



Fundação Educacional do Município de Assis  
Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis  
Campus "José Santilli Sobrinho"

**RAFAEL WOLKE DOS SANTOS**

**PRODUÇÃO DE PAPEL BIODEGRADÁVEL A PARTIR DO BAGAÇO DA  
CANA-DE-AÇÚCAR COM ADIÇÃO DE AMIDO, EXTRAÍDO DA CASCA DE  
BATATA**

**Assis/SP  
2021**



**Fundação Educacional do Município de Assis  
Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis  
Campus "José Santilli Sobrinho"**

**RAFAEL WOLKE DOS SANTOS**

**PRODUÇÃO DE PAPEL BIODEGRADÁVEL A PARTIR DO BAGAÇO DA  
CANA-DE-AÇÚCAR COM ADIÇÃO DE AMIDO, EXTRAÍDO DA CASCA DE  
BATATA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Licenciatura em Química e Bacharelado em Química Industrial do Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis – IMESA e a Fundação Educacional do Município de Assis – FEMA, como requisito à obtenção do Certificado de Conclusão.

**Orientando(a):** Rafael Wolke dos Santos  
**Orientador(a):** Me. Marcelo Silva Ferreira

**Assis/SP  
2021**

## FICHA CATALOGRÁFICA

S237p SANTOS, Rafael Wolke dos  
Produção de papel biodegradável a partir do bagaço de cana-de-açúcar com adição de amido, extraído da casca de batata / Rafael Wolke dos Santos. – Assis, 2021.

46p.

Trabalho de conclusão do curso (Química Industrial) -  
Fundação Educacional do Município de Assis-FEMA.

Orientador: Me. Marcelo Silva Ferreira

1.Meio ambiente 2.Papel biodegradável 3.Bagaço-  
cana-de-açúcar

CDD: 574.5  
Biblioteca da FEMA

PRODUÇÃO DE PAPEL BIODEGRADÁVEL A PARTIR DO BAGAÇO DA  
CANA-DE-AÇÚCAR COM ADIÇÃO DE AMIDO, EXTRAÍDO DA CASCA DE  
BATATA

RAFAEL WOLKE DOS SANTOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto  
Municipal de Ensino Superior de Assis, como requisito do  
Curso de Graduação, avaliado pela seguinte comissão  
examinadora:

**Orientadora:** \_\_\_\_\_  
Me. Marcelo Silva Ferreira

**Analisadora:** \_\_\_\_\_  
Dr<sup>a</sup>. Mary Leiva de Faria

Assis/SP  
2021

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida e especialmente aos meus pais Osvaldo Alves dos Santos e Alessandra Aparecida Wolke dos Santos, pelo incentivo e apoio durante essa jornada, também ao desenvolvimento deste trabalho e a mim, por total dedicação, pela busca contínua de conhecimento, com o objetivo de concluir este trabalho com sucesso.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço em primeiro lugar, à Deus por ter me dado sabedoria para superar todas as dificuldades encontradas durante o decorrer desta graduação.

À minha mãe e meu pai, por esta e por todas as minhas demais conquistas, por me apoiar e incentivar a conquistar esta e outras etapas essenciais em minha vida.

Ao meu orientador, professoro Me. Marcelo Silva Ferreira, por ter me aceito como orientando e se disponibilizado a me incentivar constantemente durante a realização desta pesquisa. Obrigado pelo apoio, paciência e a dedicação demonstrada ao decorrer da pesquisa, por meio das críticas construtivas, discussões e reflexões fundamentais que tornaram possível a conclusão desta monografia.

Em especial aos meus melhores amigos Leonardo Gabriel Donadone, Gabriel Chagas, Vinicius da Cunha Ribeiro e Diogo Lima por fazer parte dessa fase da minha vida.

"O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.

José de Alencar

(1829 -1877)

## RESUMO

Nos últimos anos houve um crescimento no desmatamento para a produção de papel, o que elevou os impactos ambientais relacionados principalmente à perda da biodiversidade, causada pela exaustão do solo, a contaminação dos recursos hídricos e também do alto consumo de água absorvida pelas árvores. Assim, a produção de materiais biodegradáveis tem sido uma ótima opção, já que possui um alto interesse econômico por parte acadêmica e comercial. Para a produção de papel se propôs um método alternativo com materiais de origem agrícola onde são os mais utilizados como matéria-prima para a fabricação de embalagens biodegradáveis, pois são de origens renováveis, de grande obtenção em termos de quantidade ao ano, e por serem mais baratos na maior parte das cidades do Brasil como o bagaço de cana-de-açúcar e a casca de batata. Deste modo, o objetivo do presente estudo foi produzir papel biodegradável a partir do bagaço da cana-de-açúcar, com adição de amido de batata, utilizando-se de procedimentos diferentes e avaliar qual resultou no papel de melhor qualidade. Realizou-se três tratamentos com o bagaço de cana de açúcar variando-se as concentrações de hidróxido de sódio e peróxido de hidrogênio, obtendo-se os constituintes sólidos (contendo principalmente celulose) e líquidos (principalmente lignina). O processo de branqueamento consiste na remoção da lignina contida no bagaço, que é um componente responsável pela sua coloração mais escura, e esse método é utilizado para que o mesmo se aproxime, em termos de coloração, aos papéis convencionais que se conhece e que são comercializados no mundo todo, como o papel sulfite. Além disso, essa remoção da lignina faz com que tenha um aumento de vida útil do papel, que é de extrema importância. Após a fabricação dos papéis, foram realizados testes de gramatura e umidade e com objetivo de realizar uma comparação, esses mesmos testes foram conduzidos para o papel sulfite convencional, sendo seus resultados adotados como referência para o presente trabalho. Com base nos resultados dos testes pode-se dizer que o papel mais resistente que foi produzido foi o que continha o amido como aditivo, visto apresentar menor umidade, maior gramatura e a coloração mais clara que os demais papéis produzidos, se aproximando com a cor do papel convencional. Fabricar papel a partir do bagaço da cana-de-açúcar é uma alternativa economicamente viável se comparado ao eucalipto, requerendo poucos processos de preparo de amostra como a separação das fibras, secagem e moagem. Além disso, a etapa de extração e branqueamento da celulose se torna mais simples e sustentável por poluir menos o meio ambiente, evitando o uso de grande quantidade de compostos químicos. As características do papel dependem do processo de extração e branqueamento do bagaço utilizado. Ademais, o papel produzido com amido proveniente da casca da batata se mostrou mais resistente, indicando que esse é um bom aditivo.

**Palavras-chave:** Meio Ambiente; Papel Biodegradável; Bagaço de cana-de-açúcar.



## ABSTRACT

In recent years, there has been an increase in deforestation for the production of paper, which has increased the environmental impacts related mainly to the loss of biodiversity, caused by soil exhaustion, the contamination of water resources and also the high consumption of water absorbed by trees. Thus, the production of biodegradable materials has been a great option, as it has a high economic interest on the academic and commercial side. For the production of paper, an alternative method was proposed with materials of agricultural origin, which are the most used as raw material for the manufacture of biodegradable packaging, as they are from renewable sources, obtainable in terms of quantity per year, and because they are cheaper in most cities in Brazil such as sugarcane bagasse and potato skin. Thus, the aim of this study was to produce biodegradable paper from sugarcane bagasse, with the addition of potato starch, using different procedures and to evaluate which resulted in the best quality paper. Three treatments were carried out with sugarcane bagasse, varying the concentrations of sodium hydroxide and hydrogen peroxide, obtaining solid (mainly cellulose) and liquid (mainly lignin) constituents. The bleaching process consists of removing the lignin contained in the bagasse, which is a component responsible for its darker color, and this method is used to bring it closer, in terms of color, to the conventional papers that are known and which are marketed worldwide, such as bond paper. Furthermore, this removal of lignin makes it have an increase in the life of the paper, which is of utmost importance. After the papers were manufactured, grammage and moisture tests were carried out and, in order to make a comparison, these same tests were carried out for conventional bond paper, and their results were adopted as a reference for the present work. Based on the test results, it can be said that the most resistant paper that was produced was the one containing starch as an additive, as it has lower moisture, higher grammage and lighter color than the other papers produced, approaching with the color of conventional paper. Making paper from sugarcane bagasse is an economically viable alternative compared to eucalyptus, requiring few sample preparation processes such as fiber separation, drying and milling. In addition, the pulp extraction and bleaching stage becomes simpler and more sustainable as it pollutes the environment less, avoiding the use of large amounts of chemical compounds. The characteristics of the paper depend on the process of extraction and bleaching of the bagasse used. Furthermore, paper produced with starch from potato skin proved to be more resistant, indicating that this is a good additive.

**Keywords:** Environment; Biodegradable paper; Sugarcane bagasse.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1:</b>	Estrutura da cadeia celulósica	21
<b>Figura 2:</b>	Estrutura da O-acetil-(4-O-metilglucurônico)-xilana	21
<b>Figura 3:</b>	Estrutura proposta para a lignina	22
<b>Figura 4:</b>	Estrutura recalcitrante do material lignocelulósico, o qual é composto por celulose, hemicelulose e lignina	23
<b>Figura 5:</b>	Estrutura molecular da amilose	24
<b>Figura 6:</b>	Estrutura molecular da amilopectina	25
<b>Figura 7:</b>	Fluxograma da produção de papel por meio do bagaço de cana-de-açúcar	28
<b>Figura 8:</b>	Primeira etapa do processo de branqueamento do experimento I	34
<b>Figura 9:</b>	Resíduo líquido do processo de branqueamento do bagaço do experimento I	38
<b>Figura 10:</b>	Constituinte sólido (bagaço I) tratado	38
<b>Figura:11</b>	a) Resíduo líquido do processo de branqueamento do bagaço do experimento II; b) Constituinte sólido (bagaço II) tratado.	39
<b>Figura 12:</b>	Resíduo líquido do processo de branqueamento do bagaço do experimento III	39
<b>Figura 13:</b>	Constituinte sólido (bagaço III) tratado.	40
<b>Figura 14:</b>	Amido extraído da casca de batata	40
<b>Figura 15:</b>	Fotografias dos papéis 1A, 2A, 3A e 3B respectivamente, provenientes do bagaço da cana-de-açúcar e da casca da batata.	41

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b>	Valores médios dos constituintes do caldo da cana-de-açúcar.....	16
<b>Tabela 2:</b>	Valores médios das substâncias presentes na cana-de-açúcar.....	16
<b>Tabela 3:</b>	Valores médios dos constituintes do bagaço de cana-de-açúcar...	19
<b>Tabela 4:</b>	Resultados dos testes de gramatura e umidade para os quatro papéis produzidos com o bagaço da cana-de-açúcar e a casca da batata. A folha de papel sulfite foi avaliada como parâmetro referencial.....	41

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2.</b>	<b>CANA-DE-AÇÚCAR</b> .....	16
2.1	CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL .....	16
<b>3.</b>	<b>BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR</b> .....	18
3.1	CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA .....	19
3.2	CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR.....	20
<b>4.</b>	<b>APLICAÇÃO DO AMIDO DA CASCA DE BATATA</b> .....	24
<b>5.</b>	<b>PAPEL</b> .....	26
5.1	PRODUÇÃO DE PAPÉIS A PARTIR DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	26
5.1.1	Processo de Fabricação de Papel a partir do Bagaço de Cana-de-Açúcar .....	27
<b>6.</b>	<b>PRODUTOS BIODEGRADÁVEIS</b> .....	29
<b>7.</b>	<b>A QUÍMICA NOS PRODUTOS BIODEGRADÁVEIS: UMA PROPOSTA DE ENSINO</b> .....	30
7.1	MATERIAIS E MÉTODOS E A APLICAÇÃO DO JOGO .....	30
7.2	PERGUNTAS DO JOGO.....	31
<b>8.</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	32
8.1	MATERIAIS.....	32
8.2	EQUIPAMENTOS.....	32
8.3	REAGENTES.....	32
8.4	MÉDODOS.....	33

<b>8.4.1</b>	<b>Preparo do bagaço .....</b>	<b>33</b>
<b>8.4.1.1</b>	<b>Experimento I (sequencial) .....</b>	<b>33</b>
<b>8.4.1.2</b>	<b>Experimento II (contínuo) .....</b>	<b>34</b>
<b>8.4.1.3</b>	<b>Experimento III .....</b>	<b>34</b>
<b>8.4.2</b>	<b>Extração do amido da casca de batata .....</b>	<b>35</b>
<b>8.4.3</b>	<b>Produção do papel .....</b>	<b>35</b>
<b>8.4.4</b>	<b>Caracterização físico-química do papel .....</b>	<b>36</b>
8.4.4.1	Gramatura.....	36
8.4.4.2	Umidade.....	36
<b>9.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>37</b>
9.1	EXTRAÇÃO E BRANQUEAMENTO DA CELULOSE .....	37
9.2	OBTENÇÃO DO AMIDO DE BATATA .....	40
9.3	FABRICAÇÃO DO PAPEL .....	40
<b>10.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>42</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>43</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é atualmente o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, sendo assim o responsável pelo fornecimento de uma das matérias-primas mais importantes do setor agroindustrial brasileiro, e também de uma diversidade de produtos, tais como: açúcar, etano, rapadura, e cachaça. Com isso, diversos subprodutos são gerados com a obtenção desses produtos e que são totalmente reutilizados pela usina, como, por exemplo, a torta de filtro e a vinhaça utilizada para a prática adubação e fertirrigação e também o bagaço, o qual é produzido em maior quantidade (VENCESLAU, 2018).

Segundo a CONAB (2017) foi estimado que só no Brasil, são gerados anualmente cerca de 12 milhões de toneladas de bagaço pelas usinas, sendo que cerca de 280 kg de bagaço por tonelada de cana moída.

O bagaço de cana-de-açúcar, por ser um dos resíduos mais gerados em maior volume no setor agroindustrial, favorece a utilização das suas fibras para a fabricação de produtos, que é uma área que vem sendo muito explorada, pois cada vez mais se torna uma matéria-prima de alta disponibilidade e de baixo custo, que além de ser renovável é também biodegradável e que chama muita atenção para a fabricação de produtos ecológicos que zelam pelo meio ambiente (DIAS; ROWE, 2013).

Nos últimos anos tornou-se muito preocupante na questão ambiental no mundo todo, o aumento significativo no desmatamento e utilização de produtos químicos para a produção de papel e que em vista desse grande problema a sociedade pressiona cada vez mais as empresas em buscar uma solução para minimizar esses impactos. Para diminuir esses problemas ambientais o assunto que atualmente mais se destaca tanto no interesse acadêmico quanto comercial no mundo todo é a produção de materiais biodegradáveis (DIAS; ROWE, 2013).

Além da cana existe também o algodão, sisal, carnaúba e fibras de coco consideradas plantas fibrosas que podem ser utilizadas para a fabricação de papel. No entanto, existem algumas condições que limitam a viabilidade e meios econômicos no processo, como a quantidade de celulose presente na planta e o procedimento de extração do polímero. Isto porque na obtenção da celulose devem ser considerados as etapas de cultivo, adição de reagentes no processo, extração da celulose, entre outros, que influenciam diretamente na produção do papel (KLOCK; ANDRADE; HERNANDEZ, 2013).

Na atual era tecnológica, existem diversos produtos ecológicos que são produzidos a partir

de biomassa vegetal. Isso acontece por serem de fontes renováveis, biodegradáveis, viáveis economicamente e contribuir diretamente na substituição dos materiais que tem origem petrolífera ou similares (DIAS; ROWE, 2013).

Portanto, atualmente o bagaço de cana é uma das matérias primas mais utilizadas dentre todos os tipos de resíduos fibrosos que existe, seja tanto pela grande quantidade que é produzido quanto em seu valor de baixo custo de geração como já citado. Mesmo sendo um composto orgânico biodegradável se não tiver um uso consciente ou até mesmo descarte correto pode causar muito malefícios ao meio ambiente. Assim, o homem tem feito um bom uso deste resíduo com a extração da celulose do bagaço, etanol de segunda geração, embalagens, bioplástico. Todos os produtos que atraem o consumidor e que favorece diretamente ou indiretamente a sustentabilidade do nosso planeta (DIAS; ROWE, 2013).

Além do bagaço de cana-de-açúcar, a casca de batata também é considerada como um resíduo industrial, onde sua geração ultrapassa de 70 a 140 mil toneladas anualmente no Brasil (WU, 2016). Na indústria processadora desse material a casca de batata contribui em maior escala orgânica e o seu descarte incorreto pode provocar muitos problemas ambientais, como a poluição das águas por causa do nitrogênio total, sólidos depositados, e demanda de oxigênio efetuada nas águas. Importante lembrar também que existe a alteração do pH da água por causa da adição de soda caustica para facilitar o descascamento da batata (HUNG et al., 2006).

Objetivo do presente estudo foi produzir papel biodegradável a partir do bagaço da cana-de-açúcar, com adição de amido de batata, utilizando-se de procedimentos diferentes e avaliar qual resultou no papel de melhor qualidade.

## 2. CANA-DE-AÇÚCAR

A cana-de-açúcar surgiu nas regiões tropicais do Sul e Sudeste da Ásia. Entretanto, diversas espécies provavelmente tiveram origem em diferentes locais pelo mundo. É sabido, por exemplo, que a *Saccharum barberi* originou-se da Índia e a *S. officinarum* na Nova Guiné (SHARPE, 1998).

De acordo com Albuquerque (2005), uma tonelada de cana-de-açúcar moída produz aproximadamente 850 litros de caldo. A fibra é todo material insolúvel em água, e o caldo é o conjunto da água e todos os sólidos solúveis, conforme apresentado na tabela 1.

Água	78 a 86 %
Sacarose	10 a 20 %
Açúcares redutores	0,1 a 2 %
Cinzas	0,3 a 0,5 %
Compostos nitrogenados	0,5 e 1,0 %

**Tabela 1:** Valores médios dos constituintes do caldo da cana-de-açúcar (In: ALBUQUERQUE, 2005, p. 10)

A tabela 2 abaixo apresenta as substância presentes na cana-de-açúcar.

Glicose	2 % a 4 %
Frutose	2 % a 4 %
Sais	3 % a 5 %
Proteínas	0,5% a 0,6 %
Amido	0,001 % a 0,05 %
Ceras e graxas	0,05 % a 0,15 %
Corantes	3 % a 5 %

**Tabela 2:** Valores médios das substâncias presentes na cana-de-açúcar (In: ALBUQUERQUE, 2005, p. 10)

### 2.1 CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL

Quem introduziu o plantio da cana-de-açúcar na América foi Cristóvão Colombo, genro de



um grande produtor de açúcar na Ilha Madeira em 1493, onde é hoje a República Dominicana. No entanto, somente em 1532 que Martim Affonso de Souza trouxe oficialmente a primeira muda de cana-de-açúcar para o Brasil, e com isso seu cultivo iniciou-se na Capitania de São Vicente, onde lá mesmo ele construiu seu primeiro engenho de açúcar e multiplicaram-se nas Capitais de Pernambuco e da Bahia no Nordeste (www.udop.com.br, 2003).

Atualmente o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, sendo que esta é de extrema importância para a economia e agronegócio brasileiro. Vários fatores levam a isso, como as condições climáticas, solos favoráveis, aumento da busca por fontes renováveis como o álcool, além de grandes quantidades de áreas cultiváveis, tornando o país líder de produção e capaz de exportar cada dia mais (CONAB, 2017).

Toda essa produção de cana-de-açúcar pode promover, por meio de uma utilização sistemática, uma sustentabilidade em cadeia produtiva e resultar em diversas mudanças positivas para o meio ambiente, podendo diminuir os impactos ecológicos que hoje é um grande problema. Além disso, não se pode esquecer que a cana-de-açúcar absorve o gás carbônico da atmosfera para gerar energia na forma de açúcar, reduzindo então os efeitos do aquecimento global (LACERDA; MARQUES, 2013).

### 3. BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR

A obtenção do bagaço vem após a moagem da cana-de-açúcar que é feita para extrair o caldo e assim produzir o açúcar e o etanol. A queima desse material sempre foi feita nas usinas sucroalcooleiras através de caldeiras para produzir bioeletricidade, e assim ser autossuficiente em energia elétrica para toda a sua unidade (VENCESLAU, 2018).

De acordo com Cardoso (2011), antigamente o bagaço obtido com o processo de moagem da cana-de-açúcar era descartado por não ser um resíduo reaproveitável, e só passou a ser considerado um subproduto após várias crises energéticas, redução de gastos dentro da empresa e com novas pesquisas mostrando seu elevado poder energético e seus benefícios.

O aproveitamento total do bagaço da cana-de-açúcar é de extrema importância para as usinas sucroalcooleiras, principalmente por apresentar tanto a redução de custo quanto diminuir o impacto ambiental (COSTA, 2010).

Várias aplicações podem ser feitas a partir da obtenção do bagaço, como a produção de etanol de segunda geração, produção de papel, ração animal, plástico, creme hidratante, esfoliantes para o corpo, entre outros. Sendo assim, sua aplicação vai muito além de produtos considerados simples até produtos mais trabalhados e sofisticados, que apresentam extrema importância para a humanidade (COSTA; BOCCHI, 2012).

Estima-se que uma tonelada de cana gera cerca de 320 kg de bagaço, e com isso, seja produzido cerca de 5 a 12 milhões de toneladas anualmente de bagaço de cana-de-açúcar, o que representa 30% do total de cana moída por ano (FERREIRA, 2017).

Para se ter uma base, na safra 18/19 o bagaço apresentava o preço de venda variando entre R\$ 60,00 a R\$100,00 por tonelada no Estado de São Paulo, tendo grande influência da localização e da colheita anual onde foi realizada. (JornalCana, 2019)

Segundo Comin (2010), o bagaço produzido nas usinas deve ser muito bem armazenado em locais apropriados, tentando evitar o máximo possível deixar o mesmo exposto ao ar livre, já que começa o seu processo de fermentação e também o apodrecimento, que resultará conseqüentemente em sua perda de valor. No entanto, esse procedimento é muito difícil de ser realizado na maioria das usinas, já que é necessária uma grande área coberta.

### 3.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA

Os principais componentes encontrados no bagaço localiza-se na parede celular da célula vegetal, onde tem-se as fibras denominadas como lignocelulósica, que são fragmentos de carboidratos estruturais que representa entre 70 a 85% do total da massa seca do bagaço (DIAS; ROWE, 2013).

O bagaço de cana-de-açúcar possui uma composição variável onde vários fatores influenciam diretamente na sua caracterização, como o tipo da cana, o solo onde se encontra, como é colhida. Os valores médios em porcentagem da composição química, da composição da fibra e valores médios das propriedades físico-química do bagaço é apresentado na tabela 3 (OLIVEIRA, 2014).

<b>Composição química média</b>	
Carbono	39,7 a 49%
Oxigênio	40 a 46%
Hidrogênio	5,5 a 7,4 %
Nitrogênio e Cinzas	0 a 0,3%
<b>Composição média da fibra</b>	
Celulose	26,6 a 54,3 %
Lignina	22,7 a 29,7 %
Hemicelulose	14,3 a 24,4 %
<b>Propriedades físico-químicas</b>	
Umidade	50%
Fibras lignocelulósicas	45%
Sólidos solúveis	2 a 3%
Impurezas minerais	2%

**Tabela 3:** Valores médios dos constituintes do bagaço de cana-de-açúcar (In: FERREIRA, 2017, p. 25)

Além destas características, outras em pequena quantidade estão presentes como as resinas, cinzas, graxas, gomas, óleos, extrativos, amidos, alcaloides, e pectinas, que representam 5% da massa total do bagaço e cada uma apresenta grande importância na sua formação (CANILHA et. al., 2007).

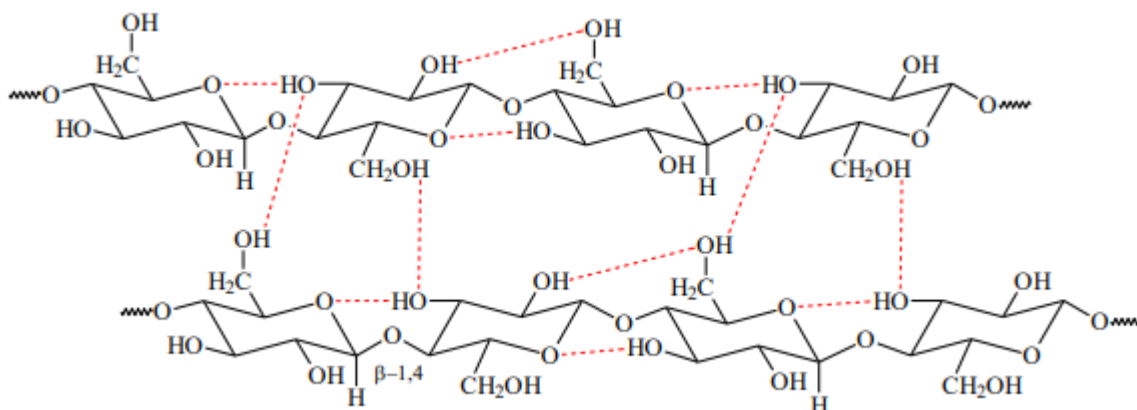
As fibras do bagaço estão diretamente ligadas por ligações de hidrogênio, o que torna o complexo fibroso mais resistente ao ataque de microrganismo, pois dificulta a ação da hidrólise dos polímeros para a formação de moléculas menores e fáceis de digerir. A celulose é a fibra mais utilizada para a fabricação de produtos, pois se destaca por apresentar em sua estrutura 10 mil monômeros de glicose ligados por ligação  $\beta$  (1 4) glicosídicas. Apresenta também feixes de microfibrilas que são divididas em regiões altamente cristalizadas e regiões amorfas, ligadas por ligações de hidrogênio e de van der Waals. Tudo isso aumenta sua resistência em relação a ataque de microrganismo e faz com que esse produto seja mais explorado como matéria-prima para fabricação de vários materiais (DIAS; ROWE, 2013).

### 3.2 CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

O bagaço de cana-de-açúcar é um material lignocelulósico constituído por três polímeros que podem ter uma composição bem variável, que são: celulose (35 - 50%), hemicelulose (20 - 35%) e lignina (10 - 25%) (SILVA, 2009).

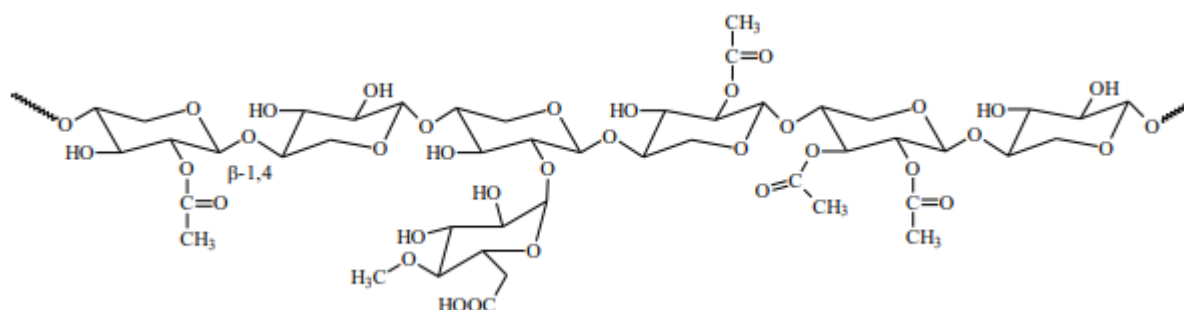
A celulose (figura 1) é um biopolímero linear de glicose, cujas unidades glicosídicas são unidas por ligações  $\beta$ -1,4, fazendo que essas moléculas de glicose tenham disposição de  $180^\circ$  entre si e torna a cadeia de celulose como uma macromolécula linear (MORAES, 2010).

Segundo Silva (2009), uma cadeia de celulose pode conter mais de 15.000 unidades de glicose. Os vários grupos hidroxilas (OH) presentes na estrutura da celulose permitem que ligações de hidrogênio inter e intramolecular (figura 1) ocorram entre as cadeias, formando regiões cristalinas, onde a mesma se tornam altamente resistente à hidrólise ácida, alcalina ou enzimática.



**Figura 1:** Estrutura da cadeia celulósica (In: MORAES, 2010, p. 22).

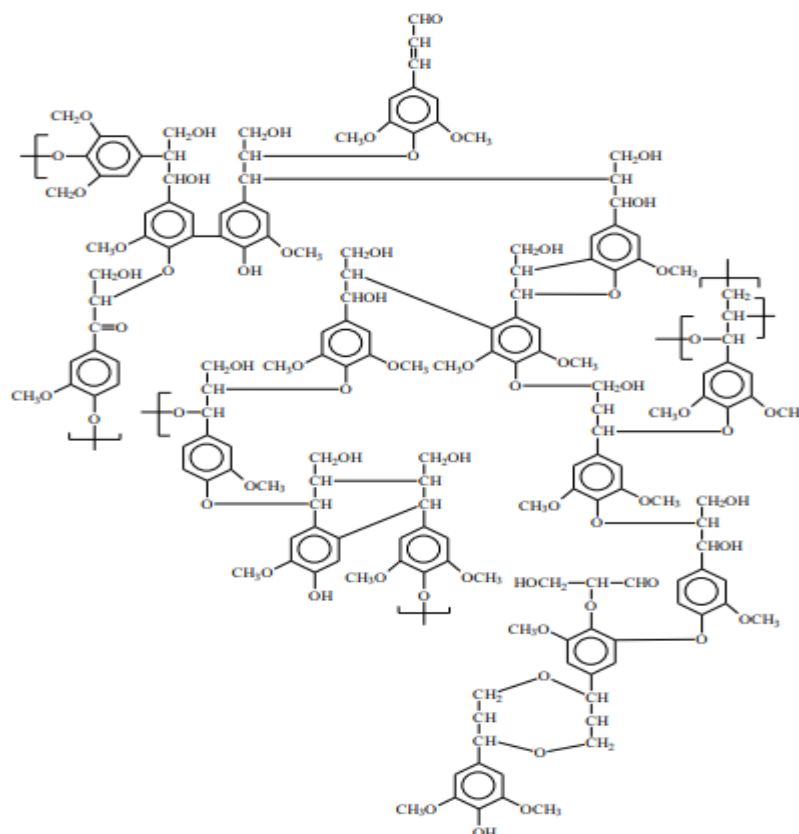
A hemicelulose é uma mistura de diferentes polissacarídeos, onde sua composição vai depender do tipo de planta e podem ser classificadas em xilanas, glucomanas e galactanas, conforme os açúcares presentes na cadeia principal do polímero. A hemicelulose do bagaço da cana consiste principalmente de xilanas (figura 2), um homopolímero unido por ligações  $\beta$ -1,4 de xilose, podendo apresentar arabinose, galactose, ácido 4-O-metilglucurônico e grupos acetilados ligados à cadeia principal (MORAES, 2010).



**Figura 2:** Estrutura da O-acetil-(4-O-metilglucurônico)-xilana (In: MORAES, 2010, p. 23).

Segundo Moraes (2010, p. 23), “a lignina (figura 3) é uma macromolécula amorfa, altamente complexa e ramificada tridimensionalmente, que resulta da condensação dos álcoois hidroxicinâmicos: *p*-cumarílico, coniferílico e sinapílico”.

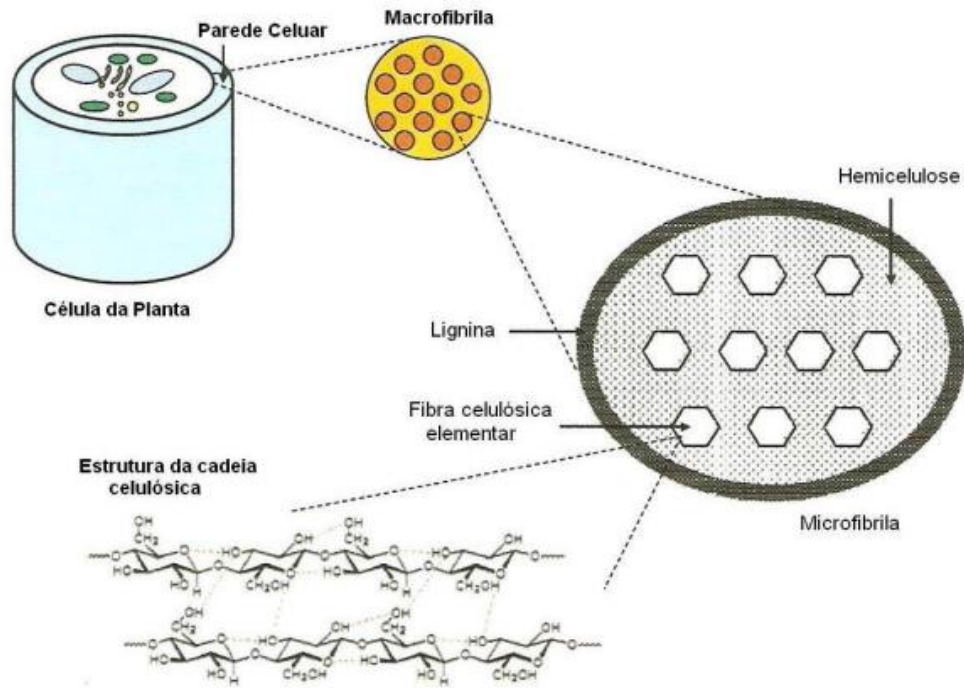
Por ser considerada uma estrutura molecular amorfa e apresentar uma combinação de vários açúcares, a hemicelulose é mais solúvel em água e apresenta maior facilidade para ser degradada que a celulose. Funciona como uma fase adesiva na estrutura do material lignocelulósico, mantendo-se intimamente ligada à celulose e à lignina (SILVA, 2009).



**Figura 3:** Estrutura proposta para a lignina (In: MORAES, 2010, p. 24).

A lignina aumenta a resistência mecânica das plantas, agindo como um agente de endurecimento e preservando a parede celular contra o ataque enzimático de microorganismos. Ao se juntar com a celulose e hemicelulose (figura 4) formam uma estrutura complexa e rígida (SILVA, 2009).

Os materiais lignocelulósicos podem conter ainda extrativos orgânicos que podem ser extraídos por solventes apolares ou polares como: ácidos graxos, ceras, alcalóides, proteínas, fenólicos, açúcares simples, pectinas, gomas, resina, terpenos, amido, glicosídeos, saponinas e óleos essenciais (MORAES, 2010).

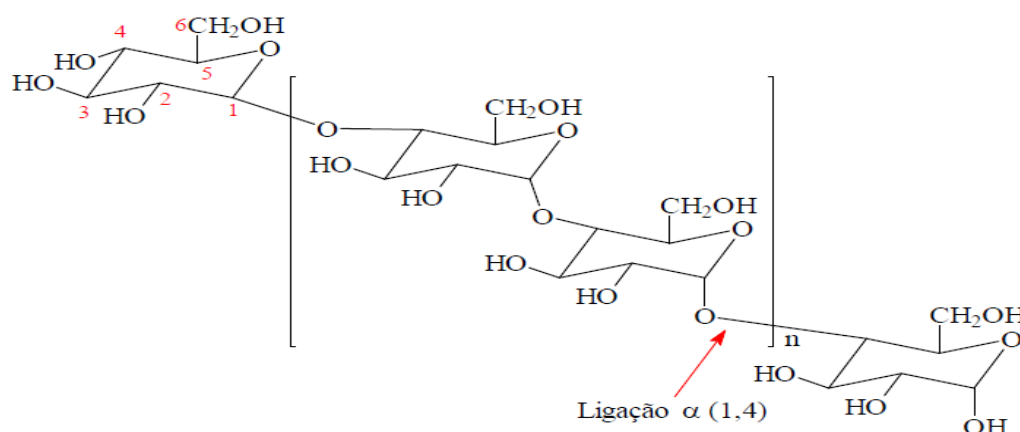


**Figura 4:** Estrutura recalcitrante do material lignocelulósico, o qual é composto por celulose, hemicelulose e lignina (In: MORAES, 2010, p. 26).

## 4. APLICAÇÃO DO AMIDO DA CASCA DE BATATA

O amido pode ser encontrado principalmente em cereais, legumes, tubérculos e raízes, e compõe a mais importante reserva de energia das plantas, sendo que sua parcela na composição na planta é de aproximadamente 60 a 75% do seu peso total. Constituído principalmente por dois componentes: amilose e amilopectina (RODRIGUES, 2020).

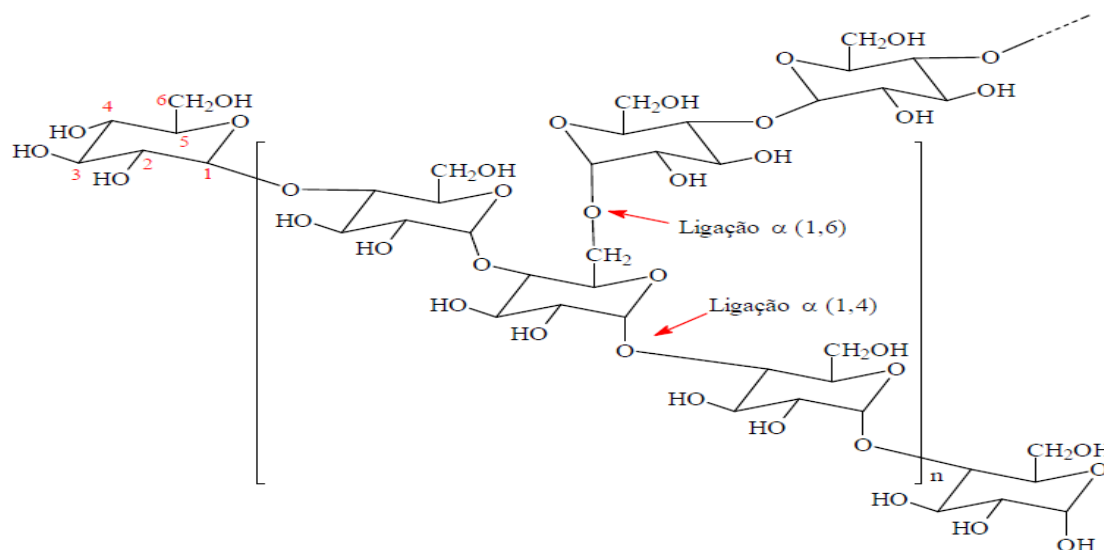
De acordo com Bressanin (2010, p. 21), “a amilose é um polissacarídeo constituído de unidades de D-glicose, ligadas entre si por ligações glicosídicas  $\alpha$ -1-4, resultando num polímero linear configurado na forma de hélice, com massa molar entre  $10^5$  a  $10^6$  g/mol”. Está presente na proporção de 20 a 30% e a estrutura molecular da amilose é representada conforme a figura 5.



**Figura 5:** Estrutura molecular da amilose (In: BRESSANIN, 2010, p21).

Menos solúvel que a amilose, a amilopectina apresenta unidades de D-glicose ligadas por ligações glicosídicas  $\alpha$ -1-4. Diferem-se da amilose pelo fato de 4 a 5% dessas unidades de D-glicose apresentarem também ligações glicosídicas  $\alpha$ -1-6 com outras unidades de D-glicose, gerando então um polímero ramificado de elevada massa molar, que pode ter uma massa molar de aproximadamente 108 g/mol. Está presente na proporção de 70 a 80% e sua estrutura é representada conforme a figura 6 (BRESSANIN, 2010).





**Figura 6:** Estrutura molecular da amilopectina (In: BRESSANIN, 2010, p22).

Para a produção de embalagens biodegradáveis, está mais relacionada com as propriedades químicas, físicas e funcionais da amilose. Em soluções, comporta-se como polímero natural e tende a se orientar paralelamente, aproximando suficiente para que se formem ligações de hidrogênio entre hidroxilas de polímeros adjacentes, reduzindo a afinidade do polímero por água e favorecendo a formação de uma matriz polimérica, e destaca-se por apresentar a formação de filmes e espumas, quando gelatinado e seco (RODRIGUES, 2020).

A aplicação de amido derivado de um subproduto agroindustrial é considerada de grande interesse ambiental e econômico para a aplicação de embalagens biodegradáveis, pois além de serem ricas em compostos e fibras bioativos, são descartadas ao final de uma cadeia produtiva, como a casca de batata que são gerados aproximadamente 300 mil toneladas no mundo todo por ano (LUCHESE et al., 2019).

O amido como aditivo já é normalmente utilizado na indústria de papel por atribuir características relacionadas às propriedades mecânicas, físicas e estéticas ao mesmo. Grande parte desse material é modificado para garantir uma maior interação com as fibras do papel e parecer com o que conhecemos hoje, já que a tração e arrebatamento do papel tem relação com o número de ligações que são formadas entre os elementos fibrosos (RAMOS, 2019).

## 5. PAPEL

A palavra papel surgiu do latim papyrus e faz referência ao papiro, que é uma planta que cresce nas margens do rio Nilo no Egito, onde era extraído suas fibras para fabricação de cordas, folhas de papiro para escrita e como um dos componentes para produzir barcos. Por volta de 6 mil anos atrás, quando a escrita se originou, as palavras eram escritas em tabuletas feitas de pedra e argila . E o papel que conhecemos hoje só foi inventado 105 anos d.C na China, por T'sai Lun (HAYASAKA; NISHIDA, s.d).

No início de 1990, o papel era produzido a partir de matas nativas, o que contribuiu para um grande processo de destruição, com isso as indústrias de papel e celulose buscaram formas para prevenir esse problema iniciando um programa de reflorestamento em terras próprias e fomentadas utilizando espécies híbridas. Hoje, toda madeira utilizada no Brasil para a produção de papel e celulose é exclusivamente proveniente de florestas plantadas de Eucalipto e Pinus (MIRANDA, 2008).

A grande preocupação sobre a questão ambiental do setor de papel e celulose, é que além de ser altamente dependente de recursos naturais como fibras vegetais, energia e água, é também um grande gerador de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, sendo considerado uma importante fonte de poluentes do ar, água e solo (MIRANDA, 2008).

Além da questão dos resíduos existe também outro alvo de crítica, que é o próprio reflorestamento com espécies exóticas. Pois, embora seja a única alternativa encontrada para diminuir o impacto sobre as florestas nativas, alguns autores acreditam que devido à formação dos maciços de monocultura, sobretudo do Eucalipto, causam a perda da biodiversidade vegetal e animal, esgotamento da água do solo por causa do enorme consumo das grandes plantações e o empobrecimento do solo (MIRANDA, 2008).

### 5.1 PRODUÇÃO DE PAPÉIS A PARTIR DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR

A GCEPAPÉIS foi a primeira empresa brasileira a produzir papel a partir do bagaço de cana-de-açúcar, localizada no estado de São Paulo. O principal objetivo da empresa é produzir um papel biodegradável com insumo gerado pelas indústrias sucroalcooleiras, pensado em evitar o descarte incorreto de resíduos e assim diminuir os impactos ambientais (LACERDA; MARQUES, 2013).

Produzir papel a partir do bagaço de cana-de-açúcar não só traz vantagens positivas em

relação ao meio ambiente, mas também para toda a sociedade em si. Já que esse bagaço seria destinado para servir de combustível por meio da sua queima, o que gera gases que afetam diretamente a atmosfera do nosso planeta como o efeito estufa, que é de extrema importância para os seres vivos, e serviria também para adubação de algumas culturas da própria usina. Já o papel produzido com bagaço possui um baixo custo para ser industrializado, possuindo uma qualidade parecida com o papel convencional, sendo porém, 100% reciclado. Já o papel a partir de eucalipto possui um custo maior de industrialização e também causa infertilidade do solo com seu plantio e desmatamento (LACERDA; MARQUES, 2013).

Portanto, o bagaço de cana-de-açúcar destinado para a produção de papel biodegradável traz uma visão mais positiva e adequada para a sua finalidade, beneficiando a sociedade com uma melhor qualidade de vida e também com seu consumo ecologicamente correto (BAGARAI, 2011).

### **5.1.1 Processo de Fabricação de Papel a partir do Bagaço de Cana-de-Açúcar**

O bagaço (figura 7) ao chegar na fábrica fica depositado em um pátio específico por um período de 18 semanas, sendo movimentado diariamente para sofrer ação microbiológica e o produto não ter reversão no processo industrial. O bagaço então sofre um processo de limpeza para a remoção de detritos como areia e pedra por meio de lavagem, e posteriormente é levado para biodigestores onde é cozido com outros insumos. Essa massa é branqueada principalmente com produtos químicos com base de oxigênio, como oxigênio para deslignificação (lignina é uma cola natural das fibras de bagaço de cana-de-açúcar, que faz o ligamento dessas fibras), peróxido de hidrogênio, ozônio e também dióxido de cloro (Amigos da Natureza, s.d).



**Figura 7:** Fluxograma da produção de papel por meio do bagaço de cana-de-açúcar (In: Amigos da Natureza, s.d, p.2)

A polpa de bagaço branqueada é agregada com outras cargas minerais como carbonato de cálcio, colantes, aditivos diretos de acordo com a formulação específica de cada tipo de papel a ser produzido e dependendo de seu uso final. A fabricação do papel é um processo contínuo e com sistemas computadorizados de medição e controles com inúmeras variáveis e características de acordo com a qualidade do papel. Um scanner de última geração controla na saída da máquina de papel todas as características solicitadas no início do processo de produção, garantindo a qualidade solicitada (Amigos da Natureza, s.d).

## 6. PRODUTOS BIODEGRADÁVEIS

Ao longo dos anos a busca por tecnologias “verdes” vem sendo de grande interesse mundial por pesquisadores que buscam desenvolver produtos que diminuam o impacto ambiental. A química “verde” tem como objetivo um ambiente mais limpo, sustentável e saudável através de processos químicos e de produtos biodegradáveis (MACHADO et. al., 2012).

Os materiais de origem agrícola são os mais utilizados como matéria-prima para a fabricação de embalagens biodegradáveis, pois são de origens renováveis, de grande obtenção em termos de quantidade ao ano, e por serem mais baratos. O amido também possui um grande destaque dentre os produtos que se apresentam nesse segmento, já que dependendo do processo envolvido, é considerado como um polímero natural que apresenta propriedades que formam filmes e espumas quando gelatinizado e seco (MACHADO et. al., 2012).

Diferente dos não biodegradáveis, os produtos biodegradáveis apresentam uma absorção mais rápida pela natureza, afetando menos o meio ambiente em si, causando desta forma menos impacto nos solos, rios, ar, fauna e flora. Apresentam em sua embalagem um selo de certificação ambiental, mostrando que os mesmos, buscam o cumprimento das medidas que respeitam a natureza. Não se percebe, mas muitos produtos que consumido no dia a dia, como produtos de limpeza e embalagens plásticas feitas com resíduos de petróleo, apresentam substâncias muito agressivas o meio ambiente e para a saúde humana (MARTINS, 2015).

Para a fabricação destes produtos são usados agentes biológicos e orgânicos para apresentar uma decomposição mais efetiva por micro-organismos, por apresentar uma absorção mais rápida e que evite a degradação ambiental. Ou seja, ocorre uma biodegradação que é um processo de transformação física e química com ação de bactérias, fungos ou outros tipos de agentes, ou fatores como umidade, temperatura, luz e pressão (COSTA; SILVA; RIBEIRO, 2013).

Portanto, fica evidente que a utilização de produtos biodegradáveis no cotidiano é de extrema importância para o planeta, pois o mesmo propicia a preservação do meio ambiente, pois sua decomposição por ser mais rápida que o normal, evita a acumulação de lixo em aterros sanitários, lixões, o que reduz a poluição da natureza (FERREIRA, 2017).

## **7. A QUÍMICA NOS PRODUTOS BIODEGRADÁVEIS: UMA PROPOSTA DE ENSINO**

O ensino de Química tem como objetivo apresentar ao aluno tanto um conhecimento científico quanto o entendimento dos processos químicos em si, devendo ser utilizado para desenvolver habilidades e as capacidades dos alunos, com relação as aplicações tecnológicas e suas implicações sociais, ambientais, políticas e econômicas. Além disso, ajuda o aluno interpretar o mundo e intervir no seu cotidiano, ou seja, para saber onde a Química está inserida no seu dia a dia, além de desenvolver melhor as capacidades de interpretação de análise de dados, argumentos, avaliação, conclusão e tomadas de decisões (FERREIRA, 2017).

Segundo Santana e Rezende (2008), os jogos por serem apresentados como uma ação divertida e interessante por parte dos alunos, são considerados assim, elementos que facilitam e motivam no processo de ensino e aprendizagem, mostrando que o mesmo não funciona apenas para facilitar a memorização do assunto que foi previamente sugerido a ele, mas sim para buscar de modo mais fácil e rápido o raciocínio, interação, reflexão e construção do seu conhecimento, apresentando assim, duas funções distintas, porem muito educativas.

Portanto, o principal objetivo deste jogo é despertar a atenção e ajudar os alunos de um modo divertido e educativo, a entender melhor a disciplina de química e também a perceber sua aplicação e envolvimento no cotidiano e sua presença em determinados produtos.

### **7.1 MATERIAIS E MÉTODOS E A APLICAÇÃO DO JOGO**

Os materiais que serão usados neste jogo será o próprio papel produzido a partir do bagaço da cana-de-açúcar e duas canetas.

Portanto, serão confeccionadas dois papéis onde será entregue para dois grupos diferentes que terão que responder à caneta. Os grupos que apresentarem as melhores respostas com o menor tempo receberá uma recompensa no final.

A aplicação do jogo poderá ser feita em um laboratório de informática devido a dificuldades de algumas perguntas e também para o melhor desenvolvimento em grupo.

## 7.2 PERGUNTAS DO JOGO

- 1- De onde vem o açúcar?
- 2- De onde vem o álcool?
- 3- O que é sacarose?
- 4- Qual é a fórmula da sacarose?
- 5- O que é amido?
- 6- Qual é a fórmula do álcool?
- 7- Quais elementos que formam a sacarose?
- 8- Quais elementos que formam o álcool?
- 9- O que é celulose?
- 10- Quais elementos que formam a celulose?
- 11- Qual a fórmula da celulose?

## 8. MATERIAIS E MÉTODOS

### 8.1 MATERIAIS

- O Bagaço utilizado para a produção dos papéis biodegradáveis, será obtido em uma usina sucroalcooleira da região de Assis–SP, os demais componentes utilizados como a casca da batata serão adquiridos no comércio da cidade de Quatá–SP.
- Peneira
- Espátula
- Béquer
- Proveta

### 8.2 EQUIPAMENTOS

- Liquidificador
- Balança analítica (Gehaka, BG 1000)
- Agitador magnético (Tecnal, TE - 085)
- Estufa (Tecnal - 397/4)

### 8.3 REAGENTES

- Água Deionizada
- Solução de Hidróxido de Sódio 0,5 mol L<sup>-1</sup>
- Solução de Hidróxido de Sódio 2,0 mol L<sup>-1</sup>
- Solução de Hidróxido de Sódio 5%
- Solução de Peróxido de hidrogênio 1%
- Solução de Peróxido de hidrogênio 35%



## 8.4 MÉTODOS

A produção dos papéis biodegradáveis a partir do bagaço de cana-de-açúcar seguiu as metodologias realizadas e testadas por Lacerda e Marques (2013); e por Ramos (2019). Foram testadas três metodologias e para um melhor entendimento do trabalho foram nomeados como experimento I, II e III.

### 8.4.1 Preparo do bagaço

O bagaço passou por um pré-tratamento, no qual foi triturado por um triturador de grãos com o objetivo de diminuição do tamanho das fibras, em seguida foram secas em estufa a 60 °C por 2 horas e realizado o processo de separação das fibras por um sistema de peneiramento com uma granulometria de 10 mesh.

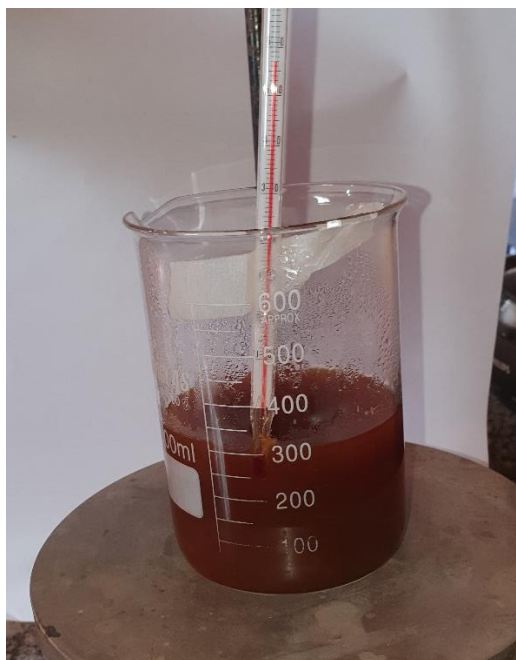
#### 8.4.1.1 Experimento I (sequencial)

Em um béquer de 600 mL foi pesado 10 g de bagaço (I.0), em seguida adicionou-se 300 mL de NaOH 0,5 M e foi colocado sobre uma chapa aquecedora na temperatura de 60 °C ( $\pm 2$  °C) e agitação magnética simultânea (figura 8). Após um período de 2 horas nessas condições a agitação foi cessada e obteve um líquido e o bagaço tratado, onde foi filtrado e obtido o bagaço (I.1).

Novamente foi adicionado ao bagaço 300 mL de NaOH 0,5 M + 6 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 1% com agitação constante em uma chapa aquecedora na mesma temperatura e tempo, onde foi filtrado e obtido o bagaço (I.2).

Foi feito o mesmo procedimento duas vezes, porém sendo adicionado 6 mL e depois 9 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 1%, obtendo assim o bagaço (I.3) e (I.4) após ambos serem filtrados.

Por fim, no bagaço (I.4) foi adicionado 200 mL de NaOH 2,0 M sobre a mesma agitação e temperatura por 2 horas, obtendo após a filtração o bagaço (I.5) que foi colocado em uma estufa a 60 °C por 3 horas, adquirindo o bagaço do experimento (I).



**Figura 8:** Primeira etapa do processo de branqueamento do experimento I

#### 8.4.1.2 Experimento II (contínuo)

Em um béquer de 600 mL foi pesado 20 g de bagaço (II.0), em seguida adicionou-se 400 mL de NaOH 0,5 M e foi colocado sobre uma chapa aquecedora na temperatura de 60 °C ( $\pm 2$  °C) e agitação magnética simultânea. Após um período de 2 horas nessas condições a agitação foi cessada e obteve um líquido mais o bagaço tratado, onde foi filtrado e obtido o bagaço (II.1).

Por fim, foi adicionado ao bagaço 400 mL de NaOH 0,5 M + 25 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 1% com agitação constante de 6 horas em uma chapa aquecedora na mesma temperatura, e após ser filtrado foi feita a secagem em uma estufa a 60 °C por 3 horas, e obtido o bagaço do experimento (II).

#### 8.4.1.3 Experimento III

Em um béquer de 600 mL foi pesado 10 g de bagaço (III.0) e no mesmo adicionado 200 mL de NaOH 5% e 86 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 35% e colocado por agitação constante em uma chapa aquecedora na temperatura de 60 °C ( $\pm 2$  °C) por 1 hora e 30 minutos. Após esse período

a agitação foi cessada e obteve um líquido mais o bagaço tratado, onde foi filtrado e obtido o bagaço (III.1).

Foi feito o mesmo procedimento três vezes obtendo assim o bagaço (III.2), (III.3) e (III.4) após os mesmos serem filtrados.

Por fim, lavou-se o bagaço com água deionizada e após sua filtragem foi colocado para secar em uma estufa de 60 °C por 3 horas, obtendo o bagaço do experimento (III).

#### **8.4.2 Extração do amido da casca de batata**

Para a extração do amido das cascas das batatas, foi usada a metodologia descrita por Ramos (2019).

Primeiramente, 200 gramas de cascas foram lavadas com o objetivo de remover as impurezas presentes nas superficiais que poderiam atrapalhar no processo. Em seguida, com auxílio de um liquidificador foi feita a trituração com 600 mL de água gelada, obtendo assim o extrato sólido que foi descartado e o líquido presente transferido para 2 béqueres com capacidade de 1 litro e mantido em repouso por um período de 48 horas para a decantação do amido presente. Em seguida foi observado um líquido suspenso onde foi descartado e o sólido decantado no fundo dos béqueres foi recolhido e transferido para outro recipiente. Por fim, a amostra passou por um processo de secagem em uma estufa na temperatura de 40 °C por 2 horas.

#### **8.4.3 Produção do papel**

Para a produção do papel, foi adicionado em um béquer 4 g de bagaço do experimento I e 1,33 g de amido, posteriormente adicionou-se 50 mL de água deionizada aquecida em uma temperatura de aproximadamente 60 °C, e o mesmo passou em um processo manual de homogeneização com objetivo de se formar uma solução pastosa.

Após a homogeneização, a mistura resultante foi transferida e distribuída uniformemente para um molde de tecido com objetivo de produzir um papel com uma espessura mais fina possível e deixou-se secar por completo em temperatura ambiente.

O mesmo procedimento foi realizado com os bagaços obtidos nos experimentos II e III, com objetivo de avaliar qual deles terá um melhor resultado final para a produção de papel, tanto no aspecto econômico quanto ambiental.

#### **8.4.4 Caracterização físico-química do papel**

As metodologias dos ensaios de gramatura, umidade foram adaptadas de Ramos (2019) e são apresentadas a seguir.

##### **8.4.4.1 Gramatura**

A realização do ensaio de gramatura foi feita cortando-se uma medida de área pré-determinada do papel selecionado e, posteriormente pesando-a em balança analítica. O corte da área estabelecido foi de 1 cm<sup>2</sup> e o resultado final expresso em g/m<sup>2</sup>.

##### **8.4.4.2 Umidade**

Para obter o teor de umidade no papel produzido, pesou-se uma massa de aproximadamente 0,0500 g de cada um dos papéis, em seguida as amostras foram colocadas em estufa à 85 °C por um período de 30 minutos para remoção da água presente no material. Após esse período, as amostras foram retiradas da estufa e pesadas novamente. Para o cálculo do teor de umidade, subtrai-se a massa da amostra úmida em relação a amostra seca. A diferença corresponde a massa de umidade presente no papel, que foi convertida em porcentagem para facilitar a interpretação dos dados.

## 9. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 9.1 EXTRAÇÃO E BRANQUEAMENTO DA CELULOSE

Nos três tratamentos realizados foram separados os constituintes sólidos (contendo principalmente celulose) e líquidos (principalmente lignina) do bagaço da cana-de-açúcar. O processo de branqueamento consiste na remoção da lignina contida no bagaço, que é um componente responsável pela sua coloração mais escura, e esse método é utilizado para que o mesmo se aproxime, em termos de coloração, aos papéis convencionais que se conhece e que são comercializados no mundo todo, como o papel sulfite. Além disso, essa remoção da lignina faz com que tenha um aumento de vida útil do papel, que é de extrema importância (Ramos, 2019).

Nos tratamentos realizados, o hidróxido de sódio atuou como uma base forte e sua função foi quebrar o complexo lignocelulósico, obtendo assim seus constituintes e também ajudar na oxidação da lignina, pois o peróxido de hidrogênio, que é muito conhecido e usado em grande escala para o branqueamento da celulose nas indústrias processadoras desse material, só reage como oxidante se estiver disperso numa solução básica (LACERDA; MARQUES, 2013).

Após estar em meio alcalino, ocorre a liberação do ânion peridroxila ( $\text{OOH}^-$ ), que é um oxidante poderoso e seletivo. E após ocorrer a reação com os componentes do bagaço de cana-de-açúcar, a lignina é removida sem danificar a estrutura da celulose, sendo esse processo denominado de deslignificação (Ramos, 2019).

Entre os experimentos utilizados, o método sequequencial do experimero III foi o mais eficiente para a remoção da lignina, oferecendo 1,9476 gramas de celulose apartir de 10 gramas de bagaço, com um rendimento de 19,48%.

A figura 9 ilustra respectivamente os líquidos obtidos em todas as etapas do experimento I, mostrando visualmente que o processo de branqueamento teve uma ação significativa, sendo que no início do tratamento foi possível observar o aparecimento de uma coloração mais escura e intensa com posterior diminuição na coloração do líquido, o qual se tornou mais claro, a exceção no último por utilizar uma concentração maior de hidróxido de sódio para delignificação. A figura 10 mostra o constituinte sólido (contendo principalmente celulose). Obteve-se 2,3529 gramas desse constituinte sólido, com um rendimento de 23,53%



**Figura 9:** Resíduo líquido do processo de branqueamento do bagaço do experimento I



**Figura 10:** Constituinte sólido (bagaço I) tratado.

A figura 11 (a) ilustra o resíduo líquido do processo de branqueamento do bagaço do experimento II onde é observado no primeiro recipiente uma coloração mais escura do que na segunda, ficando evidente a ação do branqueamento do bagaço. A figura 11 (b) mostra o constituinte sólido (contendo principalmente celulose) mais escuro que o constituinte anterior, mostrando que o método não foi mais eficiente que o experimento I na remoção da lignina. Obteve-se 10,7465 gramas do constituinte sólido, com um rendimento de 53,73%.



**Figura 11:** a) Resíduo líquido do processo de branqueamento do bagaço do experimento II; b) Constituinte sólido (bagaço II) tratado.

A figura 12 (a) ilustra o resíduo líquido do processo de branqueamento do bagaço do experimento III, onde é observado no último recipiente uma coloração mais clara do que nos outros experimentos, ficando evidente uma ação mais efetiva do branqueamento do bagaço. A figura 13 mostra o constituinte sólido (contendo principalmente celulose), sendo visível que este foi o melhor método de extração da lignina, em decorrência da adição de uma quantidade maior de peróxido de hidrogênio.



**Figura 12:** Resíduo líquido do processo de branqueamento do bagaço do experimento III



**Figura 13:** Constituinte sólido (bagaço III) tratado.

## 9.2 OBTENÇÃO DO AMIDO DE BATATA

A partir de 200 gramas de casca de batata, obteve-se 1,33 gramas de amido (Figura 14), que posteriormente foi adicionado ao constituinte sólido mais claro obtido.

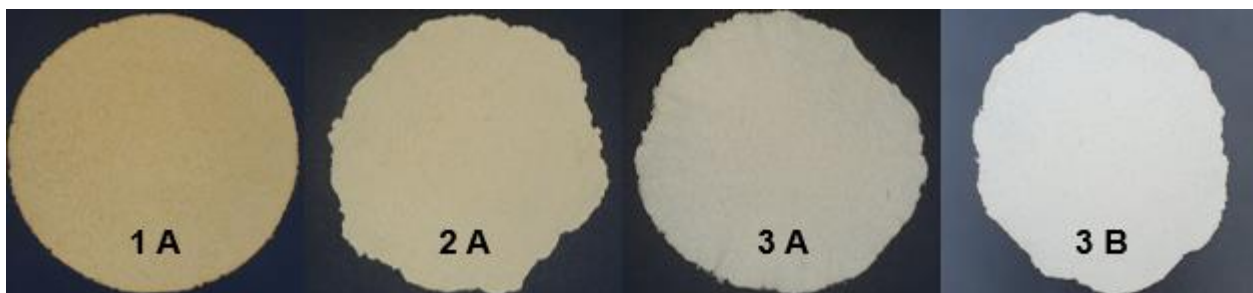


**Figura 14:** Amido extraído da casca de batata

## 9.3 FABRICAÇÃO DO PAPEL

Quatro diferentes papéis de composições específicas foram produzidos e seus respectivos desempenhos avaliados (figura 15). Para facilitar a apresentação dos resultados, as amostras foram legendadas do seguinte modo: as amostras 1 foram feitas com constituinte sólido do bagaço II, 2 com constituinte sólido do bagaço I e 3 do constituinte sólido do bagaço III; já as amostras com letra A são isentas da presença de amido e a letra B referem-se à amostra com presença de amido.





**Figura 15:** Fotografias dos papéis 1A, 2A, 3A e 3B respectivamente, provenientes do bagaço da cana-de-açúcar e da casca da batata.

Após a fabricação dos papéis, foram realizados testes de gramatura e umidade com os mesmos e os resultados são apresentados na Tabela 4. Com objetivo de realizar uma comparação, esses mesmos testes foram conduzidos para o papel sulfite convencional, sendo seus resultados adotados como referência para o presente trabalho.

<b>Amostra</b>	<b>Gramatura (g/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Umidade (%)</b>
1A	403	8,27
2A	237	2,73
3A	207	4,22
3B	288	1,55
Papel Sulfite	77	4,4

**Tabela 4:** Resultados dos testes de gramatura e umidade para os quatro papéis produzidos com o bagaço da cana-de-açúcar e a casca da batata. A folha de papel sulfite foi avaliada como parâmetro referencial.

Observou-se que a gramatura dos papéis produzidos foi maior que a do papel sulfite, porém a umidade da maioria dos papéis se mostrou menor, a exceção do papel 1A. Segundo Ramos (2019), quanto maior a gramatura e menor a umidade, melhor a resistência do papel. Com base em tais informações pode-se dizer que o papel mais resistente que se produziu foi o que continha o amido como aditivo, visto apresentar menor umidade e maior gramatura. Além disso, o papel que continha amido como aditivo apresentou uma coloração mais clara que os demais papéis produzidos.

## 10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Fabricar papel a partir do bagaço da cana-de-açúcar é uma alternativa economicamente viável se comparado ao eucalipto, por exemplo, onde demanda processos prévios antes da madeira ser efetivamente utilizada e por ser um material de manuseio simples, requerendo poucos processos de preparo de amostra como a separação das fibras, secagem e moagem. Além disso, a etapa de extração e branqueamento da celulose se torna mais simples e sustentável por poluir menos o meio ambiente, evitando o uso de grande quantidade de compostos químicos que são normalmente utilizados nas indústrias papeleiras.

Também foi possível concluir que o papel produzido com amido proveniente da casca da batata se mostrou melhor, indicando que esse é um bom aditivo. A presente pesquisa propôs um método alternativo para a produção de papel com o uso de rejeitos prontamente disponíveis na maior parte das cidades do Brasil. Acredita-se que ideias sustentáveis e mais amigáveis ao meio ambiente estejam cada vez mais em expansão, contribuindo para a qualidade de vida e prosperidade do planeta.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Ademir Gonçalves. **Avaliação exergética dos efluentes do processo industrial do álcool**. 2005. 63p. Dissertação (Mestrado) – Hidráulica e Saneamento - Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 2005

Amigos da Natureza. **Papel de Bagaço de cana Amigo da Natureza**. s.d. Disponível em: [https://s3-us-west-2.amazonaws.com/frontend-files/datasheet/455/A\\_sustentabilidade\\_do\\_papel\\_ecoquality\\_Amigo\\_da\\_Natureza.pdf](https://s3-us-west-2.amazonaws.com/frontend-files/datasheet/455/A_sustentabilidade_do_papel_ecoquality_Amigo_da_Natureza.pdf). Acesso em: 23 de ago. de 2021.

BAGARAI. **EMAE utiliza papel produzido com a fibra do bagaço de cana**. 2011. Disponível em: <<http://www.ideaonline.com.br/clipping/ema-utiliza-papelproduzido-com-a-fibra-do-bagaco-de-cana.html>>. Acesso em: 02 de set. de 2020.

BRESSANIN, Helton Rodrigo Citá. **Bioplásticos a partir de amido**. 2010. 56 p. Trabalho de conclusão de curso (Química Industrial) – Fundação Educacional do Município de Assis – FEMA/Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis – IMESA, 2010.

CANILHA, Larissa; CARVALHO, W.; ROCHA, G.J.M.; ALMEIDA E SILVA, J.B; GIULIETTI, M. **Caracterização do bagaço de cana-de-açúcar in natura, extraído com etanol ou ciclohexano/etanol**. Bioquímica e Biotecnologia. Associação Brasileira de Química – ABQ. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/cbq/2007/trabalhos/11/11-570-713.htm>>. Acesso em: 27 de ago. de 2020.

CARDOSO, Tiago Fiori. **Cogeração de energia através do bagaço de cana-de-açúcar: revisão de literatura**. 2011. 22 p. Dissertação (Mestrado em Gestão de Produção Sucoenergética) – Setor de Ciências Agrárias – Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, Sertãozinho, 2011.

COMIN, Márcio Rogério. **Geração de energia elétrica a partir do bagaço da cana de açúcar**. 2010. 48 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de São Carlos – UFSCAR, São Paulo, Araras, 2010.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. 4. ed. Brasília. 2017.

COSTA, Elaine Martins da; SILVA, Helena França; RIBEIRO, Paula Rose de Almeida. Matéria orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas. **Revista Enciclopédia Biosfera**, v. 9, nº.17, dez, 2013. p. 1842 - 1860.

COSTA, Priscilla Rodrigues de Oliveira; DUARTE, Fábio Soares. A utilização da biomassa da cana-de-açúcar como fonte de energia renovável aplicada no setor sucroalcooleiro. **Revista de Administração da Fatea**, v.3, nº.3, jan/dez, 2010, p. 2-107.

COSTA, Wendell Lucas Silveira da; BOCCHI, Maria Lígia de Melo. Aplicações do bagaço da cana-de-açúcar utilizadas na atualidade. **Revista Ciência & Tecnologia**, v. 4, nº. 1, mar, 2012, p. 22-34.

DIAS, Brenda Pessoa; ROWE, Rosa Valéria Abreu. Bagaço de cana de açúcar: matéria prima para fabricação de materiais biodegradáveis. **Bioenergia em revista: diálogo**, v. 3, nº. 1, jan/jun, 2013, p. 73-87

FERREIRA, Rafaela Thomaz. **Avaliação da fertilidade do solo antes e após o cultivo das alfaces mimosas (*lactuca sativa*) semeadas em tubetes biodegradáveis produzidos com o bagaço da cana-de-açúcar**. 2017. 59 p. Trabalho de conclusão de curso (Química Industrial) – Fundação Educacional do Município de Assis – FEMA/Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis – IMESA, 2017.

HAYASAKA, Yoshinori; NISHIDA, Silvia Mitiko. **A origem do Papel**. Universidade Estadual Paulista (UNESP); Museu Escola do IB. Disponível em: <[https://www2.ibb.unesp.br/Museu\\_Escola/Ensino\\_Fundamental/Origami/Documentos/indice\\_origami\\_papel.htm](https://www2.ibb.unesp.br/Museu_Escola/Ensino_Fundamental/Origami/Documentos/indice_origami_papel.htm)>. Acesso em: 02 de set. de 2020.

HUNG, Yung-Tse; LO, Howard H; AWAD, Adel; SALMAN, Hana. **Potato Wastewater Treatment**. Cleveland State University, Tishreen University. 2006. Disponível em <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1898957/mod\\_folder/content/0/material%20para%20a%20elabora%C3%A7%C3%A3o%20de%20projetos/Potato%20Wastewater%20Treatment.pdf?forcedownload=1](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1898957/mod_folder/content/0/material%20para%20a%20elabora%C3%A7%C3%A3o%20de%20projetos/Potato%20Wastewater%20Treatment.pdf?forcedownload=1)> Acesso em: 21 de ago. de 2020.

JornalCana. **Quanto custa o bagaço?**. Ribeirânia; Ribeirão Preto, São Paulo. 2019. Disponível em: <<https://jornalcana.com.br/quanto-custa-o-bagaco-confira-aqui/>>. Acesso em: 26 de ago. de 2020.

KLOCK, Umberto; ANDRADE, Alan Sulfato; HERNANDEZ, José Anzaldo. **Polpa e papel**. Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/polpaepapel/manualpolpa2013.pdf>>. Acesso em: 21 de ago. de 2020.

LACERDA, Alex Sandro Milagres; MARQUES, Josimar dos Reis. **Produção de papel a partir do bagaço da cana-de-açúcar**. 2013. 30p. Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, Minas Gerais, 2013.

LUCHESE, Claudia Leites; PAVONI, Julia Menegotto Frick; SPADA, Jordana Corralo; TESSARO, Isabel Cristina. Evaluation of the influence of different agro-industrial residues incorporation in cassava starch-based films. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, vol. 2, 2019, p. 802-812.

MACHADO, Bruna Aparecida Souza; REIS, João Henrique de Oliveira; SOUZA, Carolina Oliveira; SANTANA, Maria Cecília Castelo Branco; DRUZIAN, Janice Izabel. Tendências tecnológicas de embalagens biodegradáveis através da prospecção em documentos de patentes. In. **Congresso Brasileiro de Prospecção Tecnológica**. nº. 3, 2012, Salvador, Brasil, v. 5, janeiro, 2012, p.132-140.

MARTINS, Marcio. **Produtos biodegradáveis**. Mundo Sustentável, 2015. Disponível em:<<https://welcomemundosustentavel.wordpress.com/produtos-biodegradaveis/>>. Acesso em: 03 set. 2020.

MIRANDA, Roselane Estela dos Santos de. **Impactos ambientais decorrentes dos resíduos gerados na produção de papel e celulose**. 2008. 37p. Monografia (Curso de Engenharia Florestal) – Instituto de Florestas – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

MORAES, guilherme da silveira de. **Otimização dos parâmetros pressão e concentração de hidróxido de sódio, empregados no pré-tratamento do bagaço de cana-de-açúcar, utilizando planejamento fatorial**. 2010. 70p. Trabalho de conclusão de curso (Química Industrial) – Fundação Educacional do Município de Assis – FEMA/Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis – IMESA, 2010.

OLIVEIRA, Stella Fernanda de Aquino. **Avaliação energética da biomassa do bagaço de cana-de-açúcar em diferentes indústrias sucroenergéticas**. 2014. 81 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Setor de Engenharia Aeronáutica e Mecânica – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São Paulo, São José dos Campos, 2014.

RAMOS, Juliano Carvalho. **Fabricação de papel utilizando celulose extraído do bagaço de cana-de-açúcar com adição de amido, extraído da casca de batata, como aditivo**. 2019. 12p. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Santa Catarina, Jaraguá do Sul. 2019.

RODRIGUES, Nathalie Hamine Panzarini. **Embalagem de espuma à base de amido desenvolvida a partir de subproduto da industrialização da batata (*solanum tuberosum* L.)**. 2020. 100p. Tese (Engenharia de produção). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, Ponta Grossa. 2020.

SANTANA, Eliana Moraes de; REZENDE, Daisy de Brito. **O uso de jogos no ensino e aprendizagem de química: uma visão dos alunos do 9º ano do ensino fundamental.** XIV Encontro Nacional de Ensino de Química (XIV ENEQ), Curitiba, Paraná, julho, 2008, p.10.

SHARPE, Peter. **Sugar Cane: Past and Present.** Southern Illinois University Carbondale. 1998. Disponível em: <[https://opensiuc.lib.siu.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.com.br/&https\\_redir=1&article=1388&context=eb&sei](https://opensiuc.lib.siu.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.com.br/&https_redir=1&article=1388&context=eb&sei)>. Acesso em: 26 de ago. de 2020.

SILVA, Vinícius Fernandes Nunes. **Estudos de pré-tratamentos e sacarificação enzimática de resíduos agroindustriais como etapas no processo de obtenção de etanol celulósico.** 2009. 116p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de Lorena – Universidade de São Paulo, Lorena, 2009.

União Nacional da Bioenergia. **A História da Cana-de-açúcar - Da Antiguidade aos Dias Atuais.** Araçatuba. Disponível em: <<https://www.udop.com.br/noticia/2003/01/01/a-historia-da-cana-de-acucar-da-antiguidade-aos-dias-atuais.html>>. Acesso em: 27 de Ago. de 2020.

VENCESLAU, Hayssa Michely Barbosa de Barros. **Diversificação das aplicações do bagaço de cana de açúcar.** 2018. 41p. Trabalho de conclusão de curso (Tecnologia em produção Sucroalcooleira) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

WU, Di. **Recycle technology for potato peel waste processing: A review.** School of Engineering Science, Xichang college. 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878029616000153>>. Acesso em: 21 de ago. de 2020.