

AValiação DA CONVERSÃO DE RESÍDUOS TêXTEIS PARA BIOETANOL: LIMITAÇÕES E RESULTADOS NA PRODUÇÃO DE GLICOSE

Ana Beatriz Capeli, Emily Hoefft Padilha, Gabriel André Taube*, Johnny Wharley Herminio Saraiva*, Larissa Nicocelli e Vitória Negherbon Colpini

Discentes do Curso Técnico em química (Modalidade Integrado), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - Câmpus Jaraguá do Sul

*Email: wharley.saraiva@gmail.com

gabrielTaube9@gmail.com

Elder Correa Leopoldino

Docente de Química Orgânica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - Câmpus Jaraguá do Sul

Resumo: Devido a grande problemática envolvendo o grande descarte de resíduos de algodão e a produção de bioetanol de segunda geração e posteriormente tem como objetivo a obtenção de açúcar (glicose) através de retalhos de tecido 100% algodão, e assim transformar este açúcar em bioetanol. Atualmente a produção do Bioetanol se baseia em inúmeras matérias primas, então o artigo propõe uma nova alternativa, usando retalhos de tecido. Uma vez que esta possibilidade mostra-se uma escolha sustentável para o reaproveitamento desses retalhos e uma opção para a substituição do combustível fóssil por um combustível menos prejudicial à saúde humana, animal e vegetal. Essa pesquisa tem como metodologia a obtenção e tratamento do tecido feito de algodão, a hidrólise básica para a quebra das moléculas de celulose em glicose, a fermentação da glicose obtida na hidrólise básica para a obtenção do álcool, a destilação do álcool e assim a caracterização desse álcool adquirido. Com base nas pesquisas e práticas realizadas ao longo do projeto, foi possível converter o retalho em açúcar tendo uma taxa de conversão de 5,02% de 1,00 g de tecido em glicose. Conclui-se que é possível a obtenção de glicose a partir dos retalhos de tecido, mas é necessário estudos complementares para otimizar os processos e aumentar a taxa de conversão.

Palavras-chave: Bioetanol; retalhos de tecido; algodão; celulose; glicose.

Abstract: Due to the major problem of large-scale cotton waste disposal and the production of second-generation bioethanol, and subsequently aims to obtain sugar (glucose) from 100% cotton fabric scraps, and thus transform this sugar into bioethanol. Currently, bioethanol production is based on numerous raw materials, so the article proposes a new alternative using tissues scraps. Once this possibility shows itself as a sustainable choice for the reuse of these scraps and an option to replace fossil fuel for a less harmful fuel for the human, animal and plant health. This research has as a methodology the attainment and treatment of the 100% cotton fabric scraps, the alkaline hydrolysis to break cellulose molecules into glucose, the fermentation of the retrieved glucose in the basic hydrolysis for the attainment of alcohol, the alcohol distillation and it's characterization. Based on the researches and the laboratory practices carried out throughout the project, it was possible to convert the scrap into sugar having a conversion rate of 5.02% of 1,00 g of tissue into glucose. It is concluded that it is possible to obtain glucose from tissue scraps, but additional studies are needed to optimize the processes and increase the conversion rate.

Keywords: Bioethanol; fabric scraps; cotton; cellulose; glucose.

1 Introdução

Atualmente, no Brasil, 36% das fontes utilizadas na geração de energia são constituídas por combustíveis fósseis, como petróleo e seus derivados, carvão mineral e gás natural (Pena, *s.d.*). Esses combustíveis fósseis trazem grandes problemas ao meio ambiente, pois durante a combustão liberam dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera. Esse gás é o principal responsável pelo desencadeamento do aquecimento global, além do risco à saúde que a poluição da queima do combustível fóssil pode nos causar (Combustíveis, 2021). Uma das alternativas para reduzir o uso desses combustíveis fósseis é o bioetanol, que por ser renovável e oriundo de matéria orgânica, mostra-se muito mais benéfico ao meio ambiente pelo fato de ser sustentável.

A produção do Bioetanol pode ser realizada a partir de diferentes matérias-primas, entre elas a cana-de-açúcar, o milho, o arroz, a cevada, o trigo e o algodão. Algo em comum entre essas matérias-primas é a presença de açúcares em sua composição como glicose, sacarose, celulose e frutose, sendo essenciais para o processo de fermentação alcoólica. Sendo assim, foram escolhidos retalhos de tecido feitos de 100% algodão como matéria-prima para esta pesquisa, pois o algodão é a fonte que mais contém celulose em sua estrutura, podendo ser encontrado até 98% de celulose pura (Klock, *s.d.*) e também para que os resíduos de tecido das indústrias tivessem uma melhor finalidade, além do descarte que ficam poluindo terrenos. Os retalhos de algodão representam uma grande fonte de matéria prima para a produção deste biocombustível, além de que, a reutilização desses resíduos ajuda também na diminuição do descarte inadequado no meio ambiente já que nos últimos anos, mais de 4 milhões de toneladas de resíduos têxteis são descartados anualmente no Brasil. Dentro desses 4 milhões estão: roupas velhas, retalhos de indústria têxtil e peças de couro (Puente, 2022).

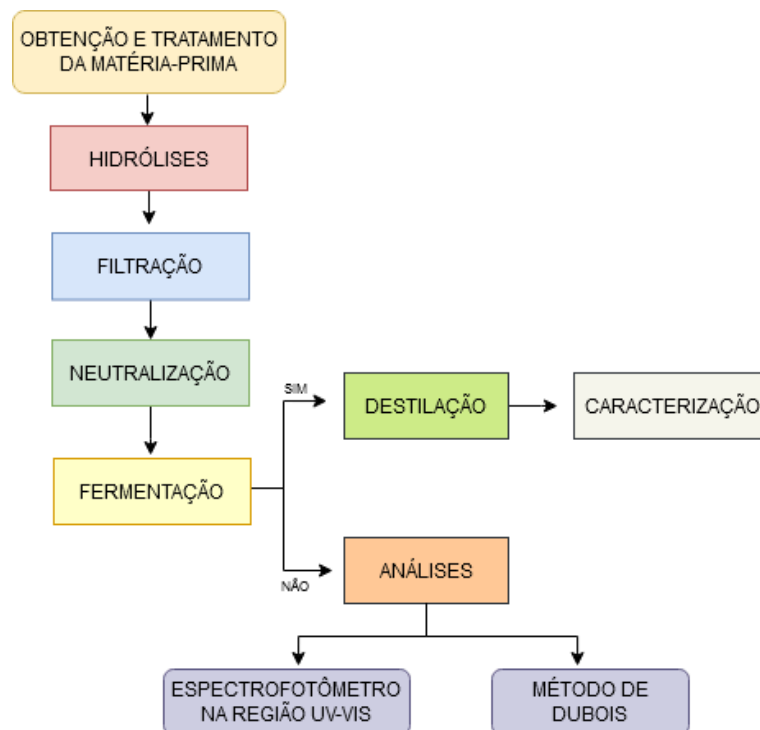
A sustentabilidade tem sido uma pauta preferencial em diversos setores produtivos, incluindo o têxtil, devido à crescente necessidade de reduzir impactos ambientais. A produção de bioetanol a partir de resíduos, como retalhos de algodão descartados, reforça a adoção de práticas de reaproveitamento, reduzindo a dependência de recursos fósseis e minimizando a geração de resíduos sólidos (Mesquita *et al.*, 2023). Logo, a produção de bioetanol a partir de retalhos de tecido 100% algodão teve como objetivo unir ambas áreas e promover um meio sustentável de produzir bioetanol. E mais importante, utilizar um resíduo que não compete com a indústria alimentar, sem impacto na produção agrícola.

Partindo dessas premissas, foram estabelecidas duas hipóteses principais: a de que é possível produzir bioetanol utilizando como matéria-prima retalhos de tecido feitos de 100% algodão reutilizados, e a de que o rendimento obtido nesse processo será baixo.

2 Metodologia

O processo iniciou-se com a obtenção e o tratamento da matéria prima, em seguida, procedeu-se para as etapas de hidrólises e todos os outros procedimentos que as sucedem, como demonstra o Figura 1.

Figura 1 - Processos de obtenção e tratamento dos retalhos de tecido 100% algodão.



Fonte: Elaborado pelos Autores (2024).

O fluxograma apresenta de forma condensada e sintética as etapas da metodologia utilizada para realizar os experimentos em laboratório, contendo desde etapas primordiais como a obtenção da matéria prima até as análises e a caracterização presente no final do processo. Nos próximos tópicos é descrito de forma mais aprofundada a realização de cada etapa.

2.1 Obtenção e tratamento da matéria-prima

A matéria-prima foi obtida nos laboratórios da área têxtil do IFSC Câmpus Jaraguá do

Sul - Centro. Os tecidos eram 100% algodão, de coloração esbranquiçada, devidamente lavados e tratados para a indústria, mas sem pigmentação. Foram desfiados utilizando luvas para que gorduras das mãos não se alojassem no tecido e passaram por cortes por instrumentos como tesouras e facas. O material resultante foi guardado em frascos, para serem protegidos da ação do clima e do tempo. Após esse processo de preparo, iniciou-se o procedimento de hidrólise.

2.2 Hidrólise

Foram realizados dois tipos de hidrólises nesta pesquisa, uma em meio ácido e outra em meio alcalino ou básico. Para cada sistema foi adotado uma solução de hidrólise específica, detalhadas nas subseções 2.2.1 e 2.2.2, respectivamente.

O sistema de hidrólise foi o mesmo para ambos os casos, onde inicialmente foi montado com a fixação de um elevador sobre um suporte universal. No elevador, posicionou-se uma manta de aquecimento para balão de fundo redondo de 500 mL. Desse modo, acrescentou-se a esse balão a solução de hidrólise, composta por algodão, pérolas de vidro e uma solução ácida ou alcalina, descritas a seguir. Sobre o balão, colocou-se um condensador Allihn, conectado a duas mangueiras, uma delas conectada a uma bomba de aquário e outra à um recipiente com um banho de gelo. A mangueira conectada ao motor foi fixada na entrada inferior do condensador, garantindo o fluxo contínuo de água resfriada. Com o sistema montado, o processo de hidrólise foi conduzido por um período de 2 a 6 horas, dependendo da concentração da solução de hidrólise utilizada. Durante todo o processo foi necessário manter o banho de gelo resfriado para garantir que o condensador permanecesse constantemente gelado, assegurando a eficiência da condensação.

2.2.1 Hidrólise Ácida

A solução da hidrólise ácida foi preparada a partir da metodologia de SUN, Yong *et al* 2007. De acordo com esta metodologia, se trata de uma solução que contenha as respectivas frações, sendo elas 78% de ácido fórmico (marca Dinâmica, pureza 85%), 18% de água e 4% de ácido clorídrico (marca ANIDROL, pureza 36%-38%). Para uma solução de 250 mL os volumes são respectivamente 195 mL de ácido fórmico (marca Dinâmica, pureza 85%), 45 mL de água e 10 mL de ácido clorídrico 36-38%, para a medição dos volumes foram usadas provetas volumétricas de 100 mL e 250 mL, esses volumes foram adicionados a um béquer e depois transferidos a um balão de fundo redondo com um pequeno volume de água deionizada.

2.2.2 Hidrólise Básica

Na hidrólise básica foram utilizadas 3 concentrações diferentes de hidróxido de sódio (Dinâmica 99%), inicialmente com 3 mol L⁻¹, depois com 6 mol L⁻¹ e por último 9 mol L⁻¹. Para tanto foram preparadas soluções de 250 mL nas respectivas concentrações de NaOH, utilizando balanças semianalíticas para a medição das massas de NaOH (marca Dinâmica, pureza 99%) e balões volumétricos calibrados. As massas foram então dissolvidas em água deionizada e transferidas para um balão volumétrico de 250 mL, completando o volume com água deionizada. Com a solução preparada, esta foi transferida para um balão de fundo redondo de 500 mL, ao qual foram adicionados 1,00 g de algodão e pérolas de vidro. O condensador foi reposicionado no sistema, e em seguida, ligaram-se a manta de aquecimento e a bomba de aquário. O processo de hidrólise foi conduzido por um período de 6 horas.

A hidrólise básica com concentrações de 6 mol L⁻¹ e 9 mol L⁻¹ foram semelhantes à realizada com 3 mol L⁻¹, diferenciando-se principalmente pelo tempo de reação e pela massa de hidróxido de sódio utilizada. O período de hidrólise, que era de 6 horas para a solução de 3 mol L⁻¹, foi reduzido para apenas 2 horas nas soluções de maior concentração. Durante a preparação dessas soluções, foi necessário utilizar um banho de gelo para a solubilização do hidróxido de sódio, devido à natureza exotérmica da reação. Após as hidrólises, os sistemas foram tratados por filtração e neutralização.

2.3. Filtração

A filtração das soluções provenientes das hidrólises foi realizada utilizando o método de filtração a vácuo. Após a filtração completa, a solução restante foi submetida ao processo de neutralização e o sólido resultante foi levado ao dessecador para que a umidade presente fosse removida. Ao final, sua massa foi medida para determinar a conversão de algodão em açúcar (glicose).

2.3.2 Neutralização

Para a neutralização das soluções provenientes das hidrólises foram utilizados dois ácidos, ácido clorídrico (marca ANIDROL, pureza 36-38%) e ácido sulfúrico (marca ALPHATEC, pureza 95-98%). O volume necessário para neutralizar os 250 mL de cada solução foi determinado por cálculos estequiométricos. A solução foi transferida para um béquer de 500 mL, colocado em banho de gelo dentro da capela. Nessas condições, o ácido foi adicionado lentamente, em pequenas porções, com agitação constante por meio de um

bastão de vidro. A cada adição, realizava-se a medição do pH com o papel indicador de pH, repetindo o processo até atingir o pH 7.

2.4 Análises das soluções provenientes das hidrólises

Para a quantificação da glicose obtida pelas hidrólises realizadas foram utilizadas duas técnicas, obtendo-se, respectivamente, resultados qualitativos e quantitativos. As técnicas citadas são o método de Dubois, para a identificação de açúcares em solução e a análise no espectrofotômetro na região do ultravioleta e visível, a faixa de leitura sendo de 200 nm até 800 nm.

2.4.2 Método de Dubois para a quantificação qualitativa dos açúcares presentes

Para a análise pelo método de Dubois foi necessário preparar uma solução contendo 2 mL da amostra, 1 mL de fenol 5% e 5 mL de ácido sulfúrico concentrado (marca ALPHATEC, pureza 95-98%). Para a adição de fenol e de ácido sulfúrico foi usada a capela, utilizando um micropipetador automático de 1-1000 μL . Já para a adição de ácido sulfúrico foi usada uma pipeta volumétrica de 5 mL com a ajuda de uma pêra de sucção de borracha. Com a adição terminada, as amostras foram deixadas em repouso por 10 minutos, após esse período as amostras foram resfriadas e finalizadas para analisar no espectrofotômetro. Para a análise das soluções provenientes das hidrólises foram feitas diluições para 2 mL de amostra com quantidades específicas para que o resultado ficasse dentro da curva de calibração.

2.4.3 Espectrofotometria no UV-Vis

A análise das soluções obtidas pelo método de Dubois foram realizadas com o espectrofotômetro da marca Macy modelo V-1100, usando uma cubeta de quartzo de 3 mL com caminho óptico de 10 mm. Para determinar qual comprimento de onda seria analisado, foi realizada uma varredura, que permite obter o espectro do analito, e conseqüentemente os valores de transições eletrônicas máximas.

Antes das análises dos produtos das hidrólises foi necessário realizar uma curva de calibração para a glicose no espectrofotômetro, e para isso, foi preparada uma solução estoque de glicose 2 g L⁻¹ que foi utilizada para fazer os pontos com concentrações conhecidas. Então, em um béquer foi medido uma massa de 0,2004 g de glicose em uma balança analítica, sendo solubilizada com água deionizada e transferida para um balão, tendo o volume completado até 100 mL com água deionizada. A partir desta solução estoque, as concentrações feitas foram de 3, 5, 8 e 10 mg/L. A leitura do “branco” foi feita com a solução obtida com o método de

Dubois somente com água.

Com os valores de absorvância obtidos foi possível fazer uma curva de calibração, que relaciona absorvância com concentração. Desse modo, podendo encaixar os pontos das hidrólises e determinar a concentração de açúcar nas soluções das hidrólises.

2.5 Fermentação da solução de açúcares para a obtenção do etanol

Antes do início da fermentação foram preparados reatores utilizando potes de vidro para conserva com capacidade de 500 mL, equipados com tampas adaptadas com mangueiras de silicone. Esses reatores foram submetidos à esterilização em uma autoclave vertical analógica da marca Primatec, modelo CS, durante alguns minutos até a pressão atingir 1 atm, após isso, esperou-se 15 minutos e em seguida desligou-se a autoclave. Esse procedimento foi essencial para eliminar qualquer possibilidade de contaminação durante o processo de fermentação.

Após a esterilização, as soluções das hidrólises previamente neutralizadas foram adicionadas aos reatores, juntamente com 1,00 g e 2,00 g de fermento biológico (contendo a levedura *Saccharomyces cerevisiae*), respectivamente, em reatores separados. Em seguida, as mangueiras dos reatores foram conectadas a um béquer de 600 mL contendo água, permitindo que a fermentação ocorresse durante uma semana.

2.6 Destilação do fermentado via destilação simples

O sistema de destilação pode ser montado a partir de 3 etapas. Primeiramente, utilizando um suporte universal, colocou-se um elevador juntamente com uma manta de aquecimento para balão de fundo redondo. Em seguida, posicionou-se um balão de fundo redondo na manta. Paralelamente, em outro suporte universal, foi colocado um elevador junto com um recipiente de extração contendo um pequeno volume de água deionizada. Com esses dois equipamentos montados, foi possível anexar um conector ao balão de fundo redondo. Além disso, foi colocado uma garra na parte esmerilhada da vidraria.

Com o tubo conector integrado ao balão e a adição de um termômetro no encaixe superior, foi conectado o condensador Liebig ao tubo conector. Uma garra em pinça de três dedos e um terceiro suporte universal foram utilizados para fixar o condensador. Na outra ponta do condensador foi colocado um adaptador com saída de vácuo para integrar o recipiente de extração ao sistema.

Com o sistema montado é necessário colocar as mangueiras para estabelecer o fluxo de água no condensador, sendo a mangueira da saída inferior conectada ao motor de aquário.

Com a solução fermentada das hidrólises adicionada ao balão de fundo redondo e o sistema de aquecimento ligado foi feita a destilação. Esse processo ocorre até que $\frac{3}{4}$ do recipiente de extração esteja preenchido.

2.7 Método de Picnometria para quantificação do etanol presente na solução destilada

Com o analito destilado é realizada sua caracterização, que envolve a técnica do picnômetro, que foi usada na determinação da densidade da amostra. Para a análise é necessário fazer a calibração do picnômetro, que consiste na realização de 3 medições da massa do picnômetro. Então, com uma balança semianalítica é medida a massa do picnômetro vazio, preenchido com água e preenchido com a amostra, a partir desses valores é calculado a densidade do analito. Com a densidade é possível comparar com a literatura e verificar a presença de álcool na amostra.

3 Resultados e discussões

Os resultados obtidos neste estudo serão analisados, buscando esclarecer uma interpretação detalhada dos dados e das hipóteses iniciais apontadas no projeto. Entretanto, algumas alternativas foram escolhidas a fim de efetuar processos mais eficientes de acordo com cada resultado dos ensaios realizados. As seções relatadas abaixo serão discutidas em ordem da evolução do trabalho.

3.1 Obtenção da matéria-prima

O tecido feito de 100% algodão foi fornecido pelo técnico Jair, do curso de Modelagem e Vestuário. Para aumentar a eficiência dos processos de hidrólise (a serem discutidas nos subtópicos 3.2 e 3.3), as tiras de tecido foram desfiadas, como ilustra a Figura 2. Pois, desse modo, a solução de hidrólise teria maior área de contato com o algodão e consequentemente com a celulose presente nele.

Figura 2 - Algodão triturado x Algodão desfiado.



Fonte: Acervo pessoal (2024)

Como mostrado na figura 2, não foi necessário fazer o tratamento químico nos tecidos, pois os tecidos obtidos já foram pré-tratados pelo laboratório da área têxtil do IFSC Câmpus Jaraguá do Sul - Centro. Nas hidrólises foi observado que o algodão recortado em pequenos fios e desfiado obteve um maior rendimento do que o tecido apenas desfiado (Figura 2).

3.2 Hidrólise ácida

Foram realizados dois tipos de hidrólises com algumas mudanças para se ter um comparativo de qual método seria mais eficaz. Sendo assim, realizou-se uma hidrólise ácida em sistema de refluxo nas mesmas condições de temperatura e tempo de reação (70-80 °C, durante 6 horas) que a hidrólise básica, para se ter um comparativo. Logo, observou-se que houve uma maior deterioração no tecido quando comparado a hidrólise básica (Figura 3).

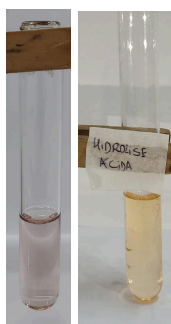
Figura 3 - Sistema de hidrólise ácida do algodão.



Fonte: Acervo pessoal (2024).

Porém, embora o algodão na solução demonstrava parecer pequenas partículas suspensas, no método de Dubois mostrou-se que havia pouca presença de glicose (Figura 4). Isso demonstra que a glicose pode ter sido degradada em outros compostos pela própria solução ácida.

Figura 4 - Soluções utilizadas no teste de Dubois branco e no teste de Dubois na hidrólise ácida.

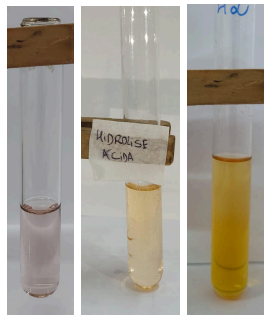


Fonte: Acervo pessoal (2024).

3.3 Hidrólise básica

Da mesma forma que na hidrólise ácida, foram realizadas variações nas condições e concentrações da hidrólise básica até obter-se um bom resultado. A hidrólise básica se tornou o meio mais eficaz de obtenção da glicose, já que ao realizar o teste de Dubois para quantificação dos açúcares era a hidrólise em que a coloração ficava de fato mais escura, representando maior concentração (Figura 5).

Figura 5 - Método de Dubois no branco x na hidrólise ácida x na hidrólise básica.



Fonte: Acervo pessoal (2024)

A melhor condição de hidrólise básica, ou seja, que demonstrou ter maior concentração de glicose, foi com concentração de base NaOH 9 mol L⁻¹, durante 2 horas em aquecimento contínuo no sistema de refluxo, e também o uso do algodão triturado juntamente com pérolas de vidro. A base mais concentrada demonstrou um ataque mais forte ao tecido. Para chegar nessa conclusão, foram analisados diversos ensaios que variavam as condições físicas e químicas (temperatura, tempo e concentração).

3.4 Filtração do algodão não convertido presente na solução

O processo de filtração a vácuo demonstrou-se eficiente para separar o sólido das soluções provenientes das hidrólises já que a filtração á vácuo é utilizada para deixar o sólido o mais seco possível e assim, conseguir quantificar quanto de algodão foi convertido para açúcar. Após o término da filtração, o algodão foi lavado diversas vezes com água deionizada, para que pudesse retirar os resquícios de base ainda presentes, medindo o seu pH com a ajuda de papel indicador de pH até obter o próximo de pH 7. Com isso, o algodão foi colocado em uma placa de Petri, já previamente com sua massa medida, e deixado no dessecador por alguns dias para remover a umidade. Depois de uma semana, o algodão foi pesado em uma balança analítica e foi calculada a conversão de algodão em glicose. Porém, todas as vezes

que foram medidas a massa do algodão na balança analítica, a sua massa sempre dava maior que a massa inicial (1,00 g) devido à umidade, resquícios de base ou de cristais de sal propícios da neutralização, já que o teste de Dubois confirmava a presença de açúcar nas soluções. O uso do sistema de vácuo também contribuiu para uma redução significativa do tempo de filtração em comparação com métodos gravitacionais tradicionais, como a filtração simples.

3.5 Neutralização

O processo de neutralização foi realizado com o intuito de utilizar o menor volume possível para que a solução não fosse diluída, logo, foram realizadas duas formas de neutralizar a solução, uma com ácido sulfúrico concentrado e outra com ácido clorídrico. Porém a neutralização com o ácido sulfúrico obteve melhores resultados, pois apresentou uma coloração mais intensa (Figura 6).

Figura 6 - Teste de Dubois nas hidrólises neutralizadas com ácido sulfúrico e ácido clorídrico respectivamente.



Fonte: Acervo pessoal (2024).

Isso se dá pelo fato de que o ácido clorídrico utiliza maior volume para neutralizar a hidrólise, devido à diferença de quantidade de hidrogênio ionizáveis, onde o ácido sulfúrico tem dois, enquanto o ácido clorídrico tem apenas um, resultando em um volume duas vezes maior do que se fosse usado um ácido diprótico. A solução foi neutralizada utilizando um banho de gelo, pois a reação é extremamente exotérmica.

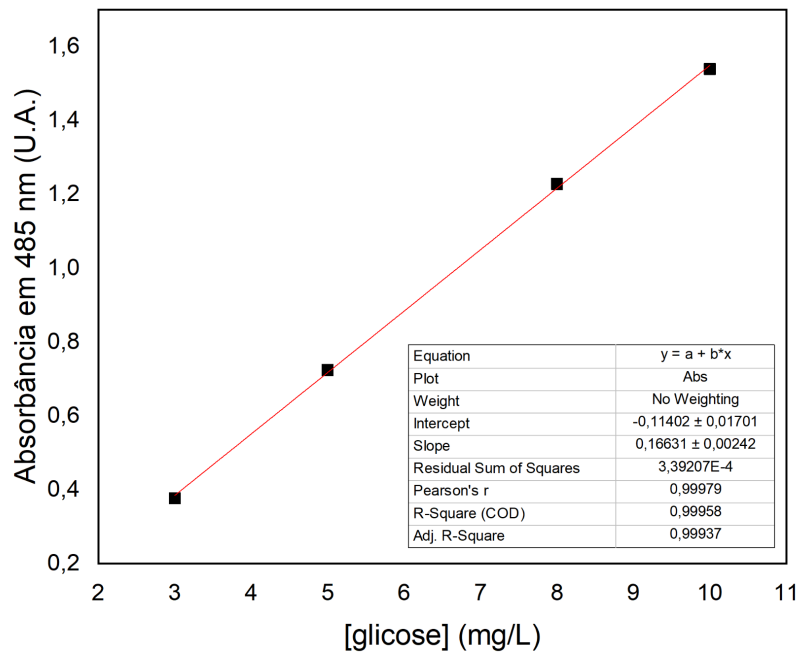
3.6 Método de Dubois para a quantificação qualitativa dos açúcares presentes

A análise pelo método de Dubois permitiu a determinação qualitativa de açúcares presentes nas amostras obtidas das hidrólises. Portanto, ao aplicar o teste de Dubois nas amostras das hidrólises, aquela que possuía a coloração mais escura era a hidrólise com maior concentração de açúcar, sendo então a cor proporcional à concentração.

3.7 Espectrofotometria no UV-Vis

Para a quantificação das hidrólises realizadas foi utilizada a técnica de espectrofotometria na região UV-Vis. Portanto, ao aplicar o teste de Dubois na amostra das hidrólises pode-se quantificar a concentração pela medição da absorbância em relação à amostra. Para isso foi realizada uma curva de calibração (Figura 7) de soluções de glicose conhecidas, e logo depois de ter aplicado o teste seguindo todos os procedimentos, foi levado ao espectrofotômetro para medição da absorbância.

Figura 7 - Curva de calibração da absorbância em 485 nm (U.A.) em função da concentração de glicose (mg/L).



Fonte: Elaborado pelos Autores (2024).

Em uma das nossas hidrólises, foi obtido 0,752 de absorbância. Nas demais hidrólises, a absorbância medida estava fora da curva de calibração, não possuindo precisão e exatidão, como também não dando a veracidade dos resultados. Portanto, para a absorbância 0,752 foi calculada a seguinte concentração considerando as diluições realizadas no meio dos processos (concentração do frasco inicial): 208,28 mg/L de glicose. Dessa forma, conclui-se que é possível realizar a conversão de algodão em glicose utilizando uma hidrólise básica, mas que sua taxa de conversão é baixa em relação a quantidade inicial de algodão (1,00 g), demonstrando ser cerca de 5,02% de conversão.

3.8 Fermentação da solução de açúcares para a obtenção do etanol

Para que a fermentação ocorresse de forma eficaz foi necessário esterilizar os reatores e em seguida ativar a levedura. Esse processo consiste em adicionar o fermento biológico seco a uma quantidade específica de água, utilizando a proporção de 100 mL de água para cada 1,00 g de fermento. A solução foi mantida constantemente em uma temperatura média entre 30 °C e 34 °C, utilizando um banho-maria, por aproximadamente 20 minutos. Em seguida a levedura foi adicionada à solução a ser fermentada, na qual permaneceu em repouso por até 72 horas, sob temperatura controlada (Figura 8).

Figura 8 - Reatores para a fermentação alcoólica.

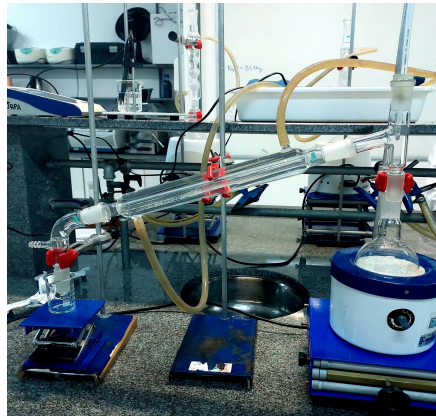


Fonte: Acervo pessoal (2024)

3.9 Destilação do fermentado via destilação simples

Após o término do processo de fermentação, observou-se a presença de partículas de levedura ainda presentes na solução, portanto, foi necessário realizar filtrações por gravidade. Desse modo, após filtrado e avolumado, foi adicionado ao sistema de destilação simples juntamente com um pouco de água deionizada (Figura 9). Durante o processo, a destilação ocorreu de forma eficiente, sendo finalizada ao atingir aproximadamente $\frac{3}{4}$ do volume do balão de coleta. Não era viável a destilação fracionada, pois já era esperado pouca quantidade de etanol, logo não seria possível destilar apenas o etanol (o que foi observado em um dos ensaios), então a destilação simples foi optada porque todo o etanol que tivesse na solução seria carregado junto com a água, por ser uma mistura azeotrópica. (Rizzon, 2010)

Figura 9 - Sistema de destilação simples montado.



Fonte: Acervo pessoal (2024).

3.10 Método de Picnometria para quantificação do etanol presente na solução destilada

Para caracterizar o produto obtido durante todo o processo, utilizou-se o picnômetro para medir a densidade da solução, compará-la com valores da literatura e verificar a presença de álcool na amostra. Em todas as hidrólises realizadas, nenhuma apresentou resultado positivo para álcool, pois a densidade obtida foi a mesma da água (1 g/cm^3). Isso pode ser explicado pela baixa quantidade de açúcar presente, o que dificulta a conversão para álcool. Caso tenha ocorrido formação de álcool, a quantidade gerada foi tão pequena que não alterou significativamente a densidade total da amostra, tornando inviável sua quantificação devido à mínima concentração.

Embora com as observações mencionadas, foi realizado o cálculo teórico que deveria ser obtido de etanol com a concentração de glicose que a hidrólise produziu. Portanto, com $208,28 \text{ mg/L}$, seria obtido $33,73 \text{ }\mu\text{L}$ de bioetanol. Observa-se que o volume de bioetanol é consideravelmente pequeno, pois considerando o volume da solução desse destilado (conforme explicado no item 3.9), sua concentração seria de $0,53 \text{ g/L}$, ou seja, teria cerca de $0,0265$ gramas de bioetanol (densidade $0,789 \text{ g/cm}^3$) nos 50 mL de solução.

4 Considerações finais

Para ser possível realizar a conclusão final do artigo, deve-se retomar as hipóteses sugeridas no início da pesquisa e verificar a veracidade destas. A primeira hipótese levantava a questão de que era possível produzir bioetanol usando como matéria-prima retalhos de tecido feitos de 100% algodão reutilizados. Pode-se concluir que ela foi refutada, pois ao

longo dos procedimentos laboratoriais não obteve-se resultados referentes às análises do álcool presente em solução. Porém apesar de não ter sido viável obter o bioetanol em quantidades consideráveis para ser detectável, através dos testes de Dubois, foi possível identificar a presença de açúcar nas hidrólises básicas neutralizadas. Com base nisso, por meio da curva de calibração, foi quantificada a glicose presente. Contudo, a baixa concentração de glicose encontrada indicou que seria difícil obter um rendimento mínimo de bioetanol. A segunda hipótese sugeriu que seria obtido um baixo rendimento de bioetanol. Portanto, conclui-se que ela foi refutada também, pois não foi possível identificar a presença de álcool nas soluções. Sendo assim, ambas das hipóteses propostas no decorrer da pesquisa foram refutadas, por se tratarem de expectativas referentes à produção e quantificação do bioetanol. Porém, cabe salientar que a produção de bioetanol mostrou-se adequada a ser realizada através da extração de açúcar de retalhos de tecido feitos de 100% algodão, por mais que necessite de melhorias e metodologias mais aprofundadas, por se tratar da manipulação de organismos vivos, por exemplo. Cabe ressaltar também que a presença de açúcar foi detectada, o que caberia a possibilidade de produzir álcool através desta matéria-prima.

De todo modo, conclui-se que esta temática é de extrema importância não apenas por se tratar de uma pesquisa inovadora, mas também pelo seu caráter marcado pela sustentabilidade e por não estar competindo com nenhum outro tipo de indústria, como a alimentícia por exemplo. Por fim, vale ressaltar que o caráter inovador e sustentável desta pesquisa pode inspirar novas investigações, incentivando o desenvolvimento de tecnologias que contribuam para a redução de resíduos têxteis e a mitigação dos impactos ambientais. A continuidade desses estudos pode consolidar o reaproveitamento de materiais como uma alternativa viável na cadeia produtiva de biocombustíveis.

Referências

COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS: POR QUE ELES PREJUDICAM O MEIO AMBIENTE?

Teccom, 2021. Disponível em:

<https://teccom10.com.br/combustiveis-fosseis-por-que-eles-prejudicam-o-meio-ambiente>.

Acesso em: 25 set. 2023.

DUBOIS, Michel.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A.; SMITH, Fred..

Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. **Analytical Chemistry**, [S.L.], v. 28, n. 3, p. 350-356, 1 mar. 1956. American Chemical Society (ACS).

<http://dx.doi.org/10.1021/ac60111a017>. Disponível em:

https://pubs.acs.org/doi/epdf/10.1021/ac60111a017?ref=article_openPDF. Acesso em: 28 out. 2024.

KLOCK, Umberto. CELULOSE, *s.d.* **Apresentação do PowerPoint**. Disponível em:

<http://www.engenhariaflorestal.ufpr.br/disciplinas/at113/celulose.pdf>. Acesso em: 02 set. 2023.

MESQUITA, Érica de Oliveira; OLIVEIRA, Murilo de Alencar Souza.

SUSTENTABILIDADE NA INDÚSTRIA TÊXTIL: Práticas para redução de impactos ambientais no segmento moda praia – Beachwear. **Engema**. 2023. Disponível em:

<https://engemausp.submissao.com.br/25/anais/arquivos/76.pdf?v=1734219823>. Acesso em: 29 nov. 2024.

PENA, Rodolfo F. Alves. Combustíveis fósseis. **Brasil Escola**, [s.d.]. Disponível em:

<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/combustiveis-fosseis.htm>. Acesso em: 03 out. 2023.

PUENTE, Beatriz. Brasil descarta mais de 4 milhões de toneladas de resíduos têxteis por ano.

CNN Brasil, 2022. Disponível em:

<https://www.cnnbrasil.com.br/economia/brasil-descarta-mais-de-4-milhoes-de-toneladas-de-residuos-texteis-por-ano/>. Acesso em: 12 set. 2023.

RIZZON, Luiz Antenor (Ed.). **Metodologia para análise de vinho**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2010. 120 p. ISBN 978-85-7383-505-2.

SUN, Yong et al. Hydrolysis of cotton fiber cellulose in formic acid. **Energy & Fuels**, v. 21, n. 4, p. 2386-2389, 2007.

VOLPE, Pedro L. O.. Estudo da fermentação alcoólica de soluções diluídas de diferentes açúcares utilizando microcalorimetria de fluxo. **Química Nova**, [S.L.], v. 20, n. 5, p. 528-534, out. 1997. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40421997000500013>.

Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/xjrzpMcvjSWZCfvqvLy84fh/?format=pdf>.

Acesso em: 18 dez. 2024.
