



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS - DECEN

STEFANI DA SILVA DE MELO

IMOBILIZAÇÃO DAS ANTOCIANINAS DA CASCA DA UVA EM CELULOSE
MICROCRISTALINA EXTRAÍDA DO BAGAÇO DO SORGO SACARINO

PAU DOS FERROS - RN
2023

STEFANI DA SILVA DE MELO

**IMOBILIZAÇÃO DAS ANTOCIANINAS DA CASCA DA UVA EM CELULOSE
MICROCRISTALINA EXTRAÍDA DO BAGAÇO DO SORGO SACARINO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
a Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharela em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. José Mariano da Silva
Neto
Coorientadora: Profa. Dra. Shirlene Kelly
Santos Carmo

PAU DOS FERROS - RN
2023

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

ds816 de Melo , Stefani da Silva.
i IMOBILIZAÇÃO DAS ANTOCIANINAS DA CASCA DA UVA
EM CELULOSE MICROCRISTALINA EXTRAÍDA DO BAGAÇO DO
SORGO SACARINO / Stefani da Silva de Melo . -
2023.
46 f. : il.

Orientador: José Mariano da Silva Neto.
Coorientadora: Shirlene Kelly Santos Carmo.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2023.

1. adsorção. 2. estabilidade térmica. 3.
compostos bioativos. 4. resíduos. I. da Silva
Neto, José Mariano, orient. II. Santos Carmo,
Shirlene Kelly, co-orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 15/966

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

STEFANI DA SILVA DE MELO

**IMOBILIZAÇÃO DAS ANTOCIANINAS DA CASCA DA UVA EM CELULOSE
MICROCRISTALINA EXTRAÍDA DO BAGAÇO DO SORGO SACARINO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
a Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharela em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 16/05/2023

BANCA EXAMINADORA

Dr. José Mariano da Silva Neto (Orientador)

Dra. Shirlene Kelly Santos Carmo (Co-orientadora)

Dra. Aline Mara Maia Bessa (Examinadora)

AGRADECIMENTOS

A Deus, dedico toda minha gratidão, pela força dada para enfrentar todos os obstáculos que apareceram ao longo da minha jornada. Agradeço por não me deixar fraquejar, e me fortalecer nos dias mais difíceis enfrentados nessa caminhada.

Aos meus pais (Maria Aparecida e Helenilson), por todo apoio e dedicação que me foi atribuído, jamais medindo quaisquer esforços para me oferecer o melhor, mesmo em meio as dificuldades.

Aos meus irmãos (Wemerson e Stella), pelo apoio e companheirismo nos momentos mais precisos.

Aos meus familiares, que mesmo longe, sempre me incentivaram.

Aos amigos que estiveram presentes, compartilhando as experiências da vida acadêmica.

Ao meu cachorro, que deixou meus dias mais brandos.

Ao meu orientador Dr. José Mariano da Silva Neto, pela paciência e dedicação, e por todos os conhecimentos repassados.

A professora Dr^a Shirlene Kelly Santos Carmo, pela aprendizagem transmitida.

E aos demais docentes da universidade que contribuíram na minha formação acadêmica.

“Por pior do que a vida possa parecer, sempre há algo que podemos fazer em que podemos obter sucesso. Enquanto houver vida, haverá esperança.”

- Stephen Hawking

RESUMO

As antocianinas (das palavras gregas *anthos*, flor e *kianos*, azul) são pigmentos vegetais, responsáveis por uma grande variedade de cores observadas em flores, frutos, algumas folhas, caules e raízes de plantas, que podem variar do vermelho vivo ao violeta/azul. Se apresentam como compostos essenciais para a prevenção de doenças, no entanto, são altamente degradantes quando expostas a condições extremas de temperatura, luz, e umidade, impossibilitando o seu uso em diversas aplicações. Na busca por métodos alternativos que preservem as antocianinas presentes em alimentos, este trabalho objetivou isolar a celulose microcristalina do bagaço do sorgo sacarino (MCC) para utilizá-la como adsorvente na imobilização das antocianinas presentes na casca da uva. Foram executados estudos caracterizando a celulose microcristalina, isolando-a por dois métodos distintos: método A (tratamento ácido, com H_2SO_4 (10% m/v) seguido de tratamento básico com NaOH (5% m/v)), e método B (tratamento realizado com NaClO_2 e CH_3COOH , no banho maria a 70°C , sob agitação, e após isso um tratamento com NaOH (17,5%)). A extração das antocianinas foi realizada por meio de dois solventes: água e etanol (50% v/v). Para tal, foi realizado um teste de massa visando a determinação da quantidade de celulose ideal para a adsorção das antocianinas. Um estudo cinético, onde dois modelos pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem foram aplicados aos dados experimentais, e isotermas de equilíbrio em que foram aplicados os modelos de Langmuir e Freundlich. No presente estudo, o método B forneceu maior rendimento mássico de celulose sendo, 32%, e o método A, 21%. Com relação a extração de antocianinas, o etanol apresentou maior eficiência comparado a água. Os teores extraídos foram de $474,7 \pm 6,1$ e $166,6 \pm 3,4 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente. A massa obtida da MCC que maximizou a adsorção de antocianinas foi no teste utilizando 0,4 g de MCC. No estudo cinético, a adsorção das antocianinas em MCC, atingiu o equilíbrio em um tempo de 30 minutos em concentrações iniciais de 33 mg.L^{-1} e 111 mg.L^{-1} , na temperatura de 25°C . O modelo que mais se ajustou aos dados experimentais da cinética foi o de pseudo-segunda ordem e a isoterma de Langmuir para o estudo de equilíbrio, ambos apresentaram os melhores valores de R^2 e SSE. Nesse modelo a capacidade adsortiva máxima foi estimada em 1.0679 mg.g^{-1} e o R_L indicou que se trata de uma adsorção favorável já que seu valor foi igual a 0,3247. A celulose pode ser utilizada como um adsorvente eficiente e de baixo custo, para a imobilização das antocianinas presentes na casca da uva, visando a estabilização desses compostos, evitando a sua degradação.

Palavras-chave: adsorção, estabilidade térmica, compostos bioativos, resíduos.

ABSTRACT

Anthocyanins (from the Greek words *anthos*, flower and *kianos*, blue) are plant pigments, responsible for a wide variety of colors observed in flowers, fruits, some leaves, stems and roots of plants, which can vary from bright red to violet/blue. They are presented as essential compounds for the prevention of diseases, however, they are highly degrading when exposed to conditions of temperature, light, and humidity, making their use difficult in several applications. In the search for alternative methods that preserve anthocyanins present in foods, this work aimed to isolate microcrystalline cellulose from sugar sorghum bagasse (MCC) to use it as an adsorbent in the immobilization of anthocyanins present in grape skins. Studies were carried out characterizing the microcrystalline cellulose, isolating it by two methods, method A (acid treatment with H_2SO_4 (10% m/v) and basic treatment with NaOH (5% m/v)), and method B (treatment performed with NaClO_2 and CH_3COOH , in a water bath at 70°C , under stirring, and after that a treatment with NaOH (17.5%)). The anthocyanin extraction was performed using two solvents, water and ethanol (50% v/v). A mass test was performed in order to determine the ideal amount of cellulose for the adsorption of anthocyanins, a kinetic study, where two pseudo-first order and pseudo-second order models were applied to the experimental data, and equilibrium isotherms in which the Langmuir and Freundlich models. In the present study, method B provided the highest mass yield of cellulose, 32%, and method A, 21%. Regarding the extraction of anthocyanins, ethanol showed greater efficiency compared to water. The extracted contents were 474.7 ± 6.1 and $166.6 \pm 3.4 \text{ mg.L}^{-1}$, respectively. The mass obtained from the MCC that maximized the adsorption of anthocyanins was in the test using 0.4 g of MCC. In the kinetic study, the adsorption of anthocyanins in MCC, reached equilibrium in a time of 30 minutes in initial concentrations of 33 mg.L^{-1} and 111 mg.L^{-1} , at a temperature of 25°C . The model that best fitted the experimental kinetic data was the pseudo-second order model and the Langmuir isotherm for the equilibrium study, both of which presented the best R^2 and SSE values. In this model, the maximum adsorptive capacity was estimated at 1.0679 mg.g^{-1} and the R_L indicated that it is a favorable adsorption since its value was equal to 0.3247. Cellulose can be used as an efficient and low-cost adsorbent for the immobilization of anthocyanins present in grape skins, aiming at stabilizing these compounds, preventing their degradation.

Keywords: adsorption, thermal stability, bioactive compounds, waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura química da celulose	10
Figura 2 - Estrutura da hemicelulose	11
Figura 3 - Unidades precursoras da lignina: álcool sinapílico, álcool coniferílico e álcool p-cumarílico.....	12
Figura 4 – Estrutura química de uma antocianina.	13
Figura 5 - Fluxograma do método A	16
Figura 6 - Fluxograma do método B	16
Figura 7 - Procedimentos para a obtenção do pó da casca da uva.....	17
Figura 8 - Processo de obtenção do extrato da casca da uva	18
Figura 9 - Celulose microcristalina obtida a partir do bagaço do sorgo sacarino	25
Figura 10 - Extratos das antocianinas utilizando água e água/etanol	26
Figura 11 - Teste de massa	27
Figura 12 - Cinética de adsorção	28
Figura 13 - Dados experimentais da isoterma de adsorção (25°C) e curvas dos modelos	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição lignocelulósica do sorgo sacarino.....	9
Tabela 2 - Rendimentos para o isolamento da celulose microcristalina.....	24
Tabela 3 - Concentrações de antocianinas obtidas em solventes distintos.....	25
Tabela 4 - Parâmetros dos modelos cinéticos.....	29
Tabela 5 - Parâmetros dos modelos de Langmuir e Freundlich para a adsorção de antocianinas em celulose microcristalina	31

LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

BSS- bagaço do sorgo sacarino

Cd – Cádmio

C_0 - concentração inicial de compostos fenólicos totais em solução

C_e - concentração no equilíbrio de compostos fenólicos totais em solução

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

GUDP - glicose uridina-difosfato

k_1 – constante cinética para o modelo de pseudo-primeira ordem

k_2 – constante cinética para o modelo de pseudo-segunda ordem

k_B – constante de Boltzmann

k_F – constante de Freundlich

k_L – constante de Langmuir

MCC - Celulose microcristalina

pH – Potencial hidrogeniônico

q_e – concentração de antocianinas na fase sólida adsorvidos em celulose microcristalina no equilíbrio

q_{et} – concentração de antocianinas fase sólida adsorvidos em celulose microcristalina no tempo

q_L – Capacidade máxima de adsorção

R^2 - Coeficiente de determinação

R_L – Fator de separação

SSE – Soma do quadrado dos resíduos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	5
2. OBJETIVOS	7
2.1 Objetivo Geral.....	7
2.2 Objetivo específico	7
3. REVISÃO TEÓRICA.....	8
3.1 SORGO (<i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench).....	8
3.2 COMPOSIÇÃO LIGNOCELULOSICA DO SORGO SACARINO...	9
3.3 CELULOSE	9
3.4 HEMICELULOSE	10
3.5 LIGNINA.....	11
3.6 CASCA DA UVA	12
3.7 ANTOCIANINAS	13
3.8 ADSORÇÃO	14
4. METODOLOGIA	15
4.1 OBTENÇÃO DO BAGAÇO DO SORGO.....	15
4.2 CARACTERIZAÇÃO DO BAGAÇO DO SORGO SACARINO	15
4.3 EXTRAÇÃO DA CELULOSE MICROCRISTALINA.....	15
4.4 OBTENÇÃO DO PÓ DA CASCA DA UVA	17
4.5 EXTRAÇÃO DAS ANTOCIANINAS	17
4.6 DETERMINAÇÃO DE ANTOCIANINAS.....	18
4.7 TESTE DE MASSA.....	19
4.8 CINÉTICA DA ADSORÇÃO.....	20
4.9 MODELO DE PSEUDO-PRIMEIRA ORDEM.....	20
4.10 MODELO DE PSEUDO-SEGUNDA ORDEM.....	21
4.11 ISOTERMA DA ADSORÇÃO	21
4.12 ISOTERMA DE LANGMUIR.....	22
4.13 ISOTERMA DE FREUNDLICH.....	23
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
5.1 ISOLAMENTO DA CELULOSE MICROCRISTALINA DO BAGAÇO DO SORGO SACARINO (BSS).....	24
5.2 EXTRAÇÃO DE ANTOCIANINAS UTILIZANDO DIFERENTES SOLVENTES.....	25
5.3 TESTE DE MASSA.....	26
5.4 CINÉTICA DE ADSORÇÃO DE ANTOCIANINAS DA CASCA	

	DA UVA EM CELULOSE MICROCRISTALINA DO BAGAÇO DO SORGO SACARINO	27
5.5	ISOTERMA DE ADSORÇÃO DE ANTOCIANINAS DA CASCA DA UVA EM CELULOSE MICROCRISTALINA DO BAGAÇO DO SORGO SACARINO	30
6	CONCLUSÕES.....	32
7	REFERÊNCIAS.....	33

1. INTRODUÇÃO

Os materiais lignocelulósicos são encontrados na biomassa vegetal, termo usualmente empregado para designar matéria orgânica produzida, tanto pelas espécies vegetais, como por seus resíduos (DE CASTRO, 2009). Estes materiais possuem uma ampla aplicabilidade, encaixam-se na produção de biocombustíveis e insumos químicos, por serem constituídos de celulose, hemicelulose e lignina, apresentam-se como fontes renováveis e sustentáveis, possuindo custo economicamente acessível.

Originário do continente africano, o sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] uma cultura rústica e com aptidão para cultivo em áreas tropicais, subtropicais e temperadas. A planta apresenta tolerância a estresses abióticos e pode ser cultivada em diferentes tipos de solos, pois tem fácil adaptação a climas variados. (ARRUDA, 2012). Considerado um material lignocelulósico é importante no setor da agricultura, é um tipo de gramínea que contém em sua composição estrutural o colmo, que é rico em açúcares fermentáveis, onde se concentra o caldo, possui também grãos, folhas e o bagaço.

Este orgânico tem sido bastante visado para a produção de compostos químicos pela grande eficácia e propriedades que possui. Um resíduo pouco valorizado desse vegetal, mas que é um provedor de produção rentável, é o bagaço do sorgo sacarino que é uma fonte de celulose (polímero de glicose), hemicelulose (várias unidades ligadas entre si de pentoses e hexoses) e lignina (polímero de fenóis), que quando isoladas podem produzir uma série de compostos de interesse comercial (DA SILVA NETO, 2018).

Os resíduos de materiais lignocelulósicos podem ser usados como matéria-prima para a produção de alimentos, combustíveis, insumos químicos, enzimas e bens de consumo diversos (RODRIGUEZ *et al.* 2008). Silva (2019) realizou a produção de enzimas celulolíticas e xilanolítica a partir do bagaço do sorgo por fermentação semissólida e submersa. Semelhante a cana de açúcar, o bagaço do sorgo sacarino é uma fonte de matéria-prima para produção de etanol de segunda geração, onde Quilhó (2011) a partir do bagaço do sorgo, produziu o bioetanol. Eficaz na produção de energia, e na formação de nanobioadsorventes, com a vantagem de que seu tempo de safra é menor que o da cana de açúcar, tornando-se uma fonte de complementação da mesma.

A principal aplicação da biomassa do bagaço do sorgo sacarino é o aproveitamento da celulose, de acordo com Saini *et al.* (2014 apud DA SILVA NETO 2018). A celulose é um carboidrato do tipo polissacarídeo, na qual possui monômeros de glicose, obtêm ligações de hidrogênio entre os grupos hidroxilas presentes e promove rigidez a matéria – prima, por meio das fibras formadas. Sua aplicabilidade acontece em diversos materiais a qual se tem utilização no cotidiano, sendo um grande favorecedor da sustentabilidade.

A celulose pode ser utilizada como adsorvente em processos de adsorção. A adsorção é a interação de uma substância sólida com uma líquida, onde partículas do líquido ficam retidos na superfície do sólido. A celulose vem sendo bastante estudada para este fim, no trabalho de Bezerra (2016) foi utilizado biopolímeros derivados da celulose para a aplicação na adsorção/dessorção do fármaco amitriptilina em meio aquoso. Wang *et al.* (2020) sintetizaram hidrogéis de celulose e aplicaram na adsorção de Cd (II) em solução e apresentaram uma boa capacidade de adsorção, segundo os autores, em torno de 95,62 mg g⁻¹ a 313,5 K. Tonetto (2021), analisou a remoção de corante têxtil em meios aquosos pelo processo de adsorção utilizando a celulose bacteriana esférica e Orsi (2022), realizou o estudo cinético e de adsorção de íons metálicos em nanofibrilas de celulose.

As antocianinas são pigmentos vegetais que variam de cor de acordo com o meio em quem se encontram, são de suma importância para a prevenção de doenças, podem ser extraídas através de métodos laboratoriais, e para isso são necessários estudos de solventes, tempo e pH adequados. Quando esses compostos são submetidos a condições de temperatura, luz, oxigênio e pH, estes podem sofrer degradação e perder suas características antioxidantes com facilidade. A temperatura influencia diretamente na estabilidade das antocianinas, podendo ocorrer através do aquecimento, a hidrólise ligação glicosídica, ou seja, ocorre uma maior velocidade na liberação de açúcar que é relativo a perda da coloração. De acordo com Silva *et al.* (2021), a presença de luz e de umidade também são fatores que interrompem a conservação das antocianinas, ocasionando uma degradação mais acelerada, por isso estudar a estabilidade desses compostos no intuito de preservar suas propriedades bioativas torna-se necessário.

Nesse sentido, esse trabalho visou estudar o processo de adsorção de antocianinas presentes na casca da uva em celulose microcristalina do bagaço do sorgo sacarino com a finalidade de estabilizar esses compostos para aplicações em processos industriais.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Imobilizar as antocianinas da casca da uva em celulose microcristalina extraída do bagaço do sorgo sacarino.

2.2 Objetivo específico

- Caracterizar físico-quimicamente o bagaço do sorgo;
- Isolar a celulose microcristalina do bagaço do sorgo sacarino;
- Extrair as antocianinas totais do pó da casca da uva;
- Realizar um estudo cinético da adsorção de antocianinas do pó da casca da uva em celulose microcristalina do bagaço do sorgo sacarino;
- Avaliar o estudo do equilíbrio adsorptivo das antocianinas em celulose microcristalina.

3. REVISÃO TEÓRICA

3.1 Sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)

O gênero (*Sorghum bicolor* L.) é uma gramínea cultivada em inúmeras regiões do mundo, é o quinto cereal mais cultivado do planeta, ficando atrás apenas do trigo, arroz, milho e cevada. Destaca-se, pela sua versatilidade, adaptabilidade, rendimento agrônomo e energético. Possui também ciclo curto de colheita, a qual é mecanizada do começo ao fim do plantio.

O sistema radicular da planta se divide em raízes secundárias e raízes de sustentação. A presença de sílica na endoderme, o volume de pelos absorventes e a lignificação do periciclo da raiz permitem ao sorgo maior tolerância a seca. A morfologia do caule é tipo colmo cheio dividido em nós, que podem ser doces ou não, e raramente secos. As folhas são de limbo lanceolado alternadas e lisas com bordas serrilhadas e com uma camada de cerosidade. As plantas de sorgo ainda possuem inflorescência do tipo panícula e um tipo de fruto cariopse (BALDOTTO *et al.*, 2010)

O sorgo tem uma enorme variedade de aplicações, seja no aproveitamento dos seus grãos que podem ser cozidos como arroz, usados em flocos ou farelos, cozidos como trigo para a fabricação de pães ou até mesmo “estourados” como pipoca. O colmo pode ser utilizado na construção, como lenha e na tecelagem, e na produção de açúcar, xarope e combustíveis líquidos, sendo apontada em 1996, talvez, como a cultura mais versátil do mundo (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1996 apud DA SILVA NETO 2018).

O sorgo contém categorias diferentes, sendo eles o granífero, o forrageiro, vassoura e sacarino. O granífero possui baixo porte, onde os grãos são a parte fundamental da sua produção, o forrageiro, este já possui alto porte e contribui na fabricação de silagem, para a geração de vassouras e artesanatos usa-se o sorgo vassoura, e por fim o sacarino que possui colmo suculento e apresenta frações expressivas de celulose, lignina e hemicelulose. (EMBRAPA 2011).

A composição lignocelulósica do sorgo está em proeminência pela sua relevância na produção de insumos químicos, onde o bagaço é uma parte da estrutura com biomassa significativa, tendo em média um percentual de celulose igual a 39%, hemicelulose em torno de 22% e lignina 18%. (Panagiotopoulos *et al.*, 2010).

3.2 COMPOSIÇÃO LIGNOCELULÓSICA DO SORGO SACARINO

De acordo com a EMBRAPA (2015) a variedade sacarina do sorgo possui um alto potencial para a produção de biomassa, isso porque os seus colmos apresentam grande quantidade de caldo que apresenta concentrações superiores a 160 g/L de açúcares fermentescíveis sendo a maior porcentagem é de sacarose (8% a 13%), vindo em seguida a glicose (0,5% a 2,0%) e a frutose (0,5% a 1,5%). Essas características colocam o sorgo sacarino como uma potencial matéria-prima para a produção de etanol. (DA SILVA NETO, 2018).

O sorgo sacarino se assemelha à cana-de-açúcar, uma vez que armazena açúcares simples em colmos, apresentando assim grande potencial na produção de etanol de segunda geração. Destaca-se em relação à cana-de-açúcar, sobretudo, na rapidez do ciclo de produção, na mecanização da cultura e na antecipação da colheita em até quatro meses (RODRIGUES, 2008 apud Silva (2019). A Tabela 1 apresenta a composição lignocelulósica média do sorgo sacarino baseada em estudos realizados.

Tabela 1 - Composição lignocelulósica do sorgo sacarino

Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)	Referência
39,59	32,05	20,36	Neto, J. M. S (2018)
37,68	17,02	13,84	Bi <i>et al.</i> (2017)
25,07	37,03	12,82	Lins, S. A. S. (2017)
32,07	20,14	22,82	Freita <i>et al.</i> (2016)
33,24	21,44	19,94	Yue <i>et al.</i> (2017)
40,40	20,00	19,80	Barcelos <i>et al.</i> (2016)
44,83	31,33	23,84	Prathyusha <i>et al.</i> (2016)

Fonte: Silva de Almeida (2019)

3.3 CELULOSE

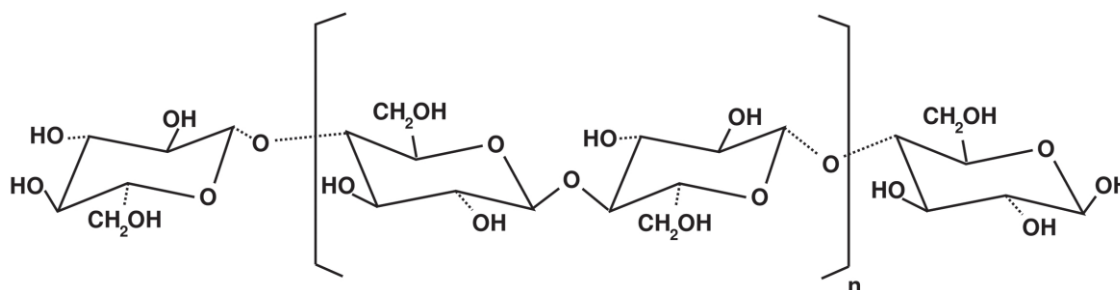
A celulose está presente nos vegetais, sendo encontrada com facilidade na natureza, é formada por monômeros de glicose, entre 15 a 15.000, unidas por ligações glicosídicas. Sendo assim a celulose é um polímero de glicose, onde sua aplicação principal é a produção de energia, além disso gera outros produtos de grande relevância no cenário atual para a sociedade, aplica-se na produção de fibras, cosméticos, membranas

de papel, adesivos, plásticos, tintas para impressão, revestimentos e nano materiais.

Localizada na parede do vegetal a celulose tem como função conferir rigidez ao vegetal, trazendo firmeza na sua composição, na qual é perceptível ao se ter contato visível e manual, onde se ressaltam suas propriedades físicas como alta resistência, baixa densidade e translucidez, além dos benefícios ecológicos.

Sua estrutura é linear e estabelece ligações de hidrogênio entre os grupos hidroxilas presentes. Nas células, as moléculas de celulose se arranjam em forma de feixes de fibras, conforme mostrado na Figura 1 (MAGALHÃES, 2016).

Figura 1 - Estrutura química da celulose



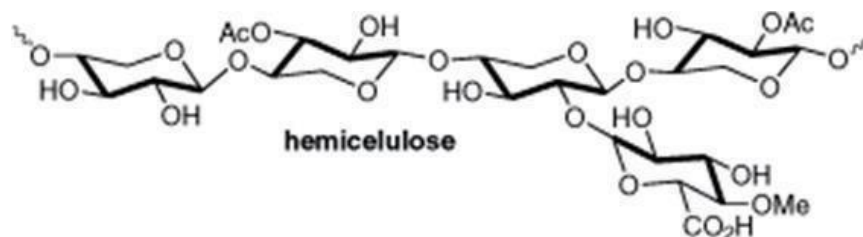
Fonte: (SANSIVIERO *et al.*, 2019)

As microfibrilas de celulose são sintetizadas na membrana plasmática da célula vegetal. Essa síntese é feita por complexos enzimáticos denominados de celulose-sintase, os quais possuem formato de roseta. A unidade precursora da celulose é denominada de glicose uridina-difosfato (GUDP) e está presente no citoplasma da célula. (SANTOS,2022).

3.4 HEMICELULOSE

As hemicelulose (Figura 2) são materiais amorfos constituídos de polissacarídeos heterogêneos, com um grau de polimerização que varia entre 80 e 200 (massa molar entre 25.000 e 35.000 g mol^{-1}). (SOUZA, 2012).

Figura 2 - Estrutura da hemicelulose



Fonte: Huebra (2016)

Ao contrário da celulose, as hemiceluloses têm uma combinação aleatória de monossacarídeos incluindo principalmente pentoses (β -D-xilose, β -L-arabinose), hexoses (β -D-glicose, β -D-manose, β -D-galactose) e ácidos urônicos (De Moraes *et al.*, 2005).

A principal diferença, quando comparada a celulose, é que a hemicelulose tem ramificações com cadeias curtas laterais constituídas por diferentes açúcares. Em contraste com a celulose, são polímeros facilmente hidrolisáveis. Eles não formam agregados e apresentam maior suscetibilidade à hidrólise ácida (BENEDETTO, 2015).

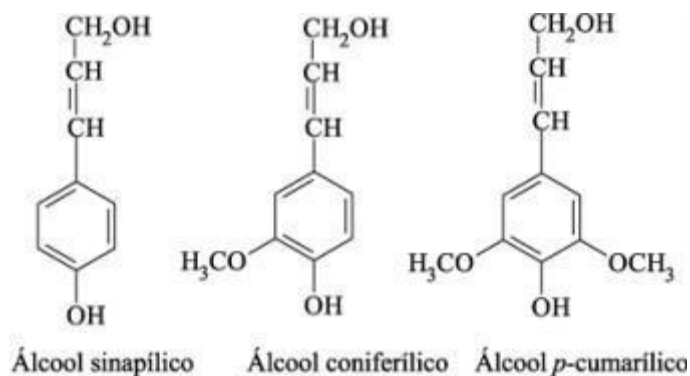
3.5 LIGNINA

Conforme apresentado na Figura 3, a lignina é uma molécula tridimensional amorfa, presente nos vegetais, em associação com a celulose na parede celular, de natureza polimérica e tridimensional, com finalidade de conferir rigidez, impermeabilidade e resistência contra ataques biológicos aos tecidos vegetais. (MELDAU CARVALHO, 2009).

Quando isolada pode ser aplicada como matéria prima na produção de biocompósitos, polímeros, emulsificantes, antioxidantes, pesticidas, fertilizantes, carvão vegetal, aditivos para concreto, dentre outros.

É sintetizada a partir de três precursores, o álcool coniferílico, o álcool sinapílico e o álcool p-cumarílico (NASCIMENTO, 2007), que podem ser classificados como 6 moléculas do tipo fenilpropanóides ou álcoois p-hidroxi-cinâmicos e levam à formação da p-hidroxifenila (H), guaiacila (G) e siringila (S) (HUEBRA, 2016).

Figura 3 - Unidades precursoras da lignina: álcool sinapílico, álcool coniferílico e álcool p-cumarílico



Fonte: Budziak (2004)

A lignina proporciona suporte mecânico e elástico, facilita o transporte de água e nutrientes pela planta e dificulta a entrada de patógenos microbianos (DAVISON *et al.*, 2013). Nota-se que é mais abundante em plantas menos lenhosas, garantindo maior resistência à ataques contra sua integridade estrutural (PALONEN, 2004). Tal resistência é um dos maiores obstáculos para o aumento da acessibilidade à celulose, pois a lignina atua como uma barreira física e química para a ação de enzimas celulolíticas (LU *et al.*, 2002).

3.6 CASCA DA UVA

A uva é uma fruta da família vitácea bastante consumida, especialmente na fabricação de vinhos. O bagaço de uva é um subproduto sólido biodegradável do processo de vinificação, obtidos após prensagem mecânica ou fermentação, incluindo cascas (pele), sementes e haste, sendo então considerado subproduto agroindustrial (SIROHI *et al.*, 2020). A casca da uva que vem destacando-se por possuir um custo-benefício acessível e propriedades importantes em sua composição.

A casca da uva representa, em média, 82% do peso do bagaço, sendo uma fonte de antocianidinas e antocianinas, que são corantes naturais e possuem propriedades antioxidantes, além de apresentar açúcares e macro e micronutrientes, sendo também uma excelente fonte de fibra alimentar, que corresponde a cerca de 50 a 60% da composição total das cascas (JACOBS *et al.*, 2021).

3.7 ANTOCIANINAS

A palavra antocianina deriva do grego (*anthos* = flor e *kianos* = azul), (DITTGEN *et al.* (2015). São pigmentos, encontrados de forma natural em diversos tipos de frutas, folhas, flores e plantas. Esses pigmentos são compostos fenólicos que pertencem ao grupo dos flavonoides, que em sua constituição a uma abundância de propriedades benéficas para a saúde, na qual previne e trata doenças, como câncer, doenças neurológicas, cardiometabólicas e deficiência visual (CASTENEDÃ, 2009).

A cor das antocianinas é resultante da excitação da molécula pela luz visível. A facilidade com a qual a molécula se excita depende da mobilidade relativa dos elétrons da estrutura. As ligações duplas são excitadas mais facilmente e sua presença é essencial para a cor. O aumento de substituintes na molécula resulta em cores mais profundas, fenômeno conhecido como efeito batocrômico, onde a banda de absorção da luz no espectro visível varia do violeta para o vermelho. (SILVA.*et al.*, 2021). Quando o pH varia entre 1-2, ele se encontra em meio ácido, e com isso as antocianinas possuem uma coloração avermelhada devido ao predomínio da forma cátionflavílico (AH^+). Conforme o pH aumenta, a intensidade da coloração vai diminuindo, até ficar totalmente incolor, impossibilitando a determinação do teor das antocianinas (SILVA.*et al.*, 2021).

A estrutura de uma molécula de antocianina (Figura 4) consiste em uma aglicona ou antocianidina (por exemplo, cianidina, delphinidina, peonidina, pelargonidina, malvidina e petunidina etc.) à qual se une um ou mais açúcares (glicose, galactose, arabinose), geralmente, conjugados a grupos hidroxila, que estão ligados no carbono 3 do anel C (intermediário) da antocianidina. (AUSERO E MORETTO,2021).

Figura 4 – Estrutura química de uma antocianina.



Fonte: Ausero e Moretto (2021)

As antocianinas vêm destacando-se por ser um potencial elevado para novas aplicações tecnológicas. As suas propriedades biológicas e físico-químicas, tem aberto amplas aplicações em diferentes setores, por exemplo na fabricação de corantes para as indústrias alimentícias, têxtil e cosmética, e para possível fabricação de medicamentos (FREITAS, V. 2019).

3.8 ADSORÇÃO

Adsorção é um processo físico-químico em que moléculas de um fluido ficam contidos na superfície de um sólido, por ocorrer apenas na superfície pode ser chamado de fenômeno de superfície ou de interface. Para a execução deste procedimento é necessários dois componentes denominados de adsorvente e adsorvato. Adsorvente é a substância na forma sólida, e o adsorvato é a substância líquida (DO NASCIMENTO, 2014).

A adsorção pode ser realizada de duas formas, sendo ela fisissorção ou quimissorção. A fisissorção decorre por meio das forças de Van der Waals, entre adsorvato e adsorvente, neste caso, não acontece alteração molecular das substâncias, assim, mantendo sua forma original quimicamente. Já a quimissorção ocorre uma reação química que faz com que as substâncias moleculares se modifiquem, é classificada como uma ligação resistente por envolver elétrons. A adsorção torna-se relevante em diversas áreas industriais, e no cotidiano, aplica-se em remoção de odores alimentícios, tratamento de efluentes, e é responsável pela adsorção do cheiro do perfume (DO NASCIMENTO, 2014).

4. METODOLOGIA

4.1 OBTENÇÃO DO BAGAÇO DO SORGO

O sorgo foi obtido através de doação oriunda de uma fazenda no município de Mossoró - RN, o qual apresenta um período de safra que varia de 90 a 120 dias, entre outubro a dezembro. A pesquisa foi realizada no Laboratório de Química Geral, do Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros pertencente a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Inicialmente, foi extraído o caldo do sorgo, e o bagaço resultante foi cortado e levado para secagem em estufa com circulação e renovação de ar SL - 102 na temperatura de 70°C até massa constante. Após seco, o bagaço foi triturado no moinho de facas SL - 31, tendo como resultante o pó do bagaço do sorgo sacarino com uma granulometria de 20 mesh.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO BAGAÇO DO SORGO SACARINO

O bagaço do sorgo sacarino (BSS) passou por uma caracterização físico-química por método laboratorial, seguindo a metodologia da Moraes *et al.* (2010) adaptadas por Neto *et al.* (2019), na qual determinam o teor de umidade, cinzas, extrativos, holocelulose e alfacelulose deste resíduo.

4.3 EXTRAÇÃO DA CELULOSE MICROCRISTALINA

Assim como a caracterização do BSS, a extração da celulose, segue a metodologia adaptadas por Neto *et al.* (2019). Na qual foram utilizados dois métodos distintos. O método A, Figura 5, que foi usado o bagaço do sorgo livre de extrativos, e foi realizado tratamento com o ácido sulfúrico (H_2SO_4) (10%) por 60 minutos na temperatura de 80°C e consequente tratamento com hidróxido de sódio (NaOH) (5%) por 24h à temperatura ambiente sob agitação, o material foi filtrado no filtro a vácuo, e a celulose foi seca em estufa de circulação de ar até a massa constante. O método B, Figura 7, em um erlenmeyer, foram adicionados 8 g do bagaço do sorgo sacarino (BSS) livre de extrativos, juntamente 320 ml de água destilada e colocados em banho-maria a $70 \pm 2^\circ C$. No erlenmeyer, foram acrescentados 2,5 g de clorito de sódio ($NaClO_2$), com pureza de aproximadamente 80% e 2 ml de ácido acético glacial (CH_3COOH), com pureza $\geq 99,85\%$. O conjunto foi aquecido por uma hora, e mantido sob agitação. Após esse tempo,

foram adicionados 2,5 g de clorito de sódio NaClO_2 e 3 mL de ácido acético (CH_3COOH), e a agitação por mais uma hora. Findo esse tempo, foi adicionado mais uma vez os reagentes e prossegue-se com o aquecimento por mais três horas. Após o tempo reacional, o material foi filtrado a vácuo, lavando-a com água destilada até se obter um pH neutro. O material foi seco a 65°C até massa constante.

O material seco foi colocado em um almofariz e adicionados 90 mL de uma solução de (NaOH) a 17,5%, por dois minutos de contato entre a solução e o material, e, então, material foi triturado por oito minutos. Terminado esse tempo, adicionou-se 240 mL de água destilada, e a mistura foi filtrada. A celulose microcristalina foi seca a 65°C até massa constante.

Figura 5 - Fluxograma do método A

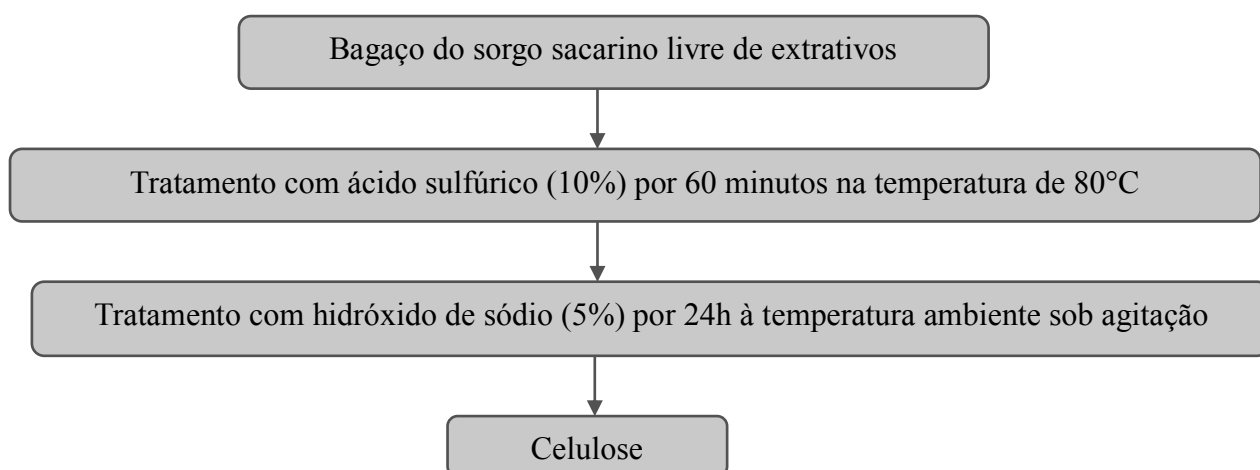
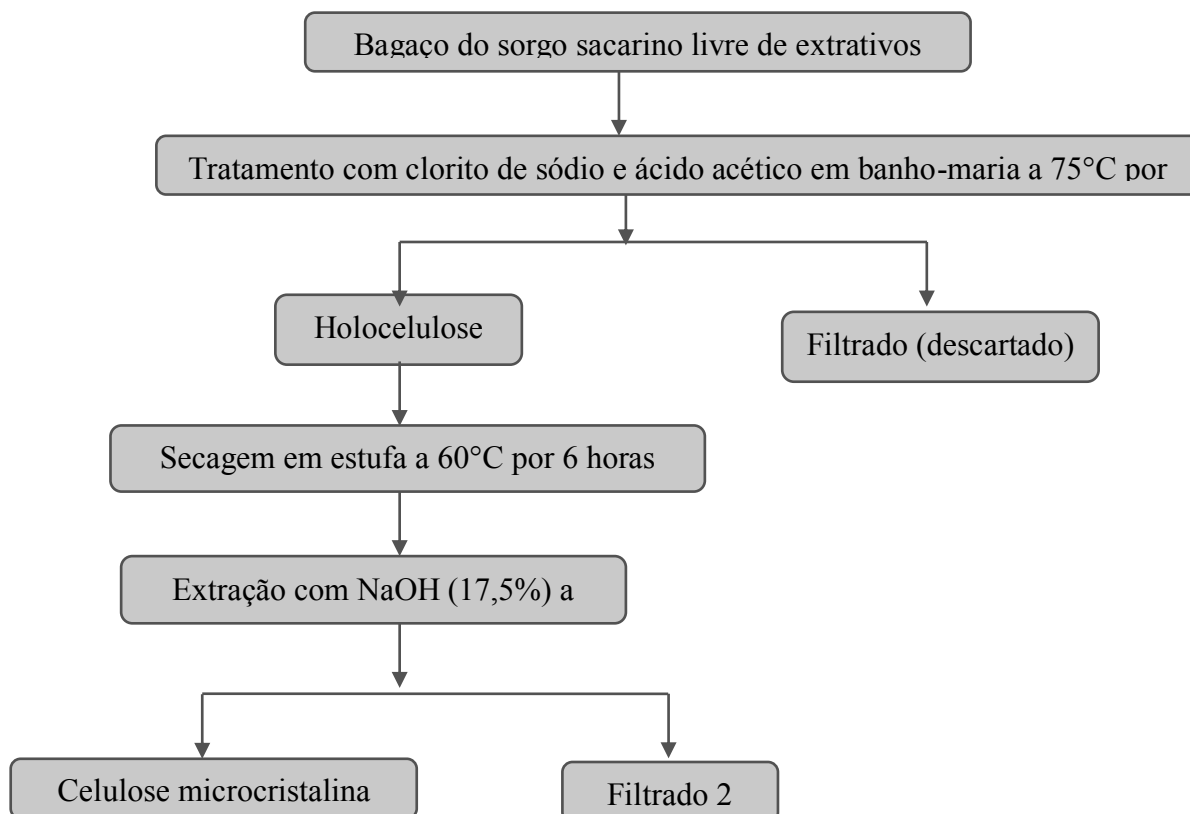


Figura 6 - Fluxograma do método B



4.4 OBTENÇÃO DO PÓ DA CASCA DA UVA

As uvas apresentadas na Figura 7a, foram obtidas em comércio local na cidade de Pau dos Ferros – RN. O processo iniciou-se, pela separação da polpa e das cascas das uvas Figura 7b. Na sequência, as cascas foram lavadas em água corrente, e higienizadas com solução de hipoclorito de sódio a 2,5% e mantidas em imersão por 10 minutos, posteriormente, enxaguadas com água corrente da rede de abastecimento, colocadas em bandejas de alumínio foram levadas até a estufa para secagem em temperatura de 55° C, até massa constante Figura 7c. As cascas secas foram moídas no moinho de facas, visando aumentar a área interfacial, assegurando melhor extração dos compostos bioativos, obtendo assim o pó da casca da uva apresentado na Figura 7d.

Figura 7 - Procedimentos para a obtenção do pó da casca da uva



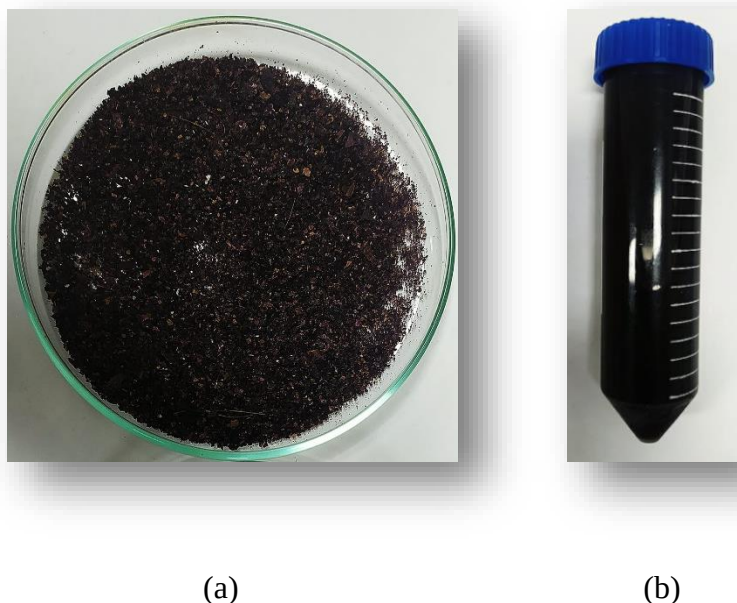
4.5 EXTRAÇÃO DAS ANTOCIANINAS

A extração das antocianinas da casca da uva foi obtida por intermédio de solventes a partir de dois métodos diferentes, visando maior eficácia na concentração de antocianinas extraída. No primeiro deles, foi utilizada a água como solvente, utilizando para isto 1g da casca da uva e 20 ml de água no almofariz. Em seguida, o material foi passado pelo processo de maceração de forma dinâmica por 15 minutos, onde após esse tempo, o material obtido por meio da junção do pó e do solvente foi filtrado a vácuo, e o líquido gerado foi analisado quanto ao teor de antocianinas.

No segundo método, Figura 8, foi adicionado 1g da casca da uva e 10 ml de água e 10 ml de etanol (99,9%v/v) no almofariz, e foi realizado o processo de maceração de

forma dinâmica por 15 minutos, após esse tempo o material obtido por meio da junção do pó e do solvente foi filtrado em filtro a vácuo, e o líquido gerado foi analisado quanto ao teor de antocianinas.

Figura 8 - Processo de obtenção do extrato da casca da uva



4.6 DETERMINAÇÃO DE ANTOCIANINAS

As antocianinas foram determinadas através da metodologia descrita por Fuleki & Francis (1968) e adaptada por Nascimento *et al.* (2008). A partir do método espectrofotométrico de quantificação pH único, onde a absorbância foi analisada no espectrofotômetro T80 + UV/ VIS spectrometer / PG instruments Ltd., e as leituras foram realizadas em um comprimento de onda de 535 nm. O conteúdo total de antocianinas foi expresso em mg de antocianinas/100g da fração da amostra analisada da casca da uva, foi usado o coeficiente de extensão médio (E1% 1cm) de diversas antocianinas, adotando-se para o método de pH Único (pH 2,0) valor de 982.

Esse método consistiu da transferência quantitativa de uma alíquota (VAlq) do Extrato Concentrado para balão volumétrico (VEd) de 10 mL que foi transferido para balão de 50 mL), tendo o volume completado com solução etanol 95% – HCl 1,5N (85/15), formando, dessa maneira, o Extrato Diluído (ED). Os valores de absorvância (DO) foram contrastados com os valores dos brancos (Solução Etanol HCL 1,5N (85:15)). O cálculo do teor de Antocianinas Totais (AntT) por 100 gramas da fração avaliada foi

efetuado a partir da Equação 1:

$$AntT_{mg\ Ant/100mg\ Amostra} = \frac{\frac{DO_{535nm}^* V_{E1} * V_{E2}}{V_{Alg} * m}}{\frac{E_{1cm}^{1\%}}{10}} \times 100 = \frac{DO_{535nm}^* V_{E1} * V_{E2} \times 1000}{V_{Alg} * m * E_{1cm}^{1\%}} \quad (1)$$

Onde:

DO* 535: Densidade Ótica do Extrato Diluído

pH Único: Medida direta da DO no espectrofotômetro

VEc: Volume Total do Extrato Concentrado

VALq: Volume da Alíquota do Extrato Primário a ser diluída para fazer o Extrato Secundário

VEd: Volume Total do Extrato Diluído.

m: Massa de Amostra

100: Fator de Correção para que resultado seja expresso em 100 gramas de Amostra

E1% 1cm: Coeficiente de Extinção

10: Constante para correção do Coeficiente de Extinção de modo a expressar o resultado em mg de Antocianina/ 100 gramas de Amostra

4.7 TESTE DE MASSA

O teste de massa foi realizado com a finalidade de obter a quantidade de celulose microcristalina que apresentasse uma maior capacidade adsortiva das antocianinas. Para isso, foi determinado uma concentração fixa para o extrato de antocianinas, sendo 30 ml do extrato da casca da uva e 70 ml da solução tampão com ajuste de pH 2 (KCl/HCl). Assim variando-se a massa da celulose em 0,1g, 0,2g, 0,3g, 0,4g e 0,5g, foram adicionados 10 ml do extrato, e o processo aconteceu sob agitação de 150 rpm por 60 minutos.

4.8 CINÉTICA DA ADSORÇÃO

A cinética controla a eficácia do processo, porque mede a taxa de adsorção da fase líquida ao longo do tempo. O processo de adsorção foi conduzido com 0,4 g da celulose microcristalina definida no teste de massa e 10 ml do extrato da casca da uva diluído em solução tampão de pH 2,0 (HCl/KCl), tais condições foram definidas a partir de estudos preliminares. O conjunto do extrato e da celulose microcristalina foi colocado sob agitação de 150 rpm, em temperatura ambiente por um período de 60 minutos, sendo retirado as combinações no tempo de 5, 10, 20, 40 e 60 minutos.

As amostras foram filtradas no filtro a vácuo, e os ensaios de adsorção foram monitorados através da determinação da concentração de antocianinas no líquido resultante do processo de filtração. Para a análise do mecanismo cinético de adsorção utilizou-se os dados experimentais obtidos para ajustá-los por dois modelos cinéticos: equação de pseudo-primeira ordem e equação de pseudo-segunda ordem.

4.9 MODELO DE PSEUDO-PRIMEIRA ORDEM

O modelo mais fácil para analisar a cinética de adsorção é a equação de pseudo-primeira ordem, expressa pela Equação 2:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1 (q_e - q_t) \quad (2)$$

Onde: k_1 é a constante da taxa de adsorção de pseudo-primeira ordem (min^{-1}); q_e e q_t : são as quantidades adsorvidas por grama de adsorvente no equilíbrio e no tempo t , respectivamente (mg g^{-1}). Após a integração da equação 2 e aplicando-se condições de contorno: $q_t = 0$, $t = 0$; quando $q_t = q_e$, $t = t$, tem-se a Equação 3.

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (3)$$

O valor de k_1 é definido a partir do gráfico de $\ln (q_e - q_t)$ versus t .

4.10 MODELO DE PSEUDO-SEGUNDA ORDEM

A equação de pseudo-segunda ordem, é expressa pela Equação 4.

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2 (q_e - q_t)^2 \quad (4)$$

Onde k_2 é constante cinética do modelo de pseudo-segunda ordem para a adsorção (g mg-1min-1). Integrando a equação 4, que é semelhante a equação 1, tem-se a Equação 5.

$$\frac{t}{(q_e - q_t)} = \frac{1}{q_e^2} \quad (5)$$

Linearizando a equação 5, obtêm-se a equação 6:

$$\frac{1}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (6)$$

q_e e k_2 podem ser obtidos por intermédio do intercepto e da inclinação da curva que o gráfico (t/qt) *versus* t, apresenta. Se o modelo cinético de pseudo-segunda ordem for adequado, a plotagem de (t/qt) *versus* t deve apresentar uma relação linear próxima a 1.

4.11 ISOTERMA DA ADSORÇÃO

As isotermas de adsorção foram obtidas com massa de 0,4 g da celulose microcristalina e 10,0 mL do extrato da casca da uva diluído em solução tampão de pH 2,0 (HCl/KCl), agitação de 150 rpm, por 30 min (tempo definido na cinética) na temperatura ambiente de 25°C. As concentrações iniciais de adsorbatos foram variadas em uma faixa previamente definida de baixas e altas concentrações para que fosse possível obter região de maior afinidade e de saturação dos sítios do adsorvente. Foram obtidas as quantidades de antocianinas adsorvidas por quantidade de adsorvente, em função da concentração de equilíbrio e foram ajustadas adotando os modelos clássicos de Langmuir e Freundlich.

4.12 ISOTERMA DE LANGMUIR

A equação do modelo de Langmuir é bastante utilizada, ela representa o processo de adsorção. Apresenta os seguintes pressupostos:

- Existe um número definido de sítios, que são regiões que ocorrem reações químicas).
- Os sítios têm energia equivalente e as moléculas adsorvidas não interatuam umas com as outras.
- A adsorção ocorre em monocamada.
- Apenas uma molécula adsorvida pode ser acomodada por sítio

A equação 7, representa a isoterma de Langmuir (LANGMUIR I, 1916):

$$q_e = \left(\frac{q_{max} K_L C_e}{1 + K_L C_e} \right) \quad (7)$$

Onde: q_e : é a quantidade do soluto adsorvido por grama de adsorvente no equilíbrio (mg g⁻¹);

q_{max} : Capacidade máxima de adsorção (mg g⁻¹);

K_L : Constante de interação adsorvato/adsorvente (L mg⁻¹);

C_e : Concentração do adsorvato no equilíbrio (mg L⁻¹).

A adsorção alcança um estado de equilíbrio, isso ocorre quando a solução entra em contato com o adsorvente e as moléculas são adsorvidas em uma velocidade igual. A velocidade pode ser também denominada como taxa. A velocidade de adsorção é proporcional à concentração do adsorvato no líquido (C_e), e para a fração da área de superfície do adsorvente que está vazia ($1 - \theta$). Partindo disso tem-se a Equação 8:

$$\text{Taxa de adsorção: } k_1 C_e (1 - \theta) \quad (8)$$

Onde: θ é a fração da superfície coberta e k_1 : constante para adsorção.

No modelo de Langmuir um indicativo bastante usado é o R_L (fator de separação), corresponde ao grau de desenvolvimento do processo de adsorção, o R_L é calculado através dos resultados obtidos de $q_{\max}$ e K_L . A partir da Equação 9:

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L C_0} \quad (9)$$

A adsorção é favorável quando o valor final de R_L , fica entre 0 e 1.

4.13 ISOTERMA DE FREUNDLICH

Outro modelo que também é bastante utilizado para descrever o processo de adsorção é representado pela equação de Freundlich. O modelo considera o sólido heterogêneo, ao passo que aplica uma distribuição exponencial para caracterizar os vários tipos de sítios de adsorção, os quais possuem diferentes energias adsorptivas. (FREUNDLICH, 1906 apud FEBRIANTO, 2009).

A equação da isoterma de Freundlich, é dada pela a Equação 10

$$q_e K_F \cdot (C_e)^{\frac{1}{n}} \quad (10)$$

A equação 10 pode ser expressa na forma linearizada, tomando o logaritmo de cada lado, obtendo-se a Equação 11.

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (11)$$

Em que:

q_e : quantidade de soluto adsorvido (mg g⁻¹);

C_e : concentração de equilíbrio em solução (mg L⁻¹);

$1/n$: constante relacionada à heterogeneidade da superfície;

K_F : constante de capacidade de adsorção de Freundlich (mg^{1--(1/n)} (g⁻¹) L^{1/n}).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ISOLAMENTO DA CELULOSE MICROCRISTALINA DO BAGAÇO DO SORGO SACARINO (BSS)

O isolamento da celulose do BSS foi obtido por dois métodos, tendenciando ao melhor rendimento mássico. O BSS *in natura* possuía um percentual de celulose de 37,34%, após a realização do procedimento de isolamento celulósico partindo dos dois métodos, obtiveram-se os resultados conforme a Tabela 2. A Tabela 2 apresenta o rendimento mássico de celulose obtida em cada método.

Tabela 2 - Rendimentos para o isolamento da celulose microcristalina

	Celulose	Rendimento Mássico
<i>In natura</i>	37,34%	-
Método A	82,48%	21%
Método B	83,20%	32%

A porcentagem de celulose obtida em ambos os métodos é praticamente igual, no entanto, observa-se que o método B apresentou um rendimento mássico maior de celulose do que o método A, sendo ele o mais eficaz. O rendimento mássico foi obtido baseado na massa do sorgo *in natura* e na massa da celulose obtida. (Dittgen *et al.*, 2015) estudou a obtenção de fibras de celulose a partir da casca da aveia, e o rendimento mássico da celulose foi de 18,4%. Candido (2016) obteve 28,12% de celulose extraída também da palha da cana de açúcar. Costa (2022) extraiu a celulose da palha da cana de açúcar, onde obteve um rendimento mássico de 39,70%.

A Figura 9 apresenta o aspecto visual da celulose microcristalina obtida a partir do bagaço do sorgo sacarino utilizando-se do método B.

Figura 9 - Celulose microcristalina obtida a partir do bagaço do sorgo sacarino



5.2 EXTRAÇÃO DE ANTOCIANINAS UTILIZANDO DIFERENTES SOLVENTES

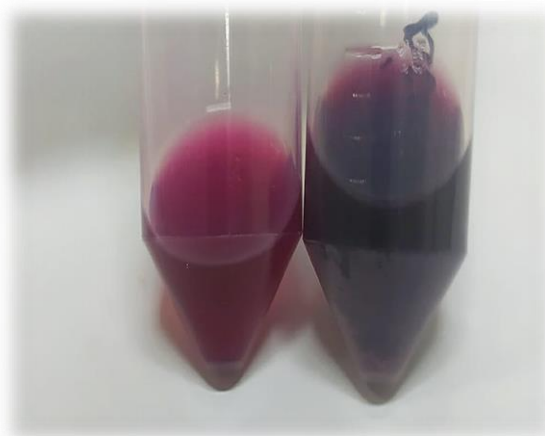
A extração das antocianinas foi realizada utilizando-se dois solventes diferentes, com intuito de avaliar o solvente que iria extrair a maior quantidade de antocianinas. A Tabela 2 apresenta a média e desvio calculado através das leituras obtidas com amostras extraídas em água e água/etanol (50% v/v). As antocianinas foram determinadas a partir do método de pH único.

Tabela 3 - Concentrações de antocianinas obtidas em solventes distintos

Antocianinas totais (mg.L⁻¹)	
Água	166,6 ± 3,4
Água/Etanol	474,7 ± 6,1

A Figura 10 ilustra os extratos obtidos com água e água/etanol, onde a coloração mais fraca é o extrato com água e a mais forte é o extrato com água/etanol. A partir dos resultados obtidos, concluiu-se que o etanol foi mais viável para a extração das antocianinas pois apresentou maior concentração de antocianinas. Lima.*et al.* (2020) estudou o efeito da concentração do solvente na capacidade de extração de pigmentos antocianinas, e analisou que o uso do etanol aumentou o teor de antocianinas, em método de pH único e quanto ao método de pH diferencial. Garbin (2019) estudou sobre métodos comparativos na extração das antocianinas da framboesa (*Rubus Idaeus* L). E como resultado viu que sob diferentes solventes, usando diversas metodologias, viu-se que a acetona e o etanol são solventes mais proeminentes no rendimento das antocianinas.

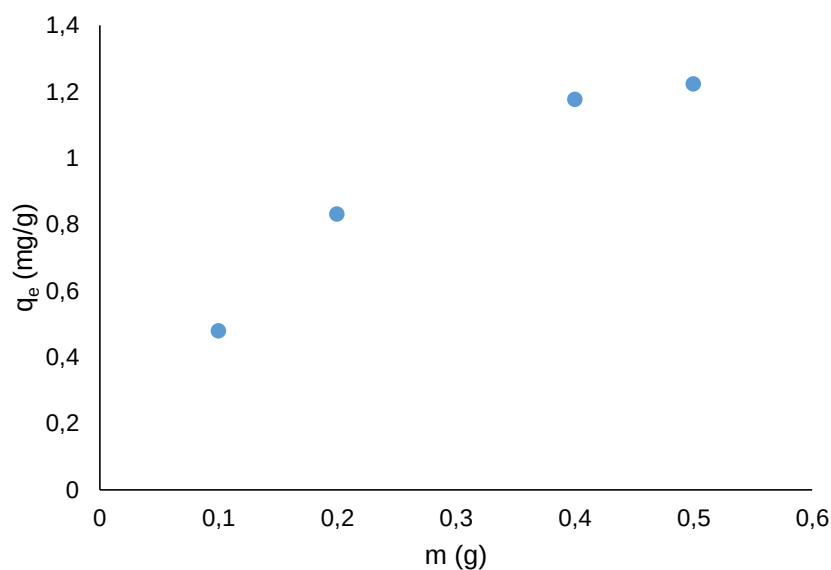
Figura 10 - Extratos das antocianinas utilizando água e água/etanol



5.3 TESTE DE MASSA

O teste de massa foi o procedimento realizado para determinar a melhor quantidade de celulose que maximizasse a adsorção das antocianinas nesse material. O teor de antocianinas adsorvidas em celulose microcristalina varia de forma crescente conforme a massa da celulose vai aumentando. Conforme Figura 8, observa-se que existe um platô em que a capacidade adsortiva fica constante, ponto esse em que provavelmente há a saturação dos sítios ativos. Entre 0,4 g e 0,5 g há uma diferença mínima da variação da concentração de antocianinas, até atingir o equilíbrio, então com a finalidade de otimizar matéria-prima (celulose), foi escolhida 0,4g da massa da celulose por apresentar uma maior concentração adsorvida de antocianinas da casca da uva em celulose microcristalina.

Figura 11 - Teste de massa

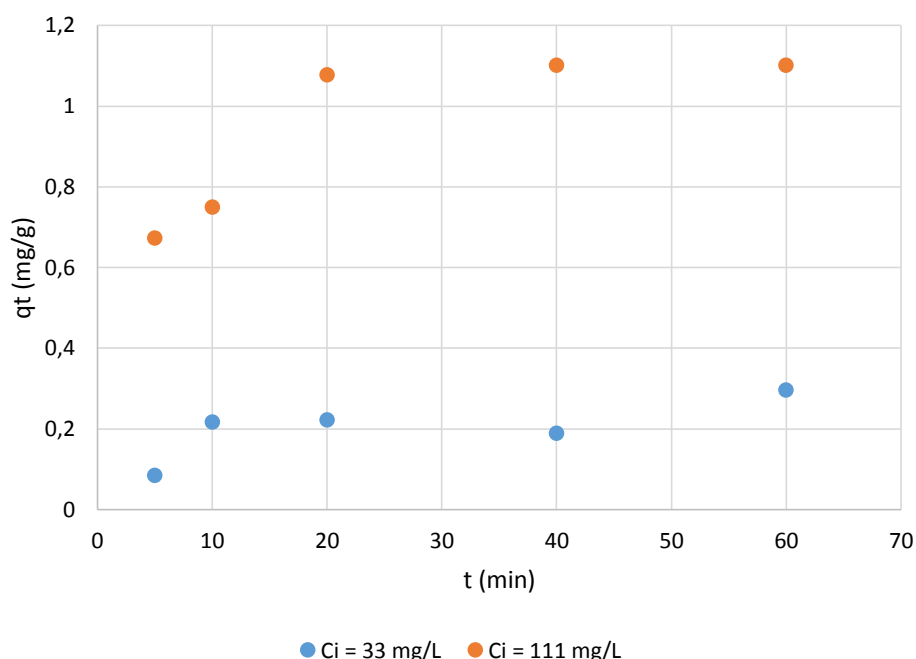


5.4 CINÉTICA DE ADSORÇÃO DE ANTOCIANINAS DA CASCA DA UVA EM CELULOSE MICROCRISTALINA DO BAGAÇO DO SORGO SACARINO

O estudo cinético do processo de adsorção das antocianinas é um fator importante para obter o tempo em que a máxima concentração de antocianinas é adsorvida na celulose microcristalina.

O extrato de antocianinas, para avaliação cinética, foi diluído em solução tampão pH 2,0 nas concentrações de 33 e 111 mg.L⁻¹ à temperatura de 25°C. Analisando a Figura 9, observa-se que conforme o tempo vai aumentando a capacidade adsortiva também aumenta, até atingir o estado de equilíbrio.

Figura 12 - Cinética de adsorção



Nos primeiros minutos entre 0 e 10, observa-se um aumento na capacidade adsorptiva, já a partir do tempo de 20 minutos em diante, a adsorção entra em equilíbrio. Jin Park *et al.* (2020) estudaram as características de adsorção e dessorção de compostos fenólicos de trombeta-do-mar em resina macroporosa observaram analisando as curvas cinéticas de adsorção que adsorção de compostos fenólicos da solução de extrato aumentou rapidamente nas primeiras 1,5 h, daí em diante aumentando lentamente até equilíbrio. Leandro (2021) estudou a adsorção e dessorção das antocianinas de jambolão (*syzygium cumini*) em discos de laponita: modelos cinéticos, caracterização físico-química e propriedades funcionais do biohíbrido, o processo de adsorção ocorreu completamente no tempo de 5 minutos. Neto *et al.* (2021) estudou a adsorção e dessorção de compostos fenólicos totais em celulose microcristalina, o tempo no qual foi atingido o equilíbrio foi de 30 min.

Para resultados experimentais obtidos na cinética de adsorção foram aplicados dois modelos distintos, o de pseudo-primeira ordem (Equação 2) e equação de pseudo-segunda ordem (Equação 3). Os dados obtidos experimentalmente para uma concentração foram ajustados para esses modelos. A Tabela 4 apresenta os dados obtidos pelos modelos cinéticos.

Tabela 4 - Parâmetros dos modelos cinéticos

Modelos	$C_i = 33 \text{ mg.L}^{-1}$	$C_i = 111 \text{ mg.L}^{-1}$
Pseudo-primeira ordem		
qe (mg.g⁻¹)	0,2463	1,0648
k₁ (min⁻¹)	0,1282	0,1614
SSE	0,0082	0,2255
R ²	0,9257	0,8881
Pseudo-segunda ordem		
qe (mg.g⁻¹)	0,2910	1,2066
k'₂ (g.mg⁻¹.min⁻¹)	0,4802	0,1735
SSE	0,0082	0,2027
R ²	0,9256	0,9000

Avaliando os resultados, foi levado em consideração dois parâmetros para determinar qual modelo cinético se ajustaria melhor aos dados experimentais, sendo eles R² e o SSE. O coeficiente de determinação (R²) para o modelo de pseudo-primeira ordem nas concentrações de 33 mg/L e 111 mg/L a variação foi de 0,8881-0,9257, e para pseudo-segunda ordem de 0,9000- 0,9256. Já a soma do quadrado dos resíduos (SSE) variou de 0,0082 – 0,2255 e de 0,0082 – 0,2027 respectivamente para essas concentrações e modelos.

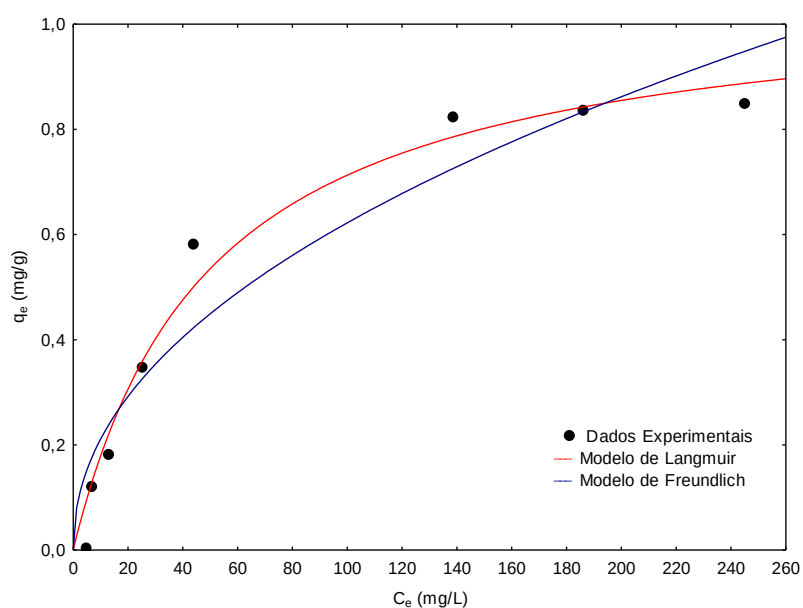
Diante disso, analisando os valores obtidos o modelo que se adequa melhor aos dados experimentais é o de pseudo-segunda ordem. Dessa forma, a taxa de adsorção de antocianinas da casca da uva em celulose microcristalina é diretamente proporcional ao quadrado do número de sítios ativos na superfície do adsorvente. A adsorção é de natureza química envolvendo trocas de elétrons entre adsorvente e adsorvato, cobrindo toda faixa de tempo de adsorção (SILVA, 2019).

Mohammad (2019), estudou a separação e purificação de compostos de antocianinas a partir do resíduo da fermentação de casca da uva variedade *Alicante Bouschet* utilizando resinas macroporosas, para os dados conseguidos o modelo que mais ajustou os dados experimentais foi o de pseudo-segunda ordem. Já Leandro (2021) ao estudar a adsorção e dessorção das antocianinas de jambolão (*syzygium cumini*) em discos de laponita encontrou que o melhor modelo para os dados experimentais foi de pseudo-primeira ordem.

5.5 ISOTERMA DE ADSORÇÃO DE ANTOCIANINAS DA CASCA DA UVA EM CELULOSE MICROCRISTALINA DO BAGAÇO DO SORGO SACARINO

A isoterma foi determinada na temperatura de 25°C, onde a massa da celulose foi definida com o teste de massa e o tempo necessário para alcançar o equilíbrio com o estudo cinético. A Figura 13 a cinética referente aos dados experimentais em relação a concentração de equilíbrio em função da concentração de compostos fenólicos na fase sólida adsorvidos em celulose microcristalina no equilíbrio, as curvas representam os modelos de Langmuir e Freundlich.

Figura 13 - Dados experimentais da isoterma de adsorção (25°C) e curvas dos modelos



Na Figura 10, o q_e que é a concentração de antocianinas na fase sólida adsorvidos em celulose microcristalina no equilíbrio e C_e é a concentração no equilíbrio de antocianinas em solução. Observa-se que quando a concentração está na faixa de 0 a 120 (mg/L) há uma variação de compostos na fase sólida variando de 0 a 0,6 mg/g, já quando C_e atinge 140 mg/L, e o q_e 0,8 mg/g, o processo de adsorção entra em equilíbrio, alcançando a maior capacidade de adsorção. Na Tabela 5 estão apresentados os parâmetros obtidos para os modelos de Langmuir e Freundlich.

Tabela 5 - Parâmetros dos modelos de Langmuir e Freundlich para a adsorção de antocianinas em celulose microcristalina

Modelos	T = 25°C
Langmuir	
q_L (mg.g ⁻¹)	1,0679
K_L (L.mg ⁻¹)	0,0200
R_L	0,3247
SSE	0,0204
R^2	0,9879
Freundlich	
K_F (L.mg ⁻¹)	0,0714
1/n	2,1276
SSE	0,0738
R^2	0,9557

Dadas as informações apresentadas, o modelo de Langmuir apresenta um coeficiente de determinação R^2 e SSE, respectivamente, igual a 0,9879 e 0,0204. Já para o modelo de Freundlich, o R^2 é 0,9557 e o SSE é 0,0738. A partir desses resultados, conclui-se que o modelo de Langmuir apresenta um melhor ajuste aos dados experimentais obtidos.

Ao analisar os parâmetros deste modelo, nota-se que a capacidade máxima de adsorção estimada foi de 1,0679 mg.g⁻¹, e o R_L é igual a 0,3247, com esse resultado a adsorção torna-se favorável pois o valor está entre o intervalo admissível que é entre 0 e 1. No modelo de Langmuir (1918) são admitidas algumas hipóteses para realizar o equacionamento da isoterma, sendo estas: adsorção em monocamada; ocupação do sítio por apenas uma molécula; atividade do adsorvato proporcional a sua concentração na superfície; homogeneidade energética dos sítios; e ausência de interação entre as moléculas adsorvidas (BRAGA, 2019)

Da Silva Neto (2021) estudou as isotermas de adsorção de compostos fenólicos totais em celulose microcristalina nos modelos de Langmuir e Freundlich, e como resultado o modelo de Langmuir foi o melhor para os dados experimentais em uma faixa de 99,6-99,9%. Jin Park.*et al.* (2020) usou esses modelos para adsorção de compostos fenólicos em resinas macroporosas, o modelo de Freundlich foi o que melhor se adequou aos dados experimentais com os valores R^2 do modelo Freundlich variando de 96,2-99,3% e os do modelo de Langmuir variando de 85,2-94,0%.

6 CONCLUSÕES

Preservar as antocianinas, é de grande relevância, para que esses compostos bioativos possam ser aplicados em diversas áreas, trazendo benefícios à saúde humana, uma forma econômica e sustentável de estabilizar esses compostos bioativos, é imobilizando em materiais lignocelulósicos renováveis.

O presente trabalho, isolou a celulose microcristalina do bagaço do sorgo sacarino, com um rendimento de 32%, as antocianinas totais presentes na casca da uva foram eficientemente adsorvidas por quimissorção na superfície da celulose microcristalina obtida do bagaço do sorgo sacarino com parâmetros de 0,4 g de celulose e 25°C definidos nos procedimentos realizados.

No estudo cinético o tempo de 30 minutos foi necessário para que o equilíbrio da adsorção fosse atingido, e o modelo de pseudo-segunda ordem foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais, e em relação ao equilíbrio do processo adsorptivo, a isoterma que se adequou aos dados foi a de Langmuir, com uma adsorção favorável.

A partir dos resultados obtidos, a celulose microcristalina obtida do bagaço do sorgo sacarino é relevante na imobilização das antocianinas presente na casca da uva, além de ser uma fonte renovável é uma alternativa ambiental acessível, estabiliza propriedades bioativas da casca da uva importantes para a saúde humana, sendo possível que sejam aplicadas em diversas áreas industriais.

7 REFERÊNCIAS

- ARRUDA, Rebeca. **Sorgo sacarino: origem, finalidade e vantagens**. Rural centro 2012. Disponível em: <https://www.ruralcentro.com.br/noticias/sorgo-sacarino-origem-finalidades-e-vantagens-60576>. Acesso em: 28 de setembro de 2022
- AUSUERO, Agustin Garcia, MORETTO, Lauro D. Antocianinas e ciências farmacêuticas. **UP Pharma**, São Paulo, v. 194, n. 44, p. 38-41, nov./dez. 2021. Disponível em: <https://cienciasfarmaceuticas.org.br/wp-content/uploads/2021/12/Uppharma-194.pdf>. Acesso em 19 de março de 2023.
- BALDOTTO, Marihus Altoé, SANTOS, Manuela Almeida. **Sorgo: forrageiras mais robustas ajudam na produtividade das lavouras**. 2010.
- BARCELOS, C. A. MAEDA, R. N. SANTA ANNA, L. M. M.; PEREIRA JR, N. Sweet sorghum as a whole-crop feedstock for ethanol production. **Biomass and Bioenergy**, n. 94, p. 46-56, 2016.
- BENEDETTO, R. M. **Influência da radiação ultravioleta nas propriedades físico-químicas e mecânicas de fibras de bananeira: um método alternativo de tratamento fotoquímico**. 2015, 146f. Tese de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Materiais para Engenharia. Universidade Federal de Itajubá, 2015.
- BEZERRA, R. de. D. S. Biopolímeros derivados da celulose para a aplicação na adsorção/dessorção do fármaco amitriptilina em meio aquoso. 2016. Dissertação (Doutorado) - Programa de pós-graduação em biotecnologia, Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2016.
- BRAGA, Mateus Urias Cerdeira. **Predição de isotermas de adsorção de CO₂ e CH₄ em zeólita NaY e carvão ativado em altas pressões por meio de simulação de Monte Carlo Grande Canônico e modelo do gás de rede 3D**. Dissertação de mestrado submetida à Universidade Estadual de Maringá. Maringá, p. 71, 2019.
- BUDZIAK, Cristiane R.; MAIA, Claudia M. B. F. and MANGRICH, Antonio S. **Transformações químicas da matéria orgânica durante a compostagem de resíduos da indústria madeireira**. *Química Nova*[online]. vol.27, n.3, pp.399-403, 2004.
- CANDIDO, R. G.; GONÇALVES, A. R. **Synthesis of cellulose acetate and carboxymethylcellulose from sugarcane straw**. *Carbohydrate Polymers*, [s.l.], v. 152, p.679- 686, nov. 2016.
- CASTAÑEDA, Leticia Marisol Flores. **Antocianinas: o que são? Onde estão? Como atuam?** Disponível em: <https://www.ufrgs.br/agronomia/materiais/userfiles/Leticia.pdf>. Acesso em 19 de março de 2023.
- COSTA, Luisa Taynara Silvério da. **Extração de celulose da palha de cana-de-açúcar para a produção de hidrogel enriquecido com fertilizante NPK**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais e

Bioprocessos (Mestrado Profissional), Área de Biomateriais, Bioprocessos, Bioprodutos da Faculdade de Ciências Farmacêuticas, UNESP. Araraquara/ SP, 2020.

DAVISON, B. H., PARKS, J., DAVIS, M. F., & DONOHOE, B. S. (2013). **Plant cell walls: basics of structure, chemistry, accessibility and the influence on conversion.** Aqueous Pretreatment of Plant Biomass for Biological and Chemical Conversion to Fuels and Chemicals, 23-38.

DE CASTRO, Heizir F. de. **Pepel e celulose.** Apostila quatro. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia EEL Lorena 2009.

DITTGEN, et.al. **Obtenção de fibras de celulose a partir da casca da aveia.** XXIV Congresso de Iniciação Científica da UFPEL, 2015, Pelotas/SC, 2015.

DO NASCIMENTO, Ronaldo Ferreira. *et al.* **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais.** Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014. 256 p.

EMBRAPA. Sorgo Granífero: Entenda sua safrinha com segurança. Documentos 176, Sete Lagoas, v. 176, n. 1, Julho 2015.

EMBRAPA. Sorgo Sacarino: Tecnologia Agronômica e Industrial para alimentos e energia. Agroenergia em Revista, Ano II, n.3, 2011.

FEBRIANTO, J. *et al.* Equilibrium and kinetic studies in adsorption of heavy metals using biosorbent: A summary of recent studies. Journal of Hazardous Materials, v. 162, p. 616-645, 15 mar. 2009.

FREITAS, Vitor. **O mundo colorido das antocianinas** Rev. Ciência Elem., V7(02):017. 21 de junho de 2019.

Fuleki T & Francis FJ (1968b) **Quantitative Methods for anthocyanins: 2. Determination of total anthocyanin and degradation index for cranberries juices.** Journal of Food Science, 33: 78-83.

GARBIN, Amabile. **Métodos comparativos na extração de antocianinas da framboesa rubus ideaus L. Sob diferentes solventes.** Orientador: MSc Aldori Batista dos Anjos. 2019.44p. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Química do Centro Universitário Facvest – Unifacvest. Lages, Santa Catarina. 2019

HUEBRA, Lorena da Silva. **Avaliação da utilização da casca do café para a produção de um derivado celulósico.** 2016.52p. Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Naturais – DCN-CEUNES, Universidade Federal do Espírito Santo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Licenciado em Química. 2016.

JACOBS, B. *et al.* Evaluation of the total concentration and the bioaccessible fraction of metals in samples of grape skins of cultivars tannat and cabernet sauvignon by MIP OES. **Química Nova**, v. 44, n. 5, p. 547–552, 2021.

JIN PARK, J., & YOUNG LEE, W. Adsorption and desorption characteristics of a

phenolic compound from Ecklonia cava on macroporous resin. **Food Chemistry**, v. 338, 128150, 2020.

LEANDRO, Gabriel Coelho. **Adsorção e dessorção das antocianinas de jambolão (syzygium cumini) em discos de laponita: modelos cinéticos, caracterização físico-química e propriedades funcionais do biohíbrido**. 2021,73p. Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia de Alimentos do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis,2021.

LIMA, M. *et al.* Efeito da concentração do solvente na capacidade de extração de pigmentos antocianinas. **Enciclopédia Biosfera**, v. 17, n. 34, 30 dez. 2020.

LU, Y., YANG, B., GREGG, D., SADDLER, J. N., & MANSFIELD, S. D. (2002). Cellulase adsorption and an evaluation of enzyme recycle during hydrolysis of steam-exploded softwood residues. *Applied biochemistry and biotechnology*, 98(1-9), 641-654.

MAGALHÃES, Lana. **Celulose**. Todamateria 2016. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/celulose/>. Acesso em 6 de outubro de 2022.

MELDAU, Debora Carvalho. **Lignina**. Info Escola 2009. Disponível em: <https://www.infoescola.com/compostos-quimicos/lignina/>. Acesso em 10 de novembro de 2022.

MOHAMMAD, Siraj Salman. **Separação e purificação de compostos de antocianina a partir do resíduo da fermentação de casca da uva variedade Alicante Bouschet utilizando resinas macroporosas**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2019.

MORAES, S. A. L. de; NASCIMENTO, E. A. do and MELO, D. C. de. **Análise da madeira de Pinus oocarpa parte I: estudo dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis**. *Rev. Árvore* [online]. vol.29, n.3, pp.461-470, 2005.

MORAIS, J. P. S.; ROSA, M. de F.; MARCONCINI, J. M. Procedimentos para análise lignocelulósica. Campina Grande: Embrapa Algodão, 54 p. (Embrapa Algodão. Documentos, 236), 2010.

NASCIMENTO, Luciana Teixeira; STRINGHETA, Paulo César; OLIVEIRA, Fabiano Alves de. **Comparação de métodos para quantificação de antocianinas**. *Revista Ceres*, vol. 55, núm 4, julho-agosto, 2008, p. 297-304. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Brasil.

NASCIMENTO, R.A.A. **Caracterização da lignina de bagaço de cana pré-tratado por explosão a vapor: identificação dos compostos de degradação e reações envolvidas**. 2007. 130 p. Tese (Doutorado em Conversão de Biomassa) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2007.

NETO, J. M. S. Desenvolvimento de um bioadsorvente com propriedades bioativas: Potencial antioxidante, estabilidade físico – química e bioacessibilidade in vitro. Tese de doutorado, Campina Grande/ PB, 2021.

NETO, J. M. S. **Isolamento de Frações Celulolíticas e Hemicelulolíticas do Bagaço do Sorgo Sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e Síntese de Acetato de Celulose.** Dissertação de Mestrado, Campina Grande/PB, 2018.

ORSI, Blenda **Lopes**. **Estudo cinético e de adsorção de íons metálicos em nanofibrilas de celulose.** Dissertação de Mestrado, Sorocaba/ SP, 2022 .112 f.

PANAGIOTOPOULOS, I.A.; BAKKER, R.R.; VRIJE, T.; KOUKIOS, E.G.; CLAASSEN, P.A.M. Pretreatment of sweet sorghum bagasse for hydrogen production by *Caldicellulosiruptor saccharolyticus*. **International Journal of Hydrogen Energy**, v.35, p. 7738-7747, 2010.

PALONEN, Hetti. Role of lignin in the enzymatic hydrolysis of lignocellulose. VTT Technical Research Centre of Finland, 2004.

QUILHÓ, Luis Felipe Trindade Levita. **Produção de Bioetanol a partir de Materiais Lenho-celulósicos de Sorgo Sacarino: Revisão Bibliográfica.** Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Energia e Bioenergia, Lisboa, 2011.

RODRIGUES, J. A. S. Cultivo do Sorgo. Embrapa Milho e Sorgo, Sistemas de Produção, v. 2, 4º Ed, Sete Lagoas, 2008.

SAINI, J.K; SAINI, R; TEWARJ, L. Lignocellulosic agriculture wastes as biomass feedstocks for second-generation bioethanol production: concepts and recent developments. **3Biotech**, p. 337-353, 2014.

SANSIVIERO, M. T. C. *et al.* The inventory of the shoemaker damião simões: A physico-chemical study of the most ancient document of são paulo state. **Química Nova**, v. 42, n. 9, p. 1104–1111, 2019.

SANTOS, M.F.R.F. dos; BORSCHIVIER, S.; COUTO, M.A.P.G. **Iniciativas para o uso da biomassa lignocelulósica em biorrefinarias: a plataforma sucroquímica no mundo e no Brasil.** Disponível em: <http://www.ecen.com/eee82/eee82p/biorefinarias.htm> . Acesso em: 20 de outubro de 2022.

SANTOS, Vanessa Sardinha dos. **"O que é celulose?"**; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/biologia/o-que-e-celulose.htm>. Acesso em 9 de novembro de 2022.

SILVA, I. M.; NEVES, N. A. ANTOCIANINAS: ESTRUTURA QUÍMICA, ESTABILIDADE E EXTRAÇÃO. Em: **Ciência e Tecnologia de Alimentos: Pesquisas e Avanços**. Agron Food Academy, 2021.

SILVA, Rebeca de Almeida. **Produção de enzimas celulolíticas e xilanolítica a partir do bagaço do sorgo por fermentação semissólida e submersa.** 2019, 109f. Tese de Doutorado em engenharia de processos – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de ciências e tecnologia 2019.

SILVA, Simone Keily Costa. **Remoção do corante têxtil C.I Reactive blue 203**

utilizando a casca de manihot esculenta crantz como adsorvente. Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, PPGCEM, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, UFERSA. Mossoró 2019.

SILVA, Tatiana Maria da. **Cultivo do sorgo sacarino no semiárido: produção, qualidade de fitomassa, etanol e sementes em função da variedade e arranjo espacial.**2018.116f. Tese (doutorado) - Universidade federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós Graduação em Agronomia (Fitotecnia), Fortaleza,2018.

SIROHI, R.*et al.* **Green processing and biotechnological potential of grape pomace: Current trends and opportunities for sustainable biorefinery. Bioresource Technology**Elsevier Ltd, , 1 out. 2020.

SOUZA,Fúlvio Rafael Bento. **Síntese e caracterização de hemiceluloses catiônicas a partir do reaproveitamento da palha de milho.** Dissertação apresentada ao programa de pós graduação em química, como requisito para a obtenção do título de mestre em química. Uberlândia, agosto de 2012.

TONNETO, Maria Luisa. Remoção de corante têxtil em meios aquosos pelo processo de adsorção utilizando a celulose bacteriana esférica.2021, 102p. Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de pós graduação em energia e sustentabilidade, 2021.

WANG, J.; LI, X.; CHENG, Q.; LV, F.; CHANG, C.; ZHANG, L. Construction of β -FeOOH@tunicate cellulose nanocomposite hydrogels and their highly efficient photocatalytic properties. **Carbohydrate Polymers**, v. 229, 2020.