

SÍNTESE DO SOLKETAL A PARTIR DA GLICERINA COPRODUTO DA REAÇÃO DE TRANSESTERIFICAÇÃO

Erika Cibely Pinheiro da Costa^[1]; Marcio Cleivo de Moraes Souza^[2]; Rosália Gabriela Moraes Fernandes^[3]; Francisco Alexis Dantas Maia^[4]; Michelli Antôniani Souza e Curinga^[5]

[1, 3, 5] Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

[2] Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

[4] INSTITUTO FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE - *Campus Apodi*

Palavras-chave: *Solketal*

Licença:



Resumo

Os biocombustíveis representam, hoje, uma alternativa inegável e indispensável para o desenvolvimento sustentável da humanidade, isto é, para o desenvolvimento tecnológico harmônico com o planeta. Entre eles, destaca-se, com um aumento expressivo de produção, o biodiesel – obtido através da reação de transesterificação. Concomitante a sua produção, é produzida a glicerina, que tem uso diverso na indústria. Dentre sua diversidade de uso, está a produção, através da catalização, de solketal, que serve, inclusive, como aditivo para os combustíveis. Este trabalho enxerga, na produção de biodiesel, a glicerina; e, na glicerina, a produção de solketal. Para isso, demais estudos relacionados ao biodiesel, à glicerina e ao solketal foram lidos e considerados; foi entendido que os produtos e coprodutos da reação de transesterificação têm suas importâncias (seus usos); e que o esquecimento ou não reconhecimento de suas importâncias (seus usos) pode causar impactos que vão de encontro ao desenvolvimento sustentável. De modo que objetiva-se, aqui, realizar a síntese e análise do solketal a partir da glicerina pura, e a partir da glicerina proveniente da reação de transesterificação na produção do biodiesel. Para a realização da síntese do solketal, realizou-se uma reação entre a glicerina e a acetona numa razão molar de 1:3, este excesso de acetona é para garantir que toda glicerina reaja, o catalisador utilizado foi o H₂SO₄ 2% em relação a massa da glicerina. Os reagentes foram colocados em um balão de fundo chato sob aquecimento a uma temperatura de 80°C e acoplado a um sistema de refluxo durante 2 horas de reação. Ao término da reação o solketal produzido, passou por um processo de lavagem para remover o ácido sulfúrico (catalisador). Para verificar se o produto desejado foi formado utilizou-se um cromatógrafo gasoso acoplado a um espectro de massa CG-MS. Na síntese do solketal a partir da glicerina pura obtivemos um rendimento de 90% em massa, foi possível observar também que ocorreu a conversão do produto desejado conforme mostra a análise cromatográfica, obtendo 91,59% de conversão do solketal. Já para a reação com a glicerina impura proveniente da reação de transesterificação, observou-se que não houve conversão do solketal, conforme mostra a análise cromatográfica. Com tudo, neste trabalho foi possível observar que ocorreu a conversão do solketal utilizando a glicerina pura, porém com a glicerina impura proveniente da reação de transesterificação não ocorreu a formação do produto desejado, isso nos mostra que é preciso que se faça um tratamento da glicerina (coproduto da reação de transesterificação) A contribuição deste trabalho é no sentido de reaproveitar a glicerina, um coproduto da reação de transesterificação, para produção de uma substância necessária para os biocombustíveis.

Introdução

Os biocombustíveis, de modo geral, surgiram como uma alternativa as crises do petróleo ao longo dos anos. Além desse motivo, existe a justificativa ambiental para a produção dos biocombustíveis, já que estes são gerados a partir de fontes renováveis, e causam menos impacto ao meio ambiente. (PINHO; SUAREZ, 2016)

Entre os biocombustíveis, destaca-se o biodiesel, um substituto para o diesel do petróleo, que pode ser produzido através de fonte animal ou vegetal. O fato é que, partindo de uma origem ou de outra, o biodiesel não é o único produto da reação de transesterificação entre triglicerídeo e um álcool na presença de um

catalisador. A reação, embora tenha como objetivo principal a formação dos ésteres metílicos/etílicos (biodiesel), precede outros produtos que também possuem suas utilidades, como a glicerina. (SUAREZ; MENEGHETTI, 2015).

A glicerina é uma substância química formada em conjunto com o biodiesel na reação de transesterificação. Ela possui diversas aplicações no ramo industrial, como na produção química de cosméticos e/ou produtos farmacêuticos, além de coprodutos como solketal. Nesse sentido, enxergar a glicerina como um resíduo ocasiona o desperdício, primeiro, desta substância, e, segundo, das possibilidades de uso que ela nos traz. Isso nos direciona a posição de que a não utilização dos demais produtos da produção de biodiesel tangencia a questão ambiental que serve de premissa para a produção dos biocombustíveis, distanciando a coerência do processo. (MOTA; PESTANA, 2011)

Um coproduto químico da glicerina é o solketal, que é produzido através da reação de cetalização da glicerina, utilizando a acetona na presença de um catalisador ácido. Este cetal pode ser utilizado como aditivo para o próprio biodiesel e para a gasolina, o que aumenta potência de queima do combustível e, conseqüentemente, sua eficiência. A produção de solketal atua como uma alternativa para a utilização da glicerina advinda da reação de transesterificação. (CARVALHO, 2016).

Problemática

Um dos grandes problemas enfrentados pela indústria de biodiesel é dar um destino a glicerina que é formada da reação de transesterificação.

Pergunta(s)/Hipótese(s)

A glicerina pode ser utilizada na produção de cosmético, bem como, na produção do sol

Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo principal a análise da produção de solketal através da glicerina purificada e da glicerina bruta advinda diretamente da reação de transesterificação (produção de biodiesel), observando a formação ou não desse aditivo em ambas as matérias-primas.

Realizar a reação de cetalização para converter a glicerina em Solketal;

Avaliar as sínteses da glicerina pura e impura por meio de análises cromatográficas;

Justificativa

Durante a produção do biodiesel, seja ela a partir de óleos vegetais ou animais, utilizando rotas metílicas ou etílicas, forma-se um coproduto nesta reação que é a glicerina. Muitas vezes esta substância não é aproveitada para outros fins. Diante desta problemática, este trabalho visa o reaproveitamento da glicerina que é produzida, na transesterificação de produção do biodiesel, para a formação do solketal, que serve como aditivo para os combustíveis.

Referencial teórico/Estado da arte

BIODIESEL

Por razões econômicas, políticas, sociais e ambientais, os países observaram a indispensabilidade da existência de fontes renováveis nas suas matrizes energéticas. Sendo levado em consideração principalmente a existência de um fator crucial, a crítica situação ambiental do planeta Terra, dado que o petróleo (combustível não renovável) por ter sido utilizado de forma exacerbada fez com o que a degradação do globo terrestre ocorresse intensamente. Com isso, houve uma ampliação no incentivo para empregar energias consideradas renováveis, dentre as quais está o biodiesel, o qual tem uma grande importância no cenário atual (RAMOS, 2016).

A matriz energética do biodiesel ao ter recebido investimento consideráveis de vários países do mundo, fez com o que o Brasil percebesse a sua grande relevância, visando então a sua implementação, a qual ocorreu em meados de 2005. No mesmo ano houve criação da Lei 11.097 servindo para incrementar, em bases econômicas, sociais e ambientais, a presença dos biocombustíveis na matriz energética nacional. Recentemente em 2016 aconteceu a criação da Lei 13.263, a qual serviu também para estimular a produção do biodiesel, pois nela estabelece um total de percentual de adição obrigatória, em volume, de biodiesel ao óleo diesel, ofertado ao consumidor final (LIMA FILHO, 2017).

O biodiesel tem como matérias-primas as oleaginosas, microalgas, óleos residuais e gordura de animais. Quando se é proveniente de origem vegetal, o biodiesel ajuda no ciclo do carbono, pelo fato de que o CO₂ produzido durante a sua queima é consumido no processo de fotossíntese da oleaginosa ou microalgas. O biodiesel contribui também na não ocorrência das chuvas ácidas, já que não dispõe de enxofre em sua composição (MOTA, 2011).

Para a obtenção do biodiesel é necessário que a matéria-prima passe por um processo, este podendo ser a transesterificação, esterificação ou hidroesterificação. A transesterificação é ainda a rota mais escolhida industrialmente para a obtenção do biodiesel, consistindo na reação química de óleos ou gordura (triacilglicerídeos), juntamente com um mono-álcool de cadeia pequena na presença de um catalisador, formando assim mono-ésteres (biodiesel) e glicerina (SUAREZ, 2015).

GLICERINA

Nomeia-se de “resíduo” aquilo que resta; e de “resto” aquilo que sobra. De fato, a glicerina está restando no processo de produção de biodiesel e isso justifica ela ser chamada de resíduo, como já foi aqui mencionado. Todavia, a glicerina não é um resíduo sem utilidade, e é um equívoco ela ser um produto invisível da produção de biodiesel.

A glicerina é um líquido incolor e com alta viscosidade. Ocorre naturalmente em formas combinadas como acilglicerídeos em todos os óleos graxos de origem animal e vegetal. (REZENDE e LOFRANO, 2014)

Além disso, a glicerina vem do glicerol (C₃H₈O₃), composto químico orgânico pertencente à função álcool. Ocorre que, na indústria, existem procedimentos para agregar mais valor comercial aos compostos, fazendo surgir, nesse caso, a glicerina, que contém cerca de 95% de glicerol. De maneira mais específica e ligada à esse trabalho, estima-se que na glicerina oriunda do processo de transesterificação – produção de biodiesel – a porcentagem de glicerol é, um pouco menor, de 80%. (MOTA e PESTANA, 2011).

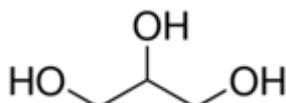


Figura 1 - Fórmula Estrutural da Glicerina. **Fonte:** MOTA; PINTO 2016.

Outra estimativa é que a cada 90m³ de produção de biodiesel, 10 m³ de glicerina seja produzido. (ANP, 2015) Por ter um maior rendimento, a produção de biodiesel é cada vez maior com catálise ácida, e a produção com catalisador ácido produz uma quantidade de glicerina que não dá pra ser enxergada como resíduo. (CARVALHO, 2016)

Trazendo a discussão para a realidade do Brasil, como não há ainda um concreto e efetivo desenvolvimento industrial, a glicerina é mais um produto de exportação do que mesmo de consumo. Entre janeiro e março desse ano, a exportação de glicerina agregou à economia do país cerca de 40,6 milhões de dólares. (BODIESELBR, 2016)

A glicerina pode, ainda, ser utilizada para a produção de solketal, substância estudada neste trabalho, que pode servir de aditivo para os combustíveis. Assim, prova-se e comprova-se a tese inicial deste tópico: é um equívoco que a glicerina seja um produto invisível da reação de transesterificação que resulta no biodiesel. Afinal, essa reação produz *também* o biodiesel, mas, além dele, produz a glicerina significativamente, e ela deve ser enxergada, se não como produto, como principal coproduto dessa reação. A glicerina tem utilidade na indústria, se não interna, na externa – proporcionando, na pior das hipóteses, um giro na roda da economia através da exportação.

PROBLEMÁTICA DOS ADITIVOS

Uma possibilidade para a utilização da glicerina advinda da reação de transesterificação do biodiesel é a cetalização e acetalização deste composto orgânico, na qual acontece a condensação com cetonas e aldeídos, respectivamente, na presença de catalisadores ácidos, que podem ser utilizados para diversos fins, principalmente na aplicabilidade como aditivos para combustíveis. (MOTA et al, 2009).

Os aditivos de combustíveis são mecanismos utilizados para diversas funções, como por exemplo, auxiliares químicos na limpeza do motor e do carburador; melhoram a combustão e evitam a gelificação do fluido; atuam na proteção contra a corrosão das peças empregadas no motor, entre outras utilidades que esses aditivos adquirem. (MACEDO, 2013; CARVALHO, 2016)

Os aditivos de combustíveis, em sua maioria, possuem matéria-prima provenientes do petróleo e/ou possuem o chumbo em sua composição, e por questões ambientais e de saúde pública a utilização dessas substâncias vem obtendo uma redução considerável, eliminando os compostos chumbotetraetila (CTE) e chumbotetrametila (CTM) da gasolina. Dessa maneira, surgiram novos aditivos como o metil-t-butil-éter (MTBE) que tornou-se o principal aditivo utilizado no mundo, todavia, novamente por razões ambientais essa utilização vem diminuindo o que possibilita a ascensão de novas fontes de matéria prima, principalmente as que possuem procedência renovável, como a glicerina que origina aditivos oxigenados. (MOTA; GONÇALVES, 2008; MELLO, 2008; SILVA e MOTA, 2008)

Segundo MACEDO (2013), “a adição de éteres no combustível melhora o fluxo a frio, as propriedades de ignição e o índice de cetano, enquanto que a utilização de cetais reduz a viscosidade, ponto de escoamento e emissão de partículas.”

PRODUÇÃO DOS CETAIS

A produção de cetais do glicerol ocorre pela reação de cetalização. Essa reação do glicerol com cetona, a acetona, forma-se anéis dioxolanas, conforme a figura 3. (MACEDO, 2013)

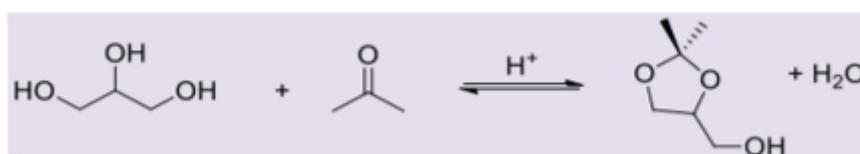


Figura 2 - Reação de Cetalização. **Fonte:** (MOTA; PINTO 2016).

Na reação de cetalização do glicerol existe uma problemática vigente que consiste na remoção da água

produzida ao longo da reação, eliminação que deve ser efetuada, uma vez que esta molécula possibilita uma possível reversibilidade no processo, ou seja, ocasionando uma interferência no equilíbrio da reação. Dessa maneira, diversos trabalhos utilizam solventes para efetuar essa remoção, como o benzeno, diclorometano, clorofórmio, entre outros. Todavia, a utilização destes solventes não são recomendáveis por tratarem de substâncias nocivas ao homem. (SANTOS, 2016). Levando em consideração essa ressalta, NANDAN (2013) utiliza catalisadores heterogêneos, como o Amberlyst-15, que descartam o uso dos solventes.

SOLKETAL

A cetalização do glicerol origina o anel com 5 átomos, que nomeia-se Solketal, o composto com forma molecular $C_6H_{12}O_3$, na literatura, modernamente, este cetal possui destaque na aplicação como aditivos para combustíveis, como a gasolina, o diesel e o biodiesel. Nesse contexto analisamos o retorno interessante que a utilização da glicerina advinda da reação de transesterificação oferece ao biodiesel, pois, a importância e a demanda dos aditivos vem crescendo cada vez mais, e direcionar a glicerina com seus produtos para o próprio biodiesel aumenta ainda mais o título de renovável, pois, destina-se o subproduto (a glicerina) como aditivo para o biocombustível (biodiesel). (CARVALHO, 2016)

MOTA (2010) e colaboradores, analisaram a adição de solketal à gasolina, e obtiveram o resultado de que a adição, em volume, de até 5% desse aditivo à gasolina atingiu uma diminuição significativa na formação de goma, assim como, uma relevante melhora no índice de octanas.

O trabalho de VICENTE, et al. (2010) fundamentou-se em analisar o comportamento catalítico da sílica mesoestruturada funcionalizada com ácido sulfúrico na reação de cetalização do glicerol com a propanona, a acetona, para a formação do solketal. Os resultados podem ser comparados com os do catalizador heterogêneo Amberlyst-15.

Materiais e Métodos/Metodologia

A produção dos cetals da glicerina é realizada a partir da razão molar 1:3 entre a glicerina (massa molar: 92g) e a acetona (massa molar: 58g), essa proporção consiste no excesso de acetona para garantir a conversão máxima da glicerina. Iniciamos com 20g de glicerina e 2% desse valor de catalisador ácido sulfúrico (catalisador homogêneo), que corresponde a 0,4g, e baseado nos cálculos estequiométricos obteve-se o seguinte resultado do valor da massa de acetona a ser utilizada no procedimento de cetalização:

$$\begin{array}{rcl}
 1 \text{ mol de Glicerina} & \text{---} & 3 \text{ mol Acetona} \\
 \downarrow & & \downarrow \\
 92\text{g} & \text{---} & 3 \times 58\text{g} \\
 20\text{g} & \text{---} & x \quad \rightarrow \quad x = 37,8\text{g de acetona}
 \end{array}$$

Figura 3 - Cálculos da Razão Molar Glicerina/Acetona . **Fonte:** Autoria Própria.

O procedimento consiste na junção dos três compostos, a glicerina, acetona e o catalisador ácido em um balão volumétrico de fundo chato, o qual é encaminhado ao agitador magnético com aquecimento ligado a um sistema de condensadores. A mistura permanece em agitação a temperatura constante de 80°C por duas horas. Os produtos resultantes dessa reação são solketal e água, porém, há a presença do catalisador homogêneo e do restante da acetona que não reagiu devido ao excesso. Tal excedente é retirado com o auxílio do rotaevaporador.

A mistura homogênea de solketal, água e catalisador é submetida a uma das etapas do processo de lavagem, a qual objetiva a retirada da água produzida na reação, todavia, não há uma eficiência total,

resultando em possível presença de água após a separação. O procedimento inicia-se com a adição de sulfato de sódio anidro, pois esta substância possui uma facilidade de absorção de água. Dessa maneira, forma-se duas fases: uma fase líquida com o solketal e o ácido e uma fase sólida que consiste no sulfato de sódio hidratado. Para realizar a separação é feito uma filtração à vácuo, utilizando o kitassato, funil de Büchner e bomba de vácuo.

A próxima etapa de lavagem consiste na separação do catalisador homogêneo ácido e do restante da água presente na mistura. Para isso utiliza-se acetato de etila, que tem uma maior afinidade com o solketal, e solução saturada de cloreto de sódio que possui maior afinidade com o ácido sulfúrico e a água. A adição destas substâncias resulta a formação de uma mistura heterogênea entre líquidos, como mostra a figura 4.



Figura 4 - Lavagem do Solketal para Remoção do Catalisador . **Fonte:** Autoria Própria.

Em decorrência da diferença de densidade, torna-se perceptível as duas fases que compõem a mistura, sendo a primeira composta por Solketal e Acetato de Etila e a segunda por água, solução saturada de cloreto de sódio e ácido sulfúrico. Realiza-se a separação das fases e analisa-se com papel indicador o pH da solução da água de lavagem, ou seja, a segunda fase da mistura apresentada na figura 4. O processo de lavagem é realizado até o momento em que as duas fases estão com pH igual a 7, ou seja, totalmente isento do catalisador ácido.

Após o processo de lavagem, obtém-se apenas o Solketal e o acetato de etila. Para a remoção do Acetato de Etila, é realizado, novamente, uma rotaevaporação, resultando assim, somente no Solketal.

Resultados e Discussões

CETALIZAÇÃO DA GLICERINA PURA

Os resultados apresentados pela análise cromatográfica mostra que houve a conversão da glicerina pura em Solketal, o composto 1,3-Dioxolane-4-methanol, 2,2-dimethyl, conforme mostrado no cromatograma e no espectro de massa representados na figura 5 e 6.

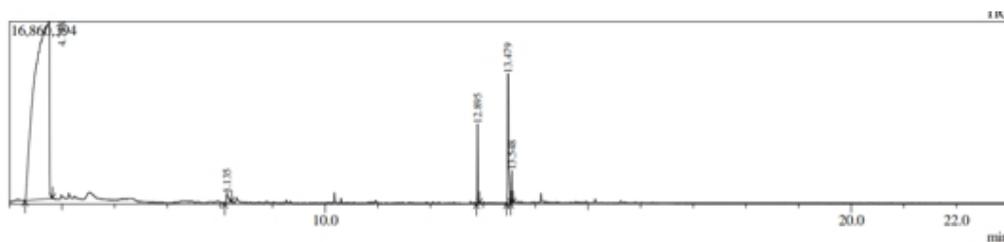


Figura 5 - Cromatograma do Solketal obtido de Glicerina Pura.. **Fonte:** Autoria Própria.

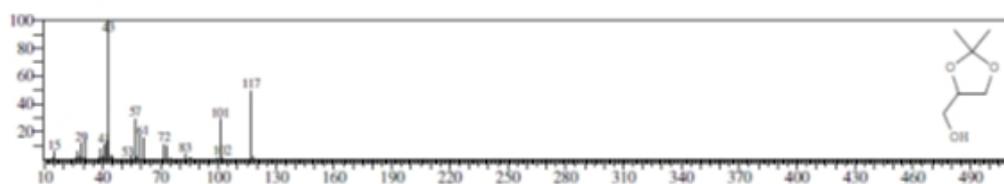


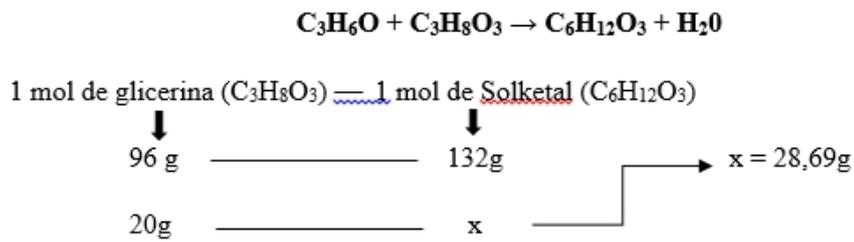
Figura 6 - Espectro de Massa do Solketal obtido da Glicerina Pura.. **Fonte:** Autoria Própria.

Além do solketal, algumas outras substâncias foram detectadas na análise, porém, em uma quantidade pequena em relação ao aditivo. Na tabela 1, podemos observar quais substâncias estão presentes na mistura; a sua respectiva fórmula molar; o tempo de retenção, ou seja, em qual tempo foi identificada; e a área percentual, isto é, o valor em porcentagem da substância na mistura.

Nome	Formula Molecular	Tempo de retenção	Área Percentual
1,3-Dioxolane-4-methanol, 2,2-dimethyl (Solketal)	C ₆ H ₁₂ O ₃	4.748	91.59%
Undecano	C ₁₁ H ₂₄	8.135	0.71%
Hexadecanoato de Metila	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	12.895	1.51%
10,13-Eicosadienoato de metila	C ₂₁ H ₃₈ O ₂	13.479	5.47%
Estearoato de Metila	C ₁₉ H ₃₈ O ₂	13.548	0.71%

Figura 7 - Substâncias Identificadas na Análise Cromatográfica da Glicerina Pura. **Fonte:** Autoria Própria.

Dessa forma, podemos concluir a presença do Solketal em grande quantidade. O rendimento em massa de Solketal na reação é obtido por meio do cálculo que relaciona os valores iniciais da glicerina pura antes do processo de cetalização e os valores obtidos após a reação, sendo considerada a massa da mistura sem a presença do catalisador ácido. Para calcular o rendimento, primeiramente calcula-se por uma regra de três a quantidade em gramas da massa de Solketal que deve ser formado de acordo com o valor de glicerina utilizado, o que corresponde a 100%.



Com o valor adquirido, relaciona, novamente, por regra de três, o valor real obtido na reação de cetalização da glicerina.

28,69g ————— 100%

25,864g ————— x

x = 90,149%

Figura 8 - Cálculos do Rendimento de Massa do Solketal. **Fonte:** Autoria Própria.

O rendimento consistiu em, aproximadamente 90%, um resultado melhor se comparado com o trabalho de VICENTE, et al. (2010), em que o valor do rendimento obtido com glicerol foi de, aproximadamente, 84%.

CETALIZAÇÃO DA GLICERINA BRUTA ORIUNDA DA REAÇÃO DO BIODIESEL

A reação de cetalização da glicerina bruta advinda diretamente da produção de biodiesel não conseguiu atingir a formação do Solketal, como podemos perceber na análise cromatográfica a seguir. Uma possível justificativa deve-se ao fato da mesma não ter passado por um processo de tratamento antes da reação de cetalização

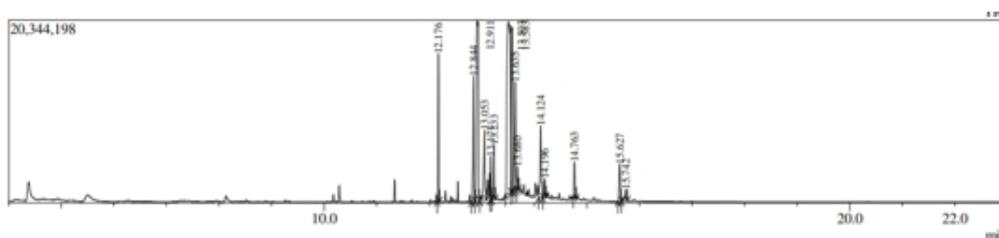


Figura 9 - Cromatograma da reação de cetalização glicerina bruta obtida da reação de produção do biodiesel . **Fonte:** Autoria Própria.

Nome	Formula Molecular	Tempo de retenção	Área percentual
<u>Tetradecanoato de metila</u>	$C_{15}H_{30}O_2$	12.175	6.15%
<u>Hexadec-9-enoato de Metila</u>	$C_{17}H_{32}O_2$	12.843	6.49%
<u>Hexadecanoato de Metila</u>	$C_{17}H_{34}O_2$	12.932	21.68%
<u>Ácido Hexadecanoico</u>	$C_{16}H_{32}O_2$	13.054	3.69%
<u>Heptadecanoato de Metila</u>	$C_{18}H_{36}O_2$	13.233	1.94%
<u>(Z) 6-Octadecenoato de metila</u>	$C_{19}H_{36}O_2$	13.508	33.78%
<u>Estearoato de Metila</u>	$C_{19}H_{38}O_2$	13.583	13.76%
<u>E,E,Z-1,3,12-Nonadecatriene-5,14-diol</u>	$C_{19}H_{34}O_2$	13.637	6.94%
<u>cis-11-Eicosenoato de Metila</u>	$C_{21}H_{40}O_2$	14.124	3.76%
<u>Ácido Hexadecanoico</u>	$C_{16}H_{32}O_2$	14.763	1.81%

Figura 10 - Substâncias Identificadas na Análise Cromatográfica da Glicerina Bruta do Biodiesel. **Fonte:** Autoria Própria.

Podemos associar essa não formação à grande quantidade de impurezas que a glicerina bruta do biodiesel de gordura suína comporta e, provavelmente, a presença desses elementos impossibilitou a formação do aditivo. Na análise acima, percebemos a diferença, em relação a glicerina pura, da quantidade de substâncias na mistura.

Considerando os resultados obtidos e fazendo um comparativo com as duas análises pressupomos que antes de realizar a cetalização da glicerina bruta, deve-se efetuar um pré-tratamento a esse composto químico. O processo de tratamento irá retirar as impurezas que dificultaram a formação do Solketal tornando a glicerina pura, a qual pode destinar para a cetalização que será formado o aditivo Solketal, como já comprovado na primeira análise desse trabalho.

Considerações finais

Na realização da síntese do solketal a partir da glicerina, através de uma reação de cetalização, foi possível verificar que o processo é viável, desde que se utilize uma glicerina pura, já com a glicerina impura não ocorreu a formação deste aditivo.

Apoio

Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Rio Grande do Norte IFRN-Campus Apodi

Agradecimento

Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Rio Grande do Norte IFRN-Campus Apodi

Referências:

Claudio J. A. Mota e Carolina F. M. Pestana. Co-produtos da Produção de Biodiesel . **Revista Virtual de Química**. 2011. DOI 10.5935/1984-6835.20110045.

Claudio J. A. Mota, Carolina X. A. da Silva, Nilton Rosenbach Jr, Jair Costa; Flávia da Silva. Glycerin Derivatives as Fuel Additives: The Addition of Glycerol/Acetone Ketal (Solketal) in Gasolines. **Energy Fuels**. 2010. DOI 10.1021/ef9015735.

Claudio Jose A. de Araujo Mota. Transformações Catalíticas do Glicerol para Inovação na Indústria Química. **Revista Virtual de Química** . 2017.

Claudio José de Araújo Mota e Valter Luis da Conceição Gonçalves. **PROCESSOS DE ETÉRIFICAÇÃO DA GLICERINA E ADITIVOS PARA COMBUSTÍVEIS** . 2008. Tese (Doutorado) - Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

Devaki Nandan; Peta Sreenivasulu L.N; Sivakumar Konathala; Manoj Kumar Nagabhatla Viswanadham. Acid functionalized carbon–silica composite and its application for solketal production. **Elsevier**. 2013.

Gemma Vicente, Juan A. Melero, Gabriel Morales, Marta Paniagua e Eric Martín . Acetalisation of bio-glycerol with acetone to produce solketal over sulfonic mesostructured silicas. **Green Chemistry** . 2010.

KARINA GUIMARÃES PRIMO DE CARVALHO. **PROCESSO DE CETALIZAÇÃO DA GLICERINA PARA OBTENÇÃO DO SOLKETAL (2,2-DIMETIL-1,3-DIOXOLANO-4-IL)METANOL** . 2016. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Química, Universidade Federal do Pernambuco, Recife, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/23445>>. Acesso em: 25/07/2018.

Maísa da Costa Santos. **Síntese de solketal a partir de glicerol e seu uso como precursor na síntese de ésteres de solketila e monoacilglicerídeos** . 2016. Dissertação (Mestrado) - Biocombustíveis, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2016.