



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

LUANA SILVA DE OLIVEIRA

**QUANTIFICAÇÃO DA LIGNINA SOLÚVEL OBTIDA A PARTIR DE
TRATAMENTOS HIDROTERMICOS DE PALHA DA CANA-DE-
AÇÚCAR**

**Assis/SP
2017**



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

LUANA SILVA DE OLIVEIRA

**QUANTIFICAÇÃO DA LIGNINA SOLÚVEL OBTIDA A PARTIR DE
TRATAMENTOS HIDROTÉRMICOS DE PALHA DA CANA-DE
AÇÚCAR**

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

Orientanda: Luana Silva de Oliveira
Orientadora: Dr^a. Patrícia Cavani Martins de Mello

**Assis/SP
2017**

FICHA CATALOGRÁFICA

OLIVEIRA, Luana Silva de.

Quantificação da lignina solúvel obtida a partir de tratamentos hidrotérmicos de palha da cana-de-açúcar / Luana Silva de Oliveira. Fundação Educacional do Município de Assis –FEMA – Assis, 2017.

55p.

1. Etanol Celulósico. 2. Hidrólise ácida 3. Palha da cana-de-açúcar.

CDD: 660
Biblioteca da FEMA

QUANTIFICAÇÃO DA LIGNINA SOLÚVEL OBTIDA A PARTIR DE TRATAMENTOS HIDROTÉRMICOS DE PALHA DA CANA-DE-AÇÚCAR

LUANA SILVA DE OLIVEIRA

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: Dr^a. Patrícia Cavani Martins de Mello

Examinadora: Dr^a. Mary Leiva de Faria

Assis/SP
2017

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha mãe Nilva e à minha irmã Larissa por confiarem em mim e pelo apoio durante esta trajetória e conquista. Sem a confiança, ajuda e compreensão delas, nada disso seria possível hoje.

Ao meu pai Cristóvão (in memoriam), que infelizmente não pode estar presente neste momento feliz da minha vida, mas que eu não poderia deixar de dedicar a ele, pois se hoje estou aqui, devo muito a ele e aos seus ensinamentos e valores passados, em que estou realizando um sonho nosso. Obrigada por tudo. Saudades eterna.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS, que iluminou o meu caminho durante esta caminhada e me deu forças para superar os obstáculos.

A ELE toda honra e toda glória.

À Nossa Senhora Aparecida, pela sua intercessão Divina.

Agradeço à minha família, pelo amor, incentivo e apoio, por confiarem em mim e sempre me mostrar que por maior que seja a dificuldade, você é capaz de vencer, basta confiar e acreditar.

Agradeço à minha professora orientadora Dr^a. Patrícia Cavani, pela dedicação, paciência e incentivo, ajudando-me bastante a concluir este trabalho. Agradeço a todos os professores por me proporcionarem o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional.

Ao pessoal do CEPECI, em especial aos professores Sergio e Aleicho, pela ajuda e atenção no desenvolvimento das análises.

À Instituição pelo ambiente amigável e agradável que proporciona.

E a todos que diretamente ou indiretamente fizeram parte da minha formação, muito obrigada.

“Ama-se mais o que se conquista
com esforço”

Benjamin Disraeli

RESUMO

O etanol de segunda geração é considerado um biocombustível com grande potencial para substituir gradativamente os combustíveis fósseis. É produzido a partir de materiais lignocelulósicos, como o bagaço da cana de açúcar, sub produto da indústria sucroalcooleira. A resistência da parede celular de ser digerida em açúcares fermentáveis é chamada recalcitrância, e é considerada o principal obstáculo para a produção de biocombustíveis celulósicos a custo competitivo no mercado. Essa característica se dá, principalmente, pela presença da lignina que limita o acesso de enzimas hidrolíticas na quebra da celulose e hemicelulose. Visto que o processo de hidrólise se constitui como uma etapa fundamental na obtenção de açúcares fermentescíveis, este trabalho teve o objetivo de quantificar a lignina solúvel obtida a partir de tratamentos hidrotérmicos de palha da cana de açúcar, avaliando assim a eficiência do método de hidrólise empregado na desmontagem da parede celular vegetal. A palha da cana de açúcar, coletada na região de Assis/SP, foi triturada, seca e peneirada (40 mesh) e determinou-se os teores de umidade e cinzas por gravimetria. A lignina solúvel foi quantificada após hidrólise ácida (118°C e 1,5 atm por 1 hora) a partir de 0,3g de amostra, por espectroscopia UV em 215 nm e 280 nm. O teor de umidade encontrado foi de 13,89% e o teor de cinzas foi de 8,22%, de acordo com a literatura. Para lignina solúvel e insolúvel foram encontrados os teores de 1,23 e 98,7%, respectivamente, bem abaixo daqueles reportados. Os teores de cinzas e umidade determinados, diferenciaram significativamente em relação à trabalhos similares. A elevada temperatura no meio reacional, alta concentração do ácido sulfúrico e a não lavagem da palha no início das análises, foram determinantes, para a baixa conversão da lignina. Sendo assim, os parâmetros empregados no tratamento hidrotérmico utilizado precisam ser melhores dimensionados para que haja maior rendimento no processo, pois são essenciais para a conversão de açúcares fermentescíveis em etanol.

Palavras-chave: etanol celulósico, hidrólise ácida, palha da cana-de-açúcar.

ABSTRACT

Second-generation ethanol is considered a biofuel with great potential to gradually replace fossil fuels. It is produced from lignocellulosic materials, such as sugarcane bagasse, a sub product of the sugar and alcohol industry. The resistance of the cell wall to be digested in fermentable sugars is called recalcitrance, and is considered the main obstacle for the production of cellulosic biofuels at competitive cost in the Market. This characteristic is mainly due to the presence of lignin that limits the access of hydrolytic enzymes in the breakdown of cellulose and hemicellulose. Considering that the hydrolysis process constitutes a fundamental step in obtaining fermentable sugars, this work had the objective of quantifying the soluble lignin obtained from hydrothermal treatments of sugarcane straw, thus evaluating the efficiency of the hydrolysis method used dismantling the plant cell wall. The sugarcane straw, collected in the region of Assis / SP, was crushed, dried and sieved (40 mesh) and moisture and ash contents were determined by gravimetry. Soluble lignin was quantified after acid hydrolysis (118 ° C and 1.5 atm for 1 hour) from 0.3g of sample by UV spectroscopy at 215nm and 280nm. The moisture content was 13.89% and the ash content was 8.22%, according to the literature. For soluble and insoluble lignin contents of 1.23 and 98.7% were found, respectively, well below those reported. The determined ash and moisture contents differed significantly in relation to similar work. The high temperature in the reaction medium, high sulfuric acid concentration and no straw washing at the beginning of the analyzes were determinant for the low lignin conversion. Thus, the parameters used in the hydrothermal treatment used must be better sized so that there is a higher yield in the process, since they are essential for the conversion of fermentable sugars into ethanol.

Keywords: cellulosic ethanol, acid hydrolysis, sugar cane straw.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Complexo lignocelulósico	17
Figura 2: Representação da celulose na cana de açúcar	18
Figura 3: Representação das ligações de hidrogênio da celulose.....	19
Figura 4: Estrutura esquemática de uma fibrila de celulose, mostrando regiões cristalinas e amorfas.....	20
Figura 5: Estrutura proposta para a lignina.....	20
Figura 6: Estrutura dos três monolignóis canônicos: álcool p-coumarílico (H), álcool coniferílico (G) e álcool sinapílico (S).....	22
Figura 7: Representação esquemática de um corte transversal da fibra de material lignocelulósico.....	23
Figura 8: Esquema de hidrólise de celulose por exuglucanase, endoglucanases e B-glicosidases.....	25
Figura 9: Mecanismo de hidrólise da celulose catalisada por ácido	27
Figura 10: Formação do gás carbônico como um dos produtos da fermentação	31
Figura 11: Reação da sacarose que se hidrolisa na presença da enzima invertase, produzindo glicose e frutose	31
Figura 12: Processo em que os monossacarídeos são fermentados produzindo etanol e gás carbônico.....	32
Figura 13: Reações enzimáticas envolvidas na fermentação da sacarose	32
Figura 14: comparação do teor de umidade.....	39
Figura 15: Comparação do teor de cinzas	40
Figura 16: Comparação do teor de lignina solúvel.....	43
Figura 17: Comparação do teor de lignina insolúvel.....	45
Figura 18: Amostra após processo de hidrólise da lignina insolúvel.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparação entre a hidrólise ácida e enzimática segundo critérios de pré-tratamento, taxa de hidrólise, temperatura, pressão, rendimento e formação de subprodutos.....	28
Tabela 2: Efeito de diferentes pré-tratamentos nos materiais lignocelulósicos.....	29
Tabela 3: Teor de umidade encontrado para as amostras de palha de cana-de-açúcar.....	37
Tabela 4: Teor de cinzas encontrado para as amostras de palha da cana-de-açúcar.....	39
Tabela 5: Determinação do teor de lignina solúvel.....	42
Tabela 6: Determinação do teor de lignina insolúvel.....	44

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. ETANOL CELULÓSICO.....	15
3. MATERIAL LIGNOCELULÓSICO.....	17
4. HIDRÓLISE.....	24
4.1 HIDRÓLISE ENZIMÁTICA.....	24
4.2 HIDRÓLISE ÁCIDA.....	25
5. PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DO CALDO DE CANA: UMA TEMÁTICA PARA O ENSINO DE FUNÇÕES ORGÂNICAS E PROCESSOS FERMENTATIVOS.....	30
6. MATERIAIS E MÉTODOS.....	34
6.1 MATERIAIS.....	34
6.2 MÉTODOS.....	35
6.2.1 AMOSTRAGEM.....	35
6.2.2 Determinação do teor de umidade.....	35
6.2.3 Determinação do teor de cinzas.....	35
6.2.4 Determinação do teor de lignina insolúvel total.....	36
6.2.5 Determinação do teor de lignina solúvel.....	36
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO:.....	37
7.1 TEOR DE UMIDADE.....	37
7.2 TEOR DE CINZAS.....	39
7.3 TEOR DE LIGNINA SOLÚVEL.....	41
7.4 TEOR DE LIGNINA INSOLÚVEL.....	44
8. CONCLUSÃO.....	46
9 REFERÊNCIAS.....	47

1. INTRODUÇÃO

A procura por combustíveis e outros químicos desenvolvidos a partir de tecnologias sustentáveis tem se tornado uma demanda crescente. Diversas biomassas são investigadas ao redor do mundo, como matérias-primas para a produção de etanol de segunda geração que é considerado um biocombustível com grande potencial para substituir gradativamente os combustíveis fósseis (ANDRADE, 2014).

O etanol produzido a partir de materiais lignocelulósicos torna-se uma opção interessante para aumentar a produção deste combustível sem aumentar a área plantada das colheitas utilizadas para sua produção, já que a demanda de etanol vem aumentando cada vez mais nos últimos anos, com o objetivo de substituir o petróleo e seus derivados, contribuindo significativamente para a redução dos impactos negativos ao meio ambiente, tais como o aquecimento global provocado pela queima dos combustíveis fósseis (SILVA, 2013).

Uma usina alcooleira tem a necessidade de produzir mais álcool, em menos tempo, e com a menor quantidade de cana-de-açúcar possível. O bioetanol, etanol celulósico ou etanol de segunda geração são produzidos de forma mais limpa sendo aproveitadas as formas de obtenção de hexoses existentes no bagaço e palhiço da cana (COELHO; OLIVEIRA, 2011). Para que a produção de etanol celulósico seja economicamente viável é necessário que estas fontes lignocelulósicas sejam fracionadas de forma a disponibilizar a maior quantidade de carboidratos possível para o processo de fermentação alcoólica (SILVA, 2009). O processo de hidrólise ácida do bagaço de açúcar é de extrema valia, pois objetiva aumentar a quantidade do álcool produzido pela usina sem aumentar a área a ser plantada (COELHO; OLIVEIRA, 2011).

Tendo um potencial para que um excedente seja transformado em etanol, a conversão do bagaço em etanol, dificilmente poderá ser suplantada por outra matéria-prima de origem vegetal permitindo aumentar significativamente a oferta deste combustível. Sendo assim o aproveitamento da cana, acaba sendo integral (SOARES, ROSSELL, 2007).

A desmontagem bioquímica controlada da parede celular tem sido proposto como alternativa para tornar viável o uso dos polissacarídeos como fonte de açúcares fermentáveis. Este processo deve preservar intactos os monossacarídeos que serão usados para a fermentação. O desenvolvimento de tecnologias capazes de desmontar a parede celular vegetal requer o aprofundamento do nosso conhecimento sobre a estrutura

da lignina e da rede de polímeros que constitui a parede celular. Além disso, o conhecimento das propriedades físicas e biológicas da parede celular em diferentes tecidos e órgãos bem como das suas vias de síntese pode ser usado para modificar as características da parede para uso industrial ou alimentar (FERRO, TEIXEIRA, s.d).

A resistência da parede celular de ser digerida em açúcares fermentáveis é chamada recalcitrância, e é considerada o principal obstáculo para a produção de biocombustíveis celulósicos a custo competitivo no mercado. Essa característica se dá, principalmente, pela presença da lignina que limita o acesso de enzimas hidrolíticas na quebra da celulose e hemicelulose (SOUZA, 2015).

Visto que o processo de hidrólise se constitui como uma etapa fundamental na obtenção de açúcares fermentescíveis, este trabalho teve o objetivo de quantificar a lignina solúvel obtida a partir de tratamentos hidrotérmicos de palha da cana de açúcar, avaliando assim a eficiência do método de hidrólise empregado na desmontagem da parede celular vegetal.

2. ETANOL CELULÓSICO

O etanol celulósico é fabricado por meio de reações químicas que promovem a quebra das cadeias dos principais polímeros que formam a estrutura das plantas: celulose, hemicelulose e lignina. Esse processo ocorre através da hidrólise enzimática ou da fermentação e destilação (FRANCISCO, 2009).

Um dos aspectos positivos da produção do etanol celulósico é que a sua matéria-prima é um subproduto das atividades agrícolas, não apresentando utilidade para a alimentação dos humanos e possuindo poucos nutrientes para ser destinada aos gados. Portanto, o aproveitamento desses resíduos para a fabricação de combustível é uma forma extremamente útil para a destinação final da biomassa (FRANCISCO, 2009).

Esse biocombustível pode ser adicionado à gasolina, como também pode ser utilizado puro. Especialistas afirmam que esse combustível é uma excelente opção na busca por alternativas menos agressivas ao meio ambiente e à saúde humana. Sua utilização emite menos gases poluentes na atmosfera, fato que contribui para a minimização do efeito estufa. (WANDERLEY, 2012).

Atualmente para a produção de etanol celulósico, pode ser utilizado um processo químico denominado hidrólise ácida ou biotecnológico moderno, denominado hidrólise enzimática. Em ambos ocorre a quebra de moléculas de celulose e produção de açúcares, para então produzir o etanol por meio de processos fermentativos alcoólicos da biotecnologia convencional (PERAZOLO, 2010).

O grande desafio para a produção de etanol de segunda geração consiste em determinar a melhor opção de disponibilizar a glicose a partir da hidrólise da celulose em termos de custo global, rendimento glicosídico e fermentabilidade do hidrolisado (RABELO, 2010).

Estudos direcionados à produção de etanol celulósico demonstram que alterações simultâneas em importantes parâmetros, como tempo de pré-tratamento e teor de sólidos na hidrólise enzimática, influenciam diretamente no rendimento final do processo (ANDRADE, 2014).

Um dos principais gargalos que envolvem a produção de etanol celulósico é "desmontar" a parede celular liberando os polissacarídeos como fonte de açúcares fermentescíveis de

forma eficiente e economicamente viável. Devido à sua interação intermolecular e completa ausência de água na estrutura da microfibrila, a celulose apresenta uma estrutura bastante recalcitrante, difícil de ser desestruturada e convertida em monossacarídeos fermentescíveis. Os açúcares presentes na palha de cana-de-açúcar encontram-se na forma de polímeros (celulose e hemicelulose) e são recobertos por uma macromolécula (lignina), formando a microfibrila celulósica (SANTOS, QUEIRÓZ, COLODETTE, 2012).

3. MATERIAL LIGNOCELULÓSICO

As biomassas lignocelulósicas são constituídas por três principais frações poliméricas: celulose, hemicelulose e lignina, que são unidas entre si por ligações covalentes, formando uma rede complexa resistente a ataques microbianos. Essas frações majoritárias são responsáveis por 97-99% de toda massa seca dos materiais (CASTRO, 2009). A Figura 1, representa o complexo lignocelulósico.

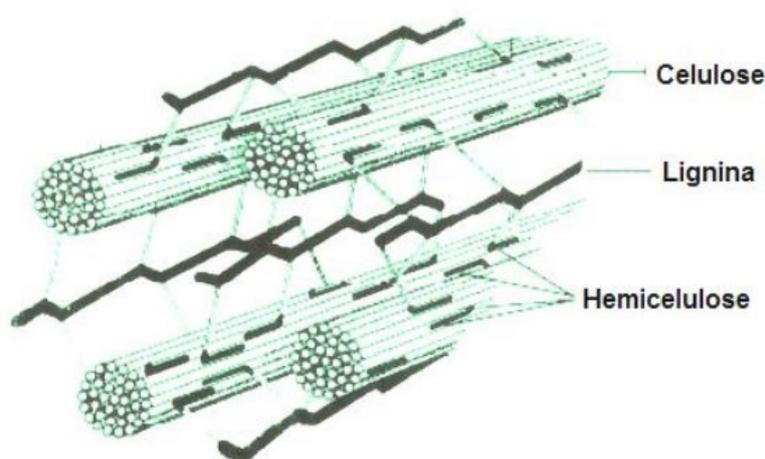


Figura 1: Complexo lignocelulósico (In: PENA, 2011, p. 18)

A composição química da biomassa lignocelulósica, geralmente contém 35-50% de celulose, seguido de 20-35% de hemicelulose, 10-25% de lignina e uma pequena quantidade de cinzas e extrativos (SANTOS, QUEIROZ, COLODETTE, 2012).

Essa composição da biomassa vegetal pode variar contendo diferentes concentrações, pois depende do material analisado (MORAIS, 2010).

A celulose é um polissacarídeo formado, entre outros compostos, por 10000 moléculas de glicose, portanto, a maior parte da glicose sintetizada pelo vegetal é fixada na forma de celulose (ARAÚJO, LIMA, 2015). Encontram-se dispostas como espirais, de forma a conferir força e flexibilidade ao material, como representado na figura 2:

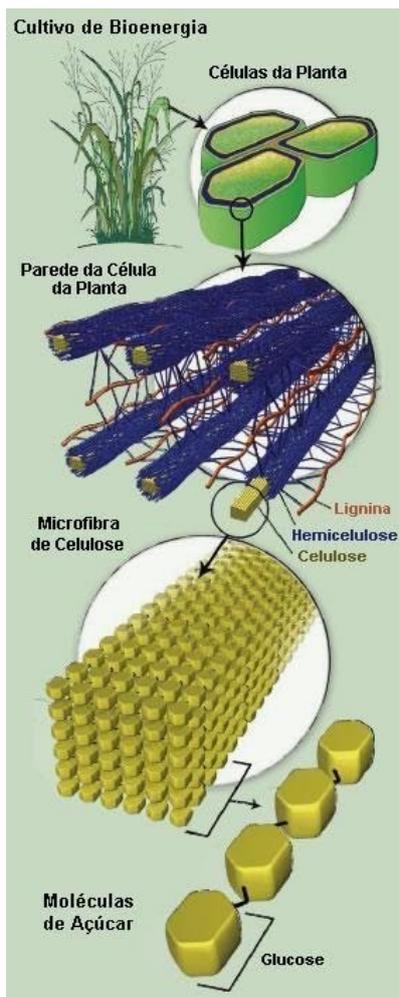


Figura 2: Representação da celulose na cana de açúcar (In: SANTOS, QUEIROZ, COLODETTE, 2012, p.8)

É devido às suas fortes ligações de hidrogênio que a celulose possui estrutura rígida e é praticamente insolúvel em água e em solventes orgânicos comuns (CARVALHO, 2011). As ligações de hidrogênio intramoleculares entre as hidroxilas conferem resistência à celulose. Já as interações intermoleculares entre hidroxilas são responsáveis pela formação da fibra vegetal onde de seis a oito moléculas de celulose se alinham paralelamente para formar uma fibra, eliminando as moléculas de água, tornando a microfibrila extremamente longa e resistente (SANTOS, QUEIROZ, COLODETTE, 2012). A Figura 3, representa as ligações de hidrogênio que ocorrem na celulose.

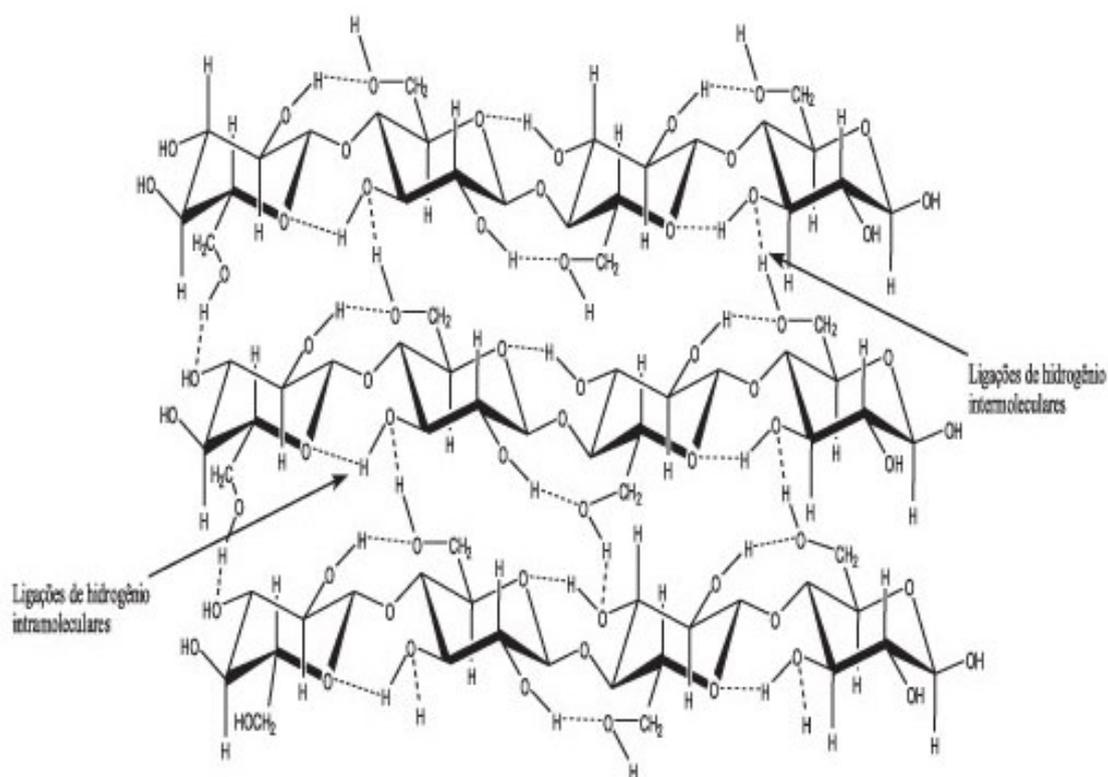


Figura 3: Representação das ligações de hidrogênio da celulose (In: SANTOS, QUEIROZ, COLODETTE, 2012, p.9)

A organização das cadeias de celulose forma regiões cristalinas intercaladas por regiões amorfas, sendo que a região cristalina é fortemente organizada conferindo resistência e proteção contra a degradação externa, e a região amorfa não possui uma organização molecular, tornando-a mais susceptível à degradação externa (ARAÚJO, GARRIDO, 2013). A Figura 4, representa a organização das regiões cristalinas e amorfas das cadeias de celulose.

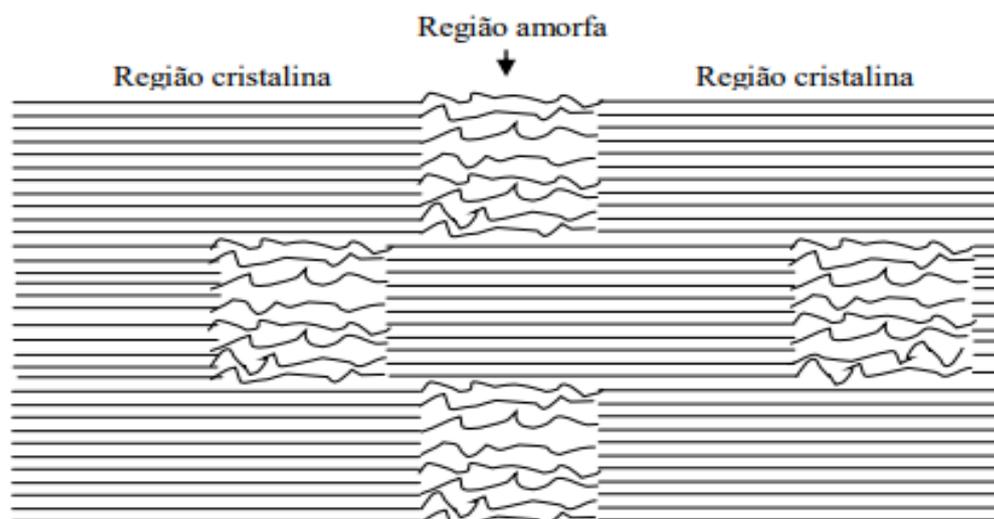


Figura 4: Estrutura esquemática de uma fibrila de celulose, mostrando regiões cristalinas e amorfas (In: FILHO, 2008, p. 24)

As cadeias de celulose são envolvidas pela lignina (figura 5) que é considerada como um dos materiais mais resistentes na natureza e na biomassa vegetal (CASTRO, 2009)

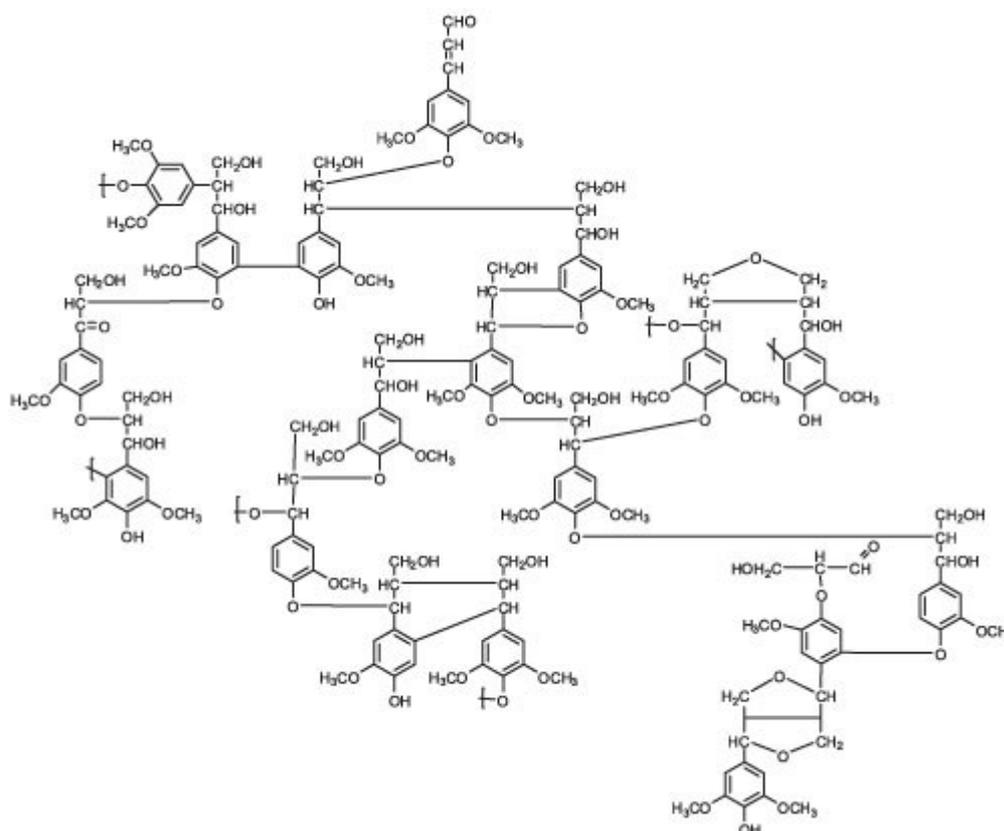


Figura 5: Estrutura proposta para a lignina (In: SANTOS, et al, 2012, p.5)

A lignina é o componente estrutural mais importante da parede celular de plantas superiores, apresentando funções vitais como, por exemplo, promover rigidez ao sistema vascular, permitindo que as plantas tenham crescimento vertical; conferir hidrofobicidade ao xilema, o que auxilia o transporte de água, e conferir defesa estrutural contra micro-organismos (SOUZA, 2015).

Está associada juntamente com a celulose e hemicelulose, o que impede a degradação desses materiais, isto é, a lignina confere firmeza e rigidez ao conjunto de fibras de celulose, portanto, a lignina não deve ser considerada como uma substância química única, mas sim, como uma classe de materiais correlatos (CASTRO, 2009).

É um polímero de constituição difícil de ser estabelecida, devido à complexidade de sua formação, as modificações estruturais durante seu isolamento das paredes celulares, a variação na sua composição monomérica e as ligações covalentes entre a parede celular e outros compostos como carboidratos, proteínas e compostos fenólicos. Dado que a deposição e composição da lignina podem variar com a camada, o tipo de parede celular e com a espécie (FERRO, TEIXEIRA, 2013).

É um complexo heteropolímero aromático presente na parede secundária das células vegetais, e o principal fator que confere recalcitrância ao material lignocelulósico é o maior obstáculo encontrado pelas biorrefinarias para a produção viável do etanol de segunda geração.

As moléculas de lignina consistem em um complexo heteropolímero fenólico resultado da polimerização oxidativa de unidades monoméricas de álcoois phidroxicinâmílicos (monolignóis), que diferem entre si pelo grau de metilação: álcool p-coumarílico (não metoxilado), álcool coniferílico (mono-metoxilado) e álcool sinapílico (di-metoxilado) (SOUZA, 2015) (figura 6).

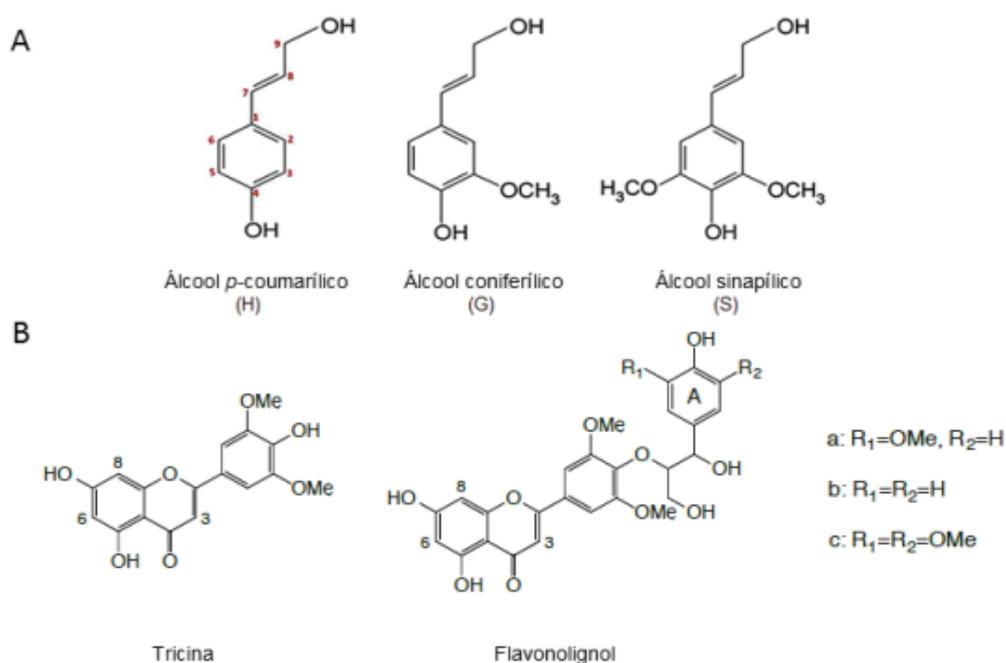


Figura 6: Estrutura dos três monolignóis canônicos: álcool *p*-coumarílico (H), álcool coniferílico (G) e álcool sinapílico (S) (modificado de Kiyota et al., 2012) (A). Estrutura da molécula de tricina e do dímero precursor do polímero de lignina em monocotiledôneas, o flavonolignol (modificado de Lan et al., 2015) (B). (In: SOUZA, 2015, p16).

Atua como uma cola entre a celulose e a hemicelulose, principais elementos estruturais da parede celular, sendo necessário sua retirada para conversão da celulose e da hemicelulose em açúcares e em seguida a fermentação destes e produção do bioetanol (figura 7).

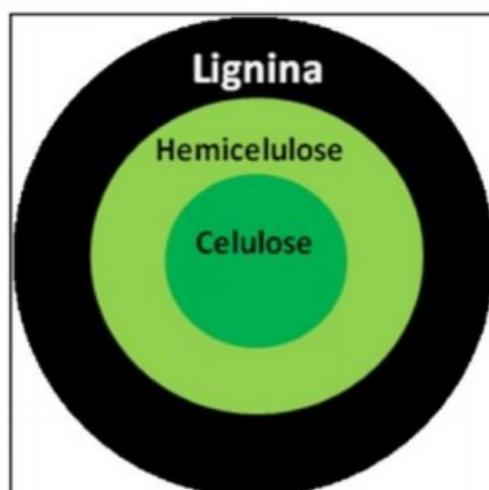


Figura 7: Representação esquemática de um corte transversal da fibra de material lignocelulósico (in: DRABER, 2013, p. 23)

Hemicelulose e celulose podem ser hidrolisadas a açúcares e fermentados microbianamente a vários produtos como o etanol, ou serem convertidas quimicamente em outros produtos (OGEDA, PETRI, 2010).

As cadeias de hemicelulose são formadas por monômeros de arabinose ou xilose e também podem sofrer ataques a posições intermediárias ao longo de seu esqueleto, liberando oligômeros feitos de muitas moléculas de açúcares, por exemplo, xilanas, mananas e glucanas. Podem ser sucessivamente quebradas em oligômeros ainda menores, antes que uma molécula de um simples açúcar possa ser formada. Apesar de tudo, a degradação dos açúcares liberados pode ser modesta ou suficiente para recuperar cerca de 80-90% do máximo possível de açúcares. Por outro lado, operações sem a adição de ácido limitam a recuperação dos açúcares de hemicelulose para 65% ou menos, com a maioria na forma de oligômeros (OGEDA, PETRI, 2010).

4. HIDRÓLISE

É denominado hidrólise qualquer reação química que envolva a quebra de uma molécula por ação da molécula de água. São realizados em fase líquida ou vapor (SILVA, 2007).

A etapa de hidrólise consiste na degradação das cadeias poliméricas da celulose, em monômeros de glicose e hemicelulose (polímero de xilose), por meio da adição de ácido sulfúrico aos resíduos, no caso da hidrólise ácida ou pela ação de enzimas (catalisadores biológicos), no caso da hidrólise enzimática (MORAIS, 2010).

A escolha da rota de hidrólise é de fundamental importância no processo de produção de etanol de segunda geração, visto que é nesta etapa que ocorre efetivamente a produção de açúcares fermentescíveis, os quais serão convertidos a etanol (ARAÚJO, GARRIDO, 2010).

4.1. HIDRÓLISE ENZIMÁTICA

O bagaço de cana-de-açúcar pode ser hidrolisado por rotas biológicas com o uso de enzimas secretadas por microrganismos. O uso destes biocatalisadores, altamente específicos, reduz a geração de subprodutos indesejáveis e dispensa a utilização de equipamentos resistentes à corrosão, trazendo benefícios econômicos, tanto do ponto de vista energético quando do ponto de vista metalúrgico, quando comparado à hidrólise ácida. Além disso, as condições de operação da hidrólise enzimática são mais brandas do que os processos químicos, tanto para pressão como para temperatura e pH. Em contrapartida, as enzimas possuem um alto custo e são extremamente sensíveis, tornando necessário o controle rigoroso de diversos parâmetros (ARAÚJO, GARRIDO, 2013).

O processo de hidrólise enzimática requer o desenvolvimento de microrganismos capazes de hidrolisar a celulose, fermentar o açúcar, tolerar altas concentrações de etanol e produzir exclusivamente o etanol (sem subprodutos indesejáveis) (BARROS, JARDINE, 2011).

Apresenta grande potencial em virtude de características como a especificidade da reação, ausência de reações secundárias (que levariam à perda de rendimento), ausência da

formação de produtos secundários (inibidores da fermentação alcoólica) e reação em condições suaves, que não requerem altas pressões e temperaturas ou ambientes corrosivos para os equipamentos (SANTOS, QUEIROZ, COLODETTE, 2012). A Figura 8 representa um esquema de hidrólise via enzimática.

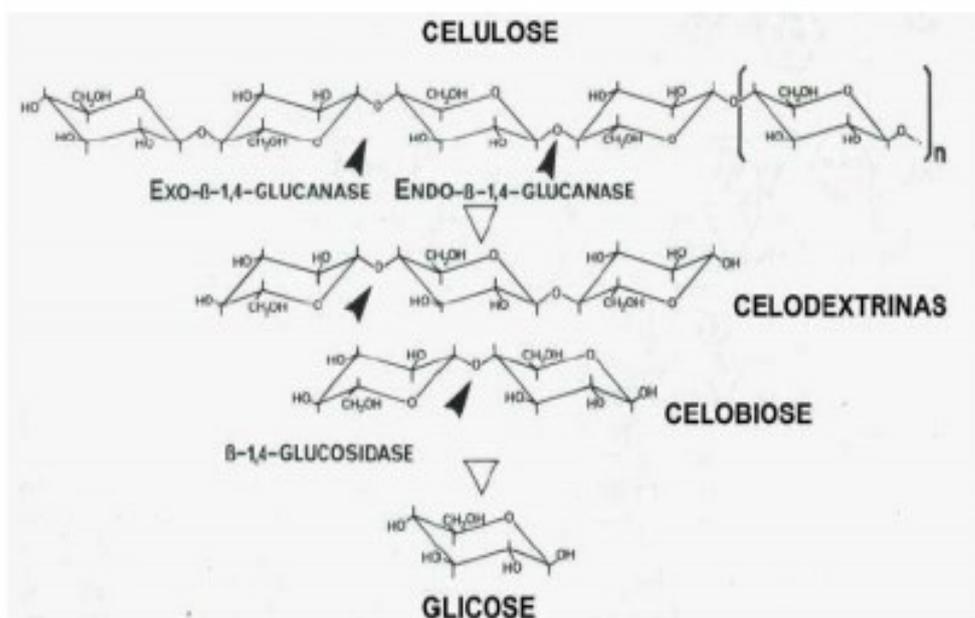


Figura 8: Esquema de hidrólise de celulose por exoglucanases, endoglucanases e β-glicosidases (In: PEREIRA, 2013 p. 13)

4.2 HIDRÓLISE ÁCIDA

A hidrólise ácida é eficiente, com até 90% de recuperação de açúcares fermentescíveis, podendo gerar alguns produtos inibidores da fermentação (compostos fenólicos, ácido acético, furfural e hidroximetilfurfural), assim como a degradação dos açúcares (ANDRADE, 2014).

Na hidrólise com ácido concentrado, a hemicelulose e celulose presentes na biomassa são quebradas usando soluções aquosas de ácidos minerais fortes, como ácido sulfúrico, clorídrico ou fosfórico, em baixas temperaturas (<100°C). A principal desvantagem desta técnica é que requer equipamentos altamente resistentes à corrosão, aumentando assim o custo do produto final. A fração de hemicelulose é hidrolisada mais rapidamente que a fração de celulose, e os monossacarídeos liberados de hemicelulose são expostos no meio

reacional por muito tempo, o que leva à degradação e perda desses açúcares. A recuperação do ácido usado no processo é essencial por razões econômicas e devido a problemas ambientais (DRABER, 2013).

No processo com ácido diluído, parte da hemicelulose e da celulose são hidrolisadas separadamente. A hemicelulose hidrolisada pode ser removida após o primeiro passo da hidrólise. Desta forma, as condições de hidrólise tanto para a hemicelulose quanto para a celulose são otimizadas. Porém, devido às altas temperaturas aplicadas no segundo passo (aproximadamente 200°C), uma quantidade considerável de açúcares e lignina solúvel é degradada, levando a uma inibição durante o processo de fermentação (DRABER, 2013). Além de formar compostos inibidores para subsequente fermentação, também apresenta outros problemas, como condições de manuseio severas (pH e temperatura), e o alto custo de manutenção devido os problemas de corrosão (MAEHARA, 2016).

A hidrólise ácida inicia com a protonação do oxigênio glicosídico (Figura 9a) com posterior quebra da ligação C1–O. O carbocátion gerado na etapa b é estabilizado pela deslocalização do par de elétrons existente sobre o oxigênio do anel glicosídico, adjacente a C1. O ataque nucleofílico da água sobre C1 (Figura 9c) com regeneração do ácido (Figura 9d e 9e) encerra a etapa de despolimerização (se esta ocorrer no interior da cadeia da celulose, gerando novos terminais) ou de produção de glicose (quando ocorre hidrólise diretamente nos terminais) (OGEDA,PETRI, 2010).

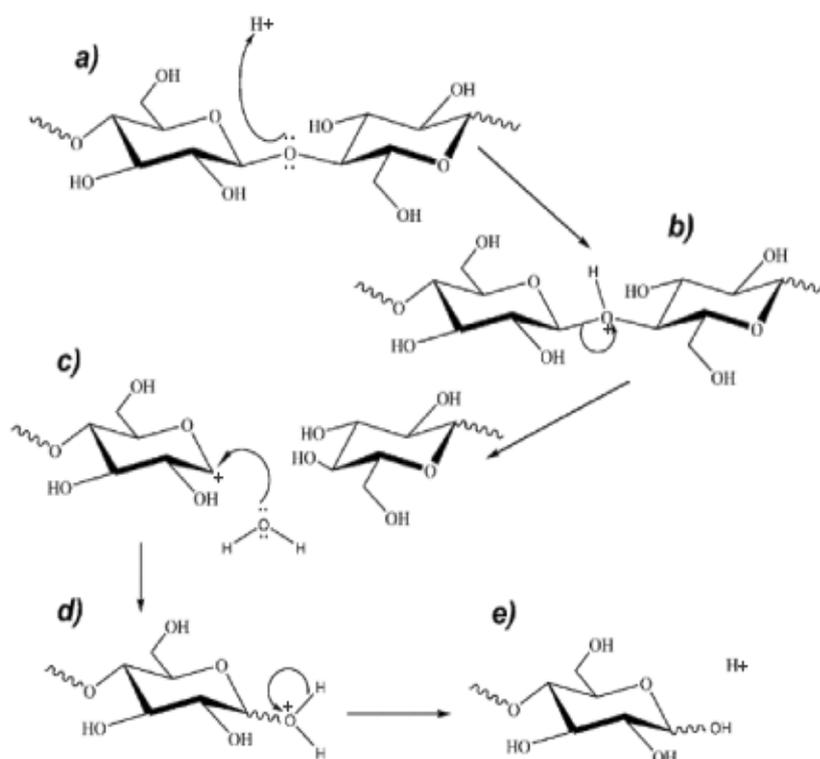


Figura 9: Mecanismo de hidrólise da celulose catalisada por ácido (In: OGEDA, PETRI, 2010, p.9)

4.2.1 Hidrólise enzimática *versus* hidrólise ácida

Embora a hidrólise ácida de biomassa seja eficiente e relativamente barata, ela gera resíduos poluentes e produtos que inibem a fermentação posterior. Por isso, a sacarificação enzimática tem sido objeto de grande parte dos estudos. O processo enzimático oferece potencial de redução de custos em longo prazo, pois é possível se atingir rendimentos próximos dos estequiométricos e em condições menos críticas de temperatura, pressão e agressividade química, além do processo ser menos poluente (PEREIRA, 2013).

A tabela 1 apresenta comparações entre os parâmetros da hidrólise ácida frente à hidrólise enzimática (PEREIRA, 2013).

Parâmetro	Hidrólise ácida	Hidrólise enzimática
Pré-tratamento	Pode ser necessário	Necessário
Taxa de hidrólise	Rápida (min.)	Lenta (h)
Temperatura	Alta (200°C)	Baixa (45°C)
Pressão	Alta	Atmosférica
Rendimento	Depende do material e do processo	Depende do material e do processo
Formação de subprodutos	Provável formação	Não há formação

Tabela 1: Comparação entre a hidrólise ácida e enzimática segundo critérios de pré-tratamento, taxa de hidrólise, temperatura, pressão, rendimento e formação de subprodutos (In: PEREIRA, 2013 p. 14).

Existem várias revisões sobre pré-tratamento publicados atualmente. Na Tabela 2 são apresentados de forma simplificada os diferentes tipos de pré-tratamento pesquisados e as respectivas mudanças causadas à biomassa lignocelulósicas (SANTOS, QUEIRÓZ, COLODETTE, 2012).

		Características composicionais				
Pré-tratamento		Celulose	Hemicelulose	Lignina	Vantagens	Desvantagens
Físico	Moinho de Bolas	Intensa diminuição do grau de cristalinidade	Não remove	Não remove	Redução de cristalinidade	Alto consumo de energia
Químico	Ácido diluído	Pouca despolimerização	80-100% de remoção	Pouca remoção, mas ocorre mudança da estrutura	Condições médias, alta produção de xilose	Difícil recuperação do ácido, corrosivo e relativamente custoso
	Hidróxido de sódio	Inchação significativa	Considerável solubilidade	Considerável solubilização, >50%	Remoção efetiva de ésteres	Reagente caro, recuperação alcalina
	Organosolv	Considerável Inchação	Significativo, quase completa	Significativo, pode ser quase completa	Alta Produção de xilose efetiva deslignificação	Recuperação de solvente caro
Biológico	Biológico	20-30% de despolimerização	Acima de 80% de solubilização	-40% de deslignificação	Baixo requerimento de energia, efetiva deslignificação	Perda de celulose, baixa taxa de hidrólise

Tabela 2: Efeito de diferentes pré-tratamentos nos materiais lignocelulósicos (In: SANTOS, QUEIRÓZ, COLODETTE, 2012 p.10)

5. PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DO CALDO DE CANA: UMA TEMÁTICA PARA O ENSINO DE FUNÇÕES ORGÂNICAS E PROCESSOS FERMENTATIVOS

Um dos objetivos da química é que o jovem reconheça o valor da ciência na busca do conhecimento da realidade objetiva e insiram no cotidiano (BEZERRA, 2013).

As aulas experimentais podem ser empregadas com diferentes objetivos e fornecer variadas e importantes contribuições no ensino. Uma das possíveis contribuições, são motivar e despertar a atenção dos alunos, desenvolver a capacidade de trabalhar em grupo, estimular a criatividade (OLIVEIRA, 2010).

Neste trabalho, será proposto uma prática, mostrando aos alunos, que é possível trazer a química para o cotidiano. O experimento envolve a parte ambiental, biológica e a química como sendo o principal responsável por esses fenômenos e mostrando que os materiais para esse experimento, podem ser facilmente encontrados (RAMOS, SILVA, 2012).

Esta atividade foi desenvolvida para aproximar a função orgânica álcool da realidade, pois além de aprendermos conceitos de fermentação alcoólica ainda observa-se o processo de obtenção do álcool em sala de aula (RAMOS, SILVA, 2012).

A fermentação alcoólica pode ser considerada como a oxidação anaeróbica parcial da glicose, por ação de leveduras, com a produção final de álcool etílico e gás carbônico, além de outros produtos secundários (PIMENTA, 2007).

No experimento será observado a formação de gás carbônico como um dos produtos da reação de fermentação alcoólica, ficando armazenado dentro de um balão, como representado na Figura 10 (RAMOS, SILVA, 2012).

Com o experimento realizado é possível que os alunos entendam que sacarose é um dissacarídeo, ou seja, formado pela ligação glicosídica entre uma glicose e uma frutose, que por ação de um catalisador, se hidrolisa na presença da enzima invertase, liberando uma molécula de água e produzindo glicose e frutose, ambas monossacarídeos ($C_6H_{12}O_6$). Glicose e frutose são substâncias isoméricas, ou seja, apresentam a mesma fórmula molecular mas possuem arranjos geométricos diferentes (ABREU, MOTOKANE, 2005). A figura 11, representa a hidrólise da sacarose, produzindo glicose e frutose.



Figura 10: Formação do gás carbônico como um dos produtos da fermentação
(In: SOUZA, 2011, p.3)

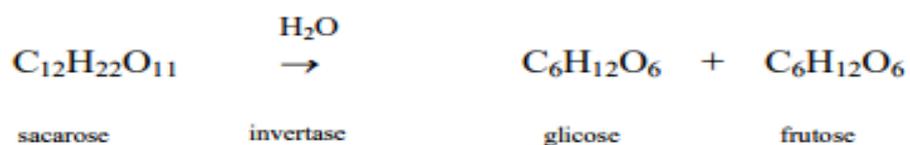


Figura 11: Reação da sacarose que se hidrolisa na presença da enzima invertase, produzindo glicose e frutose (In: ABREU, MOTOKANE, 2005. p 9)

Sob ação da enzima zimase, os monossacarídeos são fermentados produzindo etanol e gás carbônico.

Durante a reação, ocorre intensa liberação de gás carbônico, onde a solução aquece-se e ocorre a formação de produtos secundários como álcoois superiores, glicerol, aldeídos, etc.

A figura 12, representa o processo dos monossarídeos fermentados, produzindo etanol e gás carbônico.

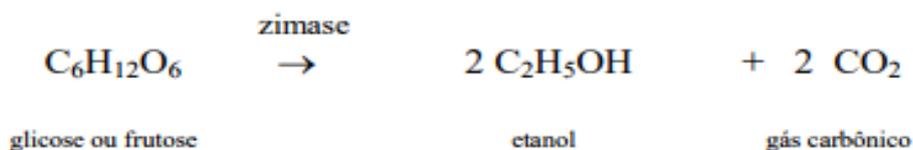


Figura 12: Processo em que os monossarídeos são fermentados produzindo etanol e gás carbônico (In: ABREU, MOTOKANE, 2005. p 9)

A liberação de gás carbônico é facilmente observada pela formação de bolhas, o que causa a impressão de que está em ebulição. Esse fenômeno é conhecido como fervura fria (ABREU, MOTOKANE, 2005). A figura 13, representa a reação enzimática na fermentação da sacarose da cana-de-açúcar.

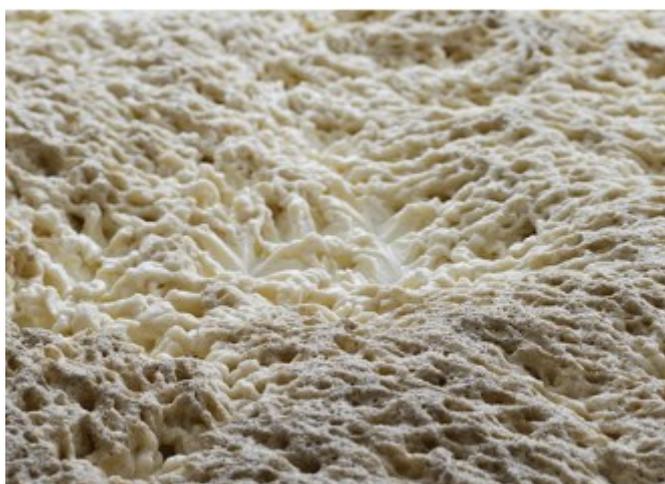


Figura 13: Reações enzimáticas envolvidas na fermentação da sacarose da cana-de-açúcar (In: FOGAÇA, 2017 p.4)

A atividade será desenvolvida em sala de aula com alunos do 3º ano do ensino médio, com uma experiência para produzir álcool a partir do caldo de cana.

De início será dividido três litros de caldo de cana em três garrafas de refrigerante. Na primeira garrafa, será acrescentado três colheres de chá de fermento biológico, na segunda três colheres de sopa de açúcar e na terceira não será acrescentado nada. Logo depois, na boca da garrafa, será colocado uma bexiga e amarrado com o barbante para fechar o sistema, ressaltando que isso será feito com as três garrafas esperando três dias.

Após esses dias, será notado que na garrafa com fermento biológico, haverá formação de um gás, sendo este o gás carbônico, como um dos produtos da fermentação alcoólica.

Este caldo contendo o fermento biológico será transferido para uma garrafa de um litro de vidro e colocado em banho maria. Um pedaço de mangueira será acoplado na boca da

garrafa e amarrado, a outra parte será colocada dentro de uma garrafa de dois litros, onde haverá gelo dentro da mesma. Essa garrafa servirá como o meu condensador, que após a água do banho maria entrar em ebulição, irá liberar gotículas de etanol.

6. MATERIAIS E MÉTODOS

6.1 MATERIAIS

- Palha de cana de açúcar
- Ácido sulfúrico 72%
- Ácido clorídrico p.a.
- Kitassato
- Funil
- Papel de filtro
- Balão volumétrico de 250 mL
- Cadinho de porcelana
- Dessecador
- Pipeta volumétrica de 3 mL
- Balão volumétrico 25 mL
- Frascos de plásticos
- Cadinho de filtro sinterizado nº2
- Tubo de ensaio
- Suporte para tudo de ensaio
- Balão volumétrico 50 mL
- Micro moinho tipo Willye modelo MA048
- Peneiras granutest, modelo ABNT 40 mesh, 50 mesh e 60 mesh.
- Balança analítica M214AI
- Balança analítica AY220
- Banho maria Tecnal, modelo TE-054
- Autoclave LS Logen scientific, modelo CS
- Estufa Tecnal, modelo te-397/4
- Espectrofotômetro Femto, modelo Cirrus 80
- Mufla Quimis, modelo Q-318D24
- Bomba a vácuo tecnal, modelo te-058
- Estufa de ar forçado Marconi, modelo MA 035

6.2 MÉTODOS

6.2.1 Amostragem

A matéria prima utilizada foi a palha da cana de açúcar proveniente de três localidades diferentes: Cândido Mota, Pedrinhas Paulistas e Ourinhos. As análises foram realizadas em triplicada.

As palhas foram secas em estufa de ar forçado, picadas, em seguida, trituradas no liquidificador e passadas no micro moinho tipo Willye e armazenadas no dessecador para evitar a presença de umidade. Após a moagem, foram peneiradas à 40 mesh, 50 mesh e 60 mesh e armazenadas em frascos de plásticos fechados sob refrigeração.

6.2.2 Determinação do teor de umidade

Para análise do teor de umidade, os cadinhos foram previamente tarados e adicionados 1,0 g da amostra. Em seguida, foram colocados na estufa a 105°C por 5 horas. Os cadinhos foram deixados no dessecador até que atingisse uma temperatura ambiente e pesados novamente.

6.2.3 Determinação do teor de cinzas

Para determinação do teor de cinzas na palha da cana de açúcar, foi adicionado 1,0 g da amostra em três cadinhos de porcelana previamente tarados. Em seguida, os cadinhos foram levados para a mufla á temperatura de 500° C por duas horas. Após a calcinação, os cadinhos foram esfriados no dessecador até temperatura ambiente e pesados.

6.2.4 Determinação do teor de lignina insolúvel total

Foram pesados 0,3 g de palha de cana de açúcar 40 mesh no tubo de ensaio e em seguida adicionado 3 mL de ácido sulfúrico 72% e mantidos em banho maria por uma hora á 35°C. Após este tempo, a mistura foi aquecida em autoclave a 118°C por 1 hora, para promover a hidrólise total de oli e polissacarídeos.

A análise foi repetida, utilizando 1,0 g da amostra de palha 40 mesh no tubo de ensaio e em seguida, adicionado 10 mL de ácido sulfúrico 72% e mantidos em banho maria por 1 hora, sendo meia hora a 50°C e o restante a 35°C. A mistura foi aquecida em autoclave a 107°C por 1 hora.

Após a hidrólise, a mistura foi filtrada em cadinho de Gooch previamente tarados. O filtrado foi recolhido nos erlenmeyers. Os cadinhos foram colocados na estufa a 105°C por 1 hora, depois levados para o dessecador até que atingisse temperatura ambiente e pesados.

6.2.5 Determinação do teor de lignina solúvel

O filtrado recolhido nos erlenmeyers foram transferidos para balão volumétrico de 50 mL. Em seguida, foram armazenados em frascos de plásticos e guardados sob refrigeração.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO:

7.1 TEOR DE UMIDADE

O teor de umidade foi determinado através da eq. (1), onde P_i é o peso inicial, somado com o peso da amostra e P_f o peso final após a secagem.

$$\% \text{ Umidade} = \frac{[(P_i - P_f)] \times 100}{P_{\text{Amostra}}} \quad (1)$$

A Tabela 3 apresenta a média do teor de umidade encontrado para as amostras de palha da cana de açúcar.

Amostra	Média %
Ourinhos	8,46%
Pedrinhas Paulista	23,43%
Cândido Mota	7,05%

Tabela 3: Teor de umidade encontrado para as amostras de palha da cana de açúcar

Quando a palha fica exposta na superfície do solo, influencia fortemente as atividades microbianas no solo, promovendo maior infiltração da água das chuvas e quando existe maiores quantidade de água retida no solo, menores são as oscilações da temperatura do solo, fazendo com que a palha, esteja mais submetida a elevados teores de umidade (ARATANI, 2008).

O solo da cidade de Pedrinhas Paulista tem como característica, Gleí Pouco Húmico. Neste, as modificações sofridas pelos óxidos de ferro existentes no solo (redução) promovem seu encharcamento fazendo com que retenha umidade durante períodos de tempo mais longos,

o que não acontece com o outros tipos de solo da região. (LOPES, 2006).

A cidade de Cândido Mota tem como característica, um solo de terra roxa estruturada e latossolo roxo, sendo bem drenados e de boa fertilidade, classificados como latossolo vermelho. Ourinhos tem como característica terra roxa de cultura, em que também existe altos índices de produtividade em que trata-se de solo eminentemente rico em mineirais, como a caulinita, sendo considerado como um dos principais componentes existentes no solo em questão (ORTIZ, 2011).

O clima na cidade de Cândido Mota e Ourinhos são considerados como clima tropical, ou seja, verão chuvoso de outubro a março e inverno seco de abril a setembro, com isso, a produção de cana de açúcar é realizada onde o índice de chuva é menor (DEMARCHI, PIROLI, 2015).

A figura 14 mostra o teor de umidade verificado neste trabalho e compara com os trabalhos de, PADILHA et al (2016) e BIANCHINI (2004), 13,5% e 9,26% respectivamente.

No artigo de PADILHA et al 2016, a palha da cana de açúcar utilizada no trabalho, foi proveniente da cidade de Sorocaba que tem como característica latossolo vermelho-amarelo com textura média argilosa. O clima é característico de subtropical quente, onde o inverno não é muito seco e não apresenta deficiências hídricas onde o desenvolvimento na agricultura orgânica é forte (IKEMATSU, SILVA, 2006).

Pode-se observar, que o teor de umidade entres as cidades, tiveram valores bastante expressivos, principalmente na cidade de Pedrinhas Paulista, onde o solo é úmido, durante parte do ano e em relação aos valores reportados dos artigos similares, o teor de umidade de palha da cana de açúcar, também apresentou uma diferença bastante significativa, sendo considerada elevado.

O teor de umidade de palha da cana de açúcar nas cidades de Cândido Mota e Ourinhos não demonstraram valores tão significativos comparando com os artigos similares.



Figura 14: Comparação do teor de umidade

7.2 TEOR DE CINZAS

O teor de cinzas foi determinado através da eq. (2), onde P_i é o peso inicial, somado com o peso da amostra e P_f o peso final após a calcinação.

$$\% \text{ Cinzas} = 100 - \frac{[(P_i - P_f)] \times 100}{P_{\text{amostra}}} \quad (2)$$

A tabela 4, mostra a média dos resultados encontrados para a determinação do teor de cinzas nas amostras de palha da cana-de-açúcar.

Amostra	Média %
Pedrinhas Paulista	5,63%
Cândido Mota	16,37%
Ourinhos	2,66%

Tabela 4: Teor de cinzas encontrado para as amostras de palha da cana-de-açúcar

A maior quantidade de cinzas na palha da cana-de-açúcar pode ser explicada por uma possível contaminação das amostras, pois, após a colheita a palha fica depositada no

campo sujeita a fatores climáticos. Outro fator que deve ser levado em consideração é a maneira que essa palha foi colhida, o local e a genética da planta. Grande parte dos teores de cinzas, provém das sílicas que estão presentes na biomassa (PRATTO, 2015). É necessário levar em consideração que quando a palha é colhida entre as canas e folhas verdes, o teor de cinzas é entre 3% e 4% e quando a palha é colhida na superfície do solo, a porcentagem de cinzas é de 7% a 8%, (SANTOS, et al 2014).

O teor de cinzas foi comparado com trabalhos similares, de acordo com a figura 15 (SANTOS et al, 2012), (PADILHA et al 2016), (SEYE, et al 2000) e (CARVALHO, et al, 2014), nos valores de 3,9%, 8,0 %, 7,0% e 7,91%, respectivamente.

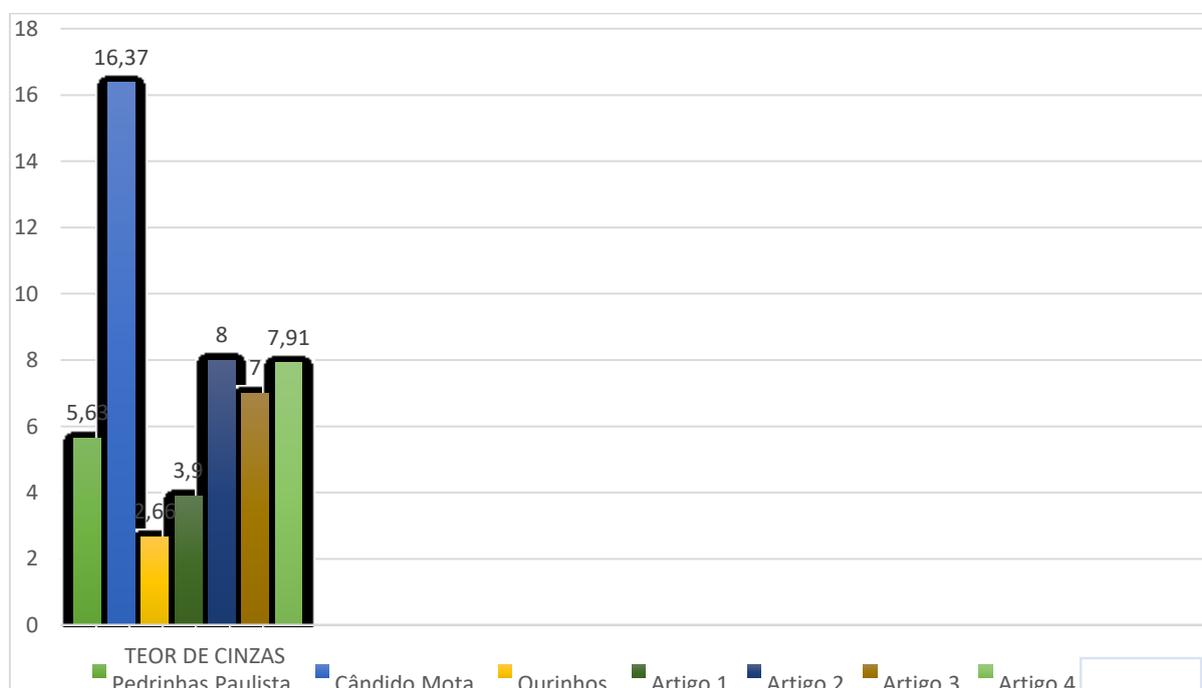


Figura 15: Comparação do teor de cinzas

Houve uma diferença significativa entre os teores de cinzas das amostras de palha estudadas no presente trabalho, principalmente na cidade de Cândido Mota em que a média foi considerada maior, comparando também com trabalhos similares. A cidade de Pedrinhas Paulista, apresentou o teor de cinzas mais próximo aos trabalhos reportados, porém, na cidade de Ourinhos o baixo teor de cinzas esteve dentro somente dos parâmetros empregados no artigo SANTOS et al (2012).

Nas respectivas cidades, as palhas foram colhidas manualmente sob a superfície do solo, estando sujeitas a fatores climáticos que pudesse intervir no resultado final.

Na cidade de Ourinhos, a palha da cana ficou exposta na superfície do solo por mais tempo, pois, as análises foram realizadas quando a palha já estava seca, podendo-se observar uma grande quantidade de areia na amostra justificada pela contaminação de terra. As amostras colhidas nas demais cidades, estavam com as folhagens esverdeadas, indicando que estavam menos expostas ao tempo.

Existem teores de cinzas diferentes entre a palha coletada manualmente e da colheita mecanizada, onde o teor de cinza para a palha da colheita mecanizada tem o valor maior que o da colheita manual (PIRES, 2017).

Foram colhidas na superfície do solo, embora não se sabe, o quanto essa palha ficou exposta no solo

7.3 TEOR DE LIGNINA SOLÚVEL

A lignina solúvel foi quantificada após hidrólise ácida atingindo a pressão na autoclave de 1,5 atm.

Foram realizadas leituras por espectroscopia ultravioleta a 215 nm e 280 nm, em que a concentração da lignina solúvel foi calculada de acordo com a eq.(3), onde A_{215} e A_{280} correspondem as absorbâncias a 215 nm e 280 nm. C_L corresponde a concentração de lignina solúvel em $g L^{-1}$ e foi convertida para porcentagem em peso, considerando a massa inicial de amostra. Posteriormente, calculou-se a porcentagem de lignina total, somando-se as frações de lignina klason insolúvel e solúvel.

$$C \text{ (g/L)} = \frac{4,53 (A_{215} - A_{280})}{300} \quad (3)$$

Devido à presença de anéis aromáticos nas moléculas de lignina, a técnica de espectrofotometria na região do ultravioleta é bastante adequada na determinação de lignina solúvel. Sendo assim, a concentração de lignina solúvel foi determinada empregando o filtrado obtido da hidrólise ácida (FRANCISCO, 2007).

A tabela 5, mostra os resultados do teor de lignina solúvel, assim como as

absorbâncias nos comprimentos de onda de 215 e 280 nm.

Amostra	Replicata	Leitura 215nm	Leitura 280nm	Lignina solúvel (g/L)	Média
Cândido Mota	1	1,09	0,686	0,0061	1,84%
	2	1,065	0,58	0,00732	
	3	0,758	0,335	0,00639	
Pedrinhas Paulista	4	0,566	0,4	0,002506	0,94%
	5	0,867	0,632	0,003548	
	6	0,933	0,651	0,004258	
Ourinhos	7	0,643	0,381	0,003956	0,9%
	8	0,437	0,248	0,002854	
	9	0,65	0,459	0,002884	

Tabela 5: Determinação do teor de lignina solúvel

Os teores de lignina solúvel nas amostras provenientes de Pedrinhas Paulista e Ourinhos estiveram próximos entre si, enquanto que o apresentado pela amostra de Cândido Mota foi o dobro das anteriores.

O uso de ácidos diluídos não proporciona um inchamento adequado da região cristalina da celulose, o que leva a uma baixa taxa de conversão celulose-açúcar. Para se alcançar taxas aceitáveis de conversão da celulose à glicose, em tempos razoavelmente curtos e com o uso de ácidos diluídos, é necessário um incremento na pressão e na temperatura, devido à inacessibilidade aos cristalitos de celulose, o que provoca a degradação de uma quantidade considerável de açúcares e lignina solúvel, levando a um baixo rendimento da hidrólise e da fermentação (ARAÚJO, 2013).

Comparativamente aos trabalhos de SANTOS et al (2012) e PADILHA et al (2016), 16,7% e 19,01% respectivamente, as taxas encontradas de lignina solúvel em hidrólises ácidas encontradas aqui foram 15 a 20% menores. A figura 16, mostra a comparação do teor de lignina solúvel das cidades com trabalhos similares.

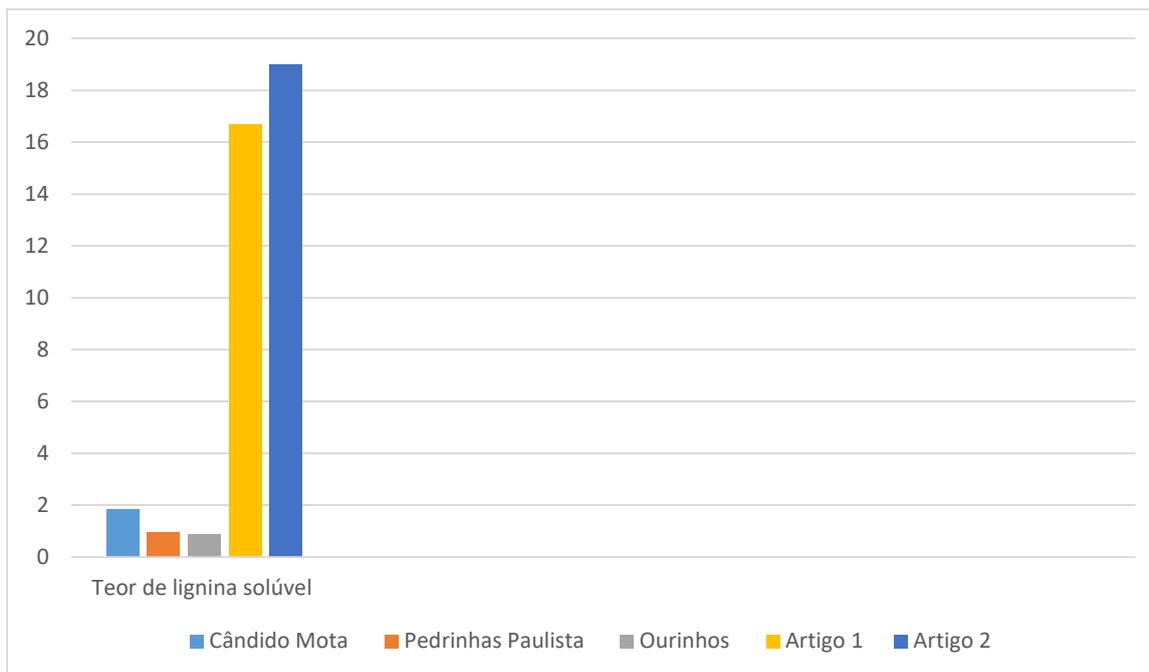


Figura 16: Comparação do teor de lignina solúvel

É considerado como ácido diluído, concentrações menores que 5% (m/v), e ácido concentrado, com concentrações do ácido maiores que 5% (m/v) (ARAÚJO, 2013).

A hidrólise com ácidos concentrados, ao contrário da realizada com ácidos diluídos, ocasiona um intumescimento da celulose com consequente ruptura da mesma e insignificante destruição da glicose. Por este motivo, este método proporciona maiores rendimentos, mesmo em baixas temperaturas, no entanto, o custo com o ácido é relativamente alto, o que faz com que seja imprescindível sua recuperação, um processo lento e de difícil desenvolvimento (ARAÚJO, 2013).

O fator concentração do ácido é de grande importância, pois quando esta concentração é elevada, a conversão de moléculas de celulose em hexoses ocorre de maneira mais rápida (ARAÚJO, 2013).

Não se verificou uma correlação direta desta com os teores de umidade e cinzas das mesmas amostras. Desta forma, avalia-se que o processo de hidrólise não tenha sido eficiente e/ou homogêneo na abertura das células para deslignificação da estrutura.

7.4 TEOR DE LIGNINA INSOLÚVEL

A tabela 6, mostra a média dos resultado obtido na determinação do teor de lignina insolúvel, na palha da cana de açúcar.

Amostra	Replicata	Lignina Insolúvel	Média
Cândido Mota	1	0,6288	98,16%
	2	0,5832	
	3	0,974	
Pedrinhas Paulista	4	0,4927	99,06%
	5	0,5696	
	6	1,0047	
Ourinhos	7	0,7262	99,10%
	8	1,1245	
	9	0,6445	

Tabela 6: Determinação do teor de Lignina Insolúvel

A presença de lignina na biomassa é provavelmente uma das causas que mais afetam a acessibilidade das enzimas à celulose.

A média do teor de lignina insolúvel, é calculado de acordo como os resultados das amostras de cada cidade, tendo uma porcentagem média de 98,7% de lignina insolúvel, indicando que a conversão de hidrólise foi baixa. Em relação à média entre as cidades, houve valores aproximados do teor de lignina insolúvel.

Comparando com trabalhos similares, (SANTOS et al, 2012) e (PADILHA, 2016), 83,3% e 80,99%, respectivamente, os teores de lignina insolúvel, tiveram valores diferentes do esperado. (figura 17). A figura 18 mostra como ficou a palha da cana de açúcar, após o processo de hidrólise da lignina insolúvel.

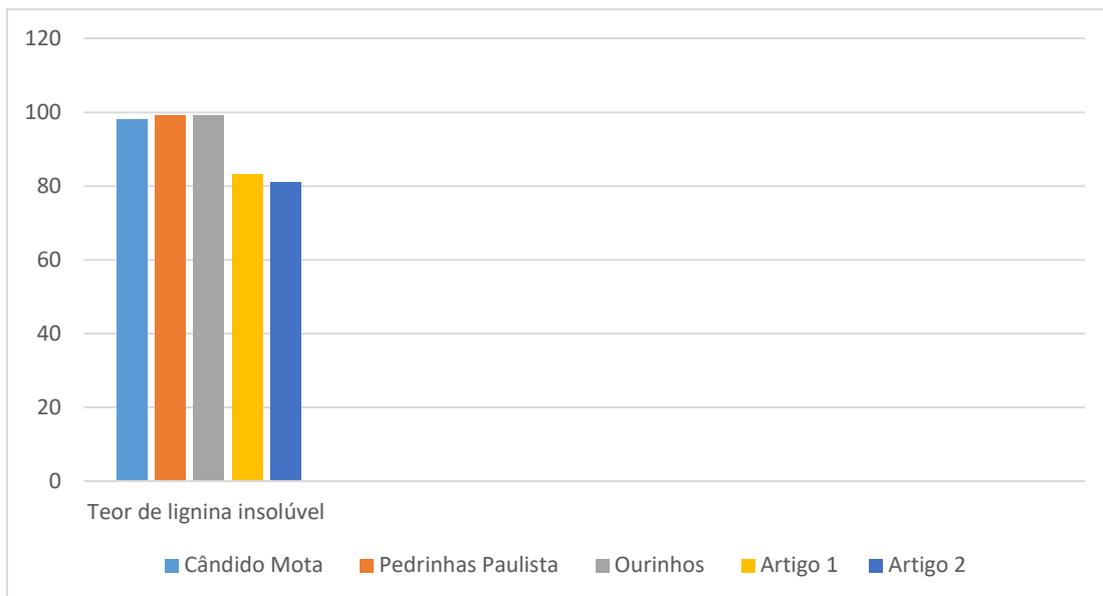


Figura 17: Comparação do teor de lignina insolúvel

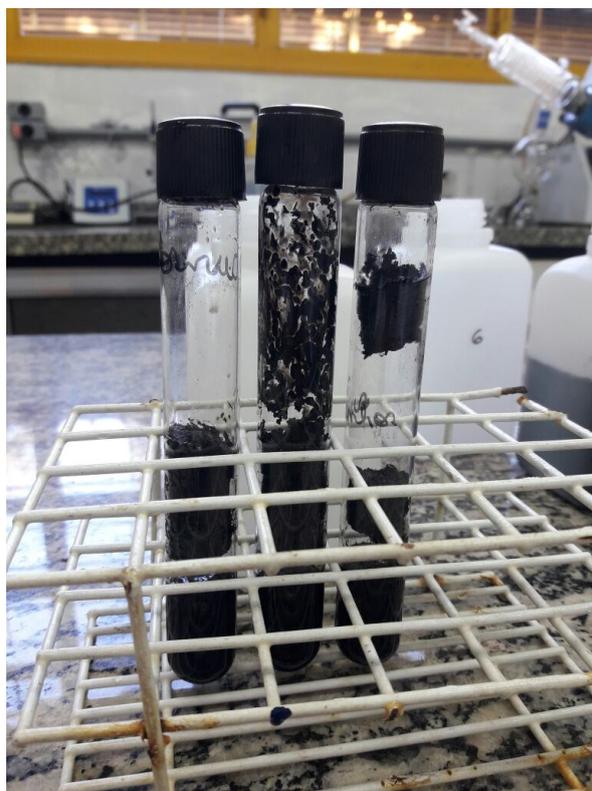


Figura 18: Amostra após processo de hidrólise da lignina insolúvel

8. CONCLUSÃO

Conclui-se que os teores de cinzas e umidade determinados, diferenciaram significativamente em relação à trabalhos similares.

É de extrema importância eliminar ou remover grande parte da lignina para obter rendimentos satisfatórios na etapa de hidrólises, porém, pode ser observado no respectivo trabalho, que a taxa de conversão da lignina foi baixa, não tendo um resultado satisfatório. A temperatura no meio reacional foi alta, com isso, a produção de açúcares é mais rápida, ocasionando a degradação dos mesmos. Isto ocorre porque com o aumento da temperatura, a reação chega mais rapidamente à taxa máxima de açúcares, entretanto, a degradação também ocorre de forma mais rápida.

A alta concentração do ácido sulfúrico utilizado no trabalho e a não lavagem da palha da cana de açúcar no início das análises, são fatores que devem ser levados em consideração, como resultado não satisfatório.

Sendo assim, os parâmetros empregados no tratamento hidrotérmico utilizado precisam ser melhores dimensionados para que haja maior rendimento no processo, pois são essenciais para a conversão de açúcares fermentescíveis em etanol.

9 REFERÊNCIAS

ABREU, Daniela Gonçalves. MOTOKANE, Marcelo Tadeu. **O processo de fermentação: Transformações químicas e biológicas.** 2005. Disponível em: <<http://sites.ffclrp.usp.br/laife/teia/Arquivos/Apostilas/08%20-%2024-09-05/Turma%20I/Apostila%20-%20O%20Processo%20da%20Fermenta%E7%E3o.pdf>>. Acesso em: 13 de Out. de 2017.

AMARAL, L. **Trabalhos práticos de química.** São Paulo, 1996: < Disponível em: <http://www.abq.org.br/simpequi/2013/trabalhos/2210-12473.html>>. Acesso em 12 de Set. de 2016.

ANDRADE, Liliane Pires. **Estudo da influência da matéria- prima no processo de produção de etanol a partir de bagaço de cana.** 2014. 98 p. Dissertação (mestrado)- Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, Campinas, SP. 2014. Disponível em: < <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000937423>>. Acesso em: 11 de jul. de 2017.

ARATANI, Ricardo Garcia. **Qualidade física e química do solo sob diferentes manejos e condições edafoclimáticas no estado de são Paulo.** 2008. 139p. Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP- Jaboticabal, 2008. Disponível em: <http://www.fcav.unesp.br/download/pgtrabs/cs/d/3098.pdf>. Acesso em: 23 de out. de 2017.

ARAÚJO, Camila Reis de. GARRIDO, Carolina Vicência Santos. **Estudo das rotas de hidrólise química e biológica para a produção de etanol de segunda geração a partir de resíduos lignocelulósicos.** 2013. Disponível em: < <http://revistas.unifacs.br/index.php/sepa/article/download/2815/2043>>. Acesso em: 18 de jul. de 2017.

ARAÚJO, João Paulo de C., LIMA, Washington. **Etanol segunda geração. 2015.** Disponível em: <<https://prezi.com/7ytxhmt9q7p/etanol-segunda-geracao/>>. Acesso em: 14 de jul. de 2017.

BAIRD, Colin. **Química Ambiental.** 2º edição, Porto Alegre: Bookman, 2005.

BARROS, Talita Delgrossi, JARDINE, José Gilberto. **Etanol.** Agência Embrapa de Informação Tecnológica. 2011. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fj07rcuq02wyiv802hvm3j2838bue.html>>. Acesso em: 20 de jul. de 2017.

BEZERRA, Franklin de Castro. **Prática e aprendizagem química na pesquisa do ensino de ciências**. 2013. Centro Universitário do Norte- UNINORTE. Relatório de estagio supervisionado de intervenção. Manaus. 2013. Disponível em: <<https://www.webartigos.com/artigos/pratica-e-aprendizagem-quimica-na-pesquisa-do-ensino-de-ciencias/106796>>. Acesso em: 16 de nov. de 2017.

BIANCHINI, Aloisio. **Comportamento da palha de cana-de-açúcar submetida ao corte por meio de ensaios de bancada**. 2004. 7p. Tese (Doutorado) - UNICAMP- Campinas, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v8n2-3/v8n2a21.pdf>> Acesso em: 23 de out. de 2017.

BIANCHIN, Victor; SILVEIRA, Gabriel. **Como é produzido o etanol**. Ed. 79. 2016: <Disponível em: mundoestranho.abril.com.br/matéria/como-e-produzido-o-etanol.> Acesso em 25 de maio de 2016.

BINOD, P. JANU, K.U. SINDHU Raveendran, PANDEY, Ashok et al. **Hydrolysis of lignocellulosic biomaa for bioethanol production**. 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123850997000103>>. Acesso em: 21 de nov. de 2017.

CARVALHO, M. Lucas de. **Estudo cinético da Hidrólise Enzimática de celulose de bagaço de cana-de-açúcar**. 2011. 103 p. Dissertação (Mestrado) Engenharia Química - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/4075>>. Acesso em: 13 de Out de 2017.

CASTRO, Aline Machado. **Produção, propriedades e aplicação de celulases na hidrolise de resíduos agroindustriais**. 2010. Centro de Pesquisas e Desenvolvimento. Disponível em: <<http://submission.quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/2010/vol33n1/30-RV09352.pdf>>. Acesso em 10 de jul. de 2017.

CASTRO, Heizir F. de. **Papel e Celulose**. Processos químicos industriais II. 2009. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de Lorena EEL. Disponível em: <https://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5840556/434/apostila4papelecelulose.pdf>. Acesso em: 18 de jul. de 2017.

COELHO, L.M.; OLIVEIRA, F. J. **Produção do etanol a partir da lignocelulose tendo como matéria prima o bagaço da cana de açúcar**. Disponível em <<http://www.abq.org.br/biocom/2011/trabalhos/60-9688.htm>> Acesso em 13 de set. de 2016.

COSTA, Silvano Silvério Lopes da. NASCIMENTO, Cristiane da Cunha. **A perspectiva do ensino de química: Uma visão para deficientes auditivos**. 2010. Disponível em: <http://educonse.com.br/2010/eixo_02/E2-165c.pdf> Acesso em: 13 de Out. de 2017.

DRABER, Katia Maria Mandu. **Etanol de segunda geração já é realidade**. 2013. Universidade de São Paulo escola de engenharia de Lorena. Disponível em: <<https://sistemas.eel.usp.br/bibliotecas/monografias/2013/MBI13004.pdf>>. Acesso em 17 de jul. de 2017.

FERRO, Ana Paula, TEIXEIRA, Aline Finger. **Produtos naturais para Bioenergia: Uso de inibidores de lignificação para produção de etanol celulósico**. s.d, 10 p. Universidade Estadual de Maringá (UEM). Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas, III Curso de Inverno. Disponível em: <<http://www.pbc.uem.br/DOWNLOAD/IIICurso2013-ap14.pdf>>. Acesso em: 21 de Out de 2017.

FILHO, José Mário Mamede Aguiar. **Análise enzimática de fungos lignocelulolíticos cultivados em vinhaça e bagaço de cana-de-açúcar**. 2008. 80 p. Dissertação apresentada para obtenção de mestre em Agronomia. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2008. Disponível em: <www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11138/tde-10032009.../Jose_Aguiar_Filho.pdf>. Acesso em: 13 de Out de 2017.

FOGAÇA, Jennifer. **Produção de álcool em sala de aula**. 2017. Disponível em: <<http://educador.brasilecola.uol.com.br/estrategias-ensino/producao-alcool-salaaula.htm>>. Acesso em: 13 de Out. de 2017.

FRANCISCO, Roberta P. **Caracterização química de polpa quimiotermomecânica de eucalyptus grandis**. 2007. 6p. Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2007. Disponível em: <http://www.eucalyptus.com.br/icep03/32_Francisco_Curvelo.pdf>. Acesso em: 21 de nov. de 2017.

FRANCISCO, Wagner De Cerqueira e. **"Etanol Celulósico"; Brasil Escola**. 2009. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/geografia/etanol-celulosico.htm>>. Acesso em 06 de set. de 2016.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**- São Paulo: Paz e Terra, 2010.

GRUBISICH, Jose Carlos. **Etanol de cana tem várias vantagens em relação ao de milho.** Disponível em: <<http://www.unica.com.br/convidados/28781408920331483908/etanol-de-cana-tem-varias-vantagens-em-relacao-ao-de-milho>>. Acesso em 13 de set. de 2016.

IKEMATSU, P. **Caracterização do ambiente físico de duas voçorocas ocorrentes no município de Sorocaba (SP).** 2006. Disponível em: <http://www.labogef.iesa.ufg.br/links/sinageo/articles/166.pdf>. Acesso em: 21 de nov. de 2017

LOPES, Elessandra Laura Nogueira. **Características químicas de um Gleissolo sob diferentes sistemas de uso nas margens do rio Guamá, Belém, Pará.** 2006. v. 1, n. 1, p. 127-137. Disponível em: < <http://scielo.iec.pa.gov.br/pdf/bmpegc/v1n1/v1n1a09.pdf>> Acesso em: 23 de out de 2017

MACHADO, Gleysson B. **Fabricação de açúcar e etanol a partir da cana de açúcar.** 2014. Disponível em: <<http://www.portaldobiogas.com/fabricacao-de-acucar-e-etanol-partir-da-cana-de-acucar>>. Acesso em: 14 de jul. de 2017.

MAEHARA, Larissa. **Produção de enzimas pelo cocultivo de fungos filamentosos por fermentação em estado sólido e aplicação do meio integral na sacarificação da biomassa para obtenção de etanol Celulósico.** 2016. 107 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/7407/DissLM.pdf?sequence=1>> Acesso em: 18 de Jul. de 2017.

MANGINI, Glória, NASCIMENTO, Amanda. **Plátano Combustíveis.** S.D. Disponível em: < <https://www.emaze.com/@AOOQIWF/-copy1>>. Acesso em: 19 de Out de 2017.

MANOCHIO, Carolina. **Produção de Bioetanol de cana de açúcar, milho e beterraba: uma comparação dos indicadores tecnológicos, ambientais e econômicos.** 2014. 32 p. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Engenharia Química. Universidade Federal de Alfenas- Campus de Poços de Caldas, MG. 2014.

MARABEZI, Karen. **Estudo sistemático das reações envolvidas na determinação do teores de lignina e holocelulose em amostras de bagaço e palha de cana-de-açúcar.** 2009. 158p. Dissertação apresentada ao Instituto de Química de São Carlos, da Universidade de São Paulo. USP. 2009. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/75/75131/tde-07102009-100309/publico/KarenMarabezi.pdf>>. Acesso em: 22 de out. de 2017.

MENDES, Kassandra Christiny Silva. **Estudo do processo de pré-tratamento da palha de cana-de-açúcar para a otimização da produção de xilose com reduzida formação de produtos de degradação.** 2013. 84p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, P.E. 2013. Disponível em:

<<http://repositorio.ufpe.br/bitstream/handle/123456789/10314/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Kassandra%20Mendes%20Vers%C3%A3o%20Final%20com%20ficha.pdf?sequenc e=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 22 de out. de 2017.

MORAIS, Alaine Patrícia da Silva. **Estudo do pré-tratamento do bagaço de cana-de-açúcar e caracterização físico-química.** 2010. 60p. Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – Campus de Botucatu. 2010. Disponível em: <<http://www.pg.fca.unesp.br/Teses/PDFs/Arq0551.pdf>>. Acesso em: 23 de out. de 2017.

MOTOKANE, Marcelo Tadeu, ABEU, Daniela Gonçalves. **O Processo da Fermentação: Transformações Químicas e Biológicas.** 2005. Teia do Saber. USP/ SP. Disponível em: <<http://sites.ffclrp.usp.br/laife/teia/Arquivos/Apostilas/08%20-%2024-09-05/Turma%20I/Apostila%20-%200%20Processo%20da%20Fermenta%E7%E3o.pdf>>. Acesso em: 13 de Jul. de 2017.

OGEDA, Thais Lucy, PETRI, Denise F.S. **Hidrólise enzimática da biomassa.** 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422010000700023>. Acesso em 15 de jul. de 2017.

OLIVEIRA, Jane Raquel Silva de. **Contribuições e abordagens das atividades experimentais no ensino de ciências: reunindo elementos para a prática docente.** 2010. Disponível em: <<http://w3.ufsm.br/laequi/wpcontent/uploads/2015/03/contribui%C3%A7%C3%B5es-e-abordagens-de-atividades-experimentais.pdf>>. Acesso em: 19 de jul. de 2017.

ORTIZ, Gislene Figueiredo. **O clima urbano de Cândido Mota: análise do perfil térmico e higrométrico em episódios de verão.** 2011, 163 p. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Geografia da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente. Presidente Prudente, 2011. Disponível em:<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/96700/ortiz_gf_me_prud.pdf?sequenc e=1>. Acesso em: 20 de nov. de 2017.

PADILHA, E. R. D. **Produção e Caracterização Físico-Mecânica de Briquetes de Fibra de Coco e Palha de Cana-de-Açúcar.** Revista Virtual de Química. vol.20, no. 20, agosto, 2016, p. 76-103. Disponível em: <<http://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/viewFile/1396/823>>. Acesso em: 20 de Out de 2017.

PATRÍCIO, Julia. **Matérias primas produtos naturais hulha ou carvão mineral petróleo.** Disponível em: <<http://slideplayer.com.br/slide/294747/>> Acesso em: 19 de Jul. de 2017.

PENA, Fernanda Rodrigues. **Otimização do parâmetro concentração de hidródo de sódio, empregado no pré – tratamento do bagaço de cana-de-açúcar, visando à obtenção de etanol celulósico.** 2011. 46p. Trabalho de Programa de Iniciação Científica Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis. FEMA- Assis. Disponível em: <https://cepein.femanet.com.br/BDigital/arqPics/1011290446P406.pdf>. Acesso em: 20 de out de 2017.

PERAZOLO, Isabella Delanhesi. **Produção de etanol celulósico a partir da cana de açúcar.** 2010. 40 p. Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Produção Sucroalcooleira. UNOESTE – Universidade do oeste Paulista Sup. De Tec. Produção Sucroalcooleira, 2010.

PEREIRA, Douglas Gualberto Sales. **Rendimentos da hidrólise enzimática e fermentação alcoólica de capim-elefante, capim- andropogon, capim-mombaça e bagaço de cana-de-açúcar para produção de etanol de segunda geração.** 2013. Disponível em: <<http://locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/2941/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 18 de jul. de 2017.

PIMENTA, Caroline. **Obtenção do etanol a partir do caldo de cana.** 2007. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAX2cAB/obtencao-etanol-a-partir-caldo-cana>>. Acesso em: 19 de jul. de 2017.

PRATTO, Bruna. **Hidrólise enzimática de palha da cana-de-açúcar: estudo cinético e modelagem matemática semi- mecanística.** 2015.130p. Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em engenharia química da Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2015. Disponível em: <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiq9_rps4XXAhXGIZAKHSnvAn4QFggqMAA&url=https%3A%2F%2Fpositorio.ufscar.br%2Fbitstream%2Fhandle%2Fufscar%2F4172%2F6815.pdf%3Fsequence%3D1&usg=AOvVaw1xTbWgIRpno6cCUICq-NsU>. Acesso em: 21 de out. de 2017.

RABELO, Cândida Sarita, **Avaliação e otimização de pré- tratamentos e hidrólise enzimática do bagaço de cana de açúcar para a produção de etanol de segunda geração.** 2010. 447 p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Química, da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2010. Disponível em: <<http://pct.capes.gov.br/teses/2010/33003017034P8/TES.PDF>>. Acesso em: 13 de Out de 2017.

RAMOS, G.C.; SILVA, A.W.A. **Produzido álcool a partir do caldo de cana: uma experiência com um grupo de alunos do terceiro ano do ensino médio da escola instituto Santa Teresinha de Bragança no Estado do Pará.** 2012. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/simpequi/2012/trabalhos/85-10090.html>>. Acesso em: 14 de jul. de 2017.

SALIBA, Eloísa de Oliveira Simões. **Ligninas – métodos de obtenção e caracterização química.** 2001. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782001000500031>. Acesso em: 23 de out. de 2017

SANTANA, FRANCCIOLI, RAMOS, Eliseu, Tassiana, Mario. - **Processos de Produção Agropecuária. Produção de Cana-de-açúcar e Etanol.** Engenharia de Produção 8º Semestre – UNIFAE. Disponível em < <https://ppagro.wikispaces.com/file/view/Cana-de-a%C3%A7%C3%BAcar+e+Etanol.pdf>> Acesso em 14 de set. de 2016.

SANTOS, Fernando A, QUEIRÓZ, José H, COLODETTE, Jorge L. **Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol.** Revista Química Nova, vol. 35, no. 5, jan. 2012. p.1-14. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422012000500025>. Acesso em 11 de jul. de 2017.

SANTOS, Fernando A, QUEIRÓZ, José H, COLODETTE, Jorge L. **Optimization of hydrothermal pretreatment of cane sugar straw for cellulosic ethanol production.** Revista Química Nova, vol. 37, no. 1, agosto 2014, p. 56-62. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422014000100011>. Acesso em: 23 de out. de 2017.

SEYE, O; CORTEZ, L.A.B.; GOMEZ, E.O. **Estudo cinético da biomassa a partir de resultados termogravimétricos.** In: Encontro De Energia No Meio Rural, V.3. 2000, Campinas. Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022. Acesso em: 23 de out. de 2017.

SILVA, André Luís. **Hidrólise.** 2007. Disponível em: <http://www.infoescola.com/reacoes-quimicas/hidrolise/>. Acesso em 10 de jul. de 2017.

SILVA S. G. **As principais dificuldades na aprendizagem de química na visão dos alunos do ensino médio.** IX Congresso de Iniciação Científica do IRFN. Disponível em <http://www2.ifrn.edu.br/ocs/index.php/congic/ix/paper/viewFile/1037/76> Acesso em 17 de set. de 2016.

SILVA, Vinícius Fernandes Nunes. **Estudos de pré- tratamento e sacarificação enzimática de resíduos agroindustriais como etapas no processo de obtenção de etanol celulósico.** 2009 Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/97/97131/tde-22082013-084521/en.php>>. Acesso em 10 de jul. de 2017.

SILVA, Wesley Pereira da. **As propriedades do sabão e dos detergentes.** Disponível em: <<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=7757>>. Acesso em 18 de jul. de 2017.

SOARES, Paulo Augusto. **Conversão da celulose pela tecnologia organosolv.** Núcleo de análise interdisciplinar de políticas e estratégias da Universidade de São Paulo. USP. Disponível em: <https://www.novacana.com/pdf/estudos/hidrolise_organoslov_NAIPPE.pdf> Acesso em: 10 de jul. de 2017.

SOARES, ROSSEL. Paulo A, Carlos E. **Conversão da celulose pela tecnologia organosolv.** Disponível em: <https://www.novacana.com/pdf/estudos/hidrolise_organoslov_NAIPPE.pdf> Acesso em 13 de abril de 2017.

SOUZA, Leticia Marrone de. **Metabolismo de lignina em quatro genótipos de cana-de-açúcar cultivados em campo.** 2015. 76p. Dissertação apresentada ao Instituto de Biologia da Universidade Estadual de Campinas. (UNICAMP). Campinas, 2015. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/315463>>. Acesso em: 21 de out de 2017.

SOUZA, Lu. **Fermentação alcoólica.** 2011. BioLUgando com a LU sobre Bio- Vida. Disponível em: <<http://biolugando.blogspot.com.br/2011/10/aula-pratica-fermentacao-alcoolica.html>>. Acesso em: 21 de jul. de 2017.

SZCZERBOWSKI et.al. **Sugarcane biomass for biorefineries:** Comparative composition of carbohydrate and non-carbohydrate components of bagasse and straw. Carbohydrate polymers, Barking, v.114, no.19, dez, 2014, p.95-101. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014486171400736X>>. Acesso em: 15 de set. de 2017.

VIAN, Carlos Eduardo Freitas, **Qualidade da matéria prima.** 2004. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Brasília/DF. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_138_22122006154842.html> Acesso em 15 de jul. de 2017.

VILELA, Frederico Sampaio Vasconcelos. **Avaliação do ciclo de vida da produção industrial de etanol e açúcar**. 2013. 107 p. Dissertação de mestrado em ciências mecânicas. Universidade de Brasília, Faculdade de tecnologia departamento de engenharia mecânica. Brasília/DF. Disponível em:

<http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/13361/1/2013_FredericoSampaioVasconcelosVilela.pdf>. Acesso em 13 de jul. de 2017.

WANDERLEY, Tânia. **A geografia e a química do dia- a- dia**. 2012. Disponível em<<http://praticandogeoquimica.blogspot.com.br/>> Acesso em 14 de set. de 2016.