



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE BALSAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

HERMON DE SOUSA LIMA

**PRODUÇÃO DE ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO A PARTIR DE RESÍDUO DA
INDÚSTRIA DE SOJA**

BALSAS
2022



HERMON DE SOUSA LIMA

**PRODUÇÃO DE ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO A PARTIR DE RESÍDUO DA
INDÚSTRIA DE SOJA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Maranhão Campus Balsas, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

**Orientador: Professor Dr. Aderlanio da
Silva Cardoso**

BALSAS
2022

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

de Sousa Lima, Hermon. PRODUÇÃO DE ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO A PARTIR DE RESÍDUO DA INDÚSTRIA DE SOJA / Hermon de Sousa Lima. 2022.

57 f.

Orientador(a): Aderlanio da Silva Cardoso.

Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Maranhão, Balsas - MA, 2022.

1. Biocombustível. 2. Casca da soja. 3. Etanol de Segunda Geração. 4. Resíduos Agroindustriais. I. da Silva Cardoso, Aderlanio. II. Título.

HERMON DE SOUSA LIMA

**PRODUÇÃO DE ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO A PARTIR DE RESÍDUO DA
INDÚSTRIA DE SOJA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Bacharelado em
Engenharia Ambiental da Universidade
Federal do Maranhão Campus Balsas,
como requisito parcial para obtenção do
grau de Bacharel em Engenharia
Ambiental.

Aprovado em _____ de _____ de _____.

Banca Examinadora

Dr. Aderlanio da Silva Cardoso – UFMA – Orientador.

Dra. Ana Paula de Melo e Silva Vaz – UFMA.

Dra. Alana Gandra Lima de Moura – UFMA.



A Filomena das Graças Sousa Santos, Isaelte de Sousa Santos, minha família e meus amigos pelo apoio e incentivo para chegar até aqui, quem em nenhum momento me deixaram desistir.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela dádiva da vida, pelo fortalecimento nos momentos que pensei em desistir e por me encorajar através da fé, me fazendo acreditar que a vida vale a pena ser vivida e que para todos os momentos há um propósito nos planos do Senhor e que tudo é no tempo dele.

A minha avó, Filomena das Graças Sousa Santos, pelas palavras de coragem, ânimo, pelo incentivo a buscar o conhecimento, uma formação e um futuro melhor, pelas lições de humildade e sabedoria.

A minha mãe Isaelte de Sousa Santos pela dedicação e esforço para que eu tivesse a oportunidade de estudar e ter uma formação superior, mesmo diante das dificuldades enfrentadas, que em nenhum momento deixou de me apoiar e acreditar em mim.

A meu orientador Aderlanio da Silva Cardoso, por seus ensinamentos tanto como professor como profissional a ser, apoio, dedicação ao longo do desenvolvimento desse trabalho, por ser um modelo de professor e profissional, sempre buscando o melhor para seus alunos, não tenho palavras para agradecer você, o meu muito obrigado.

As minhas amigas, Maria Teresa Arrais Soares Nunes, Layla Karolyne Dourado Stragliotto, obrigado pela amizade de tantos anos desde a ingressão na Universidade Federal do Maranhão, pelo carinho, pelo apoio, por me acolherem e me deixarem fazer parte das suas famílias, a caminhada até aqui com certeza seria mais árdua se vocês não estivessem do meu lado, obrigado.

Aos meus amigos Adriano Nascimento Fernandes, Jadson Ferreira Machado e Gabriel Henrique Strasser Farias, obrigado pelo apoio, pelas palavras de encorajamento, pelas risadas, por acreditarem sempre em mim.

Aos meus amigos Luciana Pereira Barbosa, Valéria Pereira Abreu, Guilherme dos Santos, Othávio Henrique Sousa Queiroz, pelo companheirismo nesses anos de UFMA, pelas palavras, incentivo, mesmo passando pelas mesmas dificuldades, obrigado.

A Marcelo Bruno Araújo Queiroz, obrigado pelo apoio todos os dias e por torcer por mim, pelo incentivo, pelas palavras de força e fé, por não me deixar desanimar nem desistir na caminhada até aqui, obrigado você é um exemplo de profissional, pessoa e acima de tudo amigo.

Aos meus professores da Universidade Federal do Maranhão que contribuíram para a minha formação acadêmica, pelas aulas, repassando seus conhecimentos, experiências e sempre incentivando seus alunos, em especial os professores da Engenharia Ambiental: Ana Paula de Melo e Silva Vaz, Débora Batista Pinheiro Sousa, Tatiane Caroline Carneiro, Gislane Pinho de Oliveira e Daniel Silva Jacques.

Aos meus familiares e amigos, que de alguma forma contribuíram, com uma palavra de apoio, com um ombro amigo, obrigado a todos.

Meus agradecimentos a Professora Dra. Franciana Pedrochi da Universidade Federal do Maranhão – UFMA, Campus de Imperatriz, pelo auxílio na realização dos experimentos com técnica de espectroscopia com FTIR.

Há uma grandeza, há uma glória, há uma intrepidez em ser simplesmente bom, sem aparato, nem interesse, nem cálculo; e sobretudo sem arrependimentos.

Machado de Assis.

RESUMO

O etanol de segunda geração também chamado de bioetanol é uma alternativa ambientalmente sustentável, tendo em vista que a sua produção pode ser feita a partir de resíduos agroindustriais, como a casca da soja. A casca da soja é composta basicamente de lignocelulose, biomassa sólida cujo tratamento é necessário para obtenção de açúcares fermentáveis (solúveis) através de hidrólise. Sendo assim, esse trabalho tem como objetivo obter etanol de segunda geração a partir da celulose que está presente na casca de soja, utilizando a hidrólise ácida homogênea. Esta pesquisa foi realizada em quatro etapas: (a) caracterização química da casca de soja para verificação de açúcares totais em composição; (b) comparação da eficiência dos métodos oxidantes NaOH e CaO na extração das fibras da casca de soja; (c) hidrólise ácida das fibras extraídas para obtenção de açúcares; (d) obtenção de etanol a partir da fermentação dos açúcares. Em seguida, foi medido o °BRIX do meio hidrolisado para ser feita a fermentação para a obtenção de etanol. O teor de extrativos apresentou valores de $8,5 \pm 0,3\%$, celulose/hemicelulose $52,4 \pm 1,3\%$ e para açúcares totais $3,5 \pm 0,6$ °Brix. A maior quantidade de fibra da casca de soja obtida foi quando CaO foi utilizado como catalisador, com valor de $59,6 \pm 6,3\%$, sendo $37,9 \pm 8,0\%$ para NaOH. A obtenção de etanol apresentou valores de rendimento maiores para fibras obtidas com CaO ($15,8 \text{ g L}^{-1}$). Logo, a utilização de fibra de casca de soja para a obtenção de etanol mostra-se como uma biomassa alternativa promissora e o uso de catalisador alternativo CaO possui um ótimo potencial para a extração de fibras desse tipo de biomassa.

Palavras-chave: Casca da soja. Etanol de Segunda Geração. Biocombustível. Resíduos.

ABSTRACT

Second-generation ethanol, also called bioethanol, is an environmentally sustainable alternative, given that its production can be made from agro-industrial residues, such as soybean hulls. Soybean hulls are basically composed of lignocellulose, solid biomass whose treatment is necessary to obtain fermentable (soluble) sugars through hydrolysis. Therefore, this work aims to obtain second-generation ethanol from the cellulose that is present in soybean hulls, using homogeneous acid hydrolysis. This research was carried out in four stages: (a) chemical characterization of soybean hulls to verify the total sugars in the composition; (b) comparison of the efficiency of the oxidizing methods NaOH and CaO in the extraction of fibers from soybean hulls; (c) acid hydrolysis of the extracted fibers to obtain sugars; (d) obtaining ethanol from the fermentation of sugars. Then, the °BRIX of the hydrolyzed medium was measured for fermentation to obtain ethanol. The extractives content showed values of $8.5 \pm 0.3\%$ and cellulose/hemicellulose $52.4 \pm 1.3\%$ and for total sugars 3.5 ± 0.6 °Brix. The highest yield of soybean hull fiber was obtained when CaO was used as catalyst, with value of $59.6 \pm 6.3\%$ and $37.9 \pm 8.0\%$ for NaOH. The highest yield of ethanol was obtained when fiber from CaO-based process was used, with an amount of $15.8 \text{ (g L}^{-1}\text{)}$ and $9.5 \text{ (g L}^{-1}\text{)}$ for NaOH. In conclusion, soybean hull fiber presents as a promising alternative biomass to obtain ethanol and CaO from eggshell presented as an alternative catalyst to obtain fibers from this alternative biomass.

Keywords: Soybean hulls. Second-generation ethanol. Biofuel. Waste.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Diagrama com as principais etapas do ciclo de vida da soja. | 15 |
| Figura 2: Estrutura molecular da celulose. | 23 |
| Figura 3: mapa de localização do município de Balsas – MA. | 27 |
| Figura 4: Casca da soja com resíduos. | 28 |
| Figura 5: Casca de soja para peneiramento. | 29 |
| Figura 6: Casca da soja após peneiramento. | 29 |
| Figura 7: Moedor manual. | 30 |
| Figura 8: Peneira MESH 200. | 30 |
| Figura 9: Farinha da casca da soja. | 31 |
| Figura 10: Dessecador com tampa e luva para vácuo. | 31 |
| Figura 11: Forno mufla N1030. | 32 |
| Figura 12: Estufa de secagem e esterilização SL - 100. | 33 |
| Figura 13: Banho de aquecimento. | 34 |
| Figura 14: Hidrólise ácida em farinha de casca de soja. | 34 |
| Figura 15: Autoclave Vertical CS. | 35 |
| Figura 16: Filtração a vácuo da hidrólise. | 35 |
| Figura 17: Refractômetro HHTEC Brix 0 – 32%. | 36 |
| Figura 18: Tratamento da farinha da casca de soja em agitador magnético (b) com aquecimento e sob refluxo (a). | 37 |
| Figura 19: Pó de NaOH (a) e CaO (b). | 38 |
| Figura 20: Fluxograma dos métodos experimentais. | 40 |
| Figura 21: Espectro de FTIR para casca de soja, NaOH e CaO. | 43 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Componentes da casca da soja..... | 18 |
| Tabela 2: Quantidade de materiais inorgânicos (cinzas), açúcares e extrativos da casca de soja. | 41 |
| Tabela 3: Quantidade de fibra de soja extraída da casca de soja com NaOH e CaO. | 42 |
| Tabela 4: Quantidade de etanol produzida a partir de 48 horas de fermentação do mosto de fibra extraída da casca de soja com NaOH e CaO..... | 44 |

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

CS – Casca de Soja

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

SECEX – Secretaria do Comércio Exterior

VBP – Valor Bruto de Produção

NBR – Normas Técnicas

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 10 |
| 1.1 JUSTIFICATIVA | 11 |
| 1.2 OBJETIVO GERAL | 12 |
| 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 12 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 13 |
| 2.1 PRODUÇÃO DE SOJA | 13 |
| 2.2. CICLO DE VIDA DO PRODUTO: ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS | 14 |
| 2.3. RESÍDUOS GERADOS NA CADEIA PRODUTIVA DA SOJA | 16 |
| 2.4. A CASCA DA SOJA | 17 |
| 2.5. IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DA MÁ GESTÃO DOS RESÍDUOS DA SOJA | 18 |
| 2.6. TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DOS RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE SOJA | 20 |
| 2.7. A OBTENÇÃO DE PRODUTOS DE VALOR NO MERCADO A PARTIR DA CASCA DA SOJA | 21 |
| 2.8. A CELULOSE DA CASCA DE SOJA COMO MATÉRIA-PRIMA PARA PRODUÇÃO DE ETANOL | 22 |
| 2.9. ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO | 24 |
| 2.10. O USO DE CELULOSE PARA A OBTENÇÃO DE ETANOL | 25 |
| 2.11. PROCESSOS DE OBTENÇÃO DE ETANOL DE CELULOSE | 26 |
| 3. MATERIAIS E MÉTODOS | 27 |
| 3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO | 27 |
| 3.2. OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS CASCAS DE SOJA | 28 |
| 3.2.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA CASCA DE SOJA | 32 |
| 3.2.2 EXTRAÇÃO DE FIBRAS E CONVERSÃO A AÇÚCARES FERMENTESCÍVEIS | 36 |
| 3.3. OBTENÇÃO DE ETANOL | 38 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 40 |
| 4.1. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA CASCA DE SOJA | 41 |
| 4.2. EXTRAÇÃO DE FIBRAS E CONVERSÃO A AÇÚCARES FERMENTESCÍVEIS | 42 |
| 4.3. OBTENÇÃO DE ETANOL | 44 |
| 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 45 |

| | |
|----------------------------|-----------|
| 6. REFERÊNCIAS..... | 46 |
|----------------------------|-----------|

1. INTRODUÇÃO

O agronegócio tem se mostrado como uma atividade de importância muito significativa para a economia brasileira ao longo de toda sua história. De acordo com o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada da Universidade de São Paulo (CEPEA), no ano de 2011, o agronegócio, com as atividades de insumos, agropecuária, indústria e distribuição, representou R\$ 917,65 bilhões do PIB do país, o que representa, 22% do PIB brasileiro (BONFIM; FERREIRA; CAETANO, 2013).

De acordo com Turzi (2011) a América do Sul, como um todo, sofreu uma transformação em sua produção agrícola em razão da soja e de seus produtos. Essa transformação, por sua vez, pode ser explicada pela combinação de três fatores: a demanda crescente de alimentos, a ração e os biocombustíveis. No entanto a instabilidade política dos países produtores de petróleo, as preocupações com a segurança energética, esgotamento de fontes de combustíveis fósseis, aliados aos efeitos negativos derivados da sua utilização e ao aumento da demanda de energia, têm motivado a busca por fontes renováveis de energia (GROSSI, 2015).

Um dos maiores desafios mundiais é conciliar a produção de alimentos suficientes para o sustento da população crescente com a preservação do meio ambiente, em antemão com a demanda por energia crescente, principalmente energia renovável. Segundo Neto (2009), os fatores para esse crescimento é a questão da legislação, pois vários países estão adotando metas de utilização de combustíveis renováveis. Por exemplo, a Índia está promovendo incentivo fiscal para aumento do consumo de biocombustíveis. Além disso, existe a questão da utilização da mistura de biocombustíveis em combustíveis fósseis, como o aumento do percentual de etanol na gasolina.

Com o aumento da produção agrícola e consumo de soja, tanto para abastecer a indústria de alimentos quanto a de biocombustíveis (e.g., biodiesel), é de se esperar um aumento na produção de resíduos sólidos na cadeia produtiva da soja. Um dos resíduos é a casca da soja. Rica em celulose e fibras, a casca da soja vem sendo

utilizada principalmente na alimentação animal. Tamanini e Haully (2004) colocam que novas rotas tecnológicas vêm sendo desenvolvidas para utilizar a biomassa nativa de resíduos agroindustriais afim de substituir os substratos convencionais e não renováveis utilizados em bioprocessos. Entretanto, devido ao seu elevado teor de celulose, alguns pesquisadores vêm desenvolvendo métodos de extração dessa celulose e utilizando-a para a produção de materiais e etanol de segunda geração. Com isso, o desenvolvimento de métodos e tecnologias que visem o melhor aproveitamento deste resíduo para atender a indústria de biocombustíveis é uma alternativa para auxiliar na redução de consumo de combustíveis de petróleo e para auxiliar na pegada de carbono da indústria de soja.

1.1 Justificativa

A larga escala de produção agrícola da soja sem reaproveitamento das cascas ou outra destinação das mesmas acaba gerando um volume crescente de resíduos, esses resíduos em muitas industrias são utilizados como aditivos em ração alimentar para animais, mas esta destinação não absorve toda a demanda de resíduos gerados e os demais são descartados sem uma destinação final ambientalmente adequada. Tendo em vista que a produção de soja vem aumentando no Brasil para abastecer tanto o mercado interno quanto o externo, é de se esperar que mais resíduos poderão ser gerados. Portanto, métodos e tecnologias devem ser desenvolvidos para que estes resíduos sejam aproveitados, a fim de diminuir o passivo ambiental deste setor produtivo. Uma alternativa está na utilização das cascas de soja para a produção de etanol de segunda geração a partir da celulose presente neste resíduo, sendo o Brasil um país onde é considerado viável a produção de etanol de segunda geração, países como Canadá, Japão e países nórdicos já vem conduzindo pesquisas e produção de etanol nessas áreas. O etanol de segunda geração vem sendo estimado como uma alternativa para diminuição dos problemas ambientais relacionados ao reaproveitamento de resíduos, provenientes das agroindústrias, e como uma solução

a problemas ambientais energéticos decorrentes da utilização de combustíveis fósseis.

1.2 Objetivo Geral

Obter etanol de segunda geração a partir da celulose presente na casca de soja, utilizando hidrólise ácida homogênea.

1.3 Objetivos Específicos

- Caracterizar a casca de soja quanto à sua composição química e teor de cinzas;
- Extrair a fibra de casca de soja utilizando dois processos catalíticos;
- Converter a celulose presente na fibra de casca de soja para açúcares fermentescíveis;
- Quantificar os açúcares totais;
- Obter etanol a partir da fermentação dos açúcares obtidos da celulose da casca de soja;
- Quantificar o etanol obtido na fermentação;
- Propor uma alternativa ambientalmente sustentável para a gestão dos resíduos da indústria de soja.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Produção de soja

A soja (*Glycine max*) é a principal matéria-prima que vem sendo utilizada para a produção de inúmeros insumos, principalmente na fabricação de óleo e produtos alimentícios e seus derivados, sendo extremamente importante para a agricultura e economia brasileira. A produção de soja é a atividade econômica que teve o crescimento mais expressivo nas últimas décadas devido a diversos fatores: estruturação de um grande mercado internacional relacionado com o comércio de produtos do complexo soja; consolidação da oleaginosa como importante fonte de proteína vegetal; aumento da produção animal; maior desenvolvimento e oferta de tecnologias; expansão da exploração sojícola para outras regiões (EMBRAPA, 2009).

No cenário mundial o Brasil possui expressiva participação tanto na oferta quanto na demanda de produtos do complexo agroindustrial da soja, sendo muito importante para o desenvolvimento de várias regiões do país. De acordo com a Secretaria de Comercio Exterior (SECEX) no ano de 2020 as exportações de soja em grãos no mês de dezembro foram de 231,50 mil toneladas, com exportação média diária de 13 mil toneladas, tendo uma estimativa de 83,04 milhões de toneladas totais exportadas (CONAB, 2020).

JUHÁSZ *et al.*, (2013) relatam que o aumento da produtividade está relacionado aos avanços tecnológicos, ao manejo e a eficiência dos produtores. O grão é a principal fonte de proteína vegetal, sendo o componente principal na fabricação de ração animal, com seu uso na alimentação humana em constante crescimento. Até 2020 projetou-se um salto produtivo na cultura para mais de 40%, em comparação com os Estados Unidos, que até então detinha a maior produção mundial, com o crescimento na mesma época de 15% em comparação ao Brasil (FREITAS, 2011).

2.2. Ciclo de vida do produto: aspectos e impactos ambientais

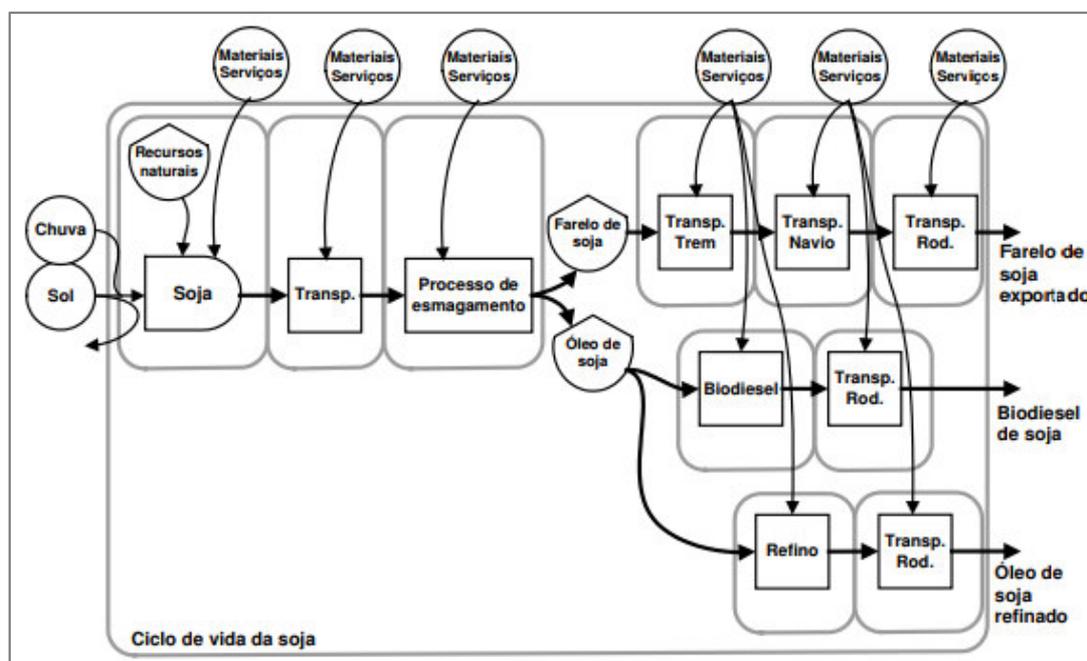
A soja é um tipo de leguminosa produzida prioritariamente para a produção de farelo (cerca de 80%), o qual é destinado para a alimentação humana e animal, principalmente como fonte de proteína, e somente 6,2% do consumo mundial de soja em grão feito de forma *in natura* (LAZZAROTTO; HIRAKURI, 2009).

O farelo de soja é vastamente usado na composição de ração, servindo de alimento para a produção de carnes. Na obtenção deste farelo, é obtido também o óleo de soja como subproduto. O óleo de soja, assim como outros óleos vegetais, é utilizado na alimentação humana e como matéria-prima para a produção de biodiesel (SUGAWARA, 2012). Segundo Freitas (2011) os grãos de soja são muito usados para produção de óleo vegetal e rações para a alimentação animal produzidos na agroindústria, outra utilização que vem crescendo é o uso como fonte alternativa de biocombustível (COSTA; ROSSI, 2000, p. 2).

As fases que compreendem o processo de produção de óleo de soja refinado são: produção agrícola, transporte para a indústria, processamento industrial, a partir do processamento industrial se obtém o óleo de soja e o farelo de soja, após o refino de óleo de soja o produto é transportado até o consumidor final (CAVALETT, 2008).

A Figura 1 representa o ciclo de vida da soja, desde a produção agrícola, passando pelas fases de transporte e processamento industrial.

Figura 1: Diagrama com as principais etapas do ciclo de vida da soja.



Fonte: CAVALETT (2008).

Devido à alta demanda interna e externa por grãos e farelo de soja, a produção e exportação de produto vem aumentando, o que pode remeter a impactos ambientais relacionados ao seu cultivo e a sua cadeia produtiva (GRILLO *et al.*, 2016). Dentre alguns exemplos, o cultivo pelo sistema de plantio convencional de soja pode ocasionar perda da qualidade do solo na região plantada, desgaste e perda dos nutrientes causados pela intensificação do uso de agrotóxicos, bem como geração de resíduos pela produção da soja. O nível de impactos ambientais pode ser minimizado ou ampliado de acordo com a tecnologia de plantio adotada (RODRIGUES; BARBOSA, 2009).

A cadeia de produção, industrialização e consumo da soja, vem causando problemas ambientais, econômicos e sociais no Brasil, os problemas decorrentes das monoculturas de soja pelo plantio usando técnicas convencionais, tornaram-se mais críticos (e.g. destruição dos ecossistemas, infertilidade do solo, contaminação de animais, solo, água) erosão, assoreamento dos rios, perda da biodiversidade,

mudanças climáticas provenientes de queimadas (CAVALETT, 2008). Contudo a produção de soja acaba causando impactos positivos, como a geração de empregos.

Pelo tamanho do sistema sojícola brasileiro, é possível garantir que ele possui, grande importância nos empregos gerados, é perceptível o destaque que o setor agropecuário traz no emprego da população brasileira economicamente ativa (LAZZAROTTO; HIRAKURI, 2009).

2.3. Resíduos gerados na cadeia produtiva da soja

Segundo Martins (2015) a quantidade de resíduos gerados na cadeia produtiva da soja é proveniente de diversos setores, sendo o principal o setor agrícola o qual consiste na colheita dos produtos obtidos no campo. A estimativa é que para cada hectare de soja produzido cerca de 3,0 a 4,0 toneladas são de resíduos de biomassa vegetal oriundos da cultura da soja, segundo dados da IPEA (2012). O volume de resíduos que são gerados na produção brasileira de soja é em torno de 41 milhões de toneladas por ano (NOGUEIRA *et al.* 2000). Tem-se uma preocupação com esse tipo de resíduo em função do Brasil ser um grande produtor mundial de soja e sempre com perspectiva de aumento de produção, em função disso a quantidade de resíduos tende a aumentar (SILVA *et al.* 2017). Portanto, há uma preocupação crescente com o gerenciamento desses resíduos, especialmente visando otimizar o processo produtivo a fim de evitar o desperdício de materiais ou até mesmo a reutilização desses resíduos (PUKASIEWICZ, 2004).

O manuseio, acondicionamento, armazenagem, coleta, transporte e destinação final dos resíduos produzidos na indústria da soja devem ser planejados conforme a classificação desses resíduos. Conforme a classificação desses resíduos, são definidos os controles necessários em todas as fases envolvidas no processo (ROCCA, 1993). Grande parte dos resíduos sólidos gerados na produção da soja são referentes ao farelo e a casca da soja que é adquirida no processamento da soja,

sendo estes resíduos de grande valor comercial já que sua principal utilização é como ingrediente na alimentação animal (PUKASIEWICZ, 2004).

A aplicação desses resíduos para fins energéticos ou para bioprodutos, gerados através das diversas atividades da cadeia produtiva da agricultura, é uma alternativa de diminuir o uso dos recursos naturais que são exageradamente explorados, sendo uma matéria prima para a produção de novos materiais bem como uma aplicação comercial, industrial proeminente (SILVA *et al.* 2019).

2.4. A casca da soja

A casca da soja é um subproduto da extração do óleo de soja e apresenta um elevado teor de fibra, um teor médio de proteína bruta e um baixo poder calorífico, o que favorece a sua utilização para a alimentação de ruminantes e em rações que não necessitam de um alto teor de fibra. Do ponto de vista nutricional, a casca de soja é um suplemento energético, podendo chegar a 80% do valor energético do grão de milho, contudo com valor de fibra mais elevado que do grão de milho (SILVA, 2004). Entretanto, o conteúdo nutricional da casca da soja pode variar de acordo com o processo de industrialização dos grãos para a produção do óleo.

De acordo com MANRICH (2013) a casca da soja representa 8% a 10% do percentual de massa do grão de soja. A casca da soja é uma película que reveste o grão da soja, incide de uma fonte de baixa lignificação e rica em fibra, com teor de proteína bruta de cerca de 12% e teor de fibra bruta cerca de 36% (RESTLE *et al.* 2004). Com destaque para o cenário nacional, decorrente da alta produção brasileira de soja. A Tabela 1 apresenta os componentes químicos presentes na casca da soja.

TABELA 1: Componentes da casca da soja.

| Componente | % (m/m) |
|---------------------|----------------|
| Celulose | 35,80 |
| Hemicelulose | 23,10 |
| Lignina | 9,10 |
| Extrativos | 5,00 |
| Cinzas | 4,00 |
| Proteínas | 15,40 |
| Pectinas | 4,20 |

Fonte: Adaptado Rojas (2012).

Para cada tonelada de soja que é processada, são gerados 50 kg de casca do grão de soja, o que corresponde a um grande volume de resíduos gerados anualmente (IORIS, 2021). De acordo com a Conab (2020) nos anos de 2018 e 2019 foram produzidos mais de 362 milhões de toneladas de soja mundialmente. Grande parte da quantidade dos resíduos sólidos gerados na produção de soja se dá em decorrência da destinação e da má gestão dos resíduos provenientes da casca da soja.

2.5. Impactos ambientais decorrentes da má gestão dos resíduos da soja

Woiciechowski *et al.* (2013) qualquer atividade humana, sendo ela industrial, caseira ou individual, acaba por gerar resíduos e subprodutos dentre as mais variadas características em questões de quantidade e qualidade, potencial poluidor e potencial de recuperação, seu reuso e quando for o caso, seu reaproveitamento.

A má gestão dos resíduos no meio ambiente acaba causando a degradação do solo, bem como a sua contaminação, chegando a atingir lençóis freáticos por meio da lixiviação esgotando os recursos naturais disponíveis (MOURA, 2002). A disposição inadequada dos resíduos, sobretudo aqueles que possuem algum tipo de produto químico, implica na contaminação do solo, ar e recursos hídricos superficiais e subterrâneos (AGRÍCOLA, 2008).

A produção intensa de soja ocasiona sérios reflexos no bioma Cerrado, que precisam ser minimizados, em decorrência aos dados alarmantes sobre a destruição do mesmo, tais como grandes prejuízos no ecossistema fauna e flora do Cerrado, ligados à depredação do solo e da água, Bessa (2006).

De acordo com Araújo (2019) durante as etapas do processamento industrial da soja ocorrem perdas na produção dos grãos que ainda não são aproveitados, já que não estão em padrões para retornar ao sistema produtivo, sendo considerados, portanto, como resíduos, há também uma disponibilidade de resíduos de soja gerados no campo, como o caule, palhas, folhas, vargens, grãos que compõem cerca de 1.230 mil toneladas por ano no Brasil, tais resíduos podem causar sérios impactos no meio ambiente se dispostos de forma inadequada. Segundo Neto (2012) a casca da soja é encaminhada para produção de ração animal ou meramente descartada sem o devido aproveitamento.

Tanto os aspectos quanto os impactos gerados na industrialização da soja para fabricação dos seus produtos primários, óleo degomado usado para consumo humano, depois do refino, e o farelo utilizado na produção de ração animal, cooperam de forma significativa na geração de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, que são lançados diretamente no meio ambiente (ARRUDA, 2017). De acordo com Brandli *et al.* (2009) os principais impactos ambientais correlacionados ao processo produtivo da soja são a ocupação do aterro, alteração da qualidade da água, do ar, solo, e a diminuição da disponibilidade dos recursos naturais.

O cuidado com os diversos tipos de resíduos deve existir por vários motivos, o principal é que enquanto estiver sobrando material a ser descartado, tanto no processo de produção quanto no consumo de algum produto, aponta que os recursos naturais estão sendo usados de maneira incorreta e por consequência estão sendo jogados fora, o que se torna alarmante já que muitos desses recursos são matérias primas para embalagens, produção e são também recursos finitos e não renováveis (AGRICOLA, 2008).

2.6. Tecnologias de tratamento dos resíduos da indústria de soja

De acordo com Rojas (2012) para ser comercializada a casca da soja passa por um processo limpeza e quebra de grãos afim de se obter subproduto, depois da separação da casca do grão, o que fica de resíduos passam por um separador, com a finalidade de dividir em cascas grandes contendo pedaços de grãos, cascas pequenas com pedaços de grãos e partículas finas.

Os resíduos agroindustriais compreendem os subprodutos gerados durante o processamento industrial de produtos agrícolas, animais ou adquiridos através de atividades agrícolas, comumente por não existir uma aplicação direta desses resíduos, pouco valor econômico é agregado a eles (e.g. palha, caule, folhas, casca) apesar disso os compostos (e.g. açúcares, fibras, proteínas e minerais) são encontrados na composição destes resíduos, o que torna eles fontes alternativas de carboidratos e nitrogênio, em substituição as fontes sintéticas desses nutrientes utilizadas em bioprocessos (SANTOS *et al.*, 2018).

A biomassa é uma das fontes de energia renováveis mais importantes, a conversão de biomassa em energia abrange uma ampla gama de materiais, tecnologias de conversão e aplicações de uso final dos produtos, tais como a geração de energia, calor, transporte de combustíveis e matérias primas químicas (SILVA *et al.*, 2019). De acordo com Oliveira *et al.*, (2015) a utilização da biomassa lignocelulósica para a produção de biocombustíveis de segunda geração ou produtos químicos de valor agregado é realizada por meio de tecnologias de conversão termoquímica, principalmente processos térmicos como a pirólise e gaseificação, além de processos fermentativos para a produção de etanol, são consideradas fontes economicamente sustentáveis para a produção de combustíveis renováveis ou produtos químicos.

2.7. A obtenção de produtos de valor no mercado a partir da casca da soja

Segundo Hirakuri *et al.* (2020) a importância da soja é ressaltada em diferentes aspectos, como o Valor Bruto de Produção (VBP), geração de empregos na sua cadeia produtiva, utilização de insumos e serviços inclusos a sua produção (*e.g.* transporte, colheita e análise de solo), o comércio da soja e produtos provenientes (*e.g.* interno e externo), soluções tecnológicas elaboradas para o campo, o estímulo as tecnologias digitais na zona rural e a evolução socioeconômica de municípios que a produzem.

Os resíduos gerados nas mais variadas atividades industriais têm se tornado um problema devido à crescente demanda por produtos e serviços, o que não é diferente na indústria da soja. Já que que cada vez mais o setor industrial é pressionado pela adoção de técnicas de manejo dos resíduos, principalmente visando a obtenção de benefícios energéticos e ambientais (CORREIA, 2013). Dentre esses resíduos, tem-se a casca da soja, a qual é um coproduto obtido por separação durante o processo de extração de óleo dos grãos (SCHERAIBER, 2014). A casca da soja representa uma fração de cerca de 7 a 8% da massa total de soja, sendo o subproduto com maior quantidade na indústria de processos de soja (FERRER *et al.*, 2016).

Estima-se que a produção mundial total de soja seja de 371,3 milhões de toneladas até o ano de 2030 e haverá de 29,7 a 37,1 milhões de toneladas de cascas de soja disponíveis (MASUDA, 2009). Nesse sentido, a valorização de resíduos e subprodutos agroalimentares apresenta-se hoje em dia, não só como uma necessidade, mas como uma oportunidade para obtenção de novos produtos de valor acrescentado e com grande impacto na economia das indústrias (PINTADO; TEIXEIRA; 2015).

O uso de resíduos de biomassa vegetal (casca de soja) como matérias-primas na confecção de novos materiais de alta performance é uma aplicação comercial favorável, que pode despertar o potencial de geração de produtos com elevado valor agregado com base nas *commodities* agroindustriais, de acordo com Neto (2012). A

casca da soja tem uma ampla variedade de aplicações, em razão da sua composição de biomassa, é vastamente usada na alimentação animal, com potencial de sacarificação, devido a sua composição rica em fibras dietéticas é utilizada como ingrediente de massa afim de diminuição do teor de gordura em bolos e biscoitos, sendo também uma rica fonte de peroxidases a casca da soja se mostra satisfatória para a produção de biocatalisadores (SILVA *et al.*, 2019).

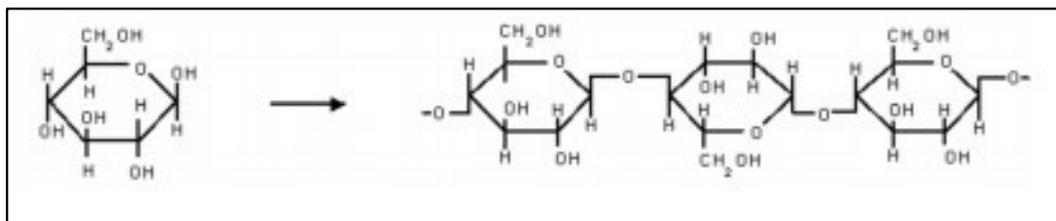
A casca da soja ainda pode ser utilizada como combustível para alimentar as caldeiras ou servir como material de enchimento para adequação do teor de proteína do farelo, podendo ainda ser moída ou granulada e comercializada (ARRUDA, 2017). Outra utilização de resíduos provenientes da soja é a confecção de painéis aglomerados a partir da vagem da soja, geralmente utilizada na alimentação bovina, sendo a vagem uma alternativa viável a substituição da madeira na fabricação de painéis aglomerados (MARTINS, 2015). A casca da soja pode ser ainda utilizada para compostagem, Fiori *et al.* (2008) apontam que os resíduos agrícolas podem ser compostados e para tal é preciso que os resíduos tenham teor de nitrogênio e carbono apropriado para o crescimento e atividade dos microrganismos no processo de compostagem. De acordo com Hickert (2014) o resíduo lignocelulósico (casca de soja) é um dos mais expressivos em questão de volume e alternativo para a bioconversão do seu hidrolisado a produtos de alto valor agregado.

2.8. A celulose da casca de soja como matéria-prima para produção de etanol

O processamento da soja gera uma grande quantidade de resíduos como palha, fibras, cascos e melaço, ricos em celulose, matéria-prima de baixo custo, atrativa para a obtenção de diversos produtos com valor agregado, tais como biocombustíveis (CAILLOT, 2017). A celulose é classificada como um polissacarídeo linear de cadeia longa, composto por um único monômero, glicose. Sendo um polímero glucano de unidades D-glucopiranoses, ao qual estão unidos por ligações β -(1 \rightarrow 4) glicosídicas (ROWELL, 2005). A Figura 2 mostra a estrutura da celulose, sendo

um polímero constituído por moléculas de grande dimensão formadas por moléculas menores.

Figura 2: Estrutura molecular da celulose.



FONTE: ROSA; GARCIA (2009).

De acordo com Rosa e Garcia (2009), na estrutura dos vegetais a celulose é envolvida por uma camada composta de uma combinação de lignina e hemicelulose, que se desenvolveu, ao longo de centenas de milhões de anos, exatamente para protegê-la de agentes externos. Logo, grande parte da dificuldade de obter álcool da celulose consiste, precisamente, em separar a celulose dessa camada composta por lignina e hemicelulose. Para isso, vários processos vêm sendo desenvolvidos para proporcionar essa separação. O processo de hidrólise ácida de biomassa lignocelulósica é um dos processos que vem sendo empregados para obter açúcares fermentescíveis para que estes sejam empregados na obtenção de etanol combustível.

Resíduos lignocelulósicos agroindustriais são formados principalmente por polímeros conhecidos, como celulose e hemicelulose, e suscetíveis a conversão para etanol (HICKERT, 2014), através da hidrólise desse material, que se dá por meio de enzimas para a hidrólise da celulose ou por produtos químicos para hidrólise da hemicelulose as vezes sendo necessário uma combinação das duas abordagens (SCHIRMER-MICHEL *et al.*, 2009).

A fração insolúvel da parede celular da casca de soja é constituída por aproximadamente 44% de celulose de material lignocelulósico (BOEIRA, 2013 p.16). Roja (2012) aponta que a composição química da casca da soja (CS) pode variar em detrimento da eficiência no processo de extração. Na produção de farelo de soja com

maior concentração de proteína, a retirada da casca da soja é feita com maior veemência, sendo assim não tendo contaminação por pedaços do grão nem de farelo, então a casca da soja pode conter 29-51% de celulose, 10-20% de hemicelulose, 1-4% de lignina e 9-14% de proteínas, a bioconversão da casca de soja (biomassa) a etanol demanda um pré-tratamento termoquímico, afim de tornar fácil a hidrólise enzimática dos complexos de carboidratos a açucares simples para serem fermentados a etanol. Rojas (2012) propõem que a hidrólise usando ácido diluído é o pré-tratamento mais comum utilizado dentre os pré-tratamentos químicos, podendo ser usado como um pré-tratamento de material lignocelulósico para hidrólise enzimática ou como hidrólise afim de se obter açucares fermentescíveis.

Portanto a produção de etanol a partir da casca da soja se mostra uma ótima alternativa pelo fato da quantidade de celulose presente na casca e o aumento na produção de biocombustíveis (PRETTO, 2014).

2.9. Etanol de segunda geração

O etanol vem sendo considerado uma alternativa para diminuir problemas ambientais e energéticos no mundo em razão da escassez e alta dos preços dos combustíveis fósseis e da poluição por eles causada. Comparado aos combustíveis fósseis, o etanol apresenta as vantagens de ser uma fonte renovável de energia e de contribuir para a redução das emissões de dióxido de carbono (PACHECO, 2011).

O Brasil encontra-se em uma posição favorável no que se refere à produção de etanol, por apresentar vantagens na tecnologia de produção, possibilidade de liderança na agricultura de energia e mercado de biocombustíveis sem ampliar área desmatada ou reduzir a área destinada à produção de alimentos, possuindo uma diversidade de matérias-primas em diferentes biomas. Além disso, a matriz energética brasileira já é um exemplo de sustentabilidade, pois enquanto a média mundial possui um consumo em torno de 14% de fontes renováveis, o Brasil utiliza 84,8% (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2021). Apesar do grande crescimento verificado recentemente, o consumo de biocombustíveis ainda é muito pequeno relativamente

ao volume de combustíveis líquidos, respondendo por menos de 1% do total utilizado no transporte rodoviário. A única exceção relevante é o Brasil, onde cerca de 20% do combustível destinado a esse tipo de transporte corresponde ao etanol e algo menos de 1% ao biodiesel (ROSA; GARCIA, 2009). Por causa do baixo conteúdo de lignina e alto conteúdo de celulose a casca da soja se mostra uma fonte viável de açúcares fermentáveis para a produção de etanol de segunda geração (ROJAS, 2012). A produção de etanol de segunda geração feito a partir de diferentes tipos de resíduos agroindustriais é uma alternativa que diminuiria os impactos ambientais (ASTOLFI *et al.*, 2015).

2.10. O uso de celulose para a obtenção de etanol

Materiais lignocelulósicos são os recursos renováveis disponíveis em maior quantidade no mundo e com baixo custo, constituindo uma fonte alternativa para a obtenção de etanol e demais compostos químicos, a produção de etanol a partir da casca da soja vem sendo cogitada como uma alternativa visto que este resíduo possui um grande teor de celulose. A produção de etanol a partir da biomassa lignocelulósica consiste de quatro etapas, um pré-tratamento, hidrólise enzimática ou hidrólise ácida da celulose ou da hemicelulose, fermentação por microrganismos por meio dos açúcares liberados e por último recuperação e purificação do etanol para acatar a características do combustível segundo Rojas (2012).

Uma provável opção para melhorar a viabilidade econômica da produção de oligopeptídeos e etanol a partir da casca é o desenvolvimento de processos que apresentem maior rendimento dos produtos, já que existem perdas consideráveis no processo e baixa conversão de celulose em glicose. Os subprodutos gerados também podem ser utilizados, como o licor de pentoses e a lignina. O licor de pentoses pode ser usado, também, para produção de etanol ou de xilitol, entre outros e a lignina pode ser, por exemplo, queimada em uma caldeira para gerar vapor e energia para o processo (PRETTO *et al.*, 2014). De acordo com Hickert (2014), a conversão de

qualquer biomassa lignocelulósica para etanol adota uma metodologia parecida, começando por um pré-tratamento afim de se melhorar a acessibilidade dos polissacarídeos da parede celular de hidrólise, seguindo ou não de uma hidrólise enzimática dos mesmos em açúcares componentes, afim de se obter a fermentação dos açúcares monoméricos em etanol. O etanol feito a partir desse tipo de fonte é chamado de etanol de segunda geração, constituindo a segunda classe de biomassa vegetal formado pela lignocelulose, de grande interesse (SEHNEM, 2013).

O etanol feito da casca da soja se mostra uma ótima alternativa principalmente por esta ter grande quantidade de celulose e pela demanda da busca de biocombustíveis (PRETTO, 2014).

2.11. Processos de obtenção de etanol de celulose

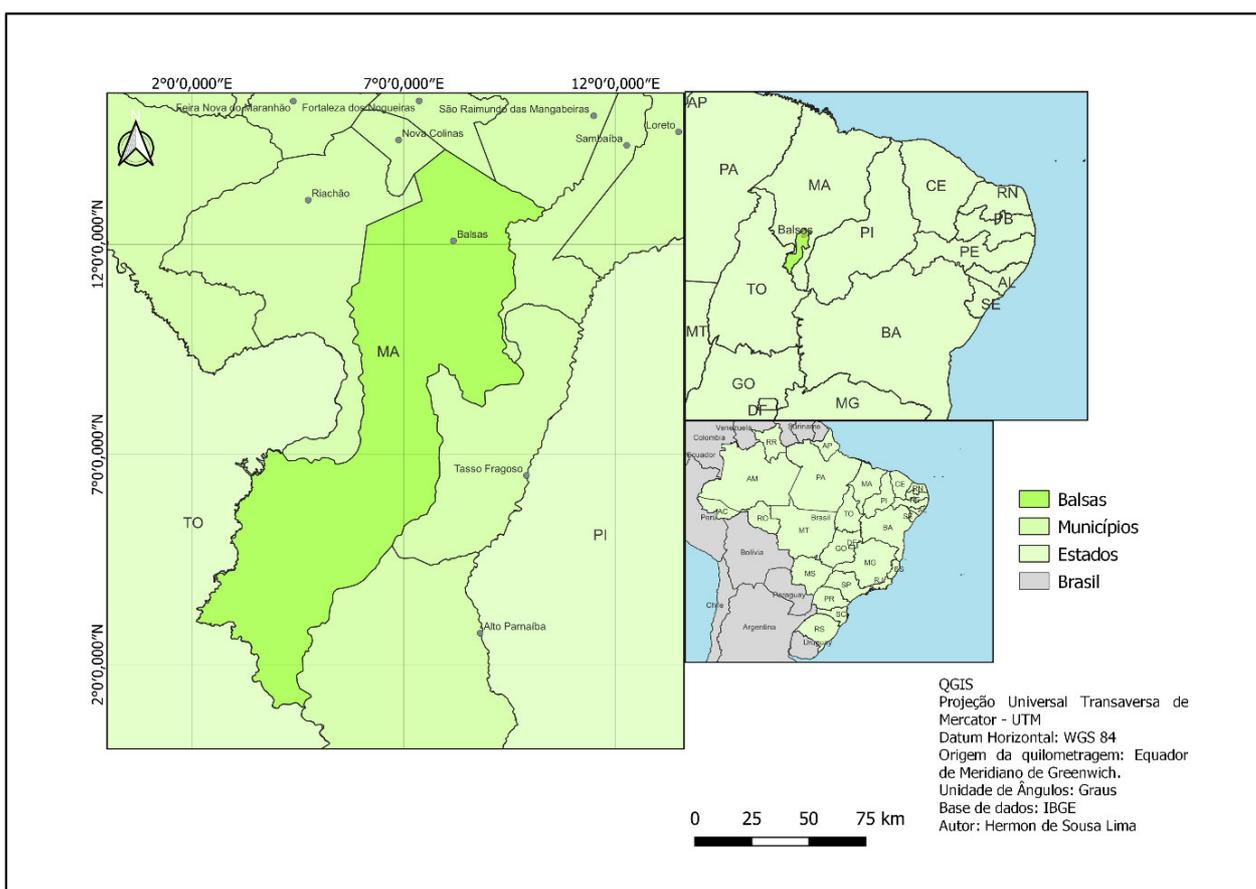
A produção de etanol de segunda geração envolve quatro etapas. Pré-tratamento para remover a lignina e hemiceluloses, hidrólise da celulose para obtenção da glicose, fermentação do açúcar e destilação para a obtenção do etanol. Atualmente, dois processos hidrolíticos têm sido desenvolvidos, a hidrólise com ácidos minerais e a hidrólise enzimática. No entanto, a hidrólise com ácidos minerais necessita de altas temperaturas e equipamento resistente à corrosão, enquanto que no processo enzimático, os problemas são relacionados ao alto custo, longos tempos de reação (até sete dias) e indisponibilidade comercial (CANETTIER, 2011). De acordo com (CORTEZ; LORA; GÓMEZ, 2008). Para melhorar a eficiência da hidrólise são realizados pré-tratamentos do material lignocelulósico, os quais podem ser físicos (moagem, irradiação), químicos ou físico-químicos (explosão a vapor, extração por solvente, tratamento com ácido, base ou agentes oxidantes.). O objetivo do pré-tratamento é aumentar a área superficial acessível do material, promover a deslignificação parcial ou total, diminuir o grau de polimerização e a cristalinidade da celulose. Contudo, se torna claro que o aproveitamento da biomassa lignocelulósica exige nova tecnologia que viabilize o processo de hidrólise para torná-lo mais competitivo (GROSSI, 2015).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área de estudo

O presente estudo foi realizado no município de Balsas (Figura 3) ($07^{\circ} 31' 58''$ S; $46^{\circ} 02' 09''$ O). A cidade de Balsas possui uma área territorial de 13.141,162 km², pertence à mesorregião Sul do Maranhão e, a partir de 1991, tendo um crescimento expressivo em sua população que foi de 41.648 habitantes para 93.511 habitantes (IBGE, 2017).

Figura 3: Mapa de localização do município de Balsas – MA.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

O município de Balsas tem sua economia baseada principalmente no agronegócio e no comércio, sendo conhecido principalmente pela produção sojícola, produzindo cerca de 452.273 toneladas de grãos de soja, em comparação com o estado do Maranhão que produziu 1.939.221 toneladas de grãos de soja, o que representa para o estado cerca de 23,32% produzido (IBGE, 2017). O município é de grande importância para o desenvolvimento da região Sul-Maranhense, destacando-se pelo potencial agrícola na produção de grãos (VARGAS, 2019).

3.2. Obtenção e caracterização das cascas de soja

As cascas de soja (Figura 4) foram obtidas através de doação das empresas Agrex do Brasil S.A e Bunge. Inicialmente, as cascas de soja foram separadas dos outros resíduos contidos nas amostras obtidas (e.g., vagens de soja), passadas em uma peneira de granulometria MESH 3/8" (Figura 5) para remoção de resíduos (e.g. grãos de soja) (Figura 6).

Figura 4: Casca da soja com resíduos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 5: Casca de soja para peneiramento.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 6: Casca da soja após peneiramento.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

As cascas de soja foram trituradas em moedor manual (Figura 7) e passadas em uma peneira de granulometria MESH 200 (Figura 8) para obtenção de cascas menores com o pré-tratamento físico.

Figura 7: Moedor manual.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 8: Peneira MESH 200.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A farinha da casca de soja (Figura 9) foi obtida após o peneiramento em peneira de granulometria MESH 200 (Figura 8) e moída em moedor manual para obtenção de uma farinha de casca de soja.

Figura 9: Farinha da casca da soja.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Após o processo de peneiramento, a farinha de casca de soja foi armazenada em dessecador para posterior uso (FIGURA 10).

Figura 10: Dessecador com tampa e luva para vácuo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

3.2.1 Caracterização química da casca de soja

A amostra de farinha de casca de soja foi analisada quanto ao seu teor de cinzas, extrativos e açúcares totais. O teor de cinzas foi realizado com o uso de um forno mufla (Figura 11), conforme ABNT NBR NM ISO 2144:2001, os experimentos foram realizados em duplicata.

Figura 11: Forno mufla N1030.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Os extrativos da casca de soja foram obtidos com o uso de extração etanólica com o uso de extrator Soxhlet por 6 horas. Após a extração, o resíduo sólido foi seco em estufa (FIGURA 12) por 24 horas e pesado.

Figura 12: Estufa de secagem e esterilização SL - 100.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O percentual de extrativos foi calculado conforme a equação (1):

$$\% \text{ extrativos} = \left(\frac{M_i - M_f}{M_i} \right) \quad \text{equação (1)}$$

onde, M_i = massa inicial da casca antes da extração; M_f = massa final da casca após a extração.

O teor de açúcares totais presentes na farinha de casca de soja foi determinado com o método tradicional da hidrólise ácida, com uso solução aquosa de H_2SO_4 (64% m/m). 30mL de solução de H_2SO_4 64% (m/m) foi pré-aquecida a $45^\circ C$ em banho maria (FIGURA 13).

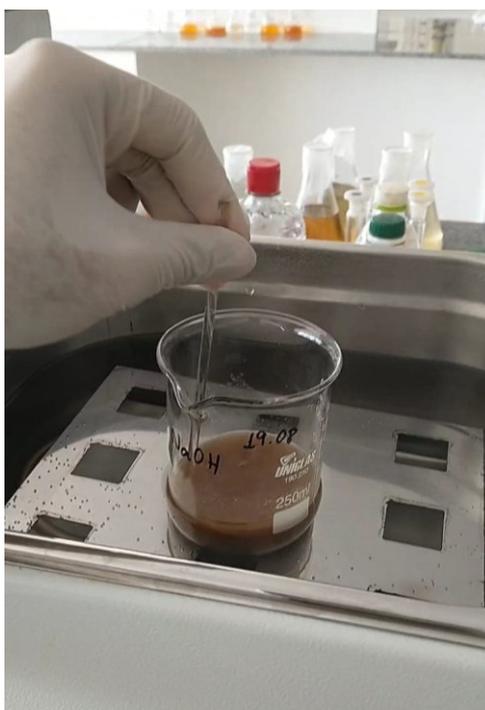
Figura 13: Banho de aquecimento.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Em seguida, foram adicionados 3g de farinha de casca de soja e a mistura ficou sob agitação por 7 minutos a 45°C (FIGURA 14).

Figura 14: Hidrólise ácida em farinha de casca de soja.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Após este tempo, foram adicionados 50 mL de água destilada à temperatura ambiente para que ocorresse o término da hidrólise. Após isto, foram adicionados mais 250 mL de água destilada e esta solução foi colocada em uma autoclave por 30 minutos para proporcionar um aumento da conversão dos oligômeros a açúcares menores (FIGURA 15).

Figura 15: Autoclave Vertical CS.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Após este tempo e tendo atingido a temperatura ambiente, a mistura foi filtrada à vácuo (FIGURA 16).

Figura 16: Filtração a vácuo da hidrólise.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O teor de açúcares totais foi determinado com o uso do Refractômetro HHTEC Brix 0 – 32% (FIGURA 17).

Figura 17: Refractômetro HHTEC Brix 0 – 32%.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

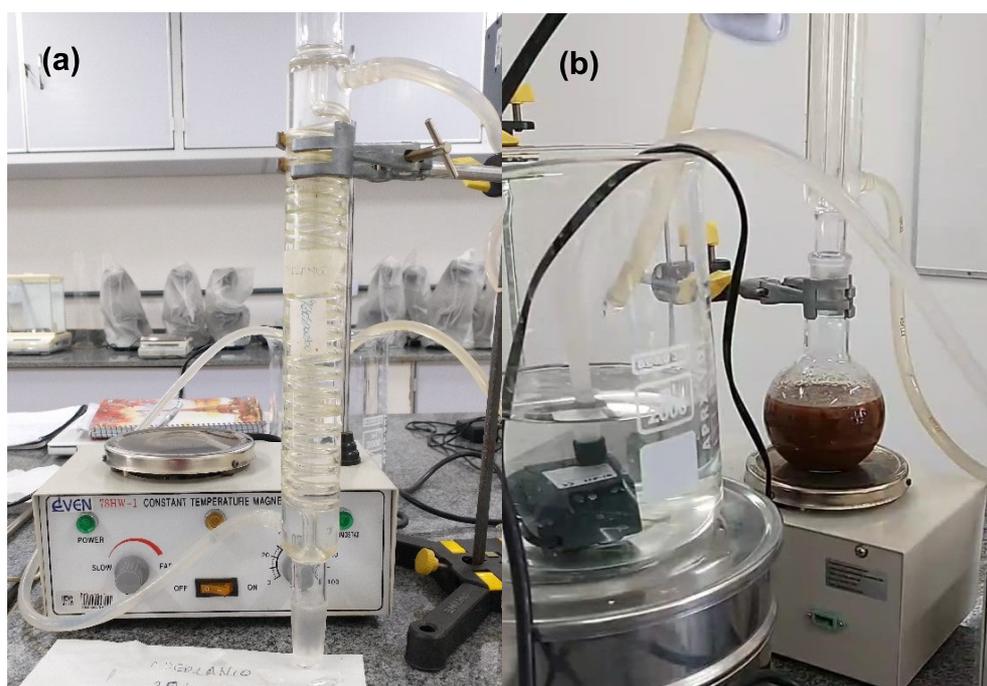
Com isso, a quantidade de celulose/hemicelulose e lignina foi determinada com base na diferença entre a massa inicial da casca de soja e a massa de resíduo sólido retido no papel de filtro após o processo de hidrólise, visto que a hidrólise ácida remove predominantemente estes três polímeros.

3.2.2 Extração de fibras e conversão a açúcares fermentescíveis

Para a extração das fibras da casca de soja, foram testadas duas soluções alcalinas, uma tradicional com o uso de NaOH (hidróxido de sódio) e um outra alternativa com o uso de catalisador CaO (óxido de cálcio) obtido a partir de cascas de ovos, as quais foram doadas pela padaria Bolos do Cerrado, localizada na cidade de Balsas - MA. Para a obtenção do catalisador CaO foi utilizado o método descrito por Erchamo *et al.* (2021). CaO a partir de casca de soja foi utilizado como uma

alternativa ao método tradicional, o qual utiliza NaOH. Portanto, a farinha de casca de soja foi tratada com solução de NaOH 4 % (m/m) ou com solução de CaO 4% (m/m) por 2 horas a 100 °C e sob agitação constante (FIGURA 18).

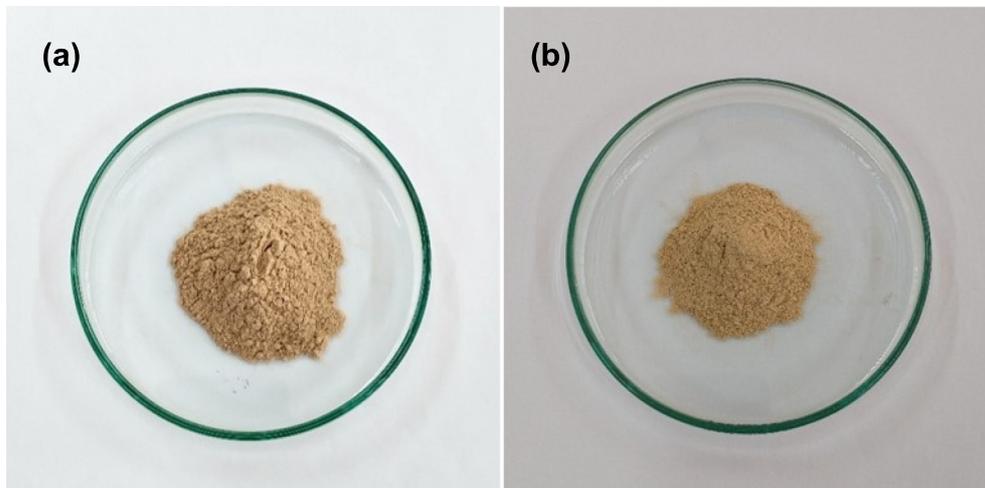
Figura 18: Tratamento da farinha da casca de soja em agitador magnético (a) com aquecimento e sob refluxo (b).



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Após passado este tempo, o meio reacional foi filtrado à vácuo e a fibra foi seca a 80 °C por 24h. Após a obtenção das fibras de casca de soja, estas foram quantificadas e analisadas com o uso de um Espectrômetro FTIR da marca Bruker, modelo Vertex 70v. As medidas foram realizadas na temperatura ambiente, com resolução de 4 cm⁻¹, numa faixa de 400-4000 cm⁻¹. Para a análise, as amostras foram pesadas com 2 mg na forma de pó (FIGURA 19), para que junto com o KBr formasse uma pastilha de 200 mg.

Figura 19: Pó de NaOH (a) e CaO (b).



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

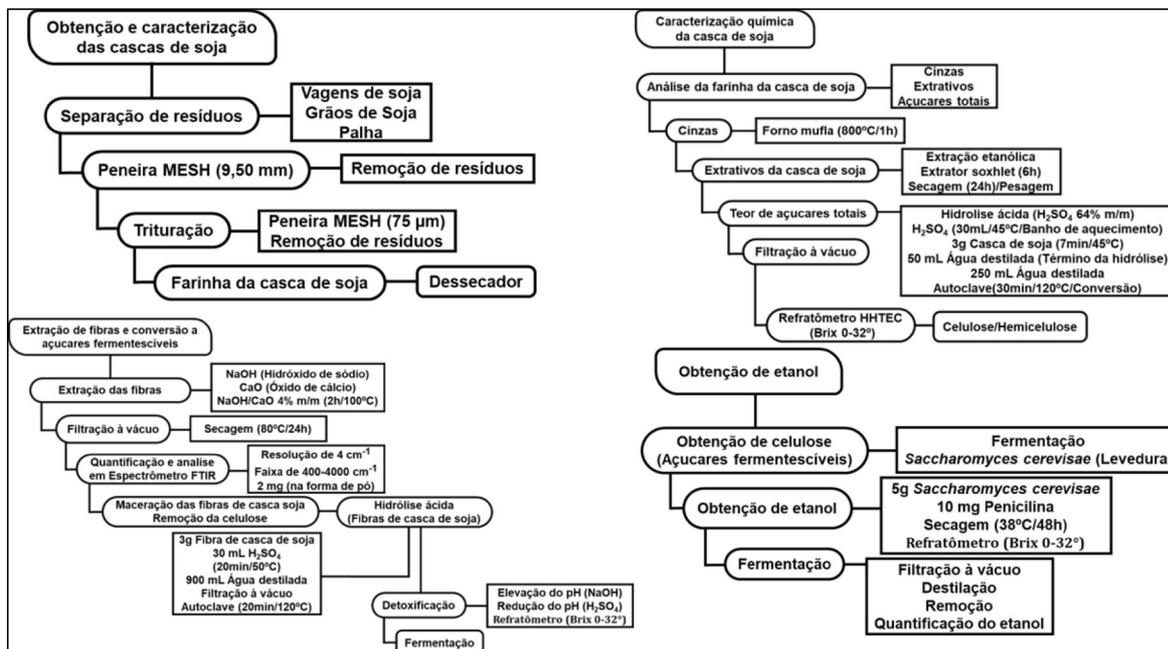
Após a obtenção das fibras de casca de soja, estas foram utilizadas para a remoção de celulose. Inicialmente, as fibras foram maceradas e passadas por uma peneira de MESH 35 e depois utilizadas para a extração de nanocristais de celulose por hidrólise ácida. A hidrólise ácida foi realizada conforme descrito por Neto *et al.* (2013), com adaptações. Então as 3g de fibra de casca de soja, obtida com solução de NaOH ou CaO, foram colocadas em 30 mL de solução de H₂SO₄ 64% (m/m) por 20 minutos a 50 °C e sob agitação constante. Após este tempo, foram adicionados 900 mL de água destilada para que ocorresse o término da hidrólise. Em seguida, o meio foi filtrado e a parte líquida foi colocada em autoclave por 20 minutos a 120 °C. Após a autoclavagem, foi realizado processo de detoxificação da solução com uso de NaOH até atingir pH 12 e em seguida foi feita a redução do pH até 5,5 com uso de H₂SO₄ concentrado. Por fim, foi verificado o °BRIX do meio hidrolisado e este foi rapidamente colocado para fermentar

3.3. Obtenção de etanol

Após o processo de obtenção da celulose e conversão desta a açúcares fermentescíveis, estes foram utilizados para a obtenção de etanol em um processo de fermentação utilizando *Saccharomyces cerevisiae*. O processo de fermentação e obtenção do etanol foram realizados, principalmente, conforme Gao *et al.* (2018).

Foram adicionados 5g de levedura *Saccharomyces cerevisiae* e 10 mg de penicilina ao meio hidrolisado e colocado para fermentar a 38 °C por 48 horas. Após este tempo, foi medido o °BRIX, o meio fermentado foi filtrado e a parte líquida foi destilada para a remoção e quantificação do etanol formado, com o uso de densímetro. O fluxograma (Figura 20) mostra o passo a passo da obtenção e caracterização da casca de soja seguido dos processos de caracterização química da casca de soja, extração de fibras e conversão a açucares fermentescíveis e por último a obtenção do etanol.

FIGURA 20: Fluxograma dos métodos experimentais.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização química da casca de soja

A Tabela 2 mostra a quantidade de materiais inorgânicos (cinzas), açúcares e extrativos da casca de soja.

TABELA 2: Quantidade de materiais inorgânicos (cinzas), açúcares e extrativos da casca de soja.

| Componente | Neste trabalho | Rojas <i>et al.</i> (2012) |
|--|-----------------------|-----------------------------------|
| Cinzas (%) | 4,4 ± 0,7 | 4,0 ± 0,3 |
| Extrativos (%) | 8,5 ± 0,3 | 5,0 ± 1,0 |
| Celulose/hemicelulose Lignina (%) | 52,4 ± 1,3 | 58,9 ± 1,0 |
| Açúcares totais (°BRIX) | 3,5 ± 0,6 | - |

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

De acordo com a Tabela 2, os rendimentos para materiais inorgânicos (cinzas), açúcares e extrativos da casca de soja apresentaram resultados considerados favoráveis, com valores de materiais inorgânicos variando de 4,4 ± 0,7%. Rojas (2012) encontrou valores semelhantes com variação de 4,0 ± 0,3% para a porcentagem de cinzas. De acordo com Kang *et al.*, (2014), o conteúdo de cinzas de fonte de biomassa geralmente é baixo, contudo, sua composição deve ser considerada já que a maior parte das cinzas se concentra nos resíduos de lignina. Para extrativos, foram obtidos valores de 8,5 ± 0,3%, sendo maiores que os encontrados no estudo de Rojas (2012), o qual obteve valores de 5,0 ± 1,0%, sendo essa variação de valores, condicionantes ao método de extração alcoólica. Os valores de celulose e hemicelulose encontrados foram de 52,4 ± 1,3%, valores bem semelhantes aos encontrados por Rojas (2012) (58,9 ± 1,0%). Já para açúcares totais, foi encontrado valor de 3,5 ± 0,6 °Brix.

Desta forma, a casca ainda possui pouca concentração de açúcar solúvel em relação a composição de lignocelulósicos e o pré-tratamento para a obtenção de maiores concentrações de açúcares para posterior fermentação é necessário.

4.2. Extração de fibras e conversão a açúcares fermentescíveis

A Tabela 3 mostra a quantidade de fibra de soja extraída da casca de soja obtida com NaOH e CaO.

TABELA 3: Quantidade de fibra de soja extraída da casca de soja com NaOH e CaO.

| Componente | Método de extração da fibra | |
|--|-----------------------------|------------|
| | NaOH | CaO |
| Fibra da casca de soja (% m/m em base seca) | 37,9 ± 8,0 | 59,6 ± 6,3 |

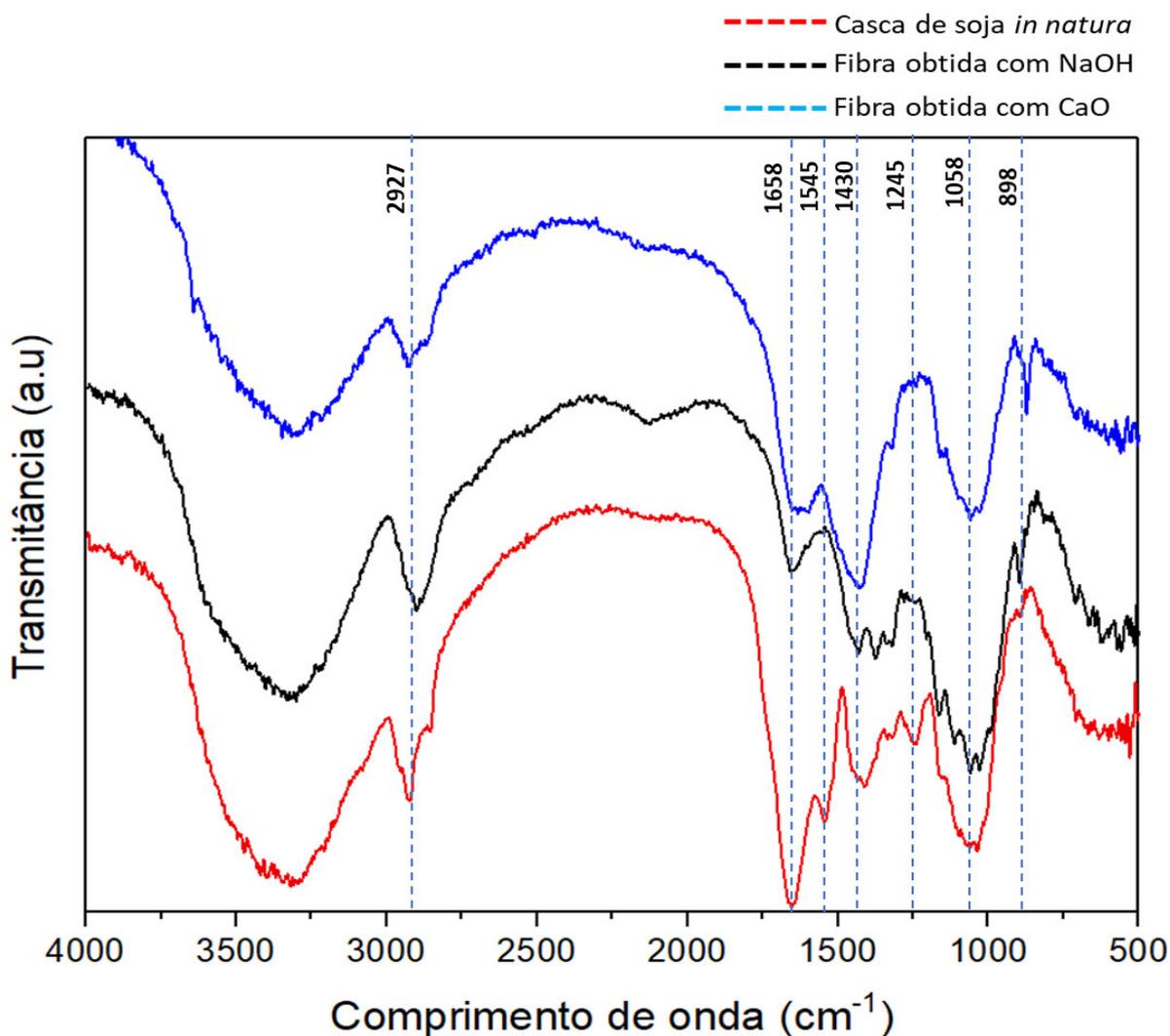
Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Como mostrado na Tabela 3, os valores para a quantidade de fibra extraída com NaOH (37,9 ± 8,0%) foram inferiores a extração com CaO (59,6 ± 6,3%), assim o CaO mostra-se como um método alternativo eficiente para a extração da fibra de casca de soja.

Em relação à característica química das fibras obtidas de casca de soja, foi utilizada a espectroscopia de FTIR. A técnica de espectroscopia com FTIR tem sido muito utilizada em pesquisa com celulose e outros polímeros. Isto deve-se ao fato desta técnica analítica ser de fácil utilização e de obtenção de informações sobre as mudanças químicas que a biomassa sofreu durante o processo de tratamento. Para verificar o grau de modificação causada na casca de soja tanto pelo método com NaOH quanto pelo CaO, foi realizada a caracterização dos grupos funcionais, com uso de espectroscopia FTIR, da farinha da casca de soja *in natura* e das fibras obtidas

pelos métodos com uso de NaOH e CaO. A Figura 21 apresenta o espectro de FTIR das amostras analisadas.

Figura 21: Espectro de FTIR para casca de soja, NaOH e CaO.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Os espectros de FTIR da casca de soja *in natura* e das fibras de casca de soja obtidas com o uso de solução de NaOH ou CaO podem ser observados na Figura 21, a qual mostra que os espectros apresentam algumas similaridades e diferenças. Os espectros mostram uma predominância dos picos em torno de 3400 cm⁻¹ e com 1058 cm⁻¹, os quais correspondem às vibrações de estiramento dos grupos funcionais O-H e C-O, respectivamente. A redução na intensidade do pico 1658 cm⁻¹ pode estar

relacionada ao fato de ter ocorrido remoção de hemicelulose da casca de soja durante o processo de tratamento com as soluções. Os picos em 1430 cm^{-1} , 1058 cm^{-1} e 898 cm^{-1} são associados à presença de celulose na biomassa, com picos mais definidos observados nas amostras de fibras de casca de soja, principalmente na amostra de fibra de casca de soja obtida com CaO. O que mostra que a utilização de CaO favoreceu uma melhor separação da celulose presente nas cascas de soja, visto que a aumento da intensidade do pico indica um maior percentual de celulose na amostra analisada (ALEMDAR E SAIN, 2008; NETO *et al.*, 2013; MERCI *et al.*, 2015).

4.3. Obtenção de etanol

Após o processo de fermentação ter finalizado, as amostras de mosto fermentado foram destiladas para a remoção do etanol produzido. A quantidade de etanol produzido a partir da fibra da casca de soja obtida por NaOH ou CaO pode ser observada na Tabela 4.

TABELA 4: Quantidade de etanol produzida a partir de 48 horas de fermentação do mosto de fibra extraída da casca de soja com NaOH e CaO.

| Componente | Quantidade obtida de etanol (g L ⁻¹) | |
|------------|--|------|
| | NaOH | CaO |
| Etanol | 9,5 | 15,8 |

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

A Tabela 4 mostra que o método alternativo com CaO possui um potencial em frente ao método tradicional para a obtenção de uma maior quantidade de etanol a partir de casca de soja. Rojas (2012) obteve uma quantidade de etanol de casca de soja de $3,16$ a $7,69\text{ g L}^{-1}$ em diferentes tempos de fermentação. Logo, é perceptível o potencial do método utilizando CaO em relação ao método tradicional com NaOH.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização da caracterização química da casca da soja revelou que os rendimentos para quantidade de materiais inorgânicos (cinzas) e extrativos da casca de soja são valores semelhantes aos resultados encontrados na literatura, bem como o rendimento em celulose e hemicelulose. Esta celulose pode ser melhor extraída com o uso de CaO obtido por método alternativo (casca de ovo), quando comparado ao método tradicional (uso de solução de NaOH).

A técnica de espectroscopia com FTIR mostrou as mudanças químicas que a biomassa sofreu no processo de tratamento, onde foi perceptível o grau de modificação causado na casca da soja pelos métodos com NaOH e CaO, uma vez que foram observadas algumas similaridades nos resultados, com picos mais definidos sobretudo nas amostras de fibras de casca de soja com uso de CaO. Logo, CaO pode favorecer uma melhor separação da celulose presente na casca da soja. Além disso, a obtenção de etanol a partir da fibra da casca obtido por CaO apresentou valor superior a obtenção por NaOH, indicando mais uma vantagem do uso do método com CaO.

Com tratamento utilizado para separação da celulose, hemicelulose e lignina presente na casca de soja, foi possível realizar a fermentação dos açúcares para a produção de etanol. Entretanto, faz-se necessária a utilização de técnicas que venham proporcionar maiores rendimentos em etanol. Tais métodos passam pelo aperfeiçoamento do processo de extração das fibras de celulose e o teste de outros microrganismos (leveduras) para verificar o possível aumento da conversão de açúcares fermentescíveis e, com isso, obter maiores rendimentos em etanol a partir da casca de soja, um resíduo agroindustrial que apresenta potencial para a produção de etanol de segunda geração e, conseqüentemente, este processo poderia auxiliar na redução da pegada de carbono da indústria de soja e promover a obtenção de mais créditos de descarbonização.

6. REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Resíduos Sólidos – Classificação, NBR 10.004. Rio de Janeiro, 2004. 3 p.

AGRÍCOLA, J. **RESÍDUOS SÓLIDOS GERADOS POR LAVOURAS DE SOJA NO MUNICÍPIO DE PONTALINA-GO: DESENVOLVIMENTO RURAL E SUSTENTABILIDADE**. Dissertação (Mestrado em Sociedade, tecnologia e meio Ambiente) – Centro Universitário de Anápolis UniEVANGÉLICA. Goiânia, p. 77. 2008.

ALEMDAR, Ayse; SAIN, Mohini. Isolation and characterization of nanofibers from agricultural residues–Wheat straw and soy hulls. **Bioresource technology**, v. 99, n. 6, p. 1664-1671, 2008.

ARAÚJO, V. K. A. **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DO RESÍDUO PROVENIENTE DE PERDAS NA INDÚSTRIA DE PROCESSAMENTO DA SOJA**. 2019. 69 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Sustentáveis) – Curso de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Sustentáveis, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia.

ARRUDA, L. P. DE. **Aspectos e impactos da indústria de transformação da soja**. 2017. 29 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental, Cuiabá, Bela Vista, 2017.

ASTOLFI, V. et al. SACARIFICAÇÃO DE DIFERENTES RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS PELO EXTRATO ENZIMÁTICO BRUTO PRODUZIDO POR *Trichoderma reesei* NRRL 3652 EM CASCA DE SOJA. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, n. 3, p. 1209-1214, 2015.
BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. Brasília: MME, 2021.

BESSA, L. K. **As Plantações de Soja e o Impacto Ambiental causado na Água e Solo na Região do Cerrado/ Centro – Oeste/ Cidade de Cristalina – Goiás**. 2006. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Produção Sustentável) – Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2006.

BONFIM, Y. P.; FERREIRA, V. da. R. S.; CAETANO, M. **A logística e o agronegócio em goiás: O caso da soja**. REGE, São Paulo, v. 20, n. 3, p. 557-573, out./dez. 2013.

BRANDLI, Elisangela et al. A identificação dos resíduos em uma indústria de alimentos e sua política ambiental. **Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)**, n. 13, p. 45-51, 2009.

CAILLOT, V. A. **Avaliação do potencial de produção de biogás dos resíduos da suinocultura codigeridos com resíduos agricultura brasileira**. 2017. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017.

CANETTIERI, E. V. et al. Optimization of acid hydrolysis from the hemicellulosic fraction of *Eucalyptus grandis* residue using response surface methodology. **Bioresource Technology**, Essex, v. 98, n. 2, p. 422-428, Jan 2007.

CAVALETT, O. **Análise do Ciclo de Vida da Soja**. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, p. 63. 2008.

CLEMENTE, A. Enzymatic proteins hydrolysates in human nutrition. *Trends in Food Sci. & Tech.*, v. 11, p. 254-262, 2000.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. *A Geração Termoelétrica com a Queima do Bagaço da Cana-de-açúcar no Brasil*. 2011.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Histórico de conjunturas de soja. Conjuntura semanal**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-de-conjunturas-de-soja/item/15002-soja-conjuntura-semanal-28-12-a-01-01-2021>>. Acesso em: 28 jun 2021.

CONAB. Informações Agropecuárias. **Acompanhamento da Safra Brasileira**. 11 fev. 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras>. Acesso em: 29 dez. 2021.

CORREIA L. A. R. **Estudo do processo de pirólise para aproveitamento sustentável do lodo digerido doméstico**. 2013. Dissertação de Mestrado em Agroenergia. 2013. 159 f. Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2013.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. **Biomassa para energia**. Editora da Unicamp, Campinas-SP, 2008.

COSTA NETO, P. R. & ROSSI, L. F. S. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em fritura. **Química Nova**, v.23, p. 4, 2000.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Soja: Evolução e Perspectivas de Desempenho Econômico Associadas com a Produção de Soja nos Contextos Mundial e Brasileiro**. Londrina – PR, 2009.

ERCHAMO, Yeshimebet Simeon et al. Improved biodiesel production from waste cooking oil with mixed methanol–ethanol using enhanced eggshell-derived CaO nanocatalyst. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 1-12, 2021.

FERRER A, SALAS C, ROJAS OJ. Physical, thermal, chemical and rheological characterization of cellulosic microfibrils and microparticles produced from soybean hulls. **Industrial Crops and Products**. 2016; 84:337–343. DOI:10.1016/j.indcrop.2016.02.014.

FREITAS, Márcio. A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 12, 2011.

GAO, Y., XU, J., YUAN, Z., JIANG, J., ZHANG, Z., LI, C. **Ethanol production from sugarcane bagasse by fed-batch simultaneous saccharification and fermentation at high solids load.** Energy Science and Engineering, 6: 810-818, 2018.

GOUVEIA, L. G. T.; FARIAS, I. S.; RAMOS, L. C.; SILVA, D. P. RUZENE, D. S. **Perspectivas e Aplicações de Resíduos Agroindustriais/Agrícolas na Obtenção de Produtos de Maior Valor de Mercado.** In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DE SERGIPE, 7., 2015, Sergipe, SE. **Anais...** Sergipe, SE: SIMPROD, 2015. p. 573-583.

GRILLO, I. B. et al. **Avaliação Estatística dos Inventários do ciclo de vida da produção de soja no Brasil.** Edição Especial V Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida. LALCA Revista Latino-Americana em Avaliação do Ciclo de Vida, 2016.

GROSSI, E. C. **Produção de etanol de segunda geração a partir de um derivado de celulose.** 2015. 77 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Química e Biológica) – Curso de Pós-Graduação em Tecnologias Química e Biológica, Universidade de Brasília, Distrito Federal. 2015.

Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., van Otterdijk, R. and Meybeck, A. 2011. Global food losses and Food waste. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 1-23 p.

HICKERT, Lilian Raquel. Bioconversão de hidrolisados de casca de arroz e soja em etanol e xilitol por leveduras. 2014.

HIRAKURI, M. H. et al. Diagnóstico da produção de soja nas macrorregiões sojícolas 2 e 3. **Embrapa Soja-Documentos (INFOTECA-E)**, 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Panorama do município de Balsas – MA. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/balsas/panorama>>. Acesso em: 29 de Dezembro de 2021.

IORIS, Emellyn Gabriela et al. **Potencial biotecnológico de casca de soja para obtenção de nanopartículas de celulose e de lignina.** 2021. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

JUHÁSZ, Ana Cristina Pinto et al. Desafios fitossanitários para a produção de soja. **Informe Agropecuário, Belo Horizonte**, v. 34, n. 276, p. 66-75, 2013.

KANG, Qian et al. Bioethanol from lignocellulosic biomass: current findings determine research priorities. **The Scientific World Journal**, v. 2014, 2014.

LAZZAROTTO, J. J.; HIRAKURI, M. H. **Evolução e Perspectivas de Desempenho Econômico Associado com a Produção de Soja nos Contextos Mundial e Brasileiro.** Londrina: Embrapa Soja, 2009. 58 p.

LAZZAROTTO, Joelsio José; HIRAKURI, Marcelo Hiroshi. Evolução e perspectiva de desempenho econômico associadas com a produção de soja nos contextos mundial e brasileiro. **Embrapa Soja-Documentos (INFOTECA-E)**, 2009.

MANRICH, A. et al. CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA E ESTRUTURAL DA CASCA DE SOJA. In: XIX SIMPÓSIO NACIONAL DE BIOPROCESSOS. X SIMPÓSIO DE HIDRÓLISE ENZIMÁTICA DE BIOMASSAS. 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, PR, Brasil. 2013. p. 01-04.

MARTINS, E. H. **Aproveitamento do Resíduo do Processamento da Soja para Produção de Painéis Aglomerados**. 2015. 33 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Goiás. Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Jataí. 2015.

MASUDA T, Goldsmith PD. World soybean production: Area harvested, yield, and longterm projections. **International Food and Agribusiness Management Review**. 2009; 12(4):143–162.

MERCI, Aline et al. Properties of microcrystalline cellulose extracted from soybean hulls by reactive extrusion. **Food Research International**, v. 73, p. 38-43, 2015.

MOURA, L. A. A. **Qualidade e Gestão Ambiental**. 3. ed. São Paulo: Juarez de Oliveira, 2002.

NETO, O. B. **Integração das Principais Tecnologias de Obtenção de etanol Através do Processamento de Celulose (2ª Geração) nas Atuais Usinas de Processamento de Cana-de-açúcar (1ª Geração)**. 2009. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Telecomunicações e Controle, São Paulo. 2009.

NETO, Wilson Pires Flauzino et al. Extraction and characterization of cellulose nanocrystals from agro-industrial residue–Soy hulls. **Industrial Crops and Products**, v. 42, p. 480-488, 2013.

NOGUEIRA, L. U. H.; SILVA LORA, E. E. e TROSSERO, M. A. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações**. Brasília: ANEEL, 2000, pp. 31-54.

OLIVEIRA T.J.P, CARDOSO C.R., ATAÍDE C.H. Fast pyrolysis of soybean hulls: Analysis of bio-oil produced in a fluidized bed reactor and of vapor obtained in analytical pyrolysis. **Journal of Thermal Analysis & Calorimetry**. 2015;120(1):427–438. DOI: 10.1007/s10973-015-4600-6

PACHECO, T. F. (2011). **Produção de Etanol: Primeira ou Segunda Geração ?**. In Embrapa-Artigo. In: Circular Técnica, 1., 2011, Brasília. Distrito Federal: Embrapa: Circular Técnica, 04, 2011.

PINTADO, M. E.; TEIXEIRA, J. A. Valorização de subprodutos da indústria alimentar: obtenção de ingredientes de valor acrescentado. **Boletim de Biotecnologia**. Portugal, v. 1, n. 1, p. (10 – 12) abril, 2015.

PRETTO, C.; MIRANDA, L. C.; SIQUEIRA, P. F.; TARDIOLI, P. W.; GIORDANO, R. C.; GIORDANO, R. L.; COSTA, C. B. B. AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA DO PROCESSO DE OBTENÇÃO DE OLIGOPEPTÍDEOS E ETANOL A PARTIR DA CASCA DA SOJA. In: XX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, n.1., 2014, Santa Catarina: UFSCAR, 2014.

PUKASIEWICZ, S. R. M. **Estudo de caso: gerenciamento de resíduos sólidos industriais em uma indústria processadora de soja.** Bauru – São Paulo, 2004.

REDDY, N. and YANG, Y. **Natural cellulose fibers from soybean straw.** Bioresource Technology 100 (2009) 3593–3598.

Restle, J.; Faturi, C.; Filho, A. C. A.; Brondani, I. L.; Silva, J. H. S.; Kuss, F., Santos, C. V. M. dos.; Ferreira, J. J. Substituição do grão de sorgo por casca de soja na dieta de novilhos terminados em confinamento. Revista Brasileira de Zootecnia. v.33, n.4, p.1009- 1015, ago. 2004.

ROCCA, A. C. C. (1993) – Resíduos Sólidos Industriais. CETESB. São Paulo- SP.

ROJAS, M. J. Produção de etanol e hidrolisado proteico da casca da soja. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia química) - Faculdade de Engenharia química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

ROSA, S.; GARCIA, J. O etanol de segunda geração: limites e oportunidades. **Revista do BNDES.** v. 32, n. 1, p. (117 – 156) dezembro, 2009.

ROWELL, R. M.; Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites, 1st ed., CRC Press: Madison, 2005.

SANTOS, Priscila Souza dos et al. Fermentação em estado sólido em resíduos agroindustriais para a produção de enzimas: uma revisão sistemática. 2018.

SCHERAIBER, M. Perfis Bioquímicos Sanguíneos e Parâmetros de Avaliação Corporal em Cães Alimentados com Dieta Fibrosa. 2014.

SCHIRMER-MICHEL, Ângela Cristina et al. Effect of oxygen transfer rates on alcohols production by *Candida guilliermondii* cultivated on soybean hull hydrolysate. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology**, v. 84, n. 2, p. 223-228, 2009.

SEHNEM, Nicole Teixeira. Obtenção e avaliação de linhagens de *Saccharomyces cerevisiae* e de *Wickerhamomyces anomalus* com potencial para aplicação na produção de etanol de segunda geração. 2013.

SILVA, Bruno. A casca de soja e sua utilização na alimentação animal. **Nutritime.** v.1, nº1, p. (59-68), agosto, 2004.

SILVA, FABRÍCIO MACHADO et al. Rotas tecnológicas empregadas no aproveitamento de resíduos da indústria da soja. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 8, n. 1, p. 326-363, 2019.

SILVA, Tamara et al. Desenvolvimento de materiais produzidos com os resíduos de madeira, soja, milho e aveia. **XI Encontro de Engenharia de produção Agroindustrial**, p. 2, 2017.

SUGAWARA, E. T. **Comparação dos Desempenhos Ambientais do B5 Etílico de Soja e de Óleo Diesel, por Meio da Avaliação do Ciclo De Vida (ACV)**. São Paulo, 2012.

SUN, J.X., SUN, X.F., ZHAO, H., SUN, R.C. **Isolation and characterization of cellulose from sugarcane bagasse**. *Polymer Degradation and Stability* 84 (2004) 331e339.

TAMANINI, C., HAULY, M.C. DE O. Resíduos agroindustriais para a produção biotecnológica de xilitol. **Semina: Ciências Agrárias**, v25, n.4, p315-330, 2004.

VARGAS, Laíse. Diagnóstico do sistema viário da Avenida Contorno, localizada na cidade de Balsas, Maranhão. 2019.

WOICIECHOWSKI, Adenise Lorenci et al. Emprego de resíduos agroindustriais em bioprocessos alimentares. **Biotecnologia de Alimentos**, v. 1, p. 143-171, 2013.

Zambom, M. A.; Santos, G. T.; Modesto, E. C.; Alcalde, C. R.; Gonçalves, G. D.; Silva, D. C. da; Silva, K. T. da; Faustino, J. O. Valor nutricional da casca do grão de soja, farelo de soja, milho moído e farelo de trigo para bovinos. *Acta Scientiarum*. Univ. Estadual de Maringá, Maringá – PR. v.23, n.4, p.937 - 943, 2001.

ZAMBOM, M.A.; SANTOS, G.T.; MODESTO, E.C. Valor nutricional da casca do grão de soja, farelo de soja e milho moído e farelo de trigo para bovinos. **Acta Scientiarum**, v.23, n.4, p.937-943, 2001.