformação do bagaço de cana-de-açúcar: (A) resíduo de bagaço após moagem; (B) medula separada da casca antes da lavagem; (C) medula após secagem e trituração; (D) medula após calcinação a 400 °C em atmosfera de nitrogênio. (E) bagaço calcinado de 400 °C com acetilacetato de Pt (II) na figura 5(F) mostra o material macerado.....	35
Figura 6- Termogravimetria do bagaço da cana-de-açúcar <i>in natura</i> em Ar-sintético e Nitrogênio com a temperatura de 50 °C a 700 °C com taxa aquecimento 50 °C min ⁻¹	37
Figura 7- Derivada das termogravimetrias do bagaço da cana-de-açúcar <i>In Natura</i> , sob atmosfera de Nitrogênio e Ar Sintético.....	39
Figura 8- Termogravimetria após a calcinação do SCB de 400 °C com Pt metálica 10%.....	40
Figura 9- Derivada das termogravimetrias do SCB de 400 °C com platina metálica 10%.....	41
Figura 10- Difratoograma de raio X do bagaço de cana-de-açúcar após lavagem, secagem e trituração.....	42
Figura 11- Difratoogramas de raios X do SCB após trituração e calcinação a 400 °C; 500 °C e 700 °C.....	44
Figura 12- Difratoograma de raio X do bagaço da cana-de-açúcar de 400 °C com 20% de platina metálica.....	46
Figura 13 - Espectros FTIR com número de ondas de 4000 a 500.....	47
Figura 14 – Espectro Raman do bagaço da cana-de-açúcar <i>in natura</i>	55
Figura 15 – Espectros Raman do bagaço da cana-de-açúcar calcinado 400;500 e 700 °C.....	56
Figura 16 – Espectro Raman do bagaço da cana-de-açúcar com de platina metálica 10%.....	57
Figura 17- Imagem de MEV (a) apresenta imagem do suporte da Pt metálica 10% suportada no bagaço da cana-de-açúcar de 400 °C.....	58
Figura 18 - Espectro RMN de ¹³ C do bagaço da cana-de-açúcar <i>in natura</i>	59

Figura 19 - Espectro RMN de ^{13}C do bagaço da cana-de-açúcar calcinado a 400 °C.....	60
Figura 20 – Espectro RMN de ^{13}C do bagaço da cana-de-açúcar calcinado 500 °C.....	61
Figura 21 – Espectro RMN de ^{13}C do bagaço da cana-de-açúcar calcinado 700 °C.....	62
Figura 22 - Espectro RMN de ^{13}C do bagaço da cana-de-açúcar calcinado a 400 °C combinado com Pt metálica 10%.....	63
Figura 23 - Áreas integradas de RMN do bagaço da cana-de-açúcar <i>in natura</i>	64
Figura 24 – Áreas integradas de RMN do bagaço da cana-de-açúcar calcinado a 400; 500;700 °C e SCB de 400 °C com platina metálica 10%.....	65
Figura 25 – Espectro XPS do bagaço da cana-de-açúcar calcinado a 400 °C.....	66
Figura 26 – Espectro XPS do bagaço da cana-de-açúcar calcinado a 500 °C.....	67
Figura 27 – Espectro XPS do bagaço da cana-de-açúcar calcinado a 700 °C.....	68
Figura 28 – Espectro do bagaço da cana-de-açúcar mais complexo da Pt metálica 10%.....	69
Figura 29 – Voltametria cíclica do eletrodo do carbono vítreo e do precursor do bagaço da cana-de-açúcar após a calcinação de 400 e 500 °C.....	71
Figura 30 – Voltametria cíclica dos precursores do bagaço da cana-de-açúcar após a calcinação em 400 °C; 500 °C e 700 °C.....	72
Figura 31 – Cronoamperometria do precursor do bagaço da cana-de-açúcar após calcinação a 400;500 e 700 °C e com Pt metálica, com rotação a 1200 rpm polarizado em 200 mV por 1,5 minuto e mantido em -200 mV por 60 minutos com potencial de 50 a 1500 mV a 50 mVs ⁻¹ coletados em 1 hora para redução de hidrogênio RDH.....	73
Figura 32 – Gráfico em barras representando a corrente de cada material 400; 500; 700 °C e do precursor de 400 °C combinado com Pt metálica 10 % polarizado em 200 mV por 1,5 minuto e mantido em -200 mV por 60 minutos e coletados em 1 hora para redução de hidrogênio RDH.....	74
Figura 33 – Voltametria cíclica dos materiais, carbono Vulcan, bagaço da cana-de-açúcar após calcinação de 400 °C e 700 °C. Iniciado em um pontencial de -400 mV à 400 mV à 50 mVs ⁻¹ a 1200 rpm.....	75

Figura 34 – Voltametria cíclica dos precursores do bagaço da cana-de-açúcar de 400; 500 e 700 °C com (NO_2^-). Para o preparo da eletrorredução de nitrito (NO_2^-). Com potencial inicial de de 50 a 1200 mV a 50 mVs^{-1} a 1200 rpm.....76

Figura 35 - Voltametria cíclica do bagaço da cana-de-açúcar com Pt 10 %. O preparo da eletrorredução de nitrito (NO_2^-). Com potencial inicial de 50 a 1200 a 50 mVs^{-1} a 1200 rpm.....78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Padrões e valores orientadores para nitrato e nitrito.....	19
Tabela 2- Composição da estrutura química da cana-de-açúcar.....	26
Tabela 3- Descrição do passo a passo dos materiais para a preparação do suporte à base do bagaço da cana-de-açúcar (SCB).....	36
Tabela 4- Respectivos grupos funcionais de FTIR do bagaço da cana-de-açúcar <i>In Natura</i> , após a calcinação em 400;500 e 700 °C e da combinação do bagaço calcinado de 400 °C com Pt metálica 10%.....	49
Tabela 5 - Respectivas áreas integradas dos espectros de XPS do bagaço da cana-de-açúcar calcinado a 400;500 e 700 °C e síntese do material de 400 °C com Pt metálica 10%.....	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

XRD	Difratometria de raios X
FTIR	<i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i>
NRR	<i>Nitrogen Reduction Reaction</i>
RHE	<i>Reversible Hydrogen Electrode</i>
TG	Termogravimetria
XPS	<i>X-ray photoelectron spectroscopy</i>
RMN	Ressonância Magnética Nuclear
RAMAN	Espectroscopia Raman
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
CV	Voltametria Cíclica
CA	Cronoamperometria
RDE	Eletrodo de Disco Rotatório

Sumário

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Compostos nitrogenados nitrito e nitrato	17
1.2 “ Estado da arte da redução de nitrito e nitrato”	21
1.3 Biomassa lignocelulósica do bagaço da cana-de-açúcar	24
1.4 Celulose	26
1.5 Hemicelulose	27
1.6 Lignina	28
2 OBJETIVOS	31
3 MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1 Preparação dos suportes de catalisadores a partir do bagaço da cana-de-açúcar	31
3.2 Caracterização das propriedades físico-químicas	32
3.3 Caracterização eletroquímica	33
3.4 Eletrorredução de (NO_2^-)	34
3.5 Síntese do bagaço da cana-de-açúcar	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
4.1 <i>Caracterização do bagaço da cana-de-açúcar</i>	37
4.1.1 Análise térmica termogravimetria (TGA e DTG)	37
4.1.2 Espectroscopia FTIR, Raman, MEV e RMN	47
4.1.3 Ensaios Eletroquímicos	71
4.1.4 <i>Análise de Voltametria cíclica do precursor do bagaço da cana-de-açúcar</i>	71
5 CONCLUSÕES	79
REFERÊNCIAS	80

1 INTRODUÇÃO

1.1 Compostos nitrogenados nitrito e nitrato

Compostos nitrogenados como o nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-) têm sido frequentemente presentes em água potável, e em diversos tipos de águas residuais, agrícolas, domésticas e industriais, e através disso vêm ocasionando diversos problemas ambientais, como a eutrofização, causando a poluição dos corpos d'água e o forte crescimento de algas. Surgindo desta forma, a grande necessidade de melhorar esta situação ambiental (LIN; WU, 1996). Pois dentre este e os diversos tipos de poluição, a poluição hídrica é caracterizada pela introdução de qualquer matéria ou energia responsável pela alteração das propriedades físico-químicas de um corpo d'água (TOKAZHANOV *et al.*, 2020).

De acordo com a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) os corpos d'água que são contaminados por compostos nitrogenados podem sofrer o processo de eutrofização, que é caracterizado pelo aumento da concentração de nutrientes, como fósforo, nitrogênio, e carbono, o que proporciona a multiplicação acelerada de algas e cianobactérias, resultando no desequilíbrio do meio aquático, baixa concentração de oxigênio e diminuição da passagem da luz (CETESB 2022). Portanto é preciso seguir os padrões e valores máximos permitidos para nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-), pois as regulamentações podem ter alterações: Resolução CONAMA 420/2009, alterada pela Resolução CONAMA nº 460/2013; Resolução CONAMA nº 357, alterada pelas Resoluções nº 370/2006, nº 397/2008, nº 410/2009 e nº 430/2011 e complementada pela Resolução nº 393, de 2007; 2a soma das razões das concentrações de nitrito e nitrato e seus respectivos VMPs (1mg/L e 10mg/L), não deve exceder 1 (unidade); VI = Valor de Investigação (CONAMA)/ Valor de intervenção (CETESB); VMP = Valor Máximo Permitido; VM = Valor Máximo; VRQ = Valor de referência de qualidade para o Estado de São Paulo; *Nitrato e Nitrito expressos como N. assim como apresentado através da Tabela 1 abaixo.

Tabela 1- Padrões e valores orientadores para Nitrato e Nitrito.

Meio	Concentração	Comentário	Referência ¹
Água potável (Nitrato)	10 mg L ⁻¹	VMP (Padrão de potabilidade)	Portaria GM/MS 888/20212
Água potável (Nitrito)	1 mg L ⁻¹		
Água subterrânea (Nitrato)	10.000 µg L ⁻¹ 90.000 µg L ⁻¹ - 10.000 µg L ⁻¹	VMP (consumo humano) VMP (dessedentação de animais) VMP (irrigação) VMP (recreação)	CONAMA 396/2008
Água subterrânea (Nitrito)	µg L ⁻¹ 10.000 µg L ⁻¹ 1.000 µg L ⁻¹ 1.000 µg L ⁻¹	VMP (consumo humano) VMP (dessedentação de animais) VMP (irrigação) VMP (recreação)	
Água subterrânea (Nitrato)	10.000 µg L ⁻¹	VI= Valor de investigação	CONAMA 420/2009 Valores Orientadores para Solo e Água Subterrânea no Estado de São Paulo CETESB - DD125/2021/
Água subterrânea (Nitrito)	10.000 µg L ⁻¹	VI= Valor de investigação	
Águas doces (Nitrato)	10,0 mg L ⁻¹	VM= (classes 1, 2 e 3)	CONAMA 357/2005
Águas doces (Nitrito)	1,0 mg L ⁻¹	VM= (classes 1, 2 e 3)	
Águas salinas (Nitrato)	0,40 mg L ⁻¹ 0,70 mg L ⁻¹	VM (classe 1) VM (classe 2)	CONAMA 357/2005

Águas salinas (Nitrito)	0,07 mg L ⁻¹ 0,20 mg L ⁻¹	VM (classe 1) VM (classe 2)	
Águas salobras (Nitrato)	0,40 mg L ⁻¹ 0,70 mg L ⁻¹	VM (classe 1) VM (classe 2)	CONAMA 357/2005
Águas salobras (Nitrito)	0,07 mg L ⁻¹ 0,20 mg L ⁻¹	VM (classe 1) VM (classe 2)	

Fonte: (CETESB 2022).

Em 2019/2020 o Plano Estadual de Recursos Hídricos e Câmara Técnica de Águas Subterrâneas (PERH), relata que a amônia (NH_3) também é uma precursora de nitrito (NO_2^-) que rapidamente é oxidado a nitrato (NO_3^-) em um processo recorrente de duas etapas, conhecido como nitrificação, causando a alteração da qualidade das águas.

As alterações que ocorrem na qualidade das águas subterrâneas por nitratos são dificilmente restauradas, tornando-se necessário métodos que possam restabelecer a condições da água afetada. Além disso, o nitrogênio contido nos fertilizantes também é perdido para a atmosfera, levando para consequências ambientais como a formação de compostos voláteis, principalmente amônia (NH_3) e óxido nítrico (NO). O óxido nítrico pode sofrer oxidação, se tornando ácido nítrico (HNO_3) ou a nitratos orgânicos. Um dos principais índices para a avaliação da qualidade da água é a sua concentração de nitrato (ESTADUAL; HÍDRICOS, 2019).

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) limitou a quantidade de nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-) na água potável como sendo de 1 a 10 mg L^{-1} (MARLINDA *et al.*, 2022). Porém, através desta limitação, alguns processos têm sido empregados para a remoção de nitrato da água potável e águas residuais, como osmose reversa, eletrodialise, troca iônica, desnitrificação biológica, desnitrificação química e adsorção (DIVBAND HAFSHEJANI *et al.*, 2016). Porém, algumas desvantagens desses métodos aplicados foram mencionados na literatura, a troca iônica requer o descarte de salmoura residual e a renovação de resinas de troca iônica o que requer um custo alto para troca das resinas a cada processo, a osmose reversa tem alto custo operacional, a redução catalítica pode produzir subprodutos perigosos, como nitrito e amônia, e os processos biológicos precisam de adição de fonte de carbono e eliminação de grandes quantidades de resíduos de biomassa (HU *et al.*, 2015; MUKHERJEE; DE, 2014).

Porém, diferentes águas residuais industriais contêm mais de 200 mg L^{-1} e uma maior concentração de nitrato, como exemplo: efluentes de algumas indústrias produtoras de explosivos, fertilizantes, pectina, celofane, e indústrias de acabamento de metais, contêm mais de 1000 mg L^{-1} (GHAFARI *et al.*, 2008). Além disso, muitos suprimentos de águas municipais são impactados por nitrato

(NO_3^-) e são comumente tratados usando tecnologias de alto custo, como o emprego de resinas de troca iônica (FAJARDO *et al.*, 2021).

Assim, a detecção e o tratamento de nitrato (NO_3^-) encontrado em amostras de água tem sido o principal foco de vários trabalhos de pesquisa (WANG *et al.*, 2017). Diversas técnicas têm sido utilizadas para detectar nitrito e nitrato, como: espectrofotometria (VALIENTE *et al.*, 2019; WANG *et al.*, 2018), quimiluminescência (ABDOLMOHAMMAD-ZADEH; RAHIMPOUR, 2015; WANG; WANG, 2018), cromatografia (ANTCZAK-CHROBOT *et al.*, 2018), fluorescência (DUONG *et al.*, 2018; FENG *et al.*, 2017) e métodos eletroquímicos (ALI *et al.*, 2017; MAO *et al.*, 2018; YILONG *et al.*, 2015).

Desta forma, os processos eletroquímicos de certo poderiam ser utilizados como uma forma ideal para tratar resíduos aquáticos quando carregados de nitrato, desde que a atividade otimizada e a seletividade total para (N_2) seja alcançada, criando assim um desvio fechado e conduzido pelo homem do ciclo geoquímico e do nitrogênio. A oxidação seletiva de NH_3 a N_2 . Também é um exemplo importante a ser pensado para este estudo (KOPER, 2011). E assim desta forma, convém considerar estas informações, e de grande importância propor um mecanismo experimental para a redução seletiva de (NO_2^-); (NO_3^-) a N_2 e a recombinação de NH_2 , ads e NO_2^- estável na superfície, sendo analisada, embora os eventos mecanísticos detalhados ainda permanecem indefinidos (DUCA *et al.*, 2010).

1.2 “ Estado da arte da redução de nitrito e nitrato”

Ao decorrer dos anos, trabalhos que ao serem realizados com nanopartículas ganharam atenção, devidamente por suas propriedades físicas e químicas, fazendo com que as propriedades decorrentes do domínio nano se tornem possíveis para que sejam utilizadas em uma ampla gama de aplicações, incluindo catálise (POLSHETTIWAR; VARMA, 2010; SCHAUERMANN *et al.*, 2013), sensores (LEE; EL-SAYED, 2006); biomedicina e aplicações de distribuição de medicamentos (IRAVANI; VARMA, 2019; RAI *et al.*, 2015).

Ao longo dos anos, diferentes abordagens foram desenvolvidas para a síntese de nanopartículas metálicas para obter diferentes tamanhos, estruturas e morfologias. Várias tecnologias emergentes capazes e projeto de pesquisa

foram propostas para reduzir o (NO_3^-) a N_2 evitando ao mesmo tempo a produção de resíduos, como: Hidrogenação catalítica de nitrato, que no qual foi estudada pela primeira vez por (VORLOP; TACKE, 1989) surgindo como uma das tecnologias mais promissoras. Segundo Hörold e Vorlop relataram que em 1993 um mecanismo de reação muito reconhecido baseado na redução catalítica sobre catalisadores bimetálicos usando um metal nobre (Pd, Pt) e um metal de transição (Cu, Sn, In) na presença de hidrogênio como redutor.

Assim sendo considerado, a platina (Pt) é um dos elementos catalisadores mais extensamente utilizados por muitas reações químicas e eletroquímicas (WACŁAWEK *et al.*, 2018), especialmente nanopartículas de (Pt), é o que têm atraído atenção significativa, devido ao seu potencial promissor no campo da catálise ambiental e energética, com seu orbital 5d não preenchido e por sua estrutura eletrônica, é um sistema catalítico bem estabelecido para diversas aplicações (CHEN; HOLT-HINDLE, 2010; XU; ZHANG, 2014).

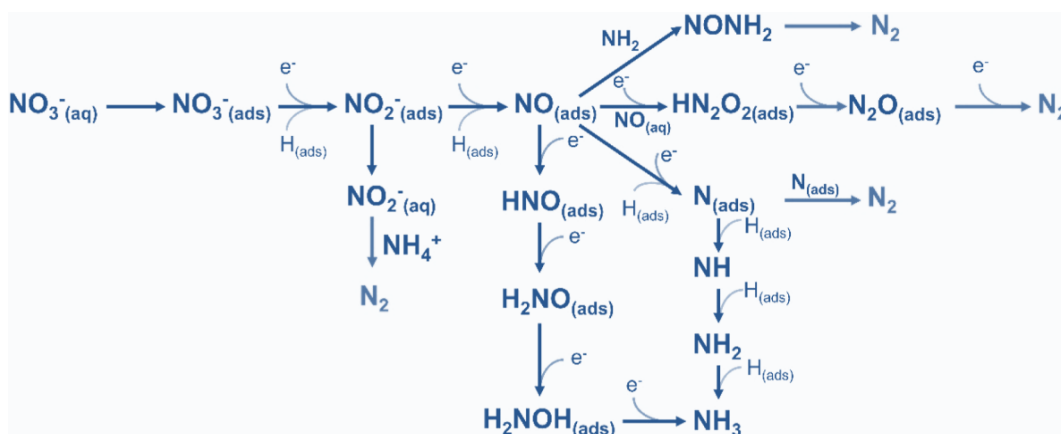
E com isso, o controle cuidadoso e o projeto da superfície e interface das nanopartículas de Pt com sua análise aprofundada e compreensão dos aspectos estruturais desempenham um papel fundamental na otimização do desempenho catalítico, para possivelmente minimizar a aglomeração, obter boa dispersão e estabilidade em nanopartículas de Pt que são frequentemente depositadas em materiais de suporte (ATTARD *et al.*, 2003; DENDOOVEN *et al.*, 2017; WANG *et al.*, 2015) que possuem alta área superficial específica, locais de ancoragem abundantes, alta estabilidade e alta condutividade elétrica para aplicações eletrocatalíticas. Desta forma, é lógico propor que o desempenho aprimorado possa ser alcançado para a redução eletrocatalítica de (NO_2^-) e (NO_3^-) e o uso de nanopartículas metálicas estejam bem dispersas e suportadas (VENKATESHAIAH *et al.*, 2019).

Segundo Jensen e outros colaboradores proporcionou uma ampla visão geral sobre possíveis estratégias atuais de gerenciamento e opções para tratamento e remoção de nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-), incluindo desta forma que ocorrem comumente das tecnologias comerciais, e que justificam a prova da necessidade de novas pesquisas e estratégias que possam melhorar as técnicas convencionais (JENSEN *et al.*, 2014).

Entre os metais nobres, a Pt é reconhecida por sua alta atividade na redução de moléculas contendo nitrogênio (ROSCA *et al.*, 2009). Portanto, dentro deste campo de estudo, o grupo de Leiden demonstrou recentemente uma reatividade e seletividade únicas em superfícies de Pt (100) para redução de nitrito (NO_2^-) a N_2 (DUCA *et al.*, 2011). Essa conquista não apenas satisfaz um dos requisitos do tratamento eletroquímico de águas residuais (conversão de espécies poluentes em nitrogênio inofensivo), mas também destaca a capacidade especial da superfície Pt (100) em reações envolvendo quebra e formação de ligações (KOPER, 2011).

A redução eletroquímica do nitrato é uma reação de superfície complexa e pode envolver diferentes mecanismos envolvendo muitos intermediários estáveis, e compostos nitrogenados que podem ser formados: NO_2^- , HNO_2 , NO , N_2O , N_2 , NH_2OH , NH_3 , assim como é apresentado pela Figura 1. As quantidades relativas dos produtos de redução dependem do material do eletrodo, do potencial aplicado, do eletrólito suporte e da concentração de nitrato (DIMA *et al.*, 2005; LI *et al.*, 2024).

Figura 1- Vias mecanísticas principais para redução de nitrito (NO_2^-) e (NO_3^-)



Fonte: Li *et al.*, (2024).

Recentemente, a redução de nitrato, está atraindo muita atenção em catálise heterogênea em fase líquida e a platina é o material de eletrodo mais ativamente estudado para redução de nitrato (ROSCA *et al.*, 2009). A redução do nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-) é realizada na presença de hidrogênio como agente redutor

sobre a superfície de um catalisador constituído por um metal de transição como a Pt e um material de suporte. A platina tem sido usada como um dos metais nobres para redução de nitrato devido às suas habilidades favoráveis de adsorção de hidrogênio (MARTÍNEZ *et al.*, 2017).

No entanto, através destes motivos mencionados no texto, considerado danosos para o meio ambiente será estudado o processo eletroquímico, envolvendo a platina (Pt) e o suporte do bagaço da cana-de-açúcar para a degradação de nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-), e através deste objetivo, este estudo pretende propor uma alternativa altamente viável e benigna, ao utilizar platina (Pt) como catalisador e o bagaço da cana-de-açúcar como suporte e desta forma que seja possível alterar as propriedades catalíticas destes materiais e contribuir através da sintetização térmica, uma rota alternativa e de baixo custo ao ser aplicado na área da eletroquímica. Estudos mostram que a inclusão de nitrogênio altera as propriedades como condutividade, estabilidade e oxidação em atividades catalíticas (JANA *et al.*, 2013).

Portanto, devido às principais questões socioeconômicas, o presente estudo considera importante e alternativamente a utilização de materiais renováveis e facilmente disponíveis para contribuições positivas para a sustentabilidade ambiental. Este é o principal conceito sobre a utilização dos inevitáveis resíduos decorrentes do processamento, ilustrando a versatilidade do uso da biomassa como matéria-prima para a fabricação de nanomateriais (FRITSCH *et al.*, 2017; MUGADZA *et al.*, 2019).

1.3 Biomassa Lignocelulósica do bagaço da cana-de-açúcar

Como parte de todo conhecimento, e com o passar dos anos, os combustíveis fósseis têm sido consequentemente muito utilizados e está causando a cada vez mais efeitos secundários no meio ambiente através da poluição atmosférica e as emissões de gases do efeito estufa, resultando no aquecimento global. E como resultado, tem sido realizado diversas pesquisa por biocombustíveis alternativos ou biomateriais derivados de fontes renováveis e com impacto que seja sustentável (GHIMIRE *et al.*, 2021; OKOLIE *et al.*, 2021).

Por isso para este contexto, considera-se importante propor alternativas que possam ser viáveis para utilização eficaz de biomassas lignocelulósicas, pois se faz um recurso natural, renovável e estratégico, gerado através de diversos setores, como agricultura, silvicultura e indústria.

Entre as diversas fontes de biomassa lignocelulósica, que podem ser valorizadas através da conversão térmica, os subprodutos e resíduos da cana-de-açúcar, como o bagaço, palha e medula, podem ser obtida no Brasil, e em outros diversos países, como; Índia, China, Paquistão, México, Tailândia, Colômbia, Austrália, Indonésia e Estados Unidos (NAJAFI *et al.*, 2023).

O Brasil é um dos maiores produtores de cana-de-açúcar e nas últimas décadas sua produção dobrou para atender às demandas globais de bioenergia e reduzir o constante uso de petróleo bruto e amenizar os efeitos que causam mudanças nas condições climáticas (BORDONAL *et al.*, 2018). A conversão térmica de subprodutos do bagaço da cana-de-açúcar tem recebido muita atenção devido ao seu potencial para redução de emissões de gases do efeito estufa, geração de energia renovável, redução de resíduos e poluição de produtos químicos valiosos e criação para novas oportunidades em interesse econômico (NAJAFI *et al.*, 2023).

O bagaço da cana-de-açúcar contém em sua estrutura três constituintes principais, na composição química da biomassa lignocelulósica, geralmente contém: (35% – 50%) de celulose, (20% – 35%) hemicelulose e (10% - 25%) de lignina, e uma quantidade de cinzas e extrativos. A cana-de-açúcar pode conter: 74,5 % de água, 14 % de açúcares, 12,5 % de sacarose, 0,9 % de dextrose e 0,6 % de levulose, e 10 % de fibras e o restante compõe entre materiais minerais, compostos nitrogenados, ceras, pectinas e ácidos, porém a composição do material pode variar devido a fatores de solo e clima, conforme é apresentado na Tabela 2. (NAJAFI *et al.*, 2023).

Tabela 2 - Composição química da cana-de-açúcar

Compostos	Concentração (g/100 g)
Água	65 - 75
Açúcar	12 - 18
Sacarose	11 - 18
Glicose	0.2 - 1.0
Frutose	0 - 0.6
Fibra	7.0 - 17.0
Celulose	35 - 50
Hemicelulose	20 - 35
Lignina	10 - 25
Compostos de Nitrogênio	0.3 - 0.6
Lipídios (ceras e gorduras)	0.15 - 0.25
Ácidos orgânicos	0.1 - 0.15
Substâncias pécnicas e gomas	1.5 - 0.25
Cinzas	0.3 - 0.8

Fonte: MEDEIROS *et al.*, (2017).

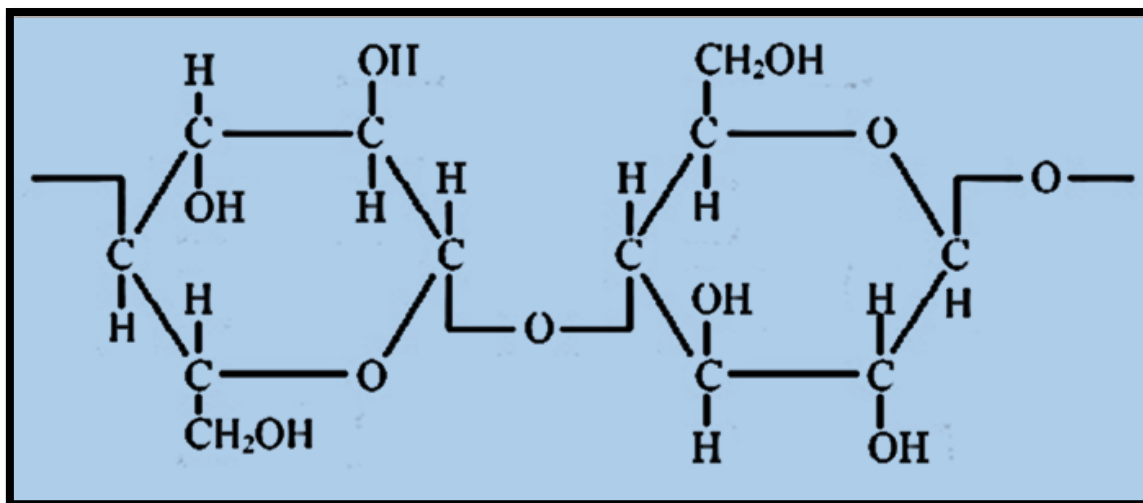
A abundância relativa da celulose, hemicelulose e lignina depende do tipo de biomassa e varia em diferentes biomassas lignocelulósicas. A composição da biomassa lignocelulósica é influenciada por fatores genéticos e ambientais da planta que variam consideravelmente (SANTOS *et al.*, 2012).

1.4 Celulose

A Figura 2 mostra a imagem representativa da celulose. A celulose é um polímero de cadeia longa contendo (1 → 4) resíduos β-glucopiranosil ligados. Até 100 cadeias de celulose são reunidas para formar estruturas elementares longas e finas (fibrilas) contendo em sua composição estruturas cristalinas e amorfas (ALGHOONEH *et al.*, 2017). Suas fibras são compostas de regiões cristalinas onde as cadeias de celulose são alinhadas paralelamente ao eixo e juntamente com regiões amorfas onde as cadeias de celulose são desordenadas. A celulose é um dos materiais mais abundantes na terra e é

encontrada como celulose I (cadeias paralelas) formada naturalmente, enquanto a celulose II (cadeias antiparalelas) é encontrada após modificações químicas (MOURA *et al.*, 2018).

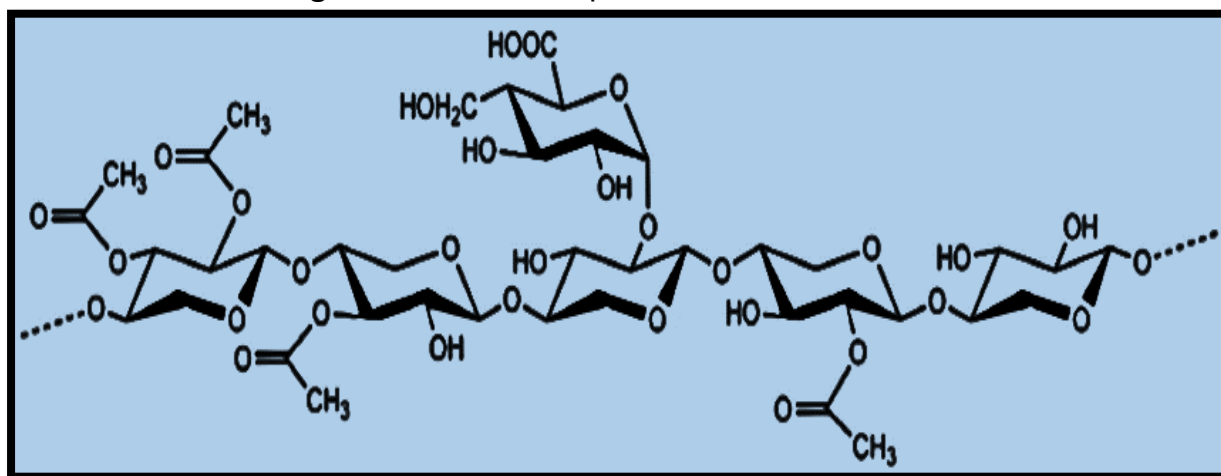
Figura 2 – Estrutura química da celulose.



Fonte: RICHARDS *et al.*, (2012).

1.5 Hemicelulose

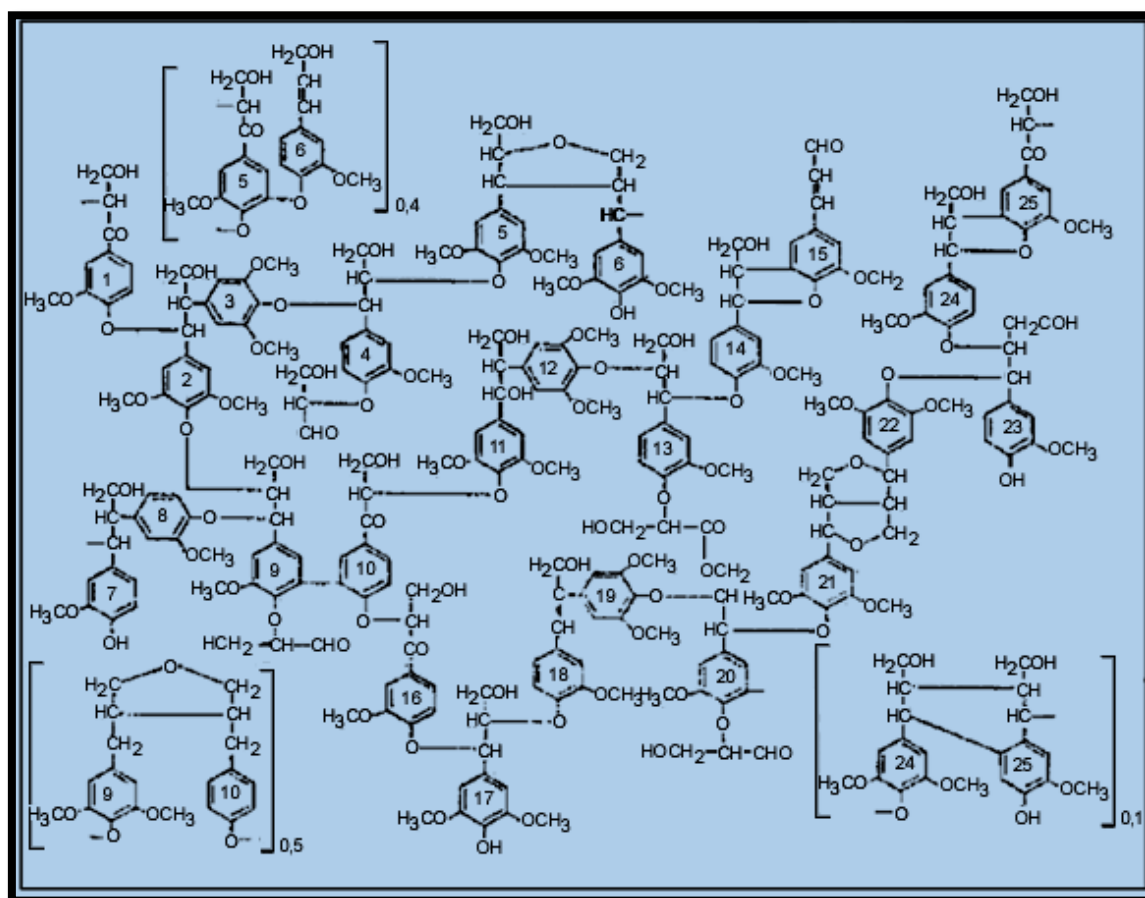
Na Figura 3 a hemicelulose é considerada como heteropolímero ramificado de cadeia curta de heteropolissacarídeos ramificados são constituídos por açúcares como hexoses (D-manose, D-glicose, D-galactose) e pentose (D-xilose e L-arabinose), sendo a xilose a mais abundante, formando conjunto com a celulose e lignina, contribuindo para a resistência da estrutura da parede celular vegetal (SCAPINI *et al.*, 2021). Este polímero compõe-se de uma estrutura amorfa e que está especialmente associado com outros componentes da parede celular vegetal como, celulose, lignina, extrativos e cinzas por ligações covalentes de hidrogênio e interações que são iônicas e hidrofóbicas (MCCANN; CARPITA, 2015; PATEL; SHAH, 2021; QASEEM *et al.*, 2021).

Figura 3 – Estrutura química da hemicelulose.

Fonte: HU *et al.*, (2020)

1.6 Lignina

A Figura 4 mostra que a lignina é uma macromolécula, que consiste em unidades de fenil propano e são organizadas em uma grande estrutura de rede tridimensional encontrado em todas as plantas terrestres. A lignina fornece resistência mecânica e proteção química às plantas, através de seu papel importante como proteção para parede celular secundária das plantas, onde forma uma matriz irregular entre as fibras de celulose. A lignina contém grupos metoxila, fenólica, hidroxila e aldeído terminal nas cadeias laterais. Desta forma a lignina atua como uma cola que preenche toda a lacuna ao redor da celulose, hemicelulose e da biomassa lignocelulósica sendo fortemente interligadas, funcionando como ligante natural das fibras, e assim formando uma estrutura com uma densidade maior de rigidez nas paredes celulares, altamente resistente a degradação (NANDA *et al.*, 2014). Portanto a lignina é um heteropolímero amorfo e que torna a parede celular impermeável e resistente ao ataque microbiano e oxidativo (SANTOS *et al.*, 2012).

Figura 4 – Estrutura química da lignina

Fonte: Saliba *et al.*, (2001)

O aproveitamento do bagaço da cana-de-açúcar como subproduto da indústria sucroenergética vai além de uma necessidade ambiental; é também uma estratégia para agregar valor, possibilitando sua utilização na produção sustentável para obtenção de novos materiais (SANTOS *et al.*, 2019). Conforme as estatísticas disponíveis, de acordo com o 3º Levantamento da Safra 2023/24 da cultura, divulgado pela Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), a produção deve crescer 10,9% em comparação ao ciclo anterior e chegar a 677,6 milhões de toneladas, estabelecendo um novo recorde na série histórica da estatal (CONAB 2024). E para cada tonelada de cana-de-açúcar moída é gerado uma quantidade de 180–280 kg de resíduos sólidos de bagaço de cana-de-açúcar (JR *et al.*, 1997).

Sendo assim, mediante a grande quantidade de resíduo sólido do bagaço da cana-de-açúcar, torna-se vantajoso converter esse subproduto em um material carbonáceo, para o melhor reaproveitamento e para uso como material de eletrodo condutor, o que reduzirá o custo e diminuirá o desperdício da matéria-prima. Sendo considerável destacar que o resíduo do bagaço da cana-de-açúcar é um subproduto de baixo custo, de fácil regeneração, disponibilidade em grandes quantidades, constitui carbono em sua estrutura de forma principal, podendo ser preparado por métodos simples. O material carbonáceo pode ser obtido a partir de praticamente qualquer substância orgânica que contenha carbono. Isso abre a possibilidade de identificar materiais adequados para eletrodos, oferecendo à comunidade científica a oportunidade de explorar uma ampla variedade de opções à base de carbono, como carvão ativado poroso, grafeno, nanotubos de carbono e outros (AFIF *et al.*, 2019).

Por isso, recentemente, muita atenção tem sido atraída para a reutilização de resíduos que são provenientes de biomassa para a preparação de materiais à base de carbonos para capacitores elétricos de camada dupla. O que sugere, o uso de pesquisas que sejam desenvolvidas para encontrar um meio que possa ser proveniente para remoção e ou como; degradação de nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-) de recursos hídricos, efluentes comerciais e efluentes, através do uso do bagaço da cana-de-açúcar. Desta forma, despertou-se o grande interesse em utilizar o bagaço de cana-de-açúcar, um subproduto reutilizado com vantagem e como matéria-prima para a síntese de materiais moldados a carbono. Materiais que são moldados de carbono têm aplicações em diferentes áreas-chave, como catálise (DAEMS *et al.*, 2014), armazenamento de energia (SUN *et al.*, 2018) conversão (GULDI; SGOBBA, 2011) e tratamento de água (FÄGERSTAM; PETTERSSON, 1980).

Propondo para este estudo, um processo simples, barato e ecologicamente correto para o possível desenvolvimento de suportes através de catalisadores à base do bagaço da cana-de-açúcar para a eletrocatalise de espécies do ciclo do nitrogênio pois vários tipos de carbono, incluindo carbonos mesoporosos, carbonos hierarquicamente porosos, carbonos dopados e carbonos semelhantes ao grafeno, foram relatados e empregados como materiais para serem usados em eletrodo (BI *et al.*, 2016) , (WEI *et al.*, 2013), (TANG *et al.*, 2015) , (HU *et al.*,

2008) , (LIANG; DAI, 2006) , (BAI *et al.*, 2015) , (ZHANG *et al.*, 2018) , (SUN *et al.*, 2018) , (WANG *et al.*, 2015) , (CHEN *et al.*, 2016).

No entanto, esses materiais são considerados caros e o processo de síntese complexo, muitas vezes tornam muitas das metodologias acima mencionadas inadequadas para aplicação industrial. E para esta finalidade, muitos focos de investigação estão sendo modificados para que proponha recursos naturais, renováveis como precursores e para a preparação de materiais moldados a base de carbono (LIANG *et al.*, 2014; XU *et al.*, 2015).

2 OBJETIVOS

- Desenvolvimento, preparação e caracterização de suportes de catalisadores baseados em bagaço de cana-de-açúcar.
- Estudar as reações de eletroredução e oxidação do nitrito (NO_2^-) em catalisadores de Pt suportadas em bagaço de cana-de-açúcar calcinado, bem como compreender as correlações entre as atividades catalíticas e as propriedades físico-químicas dos materiais para aplicação na eletrocatalise de espécies do ciclo do nitrogênio.

3 MATERIAIS E METÓDOS

3.1 Preparação dos suportes catalisadores a partir do bagaço da cana-de-açúcar.

O bagaço da cana-de-açúcar foi coletado em um mercado local da cidade de Araraquara-SP. Após a coleta do bagaço resultante do processo de moagem, a medula, um resíduo interno fibroso e polpudo, foi separada manualmente da casca. O resíduo separado foi lavado com água ultrapura por 5 vezes para a obtenção de um material com quantidades mínimas de resíduos oriundos da moagem. Após as etapas de lavagem, o resíduo fibroso *in natura* foi seco em uma estufa por 24 h a 105 °C. Em seguida, o material seco foi triturado em processador doméstico (KitchenAid, modelo KJA09BVBNA) por 5 min em

potência máxima. O sólido de coloração amarelo claro obtido foi pesado e posteriormente calcinado em um forno tubular em diferentes temperaturas (400 500 e 700 °C) sob atmosfera de nitrogênio com taxa de aquecimento de 10 °C min⁻¹ e patamar de 1 hora. Após a calcinação, o pó negro obtido foi macerado e armazenado.

3.2 Caracterização das propriedades físico-químicas

O material foi caracterizado por termogravimetria (TG/DTA) utilizando um equipamento (Perkin Elmer 4000) em atmosferas de ar sintético e nitrogênio a fim de avaliar a estabilidade térmica. As análises foram realizadas em cadinho de alumina aberto, com taxa de aquecimento de 10 °C min⁻¹, em faixa de temperatura de 50 a 700 °C e fluxo de gás igual a 100 mL min⁻¹. A análise por calorimetria exploratória diferencial (DSC) foi realizada com o auxílio de um equipamento (TA Instruments, DSC Q20), em cadinho de alumina aberto, com taxa de aquecimento de 10 °C min⁻¹, em faixa de temperatura de 50 a 500 °C e fluxo de gás nitrogênio igual a 50 mL min⁻¹.

Os materiais para análise da estrutura cristalina por difratometria de raios X (DRX), foi utilizando equipamento de Difratoograma de Raios X Rigaku Smartlab SE, ângulo de 2° até 90°, scan step de 0,02 e scan de 5° por minuto. Radiação incidente de Cu- α 1,54186 Å.

Os grupos funcionais característicos e os constituintes químicos, na amostra da biomassa presentes no suporte foram avaliadas através de uma espectroscopia por FTIR/Mid-IR EM Spectrum TM série 400 Perkin Elmer dual Frontier equipado com um cristal de seleneto de zinco, no modo ATR.

Os espectros de espalhamento Raman foram obtidos com um equipamento Micro Raman Horiba Jobin Yvon modelo Lab RAM HR equipado com laser de 633 nm. Espectros de 100 até 3000 cm⁻¹ a 40 aquisições por segundo.

Os espectros de RMN ¹³C das amostras sólidas foram obtidos por um equipamento Bruker modelo Avance III HD 400WB com sonda de 4 mm sob frequência de rotação de 12 KHz e temperatura de análise de 298K.

As imagens de microscopia eletrônica de varredura foram obtidas em alto vácuo utilizando um Microscópio eletrônico de alta resolução e ambiental (MEV-

FEG) da marca JEOL modelo JSM-IT500HR, com aceleração de 15 kV e lentes de distância de 9,6 mm.

A análise por XPS das amostras do bagaço da cana-de-açúcar, foi realizada utilizando-se um espectrômetro comercial (Thermo Scientific). Empregou-se a linha $K\alpha$ do Al ($h\nu = 1486,6$ eV), sendo que o passo de energia do analisador foi ajustado para 10 eV. O ruído de fundo dos espectros, provenientes do espalhamento inelástico dos elétrons do caroço, foi subtraído utilizando-se o método Shirley. A composição da camada superficial foi determinada a partir da relação entre as áreas relativas dos picos corrigidas pelos fatores de sensibilidade dos elementos correspondentes. Os espectros foram deconvoluídos utilizando-se perfis Voigt múltiplos sem restrição nas variáveis. A largura a meia altura (FWHM) variou entre 1,6 e 2,0 eV e a precisão das posições dos picos foi de $\pm 0,1$ eV.

3.3 Caracterização Eletroquímica.

Os estudos voltamétricos foram realizados em um potenciostato analógico PINE modelo AFRDE5 - Potenciostato acoplado a um sistema RDE PINE. Para realizar as voltametrias e as cronoamperometrias, as medidas foram feitas em uma célula de três eletrodos em meio aquoso de H_2SO_4 0,5 mol L^{-1} desoxigenado com gás argônio, sendo o contra eletrodo, um fio de platina e o eletrodo de referência e um eletrodo reversível de hidrogênio (ERH). As medidas foram feitas em um eletrodo de trabalho PINE de carbono vítreo.

Para a preparação das camadas ultrafinas foram feitas suspensões com 6 mg do suporte obtido em 500 μL de álcool isopropílico e 15 μL de Nafion 5% em massa da marca Sigma-Aldrich. As suspensões foram depositadas na forma de camada ultrafina com 10 μL de volume sobre o eletrodo de trabalho de carbono vítreo polido. A camada ultrafina foi seca a temperatura ambiente e hidratada, em seguida o eletrodo foi então submerso na solução de H_2SO_4 0,5 mol L^{-1} presente na célula eletroquímica, e em seguida foi realizada as medidas das voltametrias no potenciostato analógico.

3.4 Eletrorredução de (NO_2^-)

Para o preparo da eletrorredução de nitrito (NO_2^-) foi preparado uma solução de $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ de H_2SO_4 diluído em água, na mesma solução foi adicionado $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ de nitrito de sódio NaNO_2 . As medidas foram feitas em um eletrodo de camada ultrafina de carbono vítreo.

3.5 Obtenção do Suporte através de Síntese do Bagaço da cana-de-açúcar após a calcinação.

O bagaço de cana-de-açúcar coletado revelou-se um material úmido e fibroso que, em linhas gerais, é constituído da casca e um resíduo fibroso polpudo interno, denominado de medula, como mostra a Figura 5(A). A medula da casca foi separada e lavada com água ultrapura, o que resultou em um material de cor clara e limpo mostrado na Figura 5(B).

A Figura 5(C) mostra um resíduo claro, seco e particulado, resultante após secagem e trituração, o qual foi em seguida calcinado e macerado produzindo um pó negro, fino e leve, semelhante ao carbono grafite conforme mostra a Figura 5(D), na figura 5(E) mostra como foi feita a preparação de catalisadores da Pt suportada no suporte do bagaço de cana-de-açúcar, após o preparo foi feita a maceração de suporte de bagaço de cana + acetilacetonato de platina (II), na figura 5(F) mostra o material macerado e após maceração do material, o material foi calcinado em forno tubular com temperatura controlada, fluxo de argônio e taxa de aquecimento de $10 \text{ }^\circ\text{C min}^{-1}$, até $250 \text{ }^\circ\text{C}$ por 1 hora.

Figura 5 - Etapas de transformação do bagaço de cana-de-açúcar: (A) resíduo de bagaço após moagem; (B) medula separada da casca antes da lavagem; (C) medula após secagem e trituração; (D) medula após calcinação a 400 °C em atmosfera de nitrogênio. (E) bagaço calcinado de 400 °C com acetilacetionato de Pt (II) na figura 5(F) mostra o material macerado.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Tabela 3 – Descrição do passo a passo dos materiais para a preparação do suporte à base do bagaço da cana-de-açúcar (SCB).

A)	Bagaço da cana-de-açúcar <i>In Natura</i> (SCB <i>In Natura</i>)
B)	Medula separada do bagaço da cana-de-açúcar (MSCB <i>In Natura</i>)
C)	Trituração da medula do bagaço da cana-de-açúcar (TSCB <i>In Natura</i>)
D)	Material carbonáceo após a trituração (SCBC)
E)	Material carbonáceo e a combinação de acetilacetato de Pt (II) (SCB)
F)	Material carbonáceo após a calcinação com Pt metálica 10% (SCBc/Pt 10%)

Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

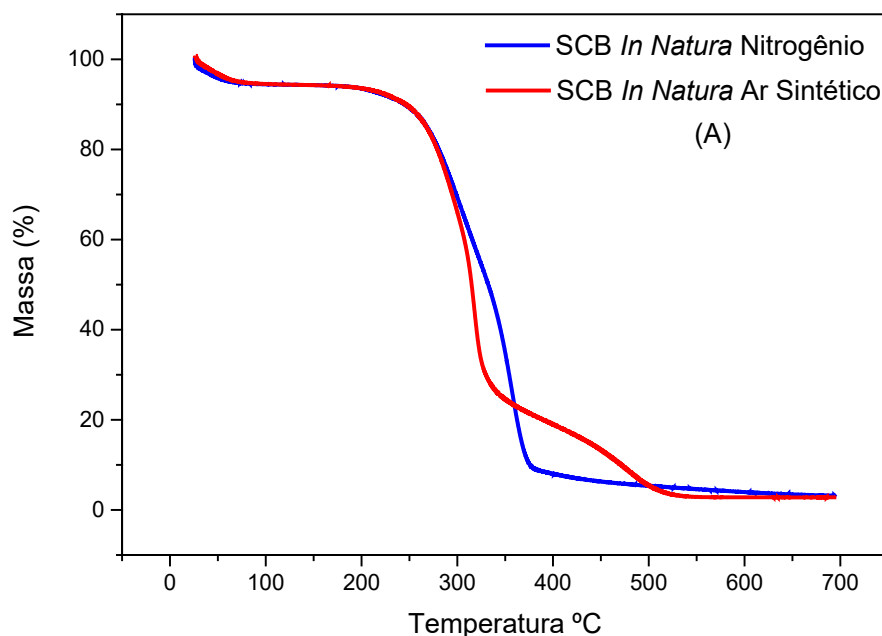
4.RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização do bagaço da cana-de-açúcar

4.1.1 Análise térmica termogravimetria (TGA e DTG).

As amostras foram caracterizadas por termogravimetria para avaliar o comportamento térmico do material de partida em diferentes atmosferas como mostra a Figura 6.

Figura 6 - Termogravimetria do bagaço da cana-de-açúcar *in natura* em Ar- sintético e Nitrogênio com a temperatura de 50 °C a 700 °C com taxa aquecimento 50 °C min⁻¹.



Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

Ao observar os dados, após a realização da técnica de termogravimetria, foi possível observar e interpretar que, em ambas as atmosferas, os materiais sofrem perda de água em temperaturas abaixo de 100 °C e os principais eventos de perda de massa iniciam-se a partir de 200 °C (EL-SAYED; MOSTAFA, 2014). Para uma melhor visualização dos eventos térmicos que ocorreram no material as curvas da Figura 6 foram derivadas e o resultado está apresentado na Figura 7.

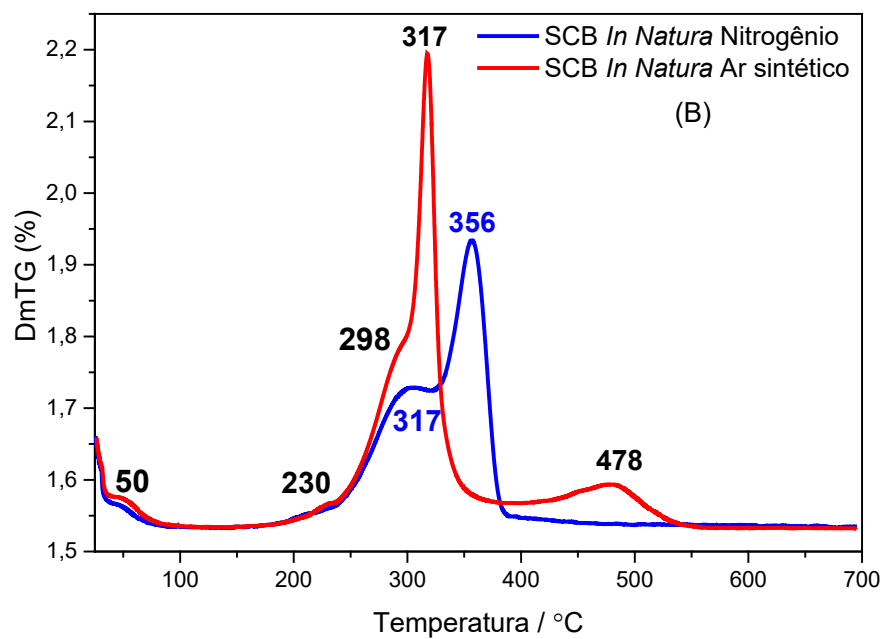
Segundo os autores El Saad e Mostafa *et al.*, (2014) através do estudo sobre característica de pirólise e determinação de parâmetros cinéticos de pós combustíveis de biomassa por análise termogravimétrica diferencial (TGA/DTG).

Foi possível identificar por meio das DTG da Figura 7 obtida em nitrogênio, que as curvas encontradas centradas na segunda etapa (230 - 317 °C) correspondem provavelmente sobre a degradação dos materiais, voláteis, leves e oriundos da hemicelulose; e da decomposição da lignina e celulose ocorridas em (317 – 478 °C). Os dados encontrados na literatura revelaram um comportamento térmico e muito similar aos resultados obtidos neste trabalho, realizado com o bagaço da cana-de-açúcar (EL-SAYED; MOSTAFA, 2014).

Em atmosfera de ar sintético foi possível observar que a decomposição da lignina ocorreu em uma faixa de 478 °C, diferente da atmosfera de nitrogênio que entre o primeiro e segundo evento térmico, ocorreu a decomposição da lignina e celulose. Portanto ao observar as curvas das derivadas é possível perceber que ambas as atmosferas das duas derivadas mostram um pico principal acompanhado de um ombro e esse comportamento pode ser explicado pelos maiores teores de matéria volátil de hemicelulose e pela sobreposição de materiais (EL-SAYED; MOSTAFA, 2014).

Foi possível também observar que através das derivadas apresentada sob atmosfera de ar sintético e nitrogênio a curva em que ocorre em 317 °C independente das atmosferas a diferença de oxidação sobre as ambas as atmosferas, nos leva interpretar que a matéria inerte reagiu com as funções orgânicas oxigenadas obtida na amostra, o que ocorre diferentemente do ar sintético que ao reagir com a matéria orgânica, ela é mais efetiva e acelerada, o levando a acontecer uma combustão mais completa deste material orgânico residual estando de acordo com os estudos dos autores de (EL-SAYED; MOSTAFA, 2014).

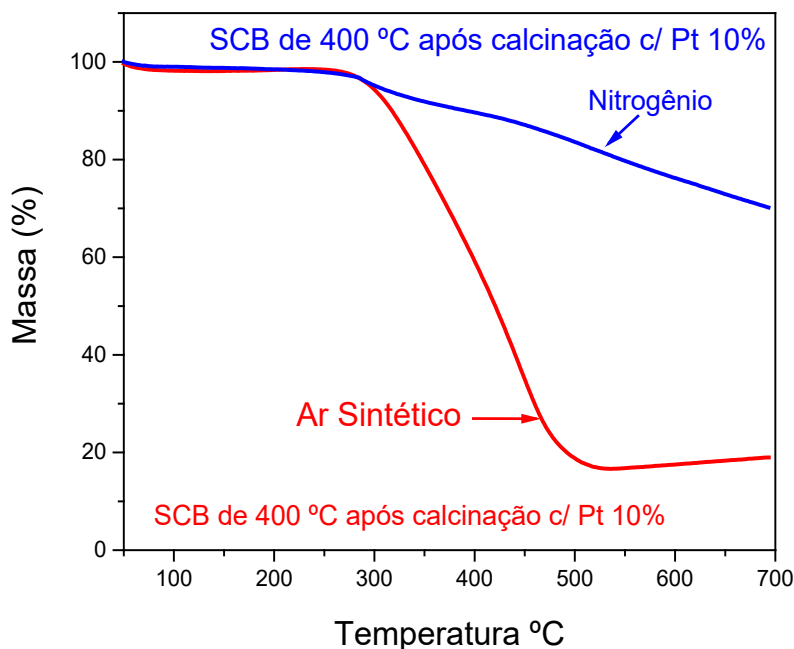
Figura 7- Derivada das termogravimetrias do bagaço da cana-de-açúcar *In Natura*, sob atmosfera de Nitrogênio e Ar Sintético.



Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

A Figura 8 apresenta a termogravimetria do SCB de 400 °C, com 10% de platina metálica em ambas as atmosferas de ar sintético e nitrogênio.

Figura 8 – Termogravimetria após a calcinação do SCB de 400 °C com Pt metálica 10%.



Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

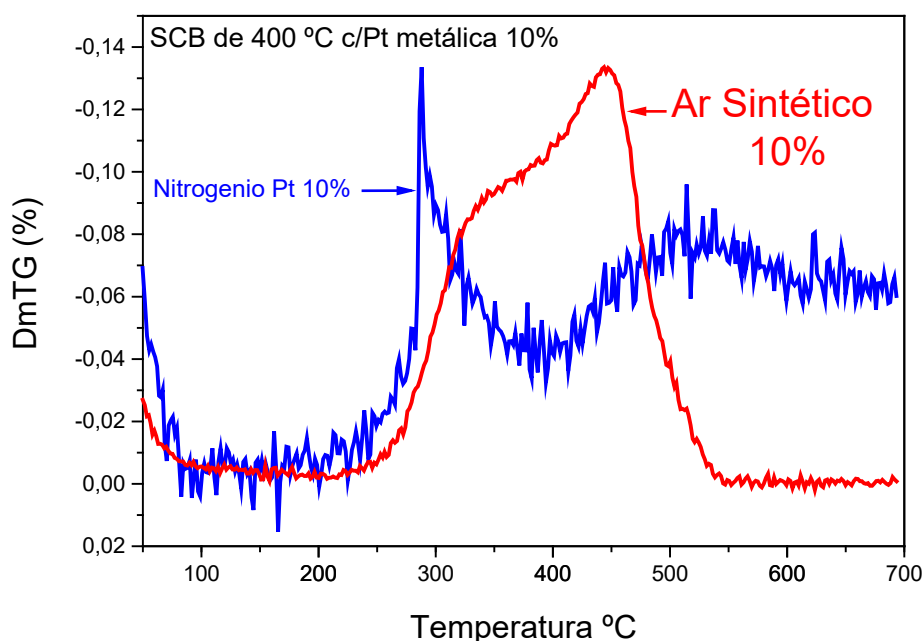
Após a técnica de termogravimetria realizada no bagaço de cana-de-açúcar calcinado a 400 °C com platina metálica 10% em atmosferas de nitrogênio e ar sintético. Conforme ilustrado na Figura 8 os eventos observados incluíram a remoção de umidade residual do bagaço calcinado entre 50 °C e 100 °C, resultando em uma leve perda de massa de água (KULBAKOV *et al.*, 2018).

Segundo os estudos de Kulbakov *et al.*, (2018) ao analisar a termogravimetria realizada para esse estudo em atmosfera de nitrogênio, notou-se que ela não favoreceu a combustão dos compostos orgânicos do bagaço da cana-de-açúcar. Embora o material residual do bagaço possa começar a se decompor, essa decomposição ocorreu em uma taxa reduzida, diferente do que se ocorreu em atmosfera oxidante, em atmosfera oxidante é possível observar que a partir de 500 °C a platina metálica vai virando óxido, pelo fato de conter ar em atmosfera oxidante a platina se transforma em Pt_2O_3 ; PtO condizendo que ao incorporar oxigênio a massa residual vai aumentando, formando óxido de platina, permitindo entender que, em atmosfera inerte, a decomposição dos compostos

orgânicos levou à formação de cinzas mais estáveis, já que estas não reagiram com oxigênio (KULBAKOV *et al.*, 2018).

Compreendendo-se, assim, que a decomposição do material calcinado após a síntese e a formação da Pt metálica 10% exibiram um perfil de estabilidade térmica, sem reações adicionais, diferente do que ocorreu em atmosfera oxidante. Sugerindo que a presença da Pt metálica 10% no precursor do bagaço contribuiu para a estabilidade térmica do material catalisador final, apresentando informações que se correlacionaram com estudos encontrados na literatura. (KULBAKOV *et al.*, 2018).

Figura 9 - Derivada das termogravimetrias do SCB de 400 °C com platina metálica 10%.



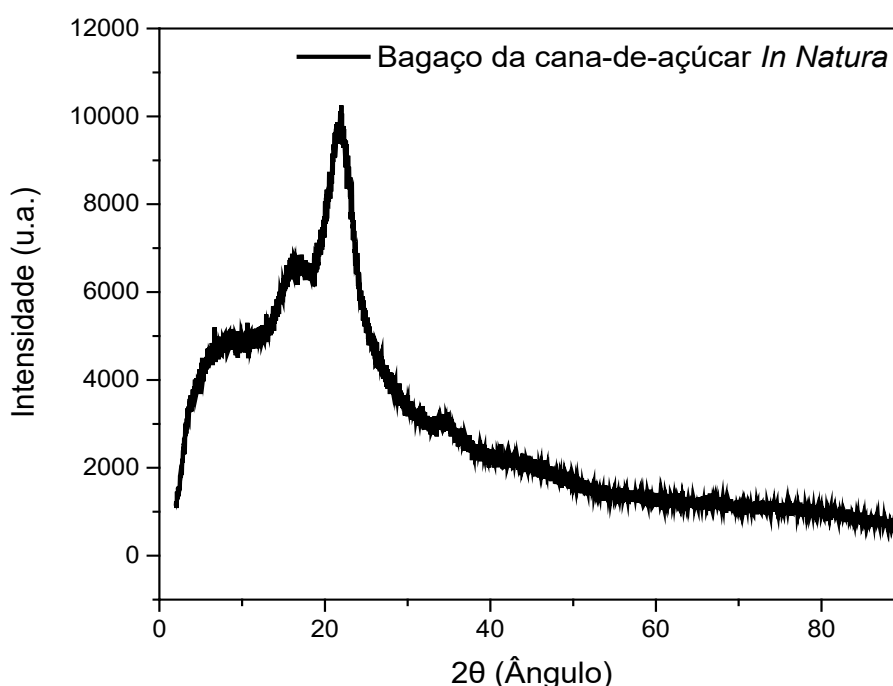
Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

Na derivada da termogravimetria do SCB de 400 °C com Pt metálica 10%, apresentou na Figura 9 a derivada da termogravimetria, picos que indicaram as temperaturas nas quais a perda de massa foi mais acentuada, refletindo sobre a degradação do bagaço da cana-de-açúcar e a decomposição de Pt metálica 10%. As etapas de decomposição, DTG mostrou estabilidade do material indicando que a maior parte dos materiais orgânicos foram removidos e os resíduos inorgânicos como cinzas foram permanecidos, nos mostrando a

eficácia da platina metálica 10% como catalisador quando combinado com o precursor do bagaço de cana-de-açúcar calcinado (KULBAKOV *et al.*, 2018).

A Figura 10 apresenta o difratograma de raio X do bagaço da cana-de-açúcar após lavagem, secagem e trituração.

Figura 10 – Difratograma de raio X do bagaço de cana-de-açúcar após lavagem, secagem e trituração.



Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

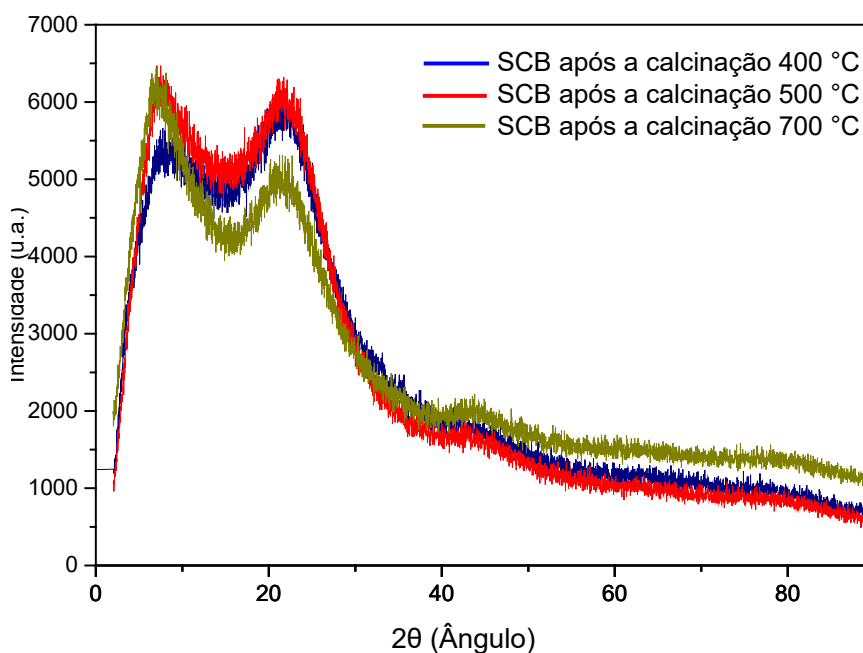
Após realizar a técnica de raio-X, a Figura 10 mostrou o perfil da estrutura do bagaço da cana-de-açúcar *In Natura* apresentando três picos de $2\theta = 8^\circ$; 16° e 21° . Os dois primeiros picos apresentados na imagem de $2\theta = 8^\circ$; 16° apresentaram característica de picos amorfos e o pico de $2\theta = 21^\circ$ apresentou característica de um sinal semicristalino, pois o bagaço da cana-de-açúcar é composto por uma matriz de polímeros como a celulose, hemicelulose e lignina, possuindo regiões amorfas e cristalinas em sua estrutura (MOURA *et al.*, 2018; RONGPIPI *et al.*, 2019; ZOHRI *et al.*, 2019).

Desta forma, as contribuições de estudo dos autores Moura *et al.*, (2018) e Zohri *et al.*, (2019) e Rongpipi *et al.*, (2019) a hemicelulose e a lignina estão naturalmente em sua forma amorfa, enquanto a celulose forma uma estrutura cristalina devido às ligações de hidrogênio intermoleculares e intramoleculares e as forças de van der Waals em sua cadeia molecular (MOURA *et al.*, 2018; RONGPIPI *et al.*, 2019; ZOHRI *et al.*, 2019). Nessas cadeias, algumas regiões apresentam um alinhamento paralelo das cadeias de celulose, formando áreas altamente ordenadas, onde surgem ligações de proteção entre grupos de hidrogênio de cadeias adjacentes. O que reforça para uma rede estável da estrutura cristalina, mantendo as cadeias mais próximas e organizadas, resultando em uma estrutura mais compacta e ordenada (MOURA *et al.*, 2018; RONGPIPI *et al.*, 2019; ZOHRI *et al.*, 2019).

O pico de difração em $2\theta = 8^\circ$ está associado à organização das fibras de celulose, evidenciando uma modificação da celulose em regiões amorfas e semicristalinas, características dos biopolímeros celulose, hemicelulose e lignina. O pico em $2\theta = 16^\circ$, por sua vez, está relacionado à orientação das cadeias de celulose em áreas de menor cristalinidade, sinalizando que as cadeias no bagaço de cana-de-açúcar estão mais desorganizadas e evidenciando regiões amorfas. Já o sinal próximo de $2\theta = 21^\circ$ corresponde aos planos (110 e 002) da celulose tipo I representando a intensidade máxima da estrutura cristalina da celulose. Esse pico sugeriu que a celulose no bagaço de cana-de-açúcar *In Natura* possui uma estrutura semicristalina, com cadeias de glicose organizadas em áreas tanto cristalinas quanto amorfas, estando de acordo com os estudos encontrados na literatura (MOURA *et al.*, 2018; RONGPIPI *et al.*, 2019; ZOHRI *et al.*, 2019).

A Figura 11 apresenta os difratogramas de raios X do SCB após trituração e calcinação a 400 °C; 500 °C e 700 °C.

Figura 11 - Difratogramas de raios X do SCB após trituração e calcinação a 400 °C; 500 °C e 700 °C.



Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

Na Figura 11 foi possível observar dois sinais iniciais centrados em (8° e 21°), apresentando 2 sinais largos e mais intensos após calcinação do bagaço da cana-de-açúcar em 400 °C, 500 °C e 700 °C revelando uma grande diferença entre os materiais após a calcinação (FILHO *et al.*, 2007; MOURA *et al.*, 2018; WADA *et al.*, 2010; ZOHRI *et al.*, 2019).

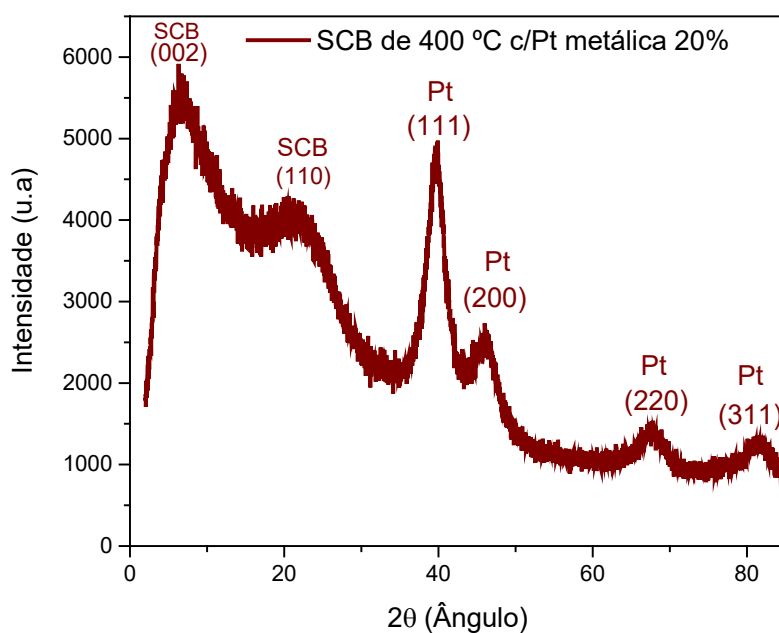
Desta forma segundo as contribuições dos autores Filho *et al.*, (2007) Moura *et al.*, (2018), Wada *et al.*, (2010) e Zohri *et al.*, (2019) as alterações estruturais no bagaço de cana-de-açúcar após calcinação, segundo as contribuições dos autores, os picos difratados em $2\theta = 8^\circ$ e 21° referentes ao material calcinado a 400, 500 e 700 °C, mostraram um aumento na distância interplanar em relação a celulose original, e um desvio de posição, evidenciando uma modificação significativa na estrutura da celulose, devido a geração de desordem quando a celulose é modificada, indicando o aumento da distância

interfibrilar do material. O que desta forma foi possível correlacionar as informações dos autores, pois durante a calcinação, a celulose do bagaço sofreu alterações térmicas constantes; a partir de 300 °C, e a estrutura começou a se modificar, formando resíduos carbonáceos e amorfos (FILHO *et al.*, 2007; MOURA *et al.*, 2018; WADA *et al.*, 2010; ZOHRI *et al.*, 2019).

Em 500 °C, esses resíduos aumentaram, mantendo a estrutura amorfa, visível pelo pico mais intenso em $2\theta = 8^\circ$. E a temperatura de 700 °C, a celulose está praticamente degradada, pois ela começa a se decompor a partir de 300 °C alcançando uma degradação completa em uma temperatura de 400 até 500 °C. E o difratograma de raios X mostra uma diminuição do pico característico da celulose, reduzindo a estrutura cristalina e evidenciando um pico menos intenso em $2\theta = 21^\circ$. A diferença na intensidade dos picos indicaram uma transição de material orgânico para uma fase inorgânica predominante, com decomposição em carvão e cinzas ricas em minerais, pois houve remoção de materiais voláteis e uma transformação do resíduo sólido, para uma fase predominantemente inorgânicas, corroborando através dos estudos dos autores para essa possível conclusão (FILHO *et al.*, 2007; MOURA *et al.*, 2018; WADA *et al.*, 2010; ZOHRI *et al.*, 2019).

A Figura 12 apresenta o difratograma de raio X do bagaço da cana-de-açúcar de 400 °C com 20% de platina metálica.

Figura 12 – Difratograma de raio X do bagaço da cana-de-açúcar de 400 °C com 20% de platina metálica.



Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

Ao obter o material final após sintetizar o acetilacetonato de Pt (II) e o bagaço da cana-de-açúcar de 400 °C em um forno tubular a técnica de difração de raio-X realizada e representada através da Figura 12 mostrou sinais tanto do bagaço de cana-de-açúcar quanto da platina metálica 20% após a síntese. Os sinais difratados do bagaço da cana-de-açúcar foram de $2\theta = 6,7^\circ$ e $21,22^\circ$ (002 e 110) e para a Pt metálica 20%, se foram obtidos sinais centrados em $2\theta = 39,7^\circ$ (111); $46,2^\circ$ (200); $67,5^\circ$ (220); e $81,5^\circ$ (311) (GODOI *et al.*, 2010; LIU *et al.*, 2008).

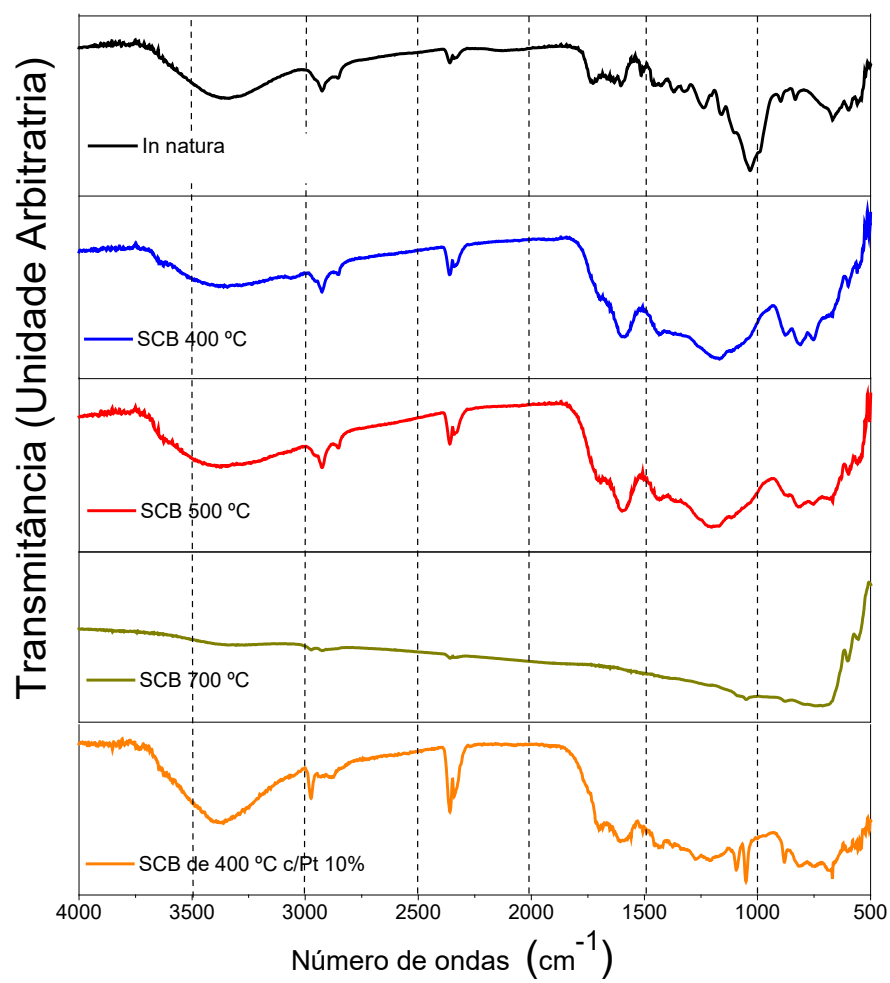
Desta forma após os estudos dos autores de Godoi *et al.*, (2010) e Liu *et al.*, (2008) os picos da platina metálica (Pt) foram centrados em $2\theta = 39,7^\circ$ (111); $46,2^\circ$ (200); $67,5^\circ$ (220); e $81,5^\circ$ (311). E para o bagaço de cana-de-açúcar, Moura *et al.* (2018) identificou picos em $2\theta = 6,7^\circ$ e $21,22^\circ$ (110 e 002) (GODOI *et al.*, 2010; LIU *et al.*, 2008). Foi possível compreender que após combinar acetilacetonato de Pt (II) e o suporte do bagaço de cana-de-açúcar de 400 °C, se fez condizente que durante a síntese o acetilacetonato de Pt (II) foi parcialmente degradado, transformando o em uma Pt(0) uma platina metálica do tipo policristalina, que no qual é apresentado através dos planos cristalográficos representados por todos os picos típicos da platina cúbica de face centrada,

formando uma estrutura cristalográfica através dos planos cristalográficos que a platina esteve em sua forma natural e pelo fato dos picos serem largos, foi possível observar que se obteve um tamanho de cristalito pequeno, com uma partícula relativamente pequena, não significando desta forma a sua distribuição, mas sim, correlacionado ao seu tamanho pequeno apresentado pela largura do pico e pela dimensão nanométrica do material (GODOI *et al.*, 2010; LIU *et al.*, 2008). Compreendendo que o precursor de 400 °C contém a presença de grupos funcionais em sua estrutura que permitiram a fixação da platina metálica ao suporte de bagaço calcinado, pois a presença de grupos carboxílicos no suporte do bagaço da cana-de-açúcar calcinado a 400 °C favoreceu para adsorção da platina metálica, estabelecendo um material com potencial catalítico, excelente capacidade de adsorção e propriedades específicas em reações eletroquímicas, estando de acordo com os trabalhos da literatura de (GODOI *et al.*, 2010; LIU *et al.*, 2008).

4.1.2 Espectroscopia FTIR, Raman, RMN e MEV

A Figura 13 mostra imagem da técnica de espectroscopia - FTIR em modo reflectância total atenuada (ATR – attenuated total reflectance) com número de ondas por cm (cm^{-1}) de 4000 a 500 após queima realizada pela caracterização da termogravimetria, do bagaço-da-cana de açúcar, assim como é apresentado pela Figura 13.

Figura 13 – Espectros FTIR com número de ondas de 4000 a 500.



Fonte: Elaborado pela Autora (2024)

Tabela 4 – Respective grupos funcionais de FTIR do bagaço da cana-de-açúcar *In Natura*, após a calcinação em 400;500 e 700 °C e da combinação do bagaço calcinado de 400 °C com Pt metálica 10%.

Bandas (cm ⁻¹) SCB <i>In Natura</i>	Bandas (cm ⁻¹) SCB 400 °C	Bandas (cm ⁻¹) SCB 500 °C	Bandas (cm ⁻¹) SCB 700 °C	Bandas (cm ⁻¹) SCB de 400 °C c/Pt metálica 10%	Grupo Funcional
-	-	-	-	4000-3000 cm ⁻¹	v OH
3700-3000 cm ⁻¹	3700-300 cm ⁻¹	3700-300 cm ⁻¹	3340-3500 cm ⁻¹	3000-2800 cm ⁻¹	v OH
2920-2850 cm ⁻¹	2920-2850 cm ⁻¹	2920-2850 cm ⁻¹	-	-	v (-CH ₂) / (-CH ₃)
1730-1715 cm ⁻¹	1730-1715 cm ⁻¹	1730-1715 cm ⁻¹	1630 cm ⁻¹	1700-1600 cm ⁻¹	v C=O
1600-1510 cm ⁻¹	1600 cm ⁻¹	1600 cm ⁻¹	-	1371 cm ⁻¹	v C=C
1460-1430 cm ⁻¹	1150-1050 cm ⁻¹	1150-1050 cm ⁻¹	-	-	v CH ₂
1300-1200 cm ⁻¹	-	-	-	-	v C-O/C-C
900 cm ⁻¹	-	-	-	-	γ C-H
-	-	-	-	500-800 cm ⁻¹	v PtO

Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

Ao realizar a técnica de espectroscopia dos materiais começando pelo bagaço da cana-de-açúcar *In Natura* e dos demais materiais do bagaço da cana-de-açúcar calcinado a 400 °C; 500 °C e 700 °C e do bagaço calcinado a 400 °C com Pt metálica 10% assim como mostra os espectros apresentados pela Figura 13 e na Tabela 4. O SCB *In Natura* e os materiais de 400 °C; 500 °C e com Pt metálica 10% apresentaram as mesmas bandas, apenas se diferenciando do material de 700 °C que apresentaram uma grande diferença significativa entre as bandas atribuídas, devidamente à decomposição térmica e a remoção de composto orgânicos assim como é apresentados através da Tabela 4.

O espectro do SCB *In Natura* e os materiais de 400 °C; 500 e SCB com Pt metálica 10% apresentaram o mesmo evento de perda de massa de 3700 – 3000 cm^{-1} atribuída a vibração de estiramento de OH livre do grupo -OH e das ligações de hidrogênio intermoleculares e intramoleculares presentes nas moléculas de celulose.

O material *In Natura* apresentou nas bandas no espectro da Figura 13 de 2920 e 2850 cm^{-1} se refere aos grupos metil e metileno de cadeias alifáticas da lignina e hemicelulose; 1730-1715 cm^{-1} C=O de ésteres, grupos carboxílicos ou cetonas e especialmente hemicelulose; 1600-1510 cm^{-1} estiramento aromático na lignina; 1460-1430 cm^{-1} dobramento de CH_2 ou CH_3 de hemicelulose ou celulose; 1300-1200 cm^{-1} vibrações que se correlacionam a estiramentos de C-O ou C-C; 1150-1050 cm^{-1} estiramento de C-O-C de éteres ou grupos glicosídicos da celulose e 900 cm^{-1} vibrações correlacionadas à β -glicosídica estrutura da celulose. Desta forma após a calcinação do material de 400 °C e 500 °C reduziu ou possivelmente eliminou compostos orgânicos, deixando resquícios de carbono ou cinzas minerais estando de acordo com os trabalhos encontrados na literatura (ABILIO *et al.*, 2021; MELESSE *et al.*, 2022).

E desta forma os espectros do material calcinado a 400 e 500 °C da Figura 13 incluíram praticamente as mesmas bandas do material *In Natura*. 3700-3000 cm^{-1} reduziu a banda devido a eliminação de água e ligações de hidroxila orgânicas; 2920 e 2850 cm^{-1} obtendo-se a redução de grupos alifáticos

indicando degradação de hemicelulose e lignina; 1730-1715 cm^{-1} bandas quase ausente, indicando degradação térmica da hemicelulose; 1600 cm^{-1} persiste como uma banda mais fraca associada a C=C aromática residual indicando carbono grafitado ou estruturas aromáticas das cinzas; 1150-1050 cm^{-1} redução significativa dos compostos glicosídicos e 500-800 cm^{-1} bandas associadas as vibrações ao oxigênio ligado a estrutura inorgânicas estando de acordo com trabalho da literatura de (MUBARAK *et al.*, 2024; SCHEUFELE *et al.*, 2015).

No espectro da Figura 13 do bagaço calcinado a 400 °C com Pt metálica 10% se obtiveram bandas na região de 4000 a 3000 cm^{-1} uma banda larga indicando vibrações de estiramento de O-H de hidroxilas adsorvidas na superfície do material calcinado, incluindo grupos -OH associados a espécies inorgânicas; na região de 3000-2800 indica bandas atribuídas ao estiramento C-H alifático ocorridas através da degradação térmica dos compostos orgânicos no processo de calcinação; 1700-1600 cm^{-1} indica vibrações de deformação de O-H da água fisicamente adsorvida a vibrações de estiramento de C=C em estruturas aromáticas residuais; 800-500 cm^{-1} possíveis interações de óxidos de platina residuais de (PtO ou PtO₂) podendo ser um indicativo da interação da platina metálica e a superfície do suporte, pois a platina pode alterar a adsorção dos grupos funcionais no material e promover mudanças químicas superficiais associadas ao suporte, estando de acordo com o trabalho da literatura de (KŘENEK *et al.*, 2013).

O material SCB de 700 °C da Figura 13 obteve uma banda larga atribuída de 3700-3000 cm^{-1} atribuída devidamente ao estiramento de O-H hidroxilas adsorvidas na superfície dos óxidos orgânicos ou da água residual; 1630 cm^{-1} deformação de O-H de água fisicamente adsorvida e possível contribuição de vibração C=C de estruturas carbonosas aromáticas; 800-500 cm^{-1} bandas associadas a modos vibracionais de oxigênio de materiais cristalinos ou amorfos estando de acordo com o trabalho da literatura de (MORAES *et al.*, 2024).

Segundo o autor Melesse *et al.*, (2022) todos os espectros da Figura 13 mostraram uma banda na faixa de 3600-3000 cm^{-1} atribuída a vibração de estiramento de OH livre do grupo -OH das ligações de hidrogênio

intermoleculares e intramoleculares nas moléculas de celulose. Os espectros também apresentaram uma banda de absorção em torno de 904 cm^{-1} devida às vibrações de estiramento de CH glicosídico em moléculas de celulose, o que representa ligações β – glicosídicas e a fração não cristalina da celulose. O espectro de FTIR da lignina e da hemicelulose foram indicadas através dos picos com o número de onda por volta de 1514 e 1730 cm^{-1} se correlacionam a uma vibração aromática de C=C do anel aromático da lignina e a vibração de alongamento C=O se relacionam com a banda de hemicelulose e da lignina obtidos na estrutura do material, respectivamente. Portanto vários picos associados a hemicelulose e a lignina, além da curvatura CH das estruturas da hemicelulose e da lignina e à vibração C=C do anel aromático da lignina em torno de 1430 cm^{-1} , bem como o pico em 1240 cm^{-1} foram atribuídos a alongamentos COC fora do plano de éteres alquílicos de arila na lignina diminuíram e desapareceram quase completamente em alguns espectros após o tratamento térmico do bagaço da cana-de-açúcar (MELESSE *et al.*, 2022).

Segundo as atribuições dos autores Abilio *et al.*, (2021) o bagaço da cana-de-açúcar também apresentou uma deformação axial simétrica e assimétrica do trecho C–H alifático e aromático de grupos metileno (CH_2) de celulose e lignina que também pode ser verificada em 2856 e 2925 cm^{-1} . A biomassa do bagaço da cana-de-açúcar *In Natura* apresentou grupos carbonila de aldeído na hemicelulose, exibindo deformação axial C=O entre 1600 e 1733 cm^{-1} . As vibrações de deformação axial de deformação simétrica e assimétrica C–O–C de éteres alifáticos e aromáticos presentes na composição da biomassa, bem como alongamento de deformação angular de ácidos carboxílicos C–O de vibração de deformação axial, correspondentes à composição de celulose, mostraram bandas na frequência de 904 a 508 cm^{-1} e 1160 e 1240 cm^{-1} e uma banda mais atenuada de 1034 cm^{-1} devido ao deslocamento de C-O também está relacionada com a celulose (ABILIO *et al.*, 2021).

De acordo com as atribuições e contribuição dos autores Mubarak *et al.*, (2024) e Scheufele *et al.*, (2015) após realizar estudo sobre o efeito da temperatura de secagem do bagaço da cana-de-açúcar. Foi possível observar nos espectros de FTIR após a calcinação de $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ é possível

identificar para ambas as temperaturas, uma banda larga a $3700\text{-}3000\text{ cm}^{-1}$ relacionada com o estiramento O-H e uma banda a 2934 cm^{-1} que indica o estiramento C-H de grupos metil e metileno, ambos constituintes da estrutura da celulose e hemicelulose. Puderam ser observadas bandas discretas, fortes e sobrepostas, na região de $1750\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$. A banda a 1734 cm^{-1} está relacionada com a presença de carbonila livre (C=O) da hemicelulose, característica das estruturas de xilana. Em 1371 cm^{-1} a absorção de C-H e o estiramento -C-O- em 1200 cm^{-1} interferem a presença de ligações éster. A banda de 1595 cm^{-1} está associada a ligações β -glicosídicas entre unidades de açúcar. Além disso, a banda de absorção a 879 cm^{-1} indica estiramento C-O-C, também referente a ligações β -(1-4)-glicosídicas, as ligações entre precursores monoméricos de celulose. Além disso, a banda observada a 1430 cm^{-1} representa o estiramento simétrico CH_2 da celulose, e a banda a 1172 cm^{-1} resulta da deformação assimétrica de C-O-C, ambas derivadas de estruturas de celulose e hemicelulose. Em 1604 cm^{-1} e 1500 cm^{-1} C=C podem ser identificadas bandas relacionadas com a lignina, resultantes da presença de anéis aromáticos dos álcoois precursores da lignina (coniferílico, sinapílico e p-cumarílico). Além disso, uma banda a 833 cm^{-1} é outra referência à lignina, que corresponde ao estiramento C-H fora do plano nas posições 2 e 6 do siringil e guaiacil, e em todas as posições do anel hidroxifenil. E os picos difratados em 664 cm^{-1} indicam e mostram flexão fora do plano C-OH, respectivamente (MUBARAK *et al.*, 2024; SCHEUFELE *et al.*, 2015).

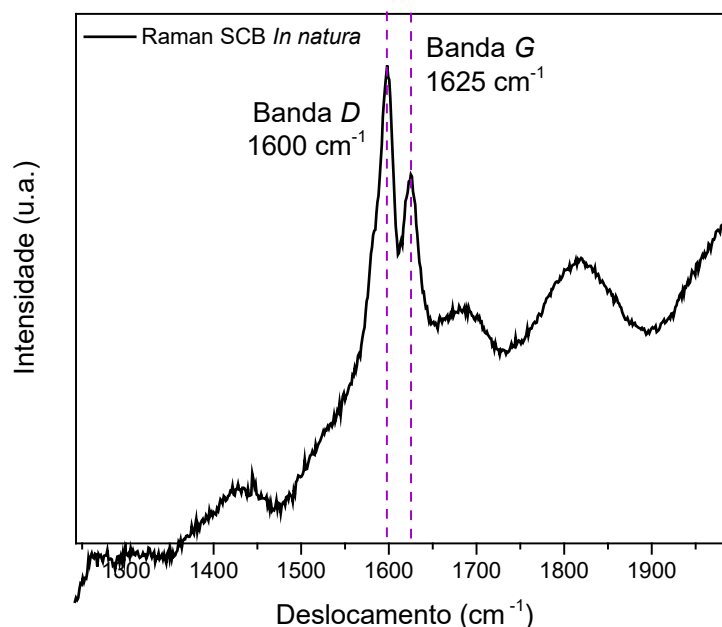
Segundo o autor Moraes *et al.*, (2024) as respectivas bandas nos espectros de biomassa principalmente na biomassa de $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ mostraram uma diminuição acentuada, sugerindo que houve uma redução de estruturas alifáticas promovidas pela calcinação. Pois durante o processo de calcinação em altas temperaturas, levou-se a decomposição de celulose, hemicelulose e lignina e principais componentes orgânicos do bagaço. Após a calcinação o processo resultou em algumas mudanças importantes nas bandas do espectro de FTIR. O material a $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ apresentou uma significativa redução e desaparecimento de bandas associadas aos grupos correspondentes de OH. O estiramento de celulose e hemicelulose (entre 3340 e 3500 cm^{-1}) teve uma diminuição

acentuada em relação a manipulação desses polímeros e mantendo no material uma banda em 1050 cm^{-1} devido ao deslocamento C-O (MORAES *et al.*, 2024).

Após a calcinação dos materiais de $400\text{ }^{\circ}\text{C}$; $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ e o material de $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ao ser combinado juntamente com Pt metálica 10% . Segundo o autor Krenek *et al.*, (2013) condiz através em suas atribuições que a Pt metálica tem um ligante de acetilacetonato ligado ao metal através de átomos C central. Portanto, as atribuições para de Pt metálica 10% se atribuíram em um estiramento simétrico e assimétrico de CO (1559 e 1374 cm^{-1}) e ao estiramento C=C (1520 cm^{-1}) dos grupos quelatos e a banda em (600 cm^{-1}) corresponde ao estiramento da ligação PtO e outras bandas correspondentes ao complexo de modos vibracionais C-C e CH_3 (KŘENEK *et al.*, 2013).

A Figura 14 apresenta espectro de Raman do bagaço da cana-de-açúcar *In Natura*.

Figura 14 – Espectro Raman do bagaço da cana-de-açúcar *In Natura*.

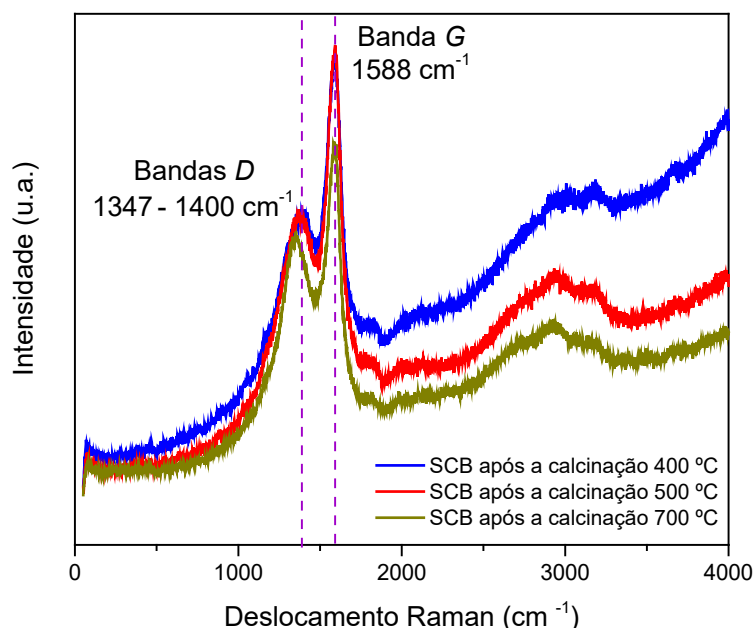


Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

A Figura 14 do bagaço da cana-de-açúcar *In Natura* é um material lignocelulósico composto por constituintes predominantes principais em sua estrutura, como celulose, hemicelulose e lignina. Segundo o autor CHANDEL *et al.*, (2014) as bandas mais fortes atribuídas na região de 1600 cm^{-1} banda *D* e 1625 cm^{-1} banda *G* são resultados de grupo fenil da lignina. Onde o pico *G* envolve o movimento de alongamento de ligação no plano carbono de sp^2 , enquanto o pico *D* se origina através do movimento de vibração simétrica (CHENG *et al.*, 2022).

A Figura 15 apresenta as bandas dos espectros Raman do bagaço da cana-de-açúcar calcinado 400;500 e 700 °C.

Figura 15 - Espectros Raman do bagaço da cana-de-açúcar calcinado 400;500 e 700 °C.



Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

A espectroscopia Raman é amplamente empregada para a análise estrutural de materiais sólidos à base de carbono. Após a calcinação do bagaço da cana-de-açúcar os materiais de 400;500 e 700 °C da Figura 15 os espectros foram avaliados.

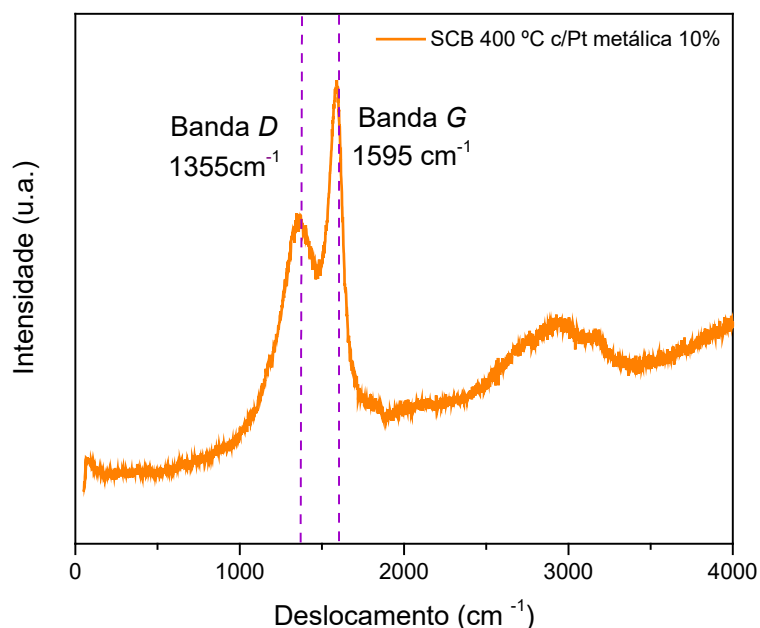
Após realizar o tratamento do material em diferentes temperaturas de 400;500 e 700 °C foi possível observar na espectroscopia que o pico da banda *D* teve uma mudança na estrutura ordenada do material diminuindo a sua intensidade após a calcinação do material, associando-se a decomposição térmica dos compostos orgânicos, para formação de fases carbonosas e inorgânicas, e modificando a largura das bandas conforme a temperatura foi aumentando, a temperatura de 400 °C a banda *D* estava na posição de 1400 cm^{-1} em 500 °C 1370 cm^{-1} e para 700 °C em 1347 cm^{-1} e para a banda *G* em 1588 cm^{-1} se houve um pico mais intenso em temperaturas de 400 ° e 500 °C e para o material calcinado a 700 °C o pico teve sua intensidade diminuída após tratamento térmico estando de acordo com os trabalhos apresentados da literatura (CHANDEL *et al.*, 2014; KHALIL *et al.*, 2022; ZAFEER *et al.*, 2024).

Segundo o autor Chandel *et al.*, (2014); Khalil *et al.*, (2022) e Zafeer *et al.*, (2024) em suas contribuições, indicou que após o tratamento do bagaço da cana-de-açúcar em diferentes temperaturas, pode se compreender que o material de 400;500 °C teve através destas temperaturas a degradação da lignina da estrutura do material, nos mostrando através da intensidade do pico que ocorreu na temperatura de 700 °C apresentando que a estrutura da lignina teve uma modificação em sua estrutura,

considerando a degradação da lignina na temperatura a 700 °C. As bandas *D* correlacionadas ao pico com a intensidade menor após a calcinação, apresentou através da Figura 15 que à medida que a temperatura de calcinação foi aumentada, verificou-se uma desordem na estrutura do material carbonáceo nos picos de 1400 cm⁻¹; 1347 cm⁻¹ 1370 cm⁻¹. E os sinais da banda *G* é atribuído ao modo ativo *E*_{2g} Raman de alongamento C–C, enquanto os sinais banda *D* é resultado do modo *A*_{1g} Raman. Os trabalhos apresentados pelos autores, contribuíram de acordo para este estudo (CHANDEL *et al.*, 2014; KHALIL *et al.*, 2022; ZAFEER *et al.*, 2024).

A Figura 16 apresenta bandas *D* e *G* do espectro de Raman do bagaço da cana-de-açúcar calcinado a 400 °C combinado com de Pt metálica 10%.

Figura 16 – Espectro Raman do bagaço da cana-de-açúcar com de platina metálica 10%.



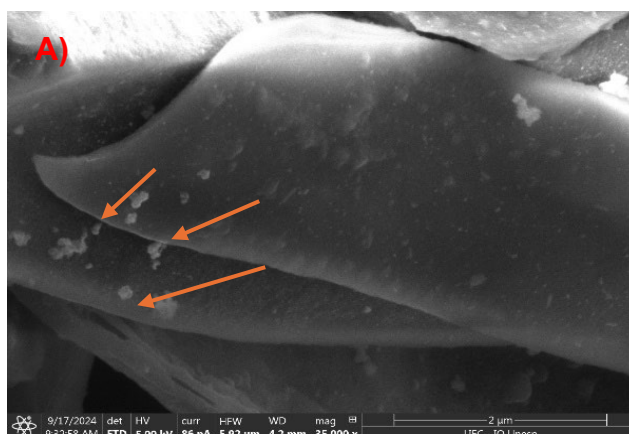
Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

Ao analisar as bandas do espectro na Figura 16 foi possível perceber que, após a combinação de 10% de Pt metálica com o bagaço calcinado, apresentou o primeiro pico da banda *D* em 1395 cm⁻¹ e o segundo pico da banda *G* em 1588 cm⁻¹. Esses picos indicaram que, mesmo com a presença de Pt metálica, as intensidades do material se mantiveram semelhantes às do material calcinado em diferentes temperaturas, apresentando apenas um pequeno deslocamento na estrutura,

condizendo desta forma que o material utilizado como suporte manteve essencialmente as suas respectivas características.

A Figura 17 apresenta imagem de MEV do suporte da Pt metálica 10% suportada no bagaço da cana-de-açúcar de 400 °C.

Figura 17 - Imagem de MEV (a) apresenta imagem do suporte da Pt metálica 10% suportada no bagaço da cana-de-açúcar de 400 °C.

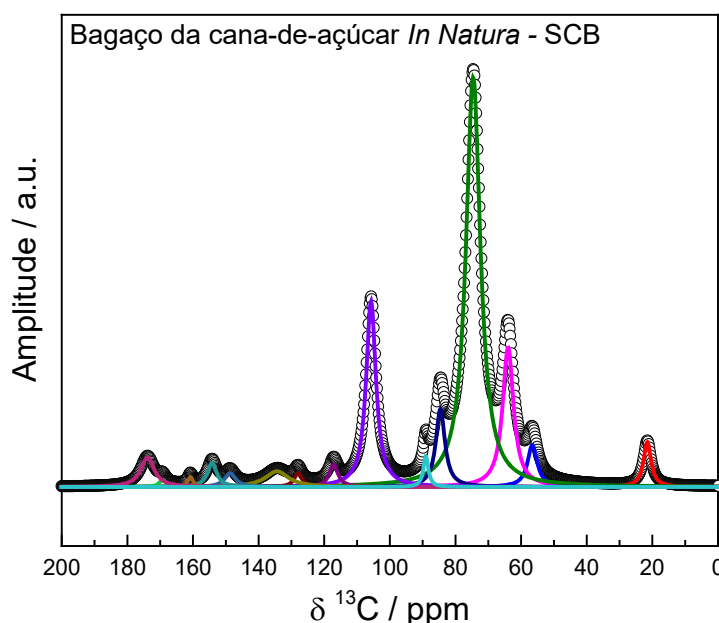


Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

A Figura 17 após realizar a técnica de MEV foi possível observar características dos materiais do bagaço da cana-de-açúcar após a calcinação em 400 °C e da Pt metálica 10%. A Figura 16 (a) mostra pequenos pontos brancos na superfície do material que indicam a presença Pt metálica 10% sobre a superfície do precursor do bagaço da cana-de-açúcar calcinado a 400 °C indicando e demonstrando através das imagens que o material teve interação com a Pt metálica 10% na superfície do material.

A Figura 18 apresenta o espectro de RMN de ^{13}C do bagaço da cana-de-açúcar *In Natura* e sinais após deconvolução e suas respectivas áreas integradas.

Figura 18 - Espectro RMN de ^{13}C do bagaço da cana-de-açúcar *In Natura*.



Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

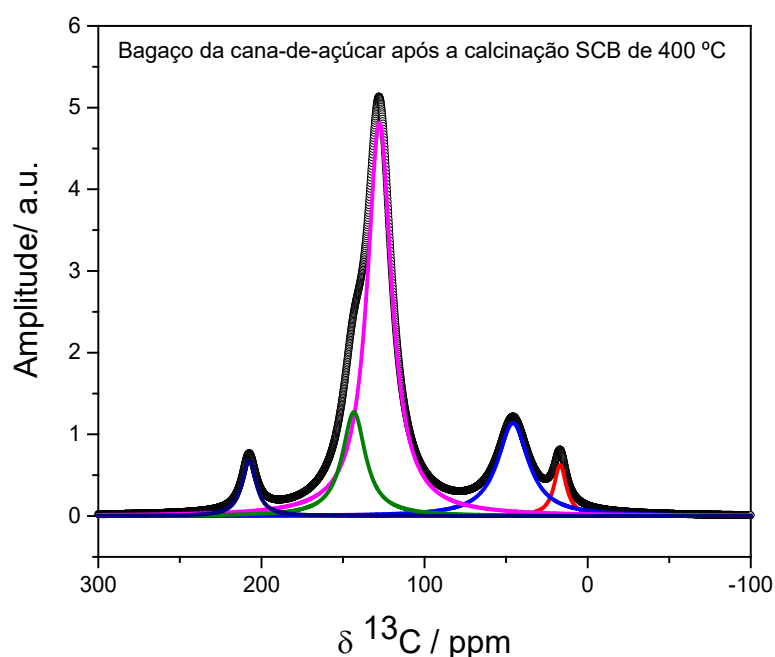
Após realizar a técnica de deconvolução, da Figura 18 e suas respectivas áreas integradas, se obteve diversos sinais, correspondentes dos sinais deconvoluidos do bagaço da cana-de-açúcar *In Natura*. Os sinais obtidos foram de 21,41 ppm; 53,23 ppm 63,59 ppm; 74,15 a 84,09 ppm; 105,09 ppm; 116,43; 127,19 ppm; 133,61 ppm 147,77 ppm; 153 a 159 ppm; 168,18 a 172,81 ppm e 88,48 todos esses sinais estão de acordo com os mesmos sinais dos trabalhos encontrados na literatura para interpretação dos dados. Os sinais atribuídos correspondem a estruturas da celulose, hemicelulose e lignina do bagaço da cana-de-açúcar (REZENDE *et al.*, 2011).

Segundo o autor Rezende *et al.*, (2011) os sinais deconvoluidos do bagaço da cana-de-açúcar são correspondentes aos mesmos que foram apresentados pelo trabalho do autor, os sinais de 21,41 ppm corresponde grupos de acetil da hemicelulose; 56,23 ppm aril metoxila carbono da lignina; 63,59 ppm corresponde aos principais monômeros da hemicelulose, como: D-glicose; D-manose e D-galactose; 63,59 ppm está relacionado aos grupos aril éter ou alquil éter da lignina. O sinal de 74,15 a 84,09 ppm está associado aos carbonos C₂, C₃ da celulose onde representa as hidroxilas formando fortemente pontes de hidrogênio intramoleculares e intermoleculares entre as cadeias da celulose, o que confere a rigidez e a estabilidade à estrutura e o C₅ faz parte da estrutura principal da glicose sendo responsável em manter a ligação entre o anel de glicose e o grupo hidroximetileno do C₆ sendo

essenciais para as propriedades físico-químicas da estrutura da celulose. O sinal de 105,09 ppm corresponde a uma parte β -D- glicopirranose (unidade básica da celulose). C₁ carbono da celulose 116,43 ppm; 127,19 ppm se refere a compostos fenólicos aromáticos presentes da lignina. 133,61 ppm C₂ guaiacila da lignina e 147,77 ppm C₁ e C₄ siringila. De 153,26 a 159 ppm estão associados aos carbonos quimicamente deslocados devido à presença de carbonila ou fenóis da estrutura da lignina. 168,18 a 172,81 ppm correspondem aos grupos carboxila da hemicelulose e lignina, e o sinal de 88,48 ppm C₄ está associado a carbonos que fazem parte de ligações glicosídicas em polissacarídeos da celulose e hemicelulose e desta forma este trabalho está de acordo com o trabalho encontrado na literatura (REZENDE *et al.*, 2011).

A Figura 19 apresenta o espectro de RMN de ^{13}C do bagaço da cana-de-açúcar após calcinação a 400 °C e sinais após deconvolução e suas respectivas áreas integradas.

Figura 19 - Espectro RMN de ^{13}C do bagaço da cana-de-açúcar calcinado a 400 °C.



Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

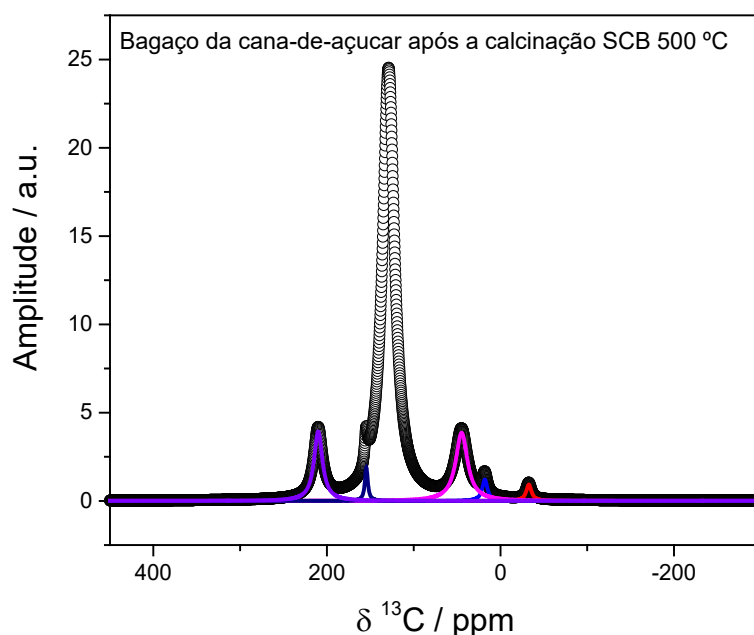
Após realizar a síntese do bagaço da cana-de-açúcar de 400 °C, se pode observar que ainda foi permanecido uma boa quantidade de sinais, assim como se apresenta a Figura 19. Os sinais deconvoluidos do bagaço após a calcinação foram da celulose, hemicelulose e lignina e os mesmos correspondem aos sinais de: 16,76 ppm

45,47 ppm 126,89 ppm 142,44 ppm e 206,30 ppm para interpretação destes sinais os mesmos foram encontrados na literatura para interpretação dos resultados, estando de acordo com o autor (REZENDE *et al.*, 2011).

Segundo o autor Rezende *et al.*, (2011) o sinal deconvoluidos em 16,76 ppm é um sinal que corresponde ao grupo acetil da hemicelulose. E os sinais de 45,47 ppm a 126,89 ppm, são sinais atribuídos para celulose, mas também existe sinais atribuídos da hemicelulose e da lignina. Os sinais concentrados entre 142,44 ppm a 206,30 ppm correspondem relativamente a estrutura quimicamente e mais complexa da lignina. Os sinais atribuídos na deconvolução correspondem com as informações da literatura, indiciando que a temperatura de 400 °C iniciou a degradação dos materiais presentes na estrutura do bagaço da cana-de-açúcar (REZENDE *et al.*, 2011).

A Figura 20 apresenta o espectro de RMN de ^{13}C do bagaço da cana-de-açúcar calcinado a 500 °C sinais após deconvolução e suas respectivas áreas integradas.

Figura 20 - Espectro RMN de ^{13}C do bagaço da cana-de-açúcar calcinado 500 °C.



Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

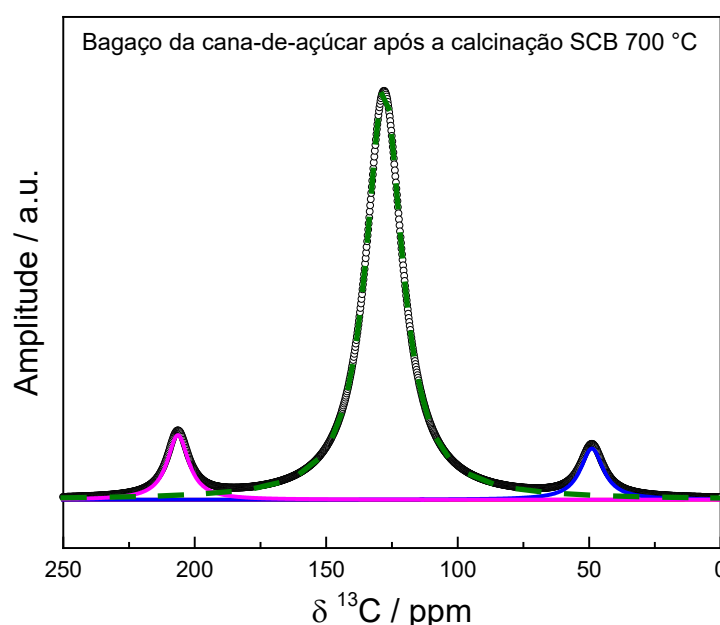
Para o bagaço calcinado a 500 °C já se pode perceber ao observar a imagem da Figura 20 que a deconvolução dos sinais atribuídos reduziram os respectivos sinais atribuídos na deconvolução, e após a calcinação do bagaço a 500 °C foram atribuídos

somente os sinais de 32,51 ppm – 17,89 ppm – 44,49 ppm – 128,02 ppm – 153,59 ppm – 208,74 ppm (REZENDE *et al.*, 2011).

Segundo o autor Rezende *et al.*, (2011) os sinais atribuídos de 17,89 e 32,51 ppm são atribuídos ao carbono da hemicelulose e para os sinais de 44,49 ppm a 128 ppm são sinais atribuídos aos carbonos de celulose, hemicelulose e lignina e para a região de 128,02 ppm – 153 ppm – 208 ppm são sinais que correspondem relativamente a estrutura complexa e desordenada da lignina. Desta forma o trabalho do autor está de acordo com os sinais deconvoluidos após a técnica de RMN para realização deste trabalho (REZENDE *et al.*, 2011).

A Figura 21 - espectro de RMN de ^{13}C do bagaço da cana-de-açúcar calcinado a 700 °C sinais após deconvolução e suas respectivas áreas integradas.

Figura 21 - Espectro RMN de ^{13}C do bagaço da cana-de-açúcar calcinado 700 °C.



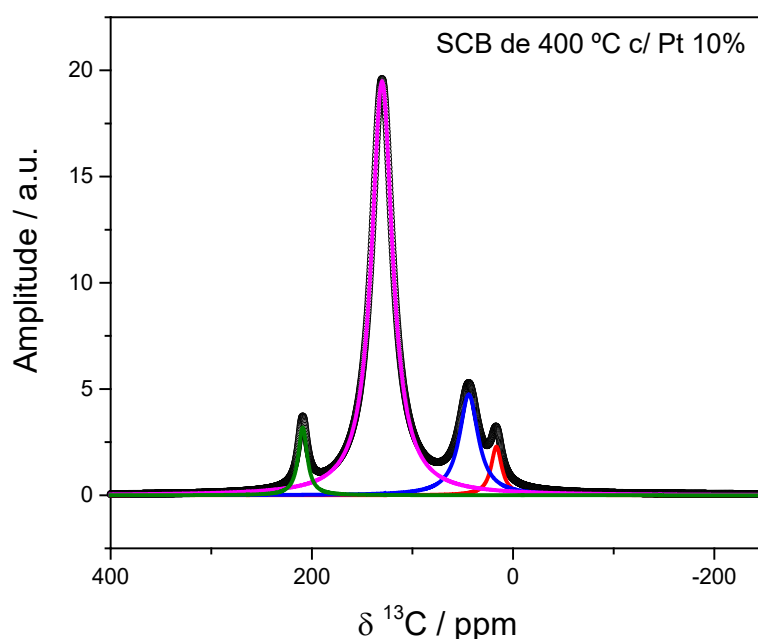
Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

Após a calcinação do bagaço da cana-de-açúcar *In Natura* em 700 °C e após realizar a técnica de RMN de ^{13}C , foi possível observar através da Figura 21 que os sinais dos compostos que fazem parte da estrutura do bagaço da cana-de-açúcar, foram reduzidos significativamente. Para o material calcinado a 700 °C foram atribuídos sinais em 32,37 ppm – 48,66 ppm – 127,22 ppm e 205,15 ppm (REZENDE *et al.*, 2011).

Segundo as contribuições do autor Rezende *et al.*, (2011) o sinal atribuído a 32,37 ppm corresponde ao carbono da hemicelulose e o sinal em 48,66 ppm é atribuído aos carbonos de celulose, mas também com contribuições de hemicelulose e lignina. E os sinais de 127,22 ppm a 205,15 são relativos devidamente a estrutura quimicamente complexa e desordenada da lignina. Os sinais encontrados para interpretação deste trabalho estão de acordo com os da literatura (REZENDE *et al.*, 2011).

Figura 22- Bandas dos espectros de RMN de ^{13}C do bagaço da cana-de-açúcar calcinado a 400 °C combinado Pt metálica e seus sinais deconvoluidos e suas respectivas áreas integradas.

Figura 22 - Espectro RMN de ^{13}C do bagaço da cana-de-açúcar calcinado a 400 °C combinado com Pt metálica 10%.



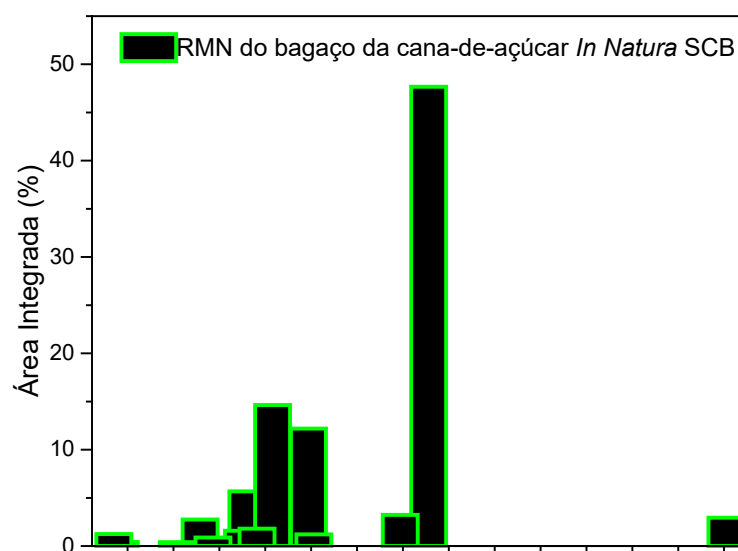
Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

Após a calcinação do bagaço da cana-de-açúcar a 400 °C e mais a combinação com Pt metálica 10% a Figura 22 mostra o espectro e suas respectivas deconvoluções em que foram atribuídas aos sinais de 16 ppm 43,75 ppm 129,44 ppm e 207,81 ppm. Se pode perceber através desta imagem e das imagens anteriores que se obteve redução dos sinais de típicos da celulose e hemicelulose e possivelmente uma mudança na estrutura da lignina (NANG VU *et al.*, 2024; REZENDE *et al.*, 2011).

Segundo as contribuições dos autores Nang Vu *et al.*, (2024) e Rezende *et al.*, (2011) o sinal de 16 ppm pode estar relacionado a grupos metila ou carbonos de aldeídos, enquanto os sinais de 43,75 ppm e 129,44 ppm podem indicar níveis de carbono em diferentes estados de oxidação ou até mesmo a presença de complexos metálicos. O sinal de 207,81 ppm é tipicamente associado a carbonos do de Pt metálica 10%. Desta forma os estudos estão parecidos com os que foram encontrados na literatura (NANG VU *et al.*, 2024; REZENDE *et al.*, 2011)

A Figura 23 Apresenta RMN das áreas integradas do bagaço da cana-de-açúcar *In Natura*.

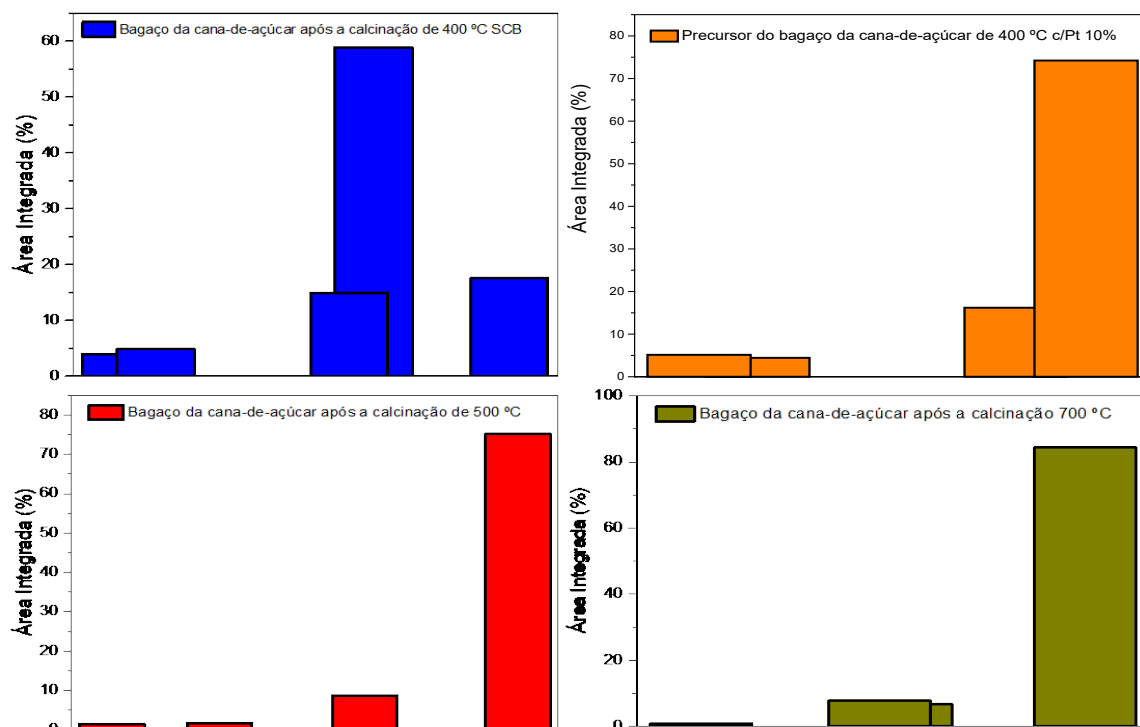
Figura 23 – Áreas integradas de RMN do bagaço da cana-de-açúcar *In Natura*.



Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

A Figura 24 apresenta as respectivas áreas integradas do bagaço da cana-de-açúcar calcinado a 400;500;700 e do SCB de 400 °C com platina metálica 10%.

Figura 24 – Áreas integradas de RMN do bagaço da cana-de-açúcar calcinado a 400; 500;700 °C e SCB de 400 °C com platina metálica 10%.



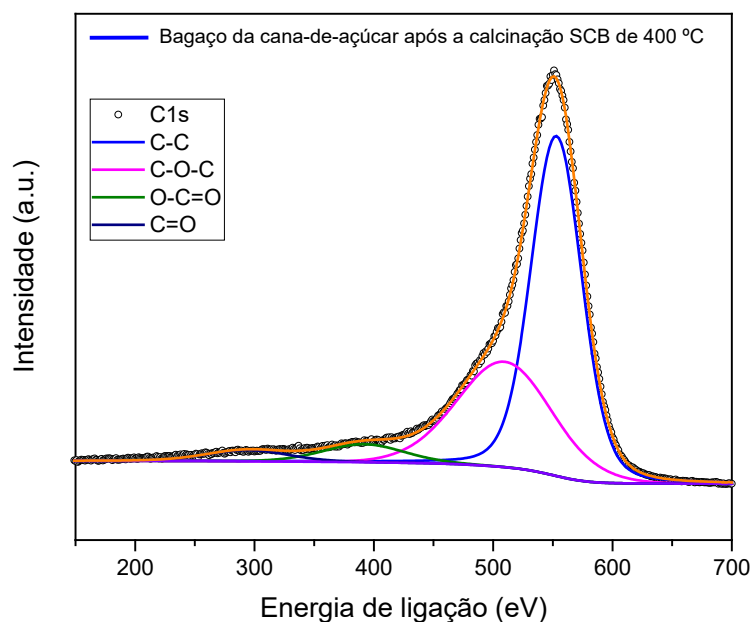
Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

A técnica de RMN de ^{13}C realizada, juntamente com a integração das áreas espectrais, revelou uma transformação progressiva dos compostos orgânicos complexos do bagaço da cana-de-açúcar em estruturas carbonáceas mais simples. Os espectros revelaram uma redução nos sinais associados aos carboidratos e um aumento nos sinais referentes às estruturas aromáticas e gráficas. Durante o processo térmico, como a calcinação, a celulose e a hemicelulose foram gradualmente degradadas, resultando na formação de compostos voláteis e resíduos carbonáceos, pois a celulose contribui para a formação de estruturas carbonáceas cristalinas, enquanto a hemicelulose, devido à sua natureza amorfa e heterogênea, se decompôs rapidamente em temperaturas mais baixas, liberando gases como CO_2 , CO e CH_4 .

Essa desordem estrutural está diretamente relacionada à composição lignocelulósica do material e às condições térmicas aplicadas, que favoreceram a condensação dos anéis aromáticos e a remoção de heteroátomos. Além disso, a adição de 10% de platina metálica induziu alterações significativas na reorganização estrutural do bagaço, resultando em novos padrões espectrais que evidenciam os efeitos da interação catalítica.

A Figura 25 apresenta a técnica do espectro de XPS do bagaço da cana-de-açúcar calcinado a 400 °C para detectar elementos de carbono.

Figura 25 – Espectro XPS do bagaço da cana-de-açúcar calcinado a 400 °C.



Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

O espectro de xps de C1s do bagaço da cana-de-açúcar calcinado a 400 °C o espectro assim como observado pela Figura 25 se obteve cinco componentes C-C com pico em torno de 284,2 eV, C-O-C em 285,3 eV, O-C=O 288,3 eV e um sinal em 290,7 eV. De C=O. O que desta forma, se é possível compreender que o material de 400 °C obteve uma carbonização parcial e uma oxidação superficial moderada, ocorrendo a formação de compostos oxigenados como carboxilas, carbonilas e possivelmente alguns resíduos de carboidratos, sugerindo que mesmo após a degradação térmica em 400 °C houve a preservação de alguns grupos funcionais oxigenados.

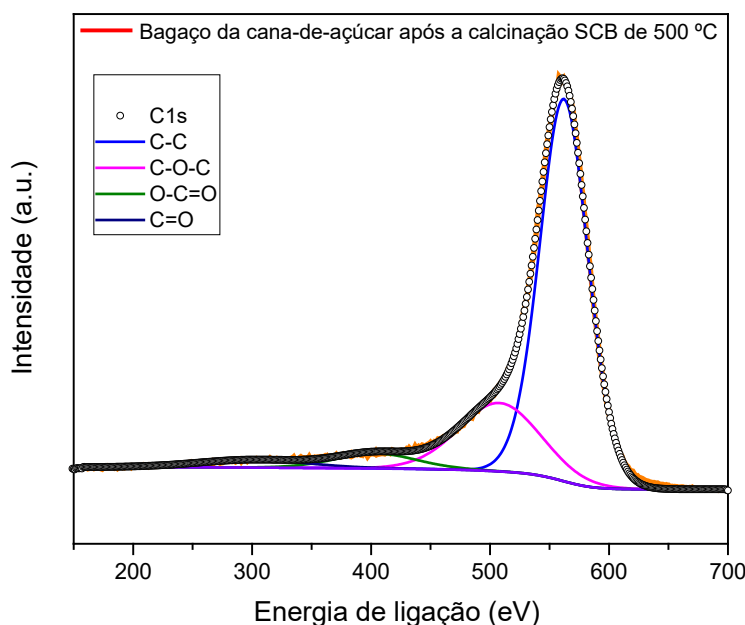
Segundo os autores Cao et al., (2016); Masood Ul Hasan et al., (2024) e Pereira et al., (2014) o pico de 284,2 eV é composto C=C/C-C . E o pico atribuído em 285,3 eV está correlacionado a ligações C-C/C-H em hidrocarbonetos e particularmente grupos metil e metileno, da estrutura lignocelulosica do bagaço da cana-de-açúcar (CAO et al., 2016).

E a banda identificada e atribuída de 288,0 a 288,4 eV está atribuída a C=O e ligações O-C=O em cetonas e grupos carboxila na estrutura, especialmente em lignina e a banda que se encontra em 290,7 eV está relacionada a carbonos mais oxidados presentes na superfície, indicando grupos carboxílicos. Desta forma os trabalhos dos autores se correlacionam com o mesmo que é apresentado (CAO et al., 2016;

MASOOD UL HASAN *et al.*, 2024; PEREIRA *et al.*, 2014). As respectivas áreas do material estão apresentadas na Tabela 5.

A Figura 26 apresenta a técnica do espectro de XPS do bagaço da cana-de-açúcar calcinado a 500°C para detectar elementos de carbono.

Figura 26 – Espectro XPS do bagaço da cana-de-açúcar calcinado a 500 °C.



Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

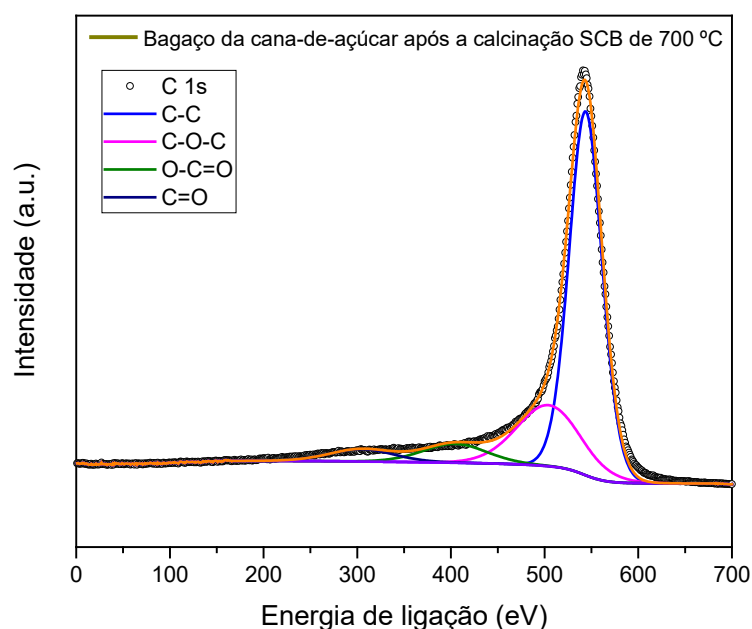
O espectro de xps de C1s do bagaço da cana-de-açúcar calcinado a 500 °C assim como observado pela Figura 26 se obteve cinco componentes C-C 284,0 eV; C-O-C 285,4 eV; O-C=O 288 eV e C=O 290,6 eV essas componentes mostraram após a calcinação do material a 500 °C que houve uma degradação parcial do material e oxidação superficial do bagaço da cana-de-açúcar, com a formação de carbonos amorfos ou grafitados e grupos funcionais oxigenados como carboxilas, carbonilas e grupos hidroxilas (CAO *et al.*, 2016; MASOOD UL HASAN *et al.*, 2024; PEREIRA *et al.*, 2014).

Segundo os autores Cao *et al.*, (2016); Masood UI Hasan *et al.*, (2024) E Pereira *et al.*, (2014) o pico de 284,2 eV é composto C=C/C-C . E o pico atribuído em 285,3 eV está correlacionado a ligações C-C/C-H e em hidrocarbonetos, particularmente grupos metil e metileno, da estrutura lignocelulosica do bagaço da cana-de-açúcar. E a banda

identificada e atribuída de 288,0 a 288,4 eV está atribuída a C=O e ligações O-C=O em cetonas e grupos carboxila na estrutura, especialmente em lignina, e a banda que se encontra em 290,7 eV está relacionada a carbonos mais oxidados presentes na superfície, indicando grupos carboxílicos. Desta forma o trabalho apresentado está de acordo com os trabalhos dos outros autores (CAO *et al.*, 2016; MASOOD UL HASAN *et al.*, 2024; PEREIRA *et al.*, 2014). As respectivas áreas do material estão apresentadas na Tabela 5.

A Figura 27 apresenta a espectro de XPS do bagaço da cana-de-açúcar calcinado a 700 °C detecção de elemento de carbono.

Figura 27 – Espectro XPS do bagaço da cana-de-açúcar calcinado a 700 °C.



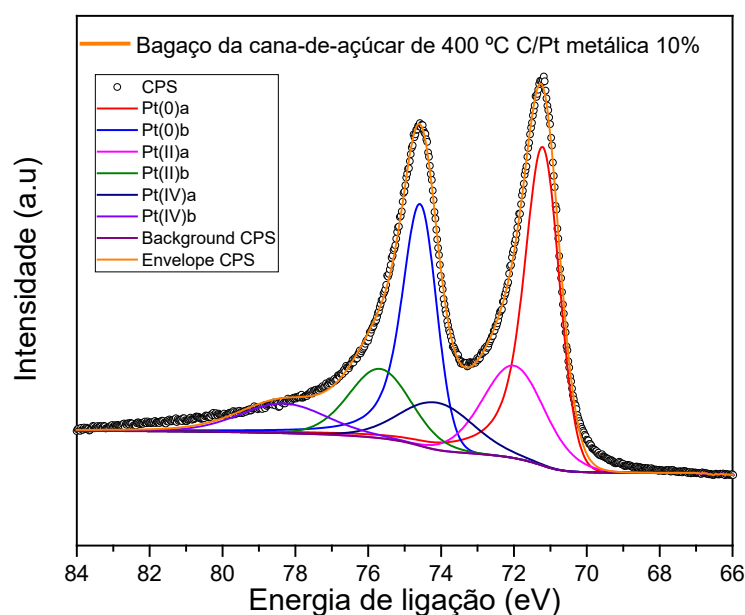
Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

O espectro de xps de C1s do bagaço da cana-de-açúcar calcinado a 700 °C o espectro assim como observado pela Figura 27 se obteve cinco componentes C-C 284,0 eV; C-O-C 285,4 eV; O-C=O 288 eV e C=O 290,6 eV. Estas componentes mostraram as diferentes modificações químicas ocorridas na estrutura do bagaço da cana-de-açúcar e após a calcinação do material a 700 °C a técnica destaca que houve uma carbonização e oxidação superficial do material onde ocorreu a formação de grupos funcionais oxigenados (MASOOD UL HASAN *et al.*, 2024; PEREIRA *et al.*, 2014).

Segundo os autores Masood ul hasan *et al.*, (2024) e Pereira *et al.*, (2014) o pico de 284,5 eV é composto C=C/C-C . E o pico atribuído em 285,5 eV está correlacionado a ligações C-C/C-H e em hidrocarbonetos, particularmente grupos metil e metileno, da estrutura lignocelulosica do bagaço da cana-de-açúcar (CAO *et al.*, 2016). E a banda identificada e atribuída de 288,0 a 288,4 eV está atribuída a C=O e ligações O-C=O em cetonas e grupos carboxila na estrutura, especialmente em lignina e a banda que se encontra em 290,4 eV está relacionada a carbonos mais oxidados presentes na superfície, indicando grupos carboxílicos estando de acordo com os trabalhos dos autores (MASOOD UL HASAN *et al.*, 2024; PEREIRA *et al.*, 2014). As respectivas áreas do material estão apresentadas na Tabela 5.

A Figura 28 apresenta o espectro do bagaço da cana-de-açúcar calcinado a 400 °C combinado com platina metálica 10 % e calcinados a 250 °C.

Figura 28 - Espectro do bagaço da cana-de-açúcar mais complexo da Pt metálica 10%.



Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

A espectroscopia de xps de C1s do bagaço da cana-de-açúcar calcinado a 400 °C combinado com Pt metálica 10% o espectro assim como observado pela Figura 28 se obteve componentes Pt (0) a 71,2 eV; Pt (0) b 74,5 eV; Pt (II) a 72,0 eV; Pt (II) b

76,2 eV; Pt (IV) a 74,5 eV e Pt (IV) b 78,5 (KUROKI *et al.*, 2023; LA-TORRE-RIVEROS *et al.*, 2011; LV *et al.*, 2024).

Segundo os autores Kuroki *et al.*, (2023); La-Torre-Riveros *et al.*, (2011) e Lv *et al.*, (2024) segundo as suas contribuições sobre a resolução da Pt mostra picos de Pt4f em (71-72 eV) e Pt4f (74-75 eV) que correspondem ao perfil da platina metálica e ao oxido de platina e o pico de (76,2 eV) está atribuído à Pt²⁺ e para o pico atribuído ao sinal de (78,5 eV) indica óxidos de Pt como (PtO e PtO₂). As respectivas áreas do material estão apresentadas na Tabela 5. Este trabalho está de acordo com as contribuições dos autores (KUROKI *et al.*, 2023; LA-TORRE-RIVEROS *et al.*, 2011; LV *et al.*, 2024).

Tabela 5 – Respectivas áreas integradas dos espectros de XPS do bagaço da cana-de-açúcar calcinado a 400;500 e 700 °C e síntese do material de 400 °C com Pt metálica 10%.

SCB de 400 °C	SCB de 500 °C	SCB de 700 °C	SCB c/Pt 10%
C-C 51,16	C-C 63,66	C-C 63,78	Pt (0) 34,92
C-O-C 27,81	C-O-C 18,99	C-O-C 20,75	Pt (0) 26,17
O-C=O 4,06	O-C=O 4,15	O-C=O 6,41	Pt (II) 17,51
C=O 2,54	C=O 2,85	C=O 4,20	Pt (II) 13,12
-	-	-	Pt (IV) 4,73
-	-	-	Pt (IV) 3,55

Fonte: Elaborado pela Autora (2024)

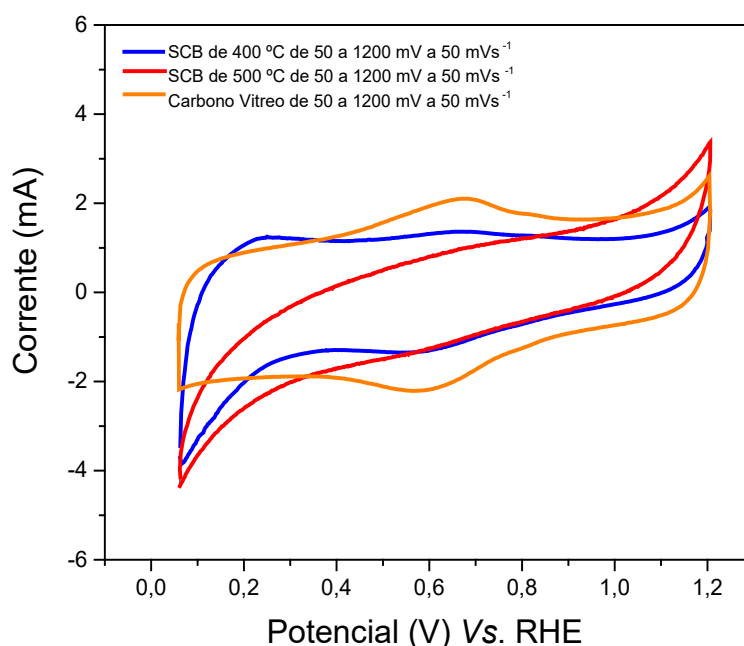
Na Tabela 5 mostra as mudanças significativas sobre a degradação térmica, carbonização e modificação superficial da estrutura do bagaço da cana-de-açúcar após a calcinação e a ação catalítica da platina metálica 10% com o material de 400 °C indiciando que após o tratamento de 400 °C o material manteve a presença de alguns grupos funcionais superficiais oxigenados ainda mantidos na estrutura do material, o que ocorreu de forma diferente em temperaturas mais altas dos materiais de 500 e 700 °C.

4.1.3 ENSAIOS ELETROQUÍMICOS

4.1.4 Caracterização da Voltametria cíclica do bagaço da cana-de-açúcar.

A Figura 29 apresenta técnica da voltametria cíclica do eletrodo de carbono vítreo de camada ultrafina e dos precursores do bagaço da cana-de-açúcar após a calcinação de 400 e 500 °C

Figura 29 – Voltametria cíclica do eletrodo do carbono vítreo e do precursor do bagaço da cana-de-açúcar após a calcinação de 400 e 500 °C.



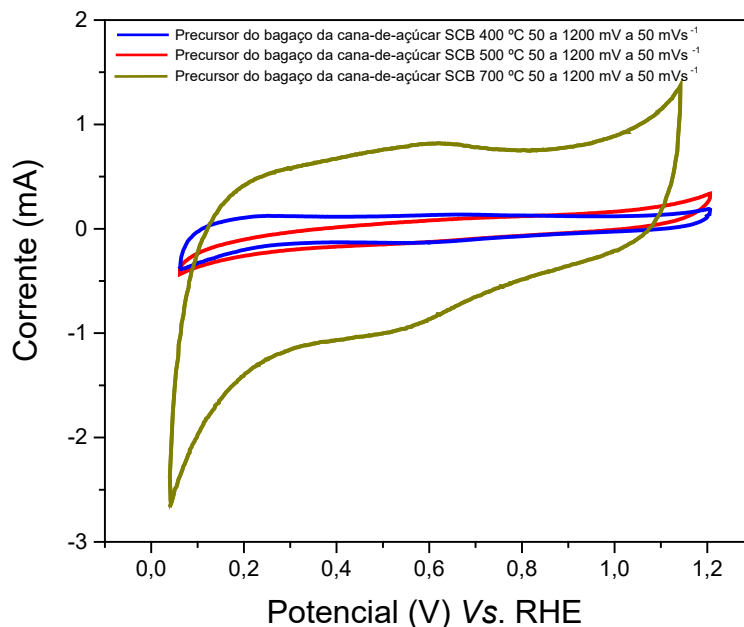
Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Para uma melhor comparação da área dos precursores da cana-de-açúcar, foi feita uma voltametria do carbono vítreo, como apresentado pela Figura 29.

Os experimentos da voltametria cíclica (CV) permitiram aos pesquisadores estudarem reações químicas que ocorrem na superfície do eletrodo em diferentes ambientes, submetendo o eletrodo de trabalho a potenciais de varredura e registrando a corrente resultante (PUGLIA; BOWEN, 2022). Após o voltamograma realizado no potenciostato, foi possível observar que a área do eletrodo de carbono vítreo e os precursores do bagaço da cana-de-açúcar de 400 °C e 500 °C se correlacionam com a área do precursor apresentado pelo voltamograma, o que indica ser um material condutor, com uma janela de potencial apropriada para reações eletroquímicas (PUGLIA; BOWEN, 2022).

A Figura 30 apresenta técnica da voltametria cíclica dos precursores do bagaço da cana-de-açúcar após a calcinação em 400 °C; 500 °C e 700 °C.

Figura 30 - Voltametria cíclica dos precursores do bagaço da cana-de-açúcar após a calcinação em 400 °C; 500 °C e 700 °C.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

A Figura 30 das voltametrias revelou, além dos outros materiais revelados de 400 e 500 °C na Figura 30 que o material calcinado a 700°C exibiu a maior capacidade de promover reações de redução, como a do hidrogênio, e de formar uma dupla camada elétrica mais capacitiva (VALENGA *et al.*, 2024).

Segundo o autor Valenga *et al.*, (2024) o material calcinado a 400°C, por sua vez, obtém uma maior quantidade de grupos funcionais oxigenados na sua superfície do material, e, portanto, favorece para a adsorção inicial das espécies nitrogenadas. Mas, no entanto, assim como apresenta o perfil do voltamograma, o material de 400 °C mostrou um perfil com menor capacitância e baixa condutividade elétrica, presença de compostos não condutores presentes na estrutura e torna o material com uma área superficial limitada, limitando a transferência de elétrons, e não colaborando para a eficiência do processo de redução eletroquímica (VALENGA *et al.*, 2024).

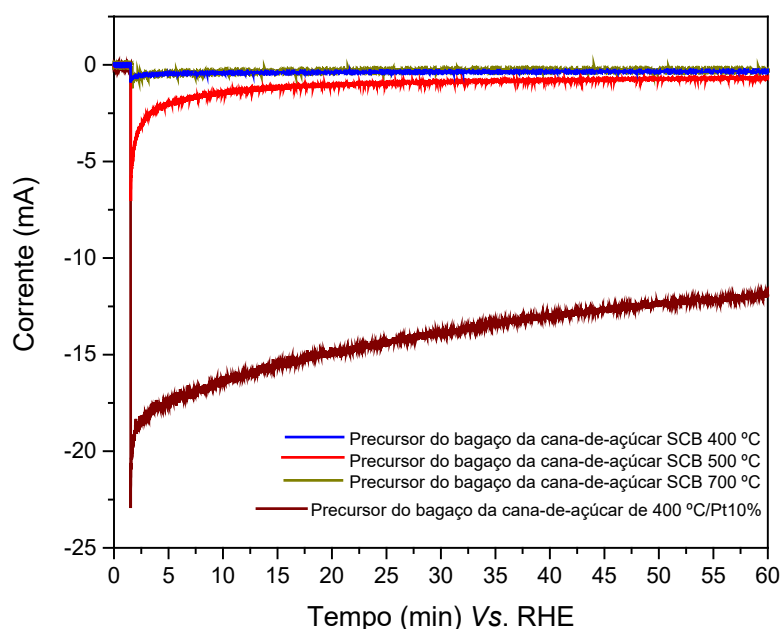
Em seguida a calcinação do material 500°C após a calcinação revelou através do voltamograma um perfil não muito capacitivo, ocorrendo também uma devida limitação de transferência de elétrons, por sua carga capacitiva menor e baixa

condutividade elétrica, presença de compostos na estrutura da biomassa não condutores e área superficial limitada, não contribuiu para a eficiência do processo de redução eletroquímica (VALENGA *et al.*, 2024).

Por fim, o material calcinado a 700°C após a calcinação revelou através do voltamograma, uma área capacitiva maior, quando comparado aos outros materiais, obtendo um perfil diferente em relação aos outros materiais calcinados, apresentando uma maior capacitância e uma dupla camada elétrica mais carregada dentre os outros perfis dos materiais avaliados, estando de acordo com outros materiais precursores do bagaço da cana-de-açúcar (VALENGA *et al.*, 2024).

A Figura 31 apresenta técnica de cronoamperometria do precursor do bagaço da cana-de-açúcar após calcinação em 400;500;700 e Pt metálica 10% adicionada ao material de 400 °C.

Figura 31 – cronoamperometria do precursor do bagaço da cana-de-açúcar após calcinação a 400;500 e 700 °C e com Pt metálica, com rotação a 1200 rpm polarizado em 200 mV por 1,5 minuto e mantido em -200 mV por 60 minutos com potencial de 50 a 1500 mV a 50 mVs⁻¹ coletados em 1 hora para redução de hidrogênio e coletados em 1 hora para redução de hidrogênio RDH.



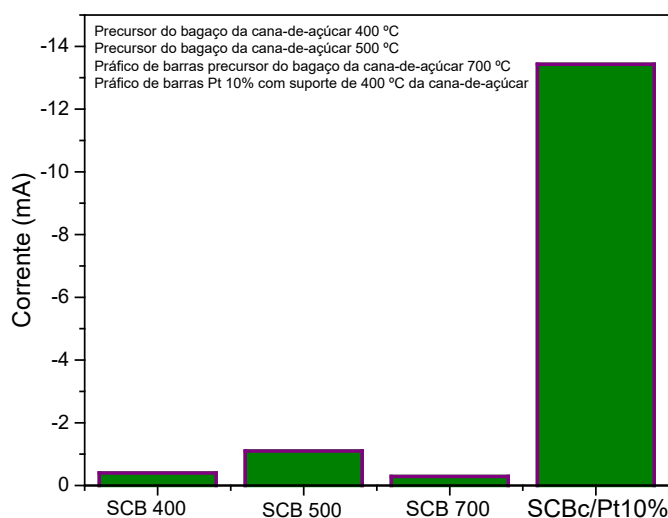
Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

Após observar as cronoamperometrias apresentadas pela Figura 31 os perfis das cronoamperometrias logo após o salto de potencial para -200 mV os materiais de 400 e 700 °C mostraram ambos uma menor corrente e uma estabilidade entre as

correntes dos materiais, após coletados em 1 hora. O material de 500 °C começou com uma corrente em -5 mA mas estabilizou a corrente próximo aos demais materiais avaliados de 400 e 700 °C, indicando uma mudança em seu perfil para desprendimento de hidrogênio RDH, mostrando ser um material estável, sem decaimento de atividade da corrente após coletado em 1 hora. O material de 400 °C adicionado a Pt metálica após o salto de potencial, mostrou um perfil inicial alto em 20 mA e com o passar de 10 minutos de medida, o material permaneceu exibindo uma maior intensidade de corrente, após ser coletado em 1 hora, o que desta forma, pode se compreender que após adicionar Platina metálica de 10% no material, o material apresentou uma boa interatividade com sítios ativos da superfície do precursor do bagaço da cana-de-açúcar, mostrando um perfil catalítico e condutor para redução de hidrogênio RDH.

A Figura 32 apresenta imagem de um gráfico de barras das cronoamperometrias e dos precursores de 400; 500; 700 °C e do eletrocatalisador de 400 °C com Pt metálica 10%.

Figura 32 - Gráfico em barras representando a corrente de cada material 400; 500; 700 °C e do precursor de 400 °C combinado com Pt metálica 10 % polarizado em 200 mV por 1,5 minuto e mantido em -200 mV por 60 minutos e coletados em 1 hora para redução de hidrogênio RDH.



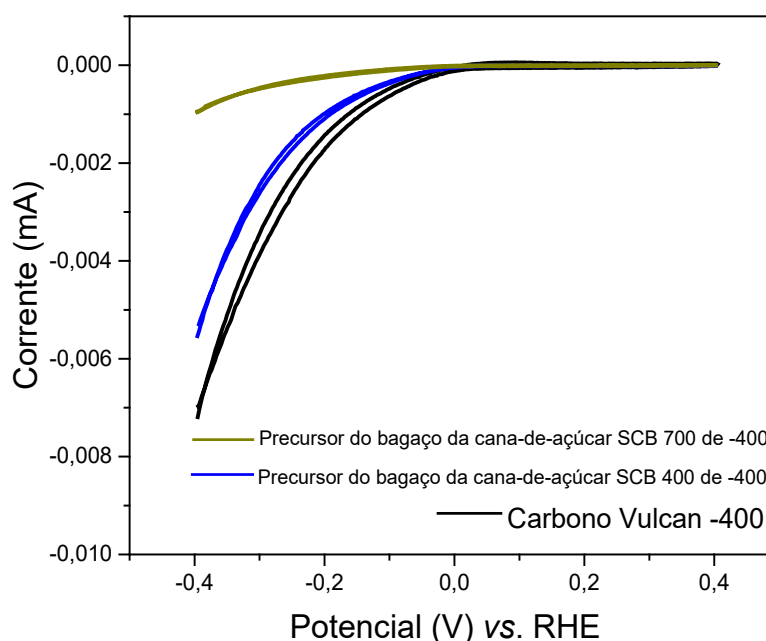
Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

Ao observar o gráfico de barras dos materiais avaliados para RDH foi possível observar através do gráfico de barras como foi a interação com os íons de hidrogênio da superfície de cada material após as cronoamperometrias mostrando desempenho de cada material avaliado após as cronoamperometrias e sua respectiva atividade (BARUAH *et al.*, 2022).

O que, portanto, ao avaliar as cronoamperometria e realizar o gráfico de barras para possível comparação entre os materiais, foi possível avaliar, que o material de 400 °C com platina metálica 10% apresentou uma boa interação e combinação dos materiais entre si e uma boa condutividade e atividade catalítica entre os demais materiais avaliados (BARUAH *et al.*, 2022).

A Figura 33 – Apresenta a voltametria cíclica dos materiais, carbono Vulcan, bagaço da cana-de-açúcar após a calcinação de 400 °C e 700 °C.

Figura 33 - Voltametria cíclica dos materiais, carbono Vulcan, bagaço da cana-de-açúcar após calcinação de 400 °C e 700 °C. Iniciado em um pontencial de -400 mV à 400 mV à 50 mVs⁻¹ a 1200 rpm.



Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

A Figura 33 das voltametrias cíclicas evidenciaram diferenças significativas no comportamento eletroquímico dos materiais calcinados a 400 °C, 700 °C e do Carbono Vulcan.

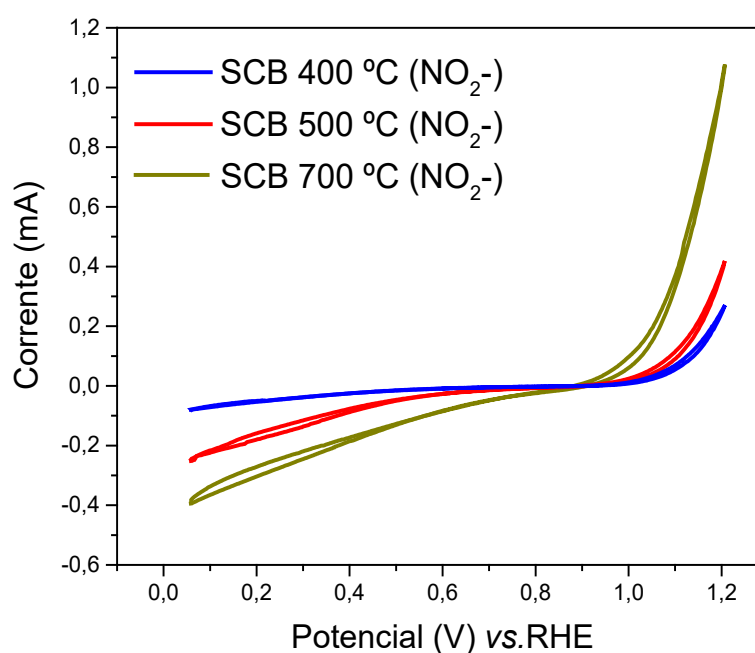
O material do bagaço calcinado a 400 °C demonstrou uma boa atividade e interação aos grupos de superfícies atribuída para desprendimento de hidrogênio em torno de -0,39 V favorecendo através dos grupos funcionais (C=O e -COOH) em sua superfície uma boa adsorção e transferência de elétrons.

Por outro lado, o Carbono Vulcan exibiu um perfil para desprendimento de hidrogênio mais favorável, características desejáveis para um material de referência. Porém o carbono Vulcan, por sua vez, pode de certa forma, servir como um bom material de referência devido à sua estrutura condutiva e comportamento estável, mas quando correlacionado aos grupos de superfície o carbono Vulcan apresenta menor interação redox com os íons, por conta dos grupos de oxigênio ou pela severidade das condições oxidantes (PÉREZ-RODRÍGUEZ *et al.*, 2018)

O material calcinado a 700 °C, apresentou um perfil menor para desprendimento de hidrogênio, o que nos mostra que o material de 700 °C após a calcinação, não teve uma boa interação aos grupos funcionais de superfície que pudessem favorecer para adsorção e interação com espécies químicas para desprendimento de hidrogênio. Portanto, para que o material tenha o perfil, parecido com o carbono Vulcan é preciso uma aprimoração do material, através de materiais condutores como metais nobres, para superar o desempenho do carbono Vulcan (PÉREZ-RODRÍGUEZ *et al.*, 2018).

A Figura 34 apresenta técnica da voltametria cíclica dos precursores do bagaço da cana-de-açúcar após a calcinação em 400; 500 e 700 °C.

Figura 34 – Voltametria cíclica dos precursores do bagaço da cana-de-açúcar de 400; 500 e 700 °C com (NO_2^-). Para o preparo da eletrorredução de nitrito (NO_2^-). Com potencial inicial de de 50 a 1200 mV a 50 mVs⁻¹ a 1200 rpm.



Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

A Figura 34 das voltametrias cíclicas evidenciaram que ao serem realizadas em amostras do bagaço da cana-de-açúcar calcinadas em diferentes temperaturas (400, 500 e 700 °C) para avaliar sua capacidade de reduzir íons NO_2^- . Foi possível observar e interpretar através das voltametrias cíclicas da Figura 35 que a temperatura de calcinação exerce um papel essencial na atividade eletroquímica do material (VALENGA *et al.*, 2024).

Segundo o autor Valenga *et al.*, (2024) o material calcinado a 400 °C apresentou a menor atividade eletroquímica para redução de nitrito NO_2^- e um menor deslocamento de potencial, indicando uma menor interação química com os íons da superfície do material para redução dos compostos nitrogenados.

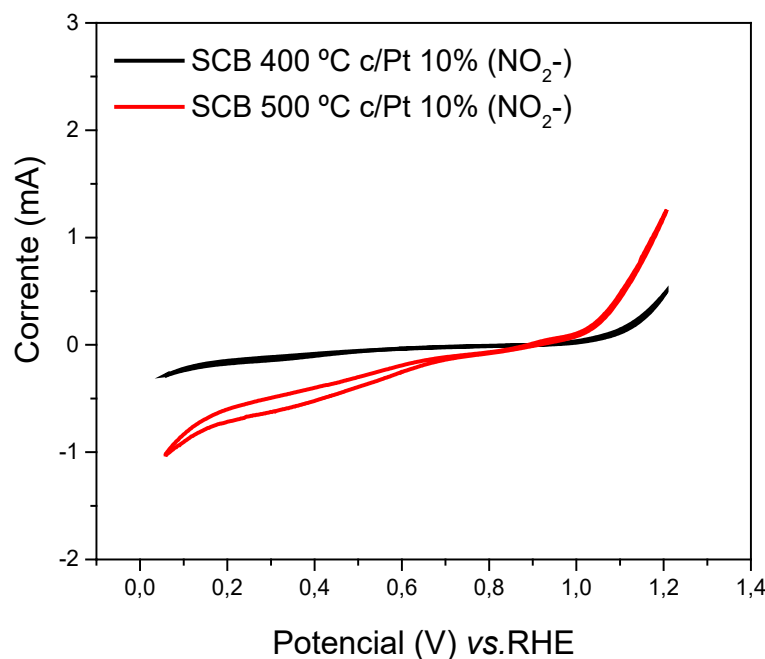
Em seguida o material calcinado a 500 °C mostrou um potencial de corrente de redução mais significativo, porém com uma interação aos íons de nitrito ainda considerada razoável (VALENGA *et al.*, 2024).

Por outro lado, o material calcinado a 700 °C apresentou um potencial de corrente de redução para espécies de nitrito (NO_2^-) mais intenso e com um potencial de redução mais negativo, sugerindo uma eficiência maior e uma melhor interação com os íons nitrito (VALENGA *et al.*, 2024).

O que desta forma os resultados apresentados pela Figura 34, mostram que as alterações após a calcinação do material em diferentes temperaturas foram atribuídas na estrutura do material, nos grupos funcionais e na capacidade de adsorção dos materiais em função da temperatura de calcinação, o que em resumo, após a calcinação do material a 700 °C mostrou ser um material mais promissor para a redução de íons nitrito, devidamente pôr sua maior atividade eletroquímica e melhor propriedade de condutividade, estando de acordo com o estudo encontrado na literatura (VALENGA *et al.*, 2024).

A Figura 35 apresenta a técnica da voltametria cíclica dos precursores do bagaço da cana-de-açúcar de 400;500 com Pt 10% suportado.

Figura 35 – Voltametria cíclica do bagaço da cana-de-açúcar com Pt 10 %. O preparo da eletrorredução de nitrito (NO_2^-). Com potencial inicial de 50 a 1200 a 50 mVs^{-1} a 1200 rpm.



Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

A análise dos voltamogramas apresentados na Figura 35 revelou o impacto da combinação do bagaço de cana-de-açúcar com Pt metálica 10 % em diferentes temperaturas de calcinação (400 e 500 °C) sobre as propriedades catalíticas e eletroquímicas dos materiais (KANJANA *et al.*, 2023; VALENGA *et al.*, 2024).

Segundo os autores Kanjana *et al.*, (2023) e Valenga *et al.*, (2024) a incorporação de platina metálica 10 % no precursor do bagaço de cana-de-açúcar calcinado e a diferença das voltametrias apresentadas nos cenários anteriores até aqui apresentado, foi possível concluir, entender e interpretar que a presença da platina metálica transforma o precursor do bagaço da cana-de-açúcar em um material mais eletrocatalítico. O que, portanto, na Figura 34 da página 79 foi possível perceber que mesmo sem a platina a reação se mostrou eficiente e viável para condições experimentais, mostrando que através do precursor do bagaço da cana-de-açúcar o material apresentou uma boa atividade química para redução de NO₂⁻ mesmo sem a Pt metálica 10 % adicionada e o que convenhamos entender que o material se mostrou eficiente e promissor para redução de compostos nitrogenados, estando de acordo com os resultados apresentados da literatura (KANJANA *et al.*, 2023; VALENGA *et al.*, 2024).

5 CONCLUSÃO:

Em conclusão, este trabalho demonstrou que os suportes catalíticos desenvolvidos a partir do bagaço de cana-de-açúcar são uma alternativa eficiente e de baixo custo para a redução eletroquímica de nitrito e nitrato em soluções aquosas.

A síntese, modificação com platina e caracterização detalhada dos materiais mostraram que esses suportes apresentam excelente condutividade e alta atividade catalítica para as reações estudadas, em meio ácido.

Além disso, o estudo dos mecanismos de reação e dos intermediários contribuiu para um melhor entendimento do processo de eletrorredução. Esses resultados reforçam o potencial desses materiais no campo da remediação ambiental eletroquímica, oferecendo soluções promissoras para mitigar os impactos ambientais causados através dos compostos nitrogenados.

REFERÊNCIAS:

- ABDOLMOHAMMAD-ZADEH, H.; RAHIMPOUR, E. Utilizing of Ag@AgCl@graphene oxide@Fe₃O₄ nanocomposite as a magnetic plasmonic nanophotocatalyst in light-initiated H₂O₂ generation and chemiluminescence detection of nitrite. **Talanta**, [s. l.], v. 144, p. 769–777, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0039914015301570>.
- ABILIO, T. E.; SOARES, B. C.; JOSÉ, J. C.; MILANI, P. A.; LABUTO, G.; CARRILHO, E. N. V. M. Hexavalent chromium removal from water: adsorption properties of in natura and magnetic nanomodified sugarcane bagasse. **Environmental Science and Pollution Research**, [s. l.], v. 28, n. 19, p. 24816–24829, 2021.
- AFIF, A.; RAHMAN, S. M.; TASFIAH AZAD, A.; ZAINI, J.; ISLAM, M. A.; AZAD, A. K. Advanced materials and technologies for hybrid supercapacitors for energy storage – A review. **Journal of Energy Storage**, [s. l.], v. 25, n. April, p. 100852, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.est.2019.100852>.
- ALGHOONEH, A.; MOHAMMAD AMINI, A.; BEHROUZIAN, F.; RAZAVI, S. M. A. Characterisation of cellulose from coffee silverskin. **International Journal of Food Properties**, [s. l.], v. 20, n. 11, p. 2830–2843, 2017.
- ALI, M. A.; JIANG, H.; MAHAL, N. K.; WEBER, R. J.; KUMAR, R.; CASTELLANO, M. J.; DONG, L. Microfluidic impedimetric sensor for soil nitrate detection using graphene oxide and conductive nanofibers enabled sensing interface. **Sensors and Actuators B: Chemical**, [s. l.], v. 239, p. 1289–1299, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092540051631526X>.
- ANTCZAK-CHROBOT, A.; BAŁ, P.; WOJTCZAK, M. The use of ionic chromatography in determining the contamination of sugar by-products by nitrite and nitrate. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 240, p. 648–654, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814617313122>.
- ATTARD, G. A.; AHMADI, A.; JENKINS, D. J.; HAZZAZI, O. A.; WELLS, P. B.; GRIFFIN, K. G.; JOHNSTON, P.; GILLIES, J. E. The characterisation of supported platinum nanoparticles on carbon used for enantioselective hydrogenation: A combined electrochemical - STM approach. **ChemPhysChem**, [s. l.], v. 4, n. 2, p. 123–130, 2003.
- BAI, R.; YANG, M.; HU, G.; XU, L.; HU, X.; LI, Z.; WANG, S.; DAI, W.; FAN, M. A new nanoporous nitrogen-doped highly-efficient carbonaceous CO₂ sorbent synthesized with inexpensive urea and petroleum coke. **Carbon**, [s. l.], v. 81, p. 465–473, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008622314009440>.
- BI, H.; LIN, T.; XU, F.; TANG, Y.; LIU, Z.; HUANG, F. New Graphene Form of Nanoporous Monolith for Excellent Energy Storage. **Nano Letters**, [s. l.], v. 16, n. 1, p. 349–354, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.5b03923>.
- BORDONAL, R. de O.; CARVALHO, J. L. N.; LAL, R.; DE FIGUEIREDO, E. B.; DE OLIVEIRA, B. G.; LA SCALA, N. Sustainability of sugarcane production in Brazil. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, [s. l.], v. 38, n. 2, p.

13, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0490-x>.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento de safra brasileiro – grãos: Nono levantamento, abril 2024 – safra 2023/2024. : Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2024. Disponível em: . Acesso em: 09 abril 2024.

CETESB.Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Ficha de Informação Toxicológica - Dezembro de 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2022/12/Nitrato-e-Nitrito.pdf>. Acesso em: Abril de 2024.

CHANDEL, A. K.; ANTUNES, F. A. F.; ANJOS, V.; BELL, M. J. V.; RODRIGUES, L. N.; POLIKARPOV, I.; DE AZEVEDO, E. R.; BERNARDINELLI, O. D.; ROSA, C. A.; PAGNOCCA, F. C.; DA SILVA, S. S. Multi-scale structural and chemical analysis of sugarcane bagasse in the process of sequential acid-base pretreatment and ethanol production by *Scheffersomyces shehatae* and *Saccharomyces cerevisiae*. **Biotechnology for Biofuels**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 1–17, 2014.

CHEN, A.; HOLT-HINDLE, P. Platinum-Based Nanostructured Materials: Synthesis, Properties, and Applications. **Chemical Reviews**, [s. l.], v. 110, n. 6, p. 3767–3804, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/cr9003902>.

CHEN, K.; LI, C.; SHI, L.; GAO, T.; SONG, X.; BACHMATIUK, A.; ZOU, Z.; DENG, B.; JI, Q.; MA, D.; PENG, H.; DU, Z.; RÜMMELI, M. H.; ZHANG, Y.; LIU, Z. Growing three-dimensional biomorphic graphene powders using naturally abundant diatomite templates towards high solution processability. **Nature Communications**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 13440, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/ncomms13440>.

CHENG, N.; PAN, J.; SHI, M.; HOU, Q.; HAN, Y. Using Raman spectroscopy to evaluate coal maturity: The problem. **Fuel**, [s. l.], v. 312, n. October 2021, p. 122811, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.122811>.

DAEMS, N.; SHENG, X.; VANKELECOM, I. F. J.; PESCARMONA, P. P. Metal-free doped carbon materials as electrocatalysts for the oxygen reduction reaction. **Journal of Materials Chemistry A**, [s. l.], v. 2, n. 12, p. 4085–4110, 2014.

DENDOOVEN, J.; RAMACHANDRAN, R. K.; SOLANO, E.; KURTTEPELI, M.; GEERTS, L.; HEREMANS, G.; RONGÉ, J.; MINJAUW, M. M.; DOBBELAERE, T.; DEVLOO-CASIER, K.; MARTENS, J. A.; VANTOMME, A.; BALS, S.; PORTALE, G.; COATI, A.; DETAVERNIER, C. Independent tuning of size and coverage of supported Pt nanoparticles using atomic layer deposition. **Nature Communications**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 1074, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01140-z>.

DIMA, G. E.; BELTRAMO, G. L.; KOPER, M. T. M. Nitrate reduction on single-crystal platinum electrodes. **Electrochimica Acta**, [s. l.], v. 50, n. 21, p. 4318–4326, 2005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013468605006109>.

DIVBAND HAFSHEJANI, L.; HOOSHMAND, A.; NASERI, A. A.; MOHAMMADI,

A. S.; ABBASI, F.; BHATNAGAR, A. Removal of nitrate from aqueous solution by modified sugarcane bagasse biochar. **Ecological Engineering**, [s. l.], v. 95, p. 101–111, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.06.035>.

DUCA, M.; CUCARELLA, M. O.; RODRIGUEZ, P.; KOPER, M. T. M. Direct Reduction of Nitrite to N₂ on a Pt(100) Electrode in Alkaline Media. **Journal of the American Chemical Society**, [s. l.], v. 132, n. 51, p. 18042–18044, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/ja1092503>.

DUCA, M.; FIGUEIREDO, M. C.; CLIMENT, V.; RODRIGUEZ, P.; FELIU, J. M.; KOPER, M. T. M. Selective Catalytic Reduction at Quasi-Perfect Pt(100) Domains: A Universal Low-Temperature Pathway from Nitrite to N₂. **Journal of the American Chemical Society**, [s. l.], v. 133, n. 28, p. 10928–10939, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/ja203234v>.

DUONG, H. D.; KIM, H. L.; RHEE, J. I. **Development of Colorimetric and Ratiometric Fluorescence Membranes for Detection of Nitrate in the Presence of Aluminum-Containing Compounds**. [S. l.: s. n.], 2018.

EL-SAYED, S. A.; MOSTAFA, M. E. Pyrolysis characteristics and kinetic parameters determination of biomass fuel powders by differential thermal gravimetric analysis (TGA/DTG). **Energy Conversion and Management**, [s. l.], v. 85, p. 165–172, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890414004798>.

ESTADUAL, C.; HÍDRICOS, R. Conselho Estadual de Recursos Hídricos Câmara Técnica de Águas Subterrâneas NO 3-NITRATO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: DESAFIOS FRENTE AO PANORAMA ATUAL NITRATO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: DESAFIOS FRENTE AO PANORAMA ATUAL NITRATO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: DESAFIOS F. [S. l.: s. n.], 2019. 2019.

FÄGERSTAM, L. G.; PETTERSSON, L. G. The 1.4-β-glucan cellobiohydrolases of *Trichoderma reesei* QM 9414. **FEBS Letters**, [s. l.], v. 119, n. 1, p. 97–100, 1980.

FAJARDO, A. S.; WESTERHOFF, P.; SANCHEZ-SANCHEZ, C. M.; GARCIA-SEGURA, S. Earth-abundant elements a sustainable solution for electrocatalytic reduction of nitrate. **Applied Catalysis B: Environmental**, [s. l.], v. 281, p. 119465, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926337320308808>.

FENG, Z.; LI, Z.; ZHANG, X.; SHI, Y.; ZHOU, N. **Nitrogen-Doped Carbon Quantum Dots as Fluorescent Probes for Sensitive and Selective Detection of Nitrite**. [S. l.: s. n.], 2017.

FILHO, G. R.; DE ASSUNÇÃO, R. M. N.; VIEIRA, J. G.; MEIRELES, C. da S.; CERQUEIRA, D. A.; DA SILVA BARUD, H.; RIBEIRO, S. J. L.; MESSADDEQ, Y. Characterization of methylcellulose produced from sugar cane bagasse cellulose: Crystallinity and thermal properties. **Polymer Degradation and Stability**, [s. l.], v. 92, n. 2, p. 205–210, 2007.

FRITSCH, C.; STAEBLER, A.; HAPPEL, A.; CUBERO MÁRQUEZ, M. A.; AGUILÓ-AGUAYO, I.; ABADIAS, M.; GALLUR, M.; CIGOGNINI, I. M.; MONTANARI, A.; LÓPEZ, M. J.; SUÁREZ-ESTRELLA, F.; BRUNTON, N.; LUENGO, E.; SISTI, L.; FERRI, M.; BELOTTI, G. **Processing, Valorization and**

Application of Bio-Waste Derived Compounds from Potato, Tomato, Olive and Cereals: A Review. [S. l.: s. n.], 2017.

GHAFAARI, S.; HASAN, M.; AROUA, M. K. Bio-electrochemical removal of nitrate from water and wastewater—A review. **Bioresource Technology**, [s. l.], v. 99, n. 10, p. 3965–3974, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852407004476>.

GHIMIRE, N.; BAKKE, R.; BERGLAND, W. H. Liquefaction of lignocellulosic biomass for methane production: A review. **Bioresource Technology**, [s. l.], v. 332, p. 125068, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852421004077>.

GULDI, D. M.; SGOBBA, V. Carbon nanostructures for solar energy conversion schemes. **Chemical Communications**, [s. l.], v. 47, n. 2, p. 606–610, 2011.

KANJANA, N.; MAIAUGREE, W.; TONTAPHA, S.; LAOKUL, P.; CHINGSUNGNOEN, A.; PIMANPANG, S.; CHAIYA, I.; DAENGSAKUL, S.; AMORNKITBAMRUNG, V. Effect of carbonization temperature on the electrocatalytic property and efficiency of dye-sensitized solar cells derived from corncob and sugarcane leaf agricultural residues. **Biomass Conversion and Biorefinery**, [s. l.], v. 13, n. 9, p. 8361–8371, 2023.

HU, Q.; CHEN, N.; FENG, C.; HU, W. W. Nitrate adsorption from aqueous solution using granular chitosan-Fe 3+ complex. **Applied Surface Science**, [s. l.], v. 347, p. 1–9, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.04.049>.

HU, L.; FANG, X.; DU, M.; LUO, F.; GUO, S. Hemicellulose-Based Polymers Processing and Application. **American Journal of Plant Sciences**, [s. l.], v. 11, n. 12, p. 2066–2079, 2020.

HU, Q.; LU, Y.; MEISNER, G. P. Preparation of Nanoporous Carbon Particles and Their Cryogenic Hydrogen Storage Capacities. **The Journal of Physical Chemistry C**, [s. l.], v. 112, n. 5, p. 1516–1523, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/jp076409t>.

IRAVANI, S.; VARMA, R. S. Plant-Derived Edible Nanoparticles and miRNAs: Emerging Frontier for Therapeutics and Targeted Drug-Delivery. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, [s. l.], v. 7, n. 9, p. 8055–8069, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b00954>.

JANA, D.; SUN, C.-L.; CHEN, L.-C.; CHEN, K.-H. Effect of chemical doping of boron and nitrogen on the electronic, optical, and electrochemical properties of carbon nanotubes. **Progress in Materials Science**, [s. l.], v. 58, n. 5, p. 565–635, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079642513000042>.

JENSEN, V. B.; DARBY, J. L.; SEIDEL, C.; GORMAN, C. Nitrate in Potable Water Supplies: Alternative Management Strategies. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, [s. l.], v. 44, n. 20, p. 2203–2286, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10643389.2013.828272>.

JR, A. P.; DE MANCILHA, I. M.; SATO, S. Evaluation of sugar cane hemicellulose

hydrolyzate for cultivation of yeasts and filamentous fungi. **Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology**, [s. l.], v. 18, n. 6, p. 360–363, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/sj.jim.2900403>.

KOPER, M. T. M. Structure sensitivity and nanoscale effects in electrocatalysis. *Nanoscale*, [s. l.], v. 3, n. 5, p. 2054–2073, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1039/C0NR00857E>.

KHALIL, K. M. S.; KHAIRY, M.; ALLAM, O. A. S.; KHALIL, M. K. Formation of improved activated carbons from sugarcane bagasse as environmental materials for adsorption of phenolic pollutants. **International Journal of Environmental Science and Technology**, [s. l.], v. 19, n. 4, p. 3103–3116, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03382-3>.

KŘENEK, T.; KOVÁŘÍK, T.; POLA, M.; JAKUBEC, I.; BEZDIČKA, P.; BASTL, Z.; POKORNÁ, D.; URBANOVÁ, M.; GALÍKOVÁ, A.; POLA, J. Enhancement of thermal stability of silver(I) acetylacetonate by platinum(II) acetylacetonate. **Thermochimica Acta**, [s. l.], v. 554, p. 1–7, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040603112005734>.

KULBAKOV, A. A.; KURIGANOVA, A. B.; ALLIX, M.; RAKHMATULLIN, A.; SMIRNOVA, N. V.; MASLOVA, O. A.; LEONTYEV, I. N. Non-isothermal decomposition of platinum acetylacetonate as a cost-efficient and Size-Controlled Synthesis of Pt/C nanoparticles. **Catalysis Communications**, [s. l.], v. 117, n. June, p. 14–18, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2018.08.022>.

KUROKI, H.; MATSUMOTO, M.; TAMAKI, T.; IMAI, H.; YAMAGUCHI, T. Analysis of Oxidized Pt Species on a Connected Pt–Fe Catalyst with Enhanced Oxygen Reduction Activity Probed by Electrochemical XPS. **Journal of Chemical Engineering of Japan**, [s. l.], v. 56, n. 1, p. , 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00219592.2023.2197946>.

LA-TORRE-RIVEROS, L.; ABEL-TATIS, E.; MÉNDEZ-TORRES, A. E.; TRYK, D. A.; PRELAS, M.; CABRERA, C. R. Synthesis of platinum and platinum-ruthenium-modified diamond nanoparticles. **Journal of Nanoparticle Research**, [s. l.], v. 13, n. 7, p. 2997–3009, 2011.

LEE, K.-S.; EL-SAYED, M. A. Gold and Silver Nanoparticles in Sensing and Imaging: Sensitivity of Plasmon Response to Size, Shape, and Metal Composition. **The Journal of Physical Chemistry B**, [s. l.], v. 110, n. 39, p. 19220–19225, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/jp062536y>.

LI, X.; PAN, Z.; ATUNGULU, G. G.; WOOD, D.; MCHUGH, T. Peeling mechanism of tomato under infrared heating: Peel loosening and cracking. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 128, p. 79–87, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877413006328>.

LI, F.; ZHANG, W.; ZHANG, P.; GONG, A.; KEXUN LI. Strategies of selective electroreduction of aqueous nitrate to N₂ in chloride-free system: A critical review. **Green Energy and Environment**, [s. l.], v. 9, n. 2, p. 198–216, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gee.2022.09.007>.

LIANG, C.; DAI, S. Synthesis of Mesoporous Carbon Materials via Enhanced Hydrogen-Bonding Interaction. **Journal of the American Chemical Society**, [s. l.], v. 128, n. 16, p. 5316–5317, 2006. Disponível em:

<https://doi.org/10.1021/ja060242k>.

LIANG, Q.; YE, L.; HUANG, Z.-H.; XU, Q.; BAI, Y.; KANG, F.; YANG, Q.-H. A honeycomb-like porous carbon derived from pomelo peel for use in high-performance supercapacitors. **Nanoscale**, [s. l.], v. 6, n. 22, p. 13831–13837, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1039/C4NR04541F>.

LIN, S. H.; WU, C. L. Removal of nitrogenous compounds from aqueous solution by ozonation and ion exchange. **Water Research**, [s. l.], v. 30, n. 8, p. 1851–1857, 1996. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0043135495003290>.

LIU, Z.; GUO, B.; TAY, S. W.; HONG, L.; ZHANG, X. Physical and electrochemical characterizations of PtPb/C catalyst prepared by pyrolysis of platinum(II) and lead(II) acetylacetonate. **Journal of Power Sources**, [s. l.], v. 184, n. 1, p. 16–22, 2008.

LV, W.; YANG, J.; XU, Q.; MEHREZ, J. A. A.; SHI, J.; QUAN, W.; LUO, H.; ZENG, M.; HU, N.; WANG, T.; WEI, H.; YANG, Z. Wide-range and high-accuracy wireless sensor with self-humidity compensation for real-time ammonia monitoring. **Nature Communications**, [s. l.], v. 15, n. 1, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/s41467-024-51279-9>.

MAHMOOD, Z.; YAMEEN, M.; JAHANGEER, M.; RIAZ, M.; GHAFAR, A.; JAVID, I. Lignin as Natural Antioxidant Capacity. In: POLETTTO, Matheus (org.). Rijeka: IntechOpen, 2018. p. Ch. 8. Disponível em: <https://doi.org/10.5772/intechopen.73284>.

MANDAL, A.; CHAKRABARTY, D. Isolation of nanocellulose from waste sugarcane bagasse (SCB) and its characterization. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 86, n. 3, p. 1291–1299, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014486171100498X>.

MAO, Y.; BAO, Y.; HAN, D.-X.; ZHAO, B. Research Progress on Nitrite Electrochemical Sensor. **Chinese Journal of Analytical Chemistry**, [s. l.], v. 46, n. 2, p. 147–155, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1872204017610661>.

MARLINDA, A. R.; AN'AMT, M. N.; YUSOFF, N.; SAGADEVAN, S.; WAHAB, Y. A.; JOHAN, M. R. Recent progress in nitrates and nitrites sensor with graphene-based nanocomposites as electrocatalysts. **Trends in Environmental Analytical Chemistry**, [s. l.], v. 34, p. e00162, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214158822000095>.

MARTÍNEZ, J.; ORTIZ, A.; ORTIZ, I. State-of-the-art and perspectives of the catalytic and electrocatalytic reduction of aqueous nitrates. **Applied Catalysis B: Environmental**, [s. l.], v. 207, p. 42–59, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926337317301200>.

MASOOD UL HASAN, I.; NIAZI, N. K.; BIBI, I.; YOUNAS, F.; AL-MISNED, F.; SHAKOOR, M. B.; ALI, F.; ILYAS, S.; HUSSAIN, M. M.; QIAO, J.; LÜTTGE, A. Enhanced capacity of thiol-functionalized sugarcane bagasse and rice husk biochars for arsenite sorption in aqueous solutions. **Environmental Science and Pollution Research**, [s. l.], v. 31, n. 39, p. 52293–52305, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-024-34661-4>.

MCCANN, M. C.; CARPITA, N. C. Biomass recalcitrance: a multi-scale, multi-factor, and conversion-specific property. **Journal of Experimental Botany**, [s. l.], v. 66, n. 14, p. 4109–4118, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jxb/erv267>.

MEDEIROS, A. B. P.; DE MATOS, M. E.; DE PINHO MONTEIRO, A.; DE CARVALHO, J. C.; SOCCOL, C. R. Cachaça and Rum. **Current Developments in Biotechnology and Bioengineering: Food and Beverages Industry**, [s. l.], p. 451–468, 2017.

MELESSE, G. T.; HONE, F. G.; MEKONNEN, M. A. Extraction of Cellulose from Sugarcane Bagasse Optimization and Characterization. **Advances in Materials Science and Engineering**, [s. l.], v. 2022, 2022.

MORAES, J. C. B.; MORAES, M. J. B.; BATISTA, J. P. B.; AKASAKI, J. L.; FONT, A.; TASHIMA, M. M.; SORIANO, L.; BORRACHERO, M. V.; PAYÁ, J. Influence of sugar cane straw ash in metakaolin-based geopolymers. **Construction and Building Materials**, [s. l.], v. 444, n. August, 2024.

MOURA, H. O. M. A.; CAMPOS, L. M. A.; DA SILVA, V. L.; DE ANDRADE, J. C. F.; DE ASSUMPÇÃO, S. M. N.; PONTES, L. A. M.; DE CARVALHO, L. S. Investigating acid/peroxide-alkali pretreatment of sugarcane bagasse to isolate high accessibility cellulose applied in acetylation reactions. **Cellulose**, [s. l.], v. 25, n. 10, p. 5669–5685, 2018.

MUBARAK, A. A.; ILYAS, R. A.; NGADI, N.; NORDIN, A. H.; ALKBIR, M. F. M. Isolation and characterization of cellulose from sugarcane bagasse fiber (*Saccharum officinarum*) via delignification and mercerization treatment using response surface modeling (RSM). **Biomass Conversion and Biorefinery**, [s. l.], 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13399-024-05692-1>.

MUGADZA, K.; NDUNGU, P. G.; STARK, A.; NYAMORI, V. O. Conversion of residue biomass into value added carbon materials: utilisation of sugarcane bagasse and ionic liquids. **Journal of Materials Science**, [s. l.], v. 54, n. 19, p. 12476–12487, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10853-019-03800-5>.

MUKHERJEE, R.; DE, S. Adsorptive removal of nitrate from aqueous solution by polyacrylonitrile-alumina nanoparticle mixed matrix hollow-fiber membrane. **Journal of Membrane Science**, [s. l.], v. 466, p. 281–292, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2014.05.004>.

NAJAFI, H.; GOLROKH SANI, A.; SOBATI, M. A. A comparative evaluation on the physicochemical properties of sugarcane residues for thermal conversion processes. **Industrial Crops and Products**, [s. l.], v. 202, n. December 2022, p. 117112, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117112>.

NANDA, S.; MOHAMMAD, J.; REDDY, S. N.; KOZINSKI, J. A.; DALAI, A. K. Pathways of lignocellulosic biomass conversion to renewable fuels. **Biomass Conversion and Biorefinery**, [s. l.], v. 4, n. 2, p. 157–191, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13399-013-0097-z>.

NANG VU, A.; HOANG NGUYEN, L.; YOSHIMURA, K.; DUY TRAN, T.; VAN LE, H. Cellulose nanocrystals isolated from sugarcane bagasse using the formic/peroxyformic acid process: Structural, chemical, and thermal properties.

Arabian Journal of Chemistry, [s. l.], v. 17, n. 8, p. 105841, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2024.105841>.

OKOLIE, J. A.; NANDA, S.; DALAI, A. K.; KOZINSKI, J. A. Chemistry and Specialty Industrial Applications of Lignocellulosic Biomass. **Waste and Biomass Valorization**, [s. l.], v. 12, n. 5, p. 2145–2169, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01123-0>.

PATEL, A.; SHAH, A. R. Integrated lignocellulosic biorefinery: Gateway for production of second generation ethanol and value added products. **Journal of Bioresources and Bioproducts**, [s. l.], v. 6, n. 2, p. 108–128, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2369969821000074>.

PEREIRA, P. H. F.; VOORWALD, H. J. C.; CIOFFI, M. O. H.; DA SILVA, M. L. C. P.; REGO, A. M. B.; FERRARIA, A. M.; DE PINHO, M. N. Sugarcane bagasse cellulose fibres and their hydrous niobium phosphate composites: Synthesis and characterization by XPS, XRD and SEM. **Cellulose**, [s. l.], v. 21, n. 1, p. 641–652, 2014.

PÉREZ-RODRÍGUEZ, S.; PASTOR, E.; LÁZARO, M. J. Electrochemical behavior of the carbon black Vulcan XC-72R: Influence of the surface chemistry. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s. l.], v. 43, n. 16, p. 7911–7922, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319918307742>.

POLSHETTIWAR, V.; VARMA, R. S. Green chemistry by nano-catalysis. **Green Chemistry**, [s. l.], v. 12, n. 5, p. 743–754, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1039/B921171C>.

PUGLIA, M. K.; BOWEN, P. K. Cyclic Voltammetry Study of Noble Metals and Their Alloys for Use in Implantable Electrodes. **ACS Omega**, [s. l.], v. 7, n. 38, p. 34200–34212, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c03563>.

QASEEM, M. F.; SHAHEEN, H.; WU, A.-M. Cell wall hemicellulose for sustainable industrial utilization. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 144, p. 110996, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032121002872>.

RAI, M.; INGLE, A. P.; GUPTA, I.; BRANDELLI, A. Bioactivity of noble metal nanoparticles decorated with biopolymers and their application in drug delivery. **International Journal of Pharmaceutics**, [s. l.], v. 496, n. 2, p. 159–172, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378517315303276>.

REZENDE, C. A.; DE LIMA, M.; MAZIERO, P.; DEAZEVEDO, E.; GARCIA, W.; POLIKARPOV, I. Chemical and morphological characterization of sugarcane bagasse submitted to a delignification process for enhanced enzymatic digestibility. **Biotechnology for Biofuels**, [s. l.], v. 4, n. November, 2011.

RICHARDS, H. L.; BAKER, P. G. L.; IWUOHA, E. Metal Nanoparticle Modified Polysulfone Membranes for Use in Wastewater Treatment: A Critical Review. **Journal of Surface Engineered Materials and Advanced Technology**, [s. l.], v. 02, n. 03, p. 183–193, 2012.

RONGPIPI, S.; YE, D.; GOMEZ, E. D.; GOMEZ, E. W. Progress and

opportunities in the characterization of cellulose – an important regulator wall growth and mechanics. **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], v. 9, n. March, p. 1–28, 2019.

ROSCA, V.; DUCA, M.; DE GROOT, M. T.; KOPER, M. T. M. Nitrogen Cycle Electrocatalysis. **Chemical Reviews**, [s. l.], v. 109, n. 6, p. 2209–2244, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/cr8003696>.

SANTOS, F.; EICHLER, P.; MACHADO, G.; DE MATTIA, J.; DE SOUZA, G. **By-products of the sugarcane industry**. [S. l.]: Elsevier Inc., 2019. 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-814236-3.00002-0>.

SANTOS, F. A.; QUEIRÓZ, J. H. de; COLODETTE, J. L.; FERNANDES, S. A.; GUIMARÃES, V. M.; REZENDE, S. T. **Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol**. [S. l.]: scielo , 2012.

SALIBA, E. de O. S.; RODRIGUEZ, N. M.; MORAIS, S. A. L. de; PILÓ-VELOSO, D. **Ligninas: métodos de obtenção e caracterização química**. [S. l.]: scielo , 2001.

SCAPINI, T.; DOS SANTOS, M. S. N.; BONATTO, C.; WANCURA, J. H. C.; MULINARI, J.; CAMARGO, A. F.; KLANOVICZ, N.; ZABOT, G. L.; TRES, M. V.; FONGARO, G.; TREICHEL, H. c. **Bioresource Technology**, [s. l.], v. 342, p. 126033, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852421013754>.

SCHAUERMANN, S.; NILIUS, N.; SHAIKHUTDINOV, S.; FREUND, H.-J. Nanoparticles for heterogeneous catalysis: new mechanistic insights. **Accounts of chemical research**, United Statesv. 46, n. 8, p. 1673–1681, 2013.

SCHEUFELE, F. B.; RIBEIRO, C.; MÓDENES, A. N.; ESPINOZA-QUIÑONES, F. R.; BERGAMASCO, R.; PEREIRA, N. C. Assessment of drying temperature of sugarcane bagasse on sorption of reactive blue 5G dye. **Fibers and Polymers**, [s. l.], v. 16, n. 8, p. 1646–1656, 2015.

TANG, J.; LIU, J.; LI, C.; LI, Y.; TADE, M. O.; DAI, S.; YAMAUCHI, Y. Synthesis of nitrogen-doped mesoporous carbon spheres with extra-large pores through assembly of diblock copolymer micelles. **Angewandte Chemie - International Edition**, [s. l.], v. 54, n. 2, p. 588–593, 2015.

TOKAZHANOV, G.; RAMAZANOVA, E.; HAMID, S.; BAE, S.; LEE, W. Advances in the catalytic reduction of nitrate by metallic catalysts for high efficiency and N₂ selectivity: A review. **Chemical Engineering Journal**, [s. l.], v. 384, p. 123252, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894719326646>.

VALIENTE, N.; GÓMEZ-ALDAY, J. J.; JIRSA, F. Spectrophotometric determination of nitrate in hypersaline waters after optimization based on the Box-Behnken design. **Microchemical Journal**, [s. l.], v. 145, p. 951–958, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0026265X18308622>.

VALENGA, M. G. P.; GEVAERD, A.; MARCOLINO-JUNIOR, L. H.; BERGAMINI, M. F. Biochar from sugarcane bagasse: Synthesis, characterization, and application in an electrochemical sensor for copper (II) determination. **Biomass and Bioenergy**, [s. l.], v. 184, n. September 2023, 2024.

VENKATESHAIAH, A.; SILVESTRI, D.; RAMAKRISHNAN, R. K.; WACŁAWEK, S.; PADIL, V. V. T.; ČERNÍK, M.; VARMA, R. S. Gum Kondagogu/Reduced Graphene Oxide Framed Platinum Nanoparticles and Their Catalytic Role. **Molecules (Basel, Switzerland)**, Switzerlandv. 24, n. 20, 2019.

VORLOP, K. -D; TACKE, T. Erste Schritte auf dem Weg zur edelmetallkatalysierten Nitrat- und Nitrit-Entfernung aus Trinkwasser. **Chemie Ingenieur Technik**, [s. l.], v. 61, n. 10, p. 836–837, 1989.

WACŁAWEK, S.; PADIL, V. V. T.; ČERNÍK, M. Major Advances and Challenges in Heterogeneous Catalysis for Environmental Applications: A Review. **Ecological Chemistry and Engineering S**, [s. l.], v. 25, n. 1, p. 9–34, 2018.

WADA, M.; HORI, R.; KIM, U. J.; SASAKI, S. X-ray diffraction study on the thermal expansion behavior of cellulose I β and its high-temperature phase. **Polymer Degradation and Stability**, [s. l.], v. 95, n. 8, p. 1330–1334, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2010.01.034>.

WANG, G.; HAN, R.; FENG, X.; LI, Y.; LIN, J.; LUO, X. A glassy carbon electrode modified with poly(3,4-ethylenedioxythiophene) doped with nano-sized hydroxyapatite for amperometric determination of nitrite. **Microchimica Acta**, [s. l.], v. 184, n. 6, p. 1721–1727, 2017.

WANG, C.; LI, Z.; PAN, Z.; LI, D. **A High-Performance Optoelectronic Sensor Device for Nitrate Nitrogen in Recirculating Aquaculture Systems**. [S. l.: s. n.], 2018.

WANG, Y.-J.; ZHAO, N.; FANG, B.; LI, H.; BI, X. T.; WANG, H. Carbon-Supported Pt-Based Alloy Electrocatalysts for the Oxygen Reduction Reaction in Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells: Particle Size, Shape, and Composition Manipulation and Their Impact to Activity. **Chemical Reviews**, [s. l.], v. 115, n. 9, p. 3433–3467, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/cr500519c>.

WEI, J.; ZHOU, D.; SUN, Z.; DENG, Y.; XIA, Y.; ZHAO, D. A controllable synthesis of rich nitrogen-doped ordered mesoporous carbon for CO₂ capture and supercapacitors. **Advanced Functional Materials**, [s. l.], v. 23, n. 18, p. 2322–2328, 2013.

XU, G.; HAN, J.; DING, B.; NIE, P.; PAN, J.; DOU, H.; LI, H.; ZHANG, X. Biomass-derived porous carbon materials with sulfur and nitrogen dual-doping for energy storage. **Green Chemistry**, [s. l.], v. 17, n. 3, p. 1668–1674, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1039/C4GC02185A>.

XU, Y.; ZHANG, B. Recent advances in porous Pt-based nanostructures: Synthesis and electrochemical applications. **Chemical Society Reviews**, [s. l.], v. 43, n. 8, p. 2439–2450, 2014.

YILONG, Z.; DEAN, Z.; DAOLIANG, L. Electrochemical and Other Methods for Detection and Determination of Dissolved Nitrite: A Review. **International Journal of Electrochemical Science**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 1144–1168, 2015. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1452398123050629>.

ZAFEER, M. K.; MENEZES, R. A.; VENKATACHALAM, H.; BHAT, K. S.

Sugarcane bagasse-based biochar and its potential applications: a review. **Emergent Materials**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 133–161, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42247-023-00603-y>.

ZHANG, Q.; ZHANG, K.-C.; LOU, J.-W.; GUO, S.-C.; ZHANG, Y.; YAO, W.-F.; TANG, Y.-P.; WU, J.-H.; ZHANG, L. Simultaneous quantification of twelve compounds in ethyl acetate extracts of Euphorbia kansui before and after fry- baked with vinegar by UPLC–MS/MS and its toxic effect on zebrafish. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, [s. l.], v. 155, p. 169–176, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0731708518302863>.

ZOHRI, A. N.; ABDELWAHAB, M.; ALI, M.; IBRAHIM, S.; ABDELAZIM, M. Data on morphological features change of pre-hydrolysis treated sugarcane bagasse using in-situ sodium hydroxide-sodium bisulfate method. **Data in Brief**, [s. l.], v. 24, p. 103971, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.103971>.