

Experimentos
para aulas de
Química
envolvendo
Biodiesel

1ª Edição
2020

Autores

João Vicente da Silva Neto
José Roberto de Almeida Silva
José Euzebio Simões Neto
Claudia Cristina Cardoso

Experimentos para aulas de Química envolvendo Biodiesel



**UNIVERSIDADE
FEDERAL RURAL
DE PERNAMBUCO**



Autores

João Vicente da Silva Neto
José Roberto de Almeida Silva
José Euzebio Simões Neto
Claudia Cristina Cardoso

1ª Edição
2020

Experimentos para aulas de química envolvendo biodiesel [livro eletrônico] /

João Vicente da Silva Neto ... [et al.]. -- 1. ed. -- Recife, PE : Universidade
Federal Rural de Pernambuco, 2021. ePDF

Outros autores : José Roberto de Almeida Silva, José Euzébio Simões Neto,
Claudia Cristina Cardoso. Bibliografia ISBN 978-65-00-21579-3

1. Biodiesel 2. Química - Estudo e ensino I. Silva, José Roberto de Almeida. II.
Simões Neto, José Euzébio. III. Cardoso, Claudia Cristina.

21-63668

CDD-540.7

APRESENTAÇÃO

Não basta simplesmente ensinar o que o livro nos traz, tratando a ciência como sendo imutável e isolada dos outros conhecimentos. O ensino deve ser o mais interdisciplinar possível, interligando assuntos que muitas vezes, por si só, o aluno não conseguiria fazer a ligação. Daí a importância de que o professor seja um mediador das discussões para a ciência, haja vista que no Ensino de Química, não necessariamente se deve trabalhar a Química de forma única e exclusiva, mas sim vincular o que está sendo trabalhado com a realidade do próprio aluno, com o meio social no qual ele está inserido, desenvolvendo no aluno a capacidade de tomada de decisões.

Devido às buscas por fontes de energias alternativas aos derivados de petróleo, com enfoque nas questões sociais e ambientais decorrentes do consumo de combustíveis, se torna essencial a abordagem desse tema nas aulas de química, com a perspectiva de aumentar o conhecimento científico e tecnológico dos alunos do Ensino Médio. A fim de substituir os combustíveis fósseis, uma das alternativas mais utilizadas mundialmente são os biocombustíveis.

Dentre os biocombustíveis existentes, o biodiesel é um dos mais discutidos no Brasil e nas provas de ENEM, vestibulares e concursos. O biodiesel pode substituir parcial ou totalmente o óleo diesel, mas além

disso, é um biocombustível renovável, não contém compostos aromáticos nem sulfurados.

Baseado nessa perspectiva e tendo em vista a relevância da temática do biodiesel para o ensino-aprendizagem, neste material busca-se avaliar as potencialidades de uma estratégia didática, baseada na associação do tema biodiesel com diversos conteúdos de química abordados em sala de aula ao longo dos três anos do Ensino Médio. Para isso, trazemos nessa apostila alguns experimentos que relaciona o tema biodiesel com os conteúdos abordados no ensino de química no Ensino Médio, de modo participativo e contextualizado.

A proposta de elaboração dessa apostila é atual e abre espaço para a discussão sobre diversos assuntos da química que estão diretamente relacionados ao ENEM. Dessa forma, acredita-se que esse material proposto possa contribuir significativamente para os professores e para a formação dos estudantes do Ensino Médio.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	8
2. EXPERIMENTOS	12
2.1. Extração do óleo de amendoim e de soja	12
2.1.1. <i>Introdução</i>	12
2.1.2. <i>Objetivo</i>	13
2.1.3. <i>Materiais e reagentes</i>	13
2.1.4. <i>Procedimento Experimental</i>	14
2.1.5. <i>Exercícios</i>	16
2.2. Síntese do biodiesel etílico	17
2.2.1. <i>Introdução</i>	17
2.2.2. <i>Objetivo</i>	20
2.2.3. <i>Materiais e reagentes</i>	20
2.2.4. <i>Procedimento Experimental</i>	21
2.2.5. <i>Exercícios</i>	22
2.3. Estimando as viscosidades do biodiesel, etanol, óleo de soja e glicerina relativas à água	23
2.3.1. <i>Introdução</i>	23
2.3.2. <i>Objetivo</i>	24
2.3.3. <i>Materiais e reagentes</i>	24
2.3.4. <i>Procedimento Experimental</i>	25
2.3.5. <i>Exercícios</i>	27
2.4. Queima dos combustíveis	28

2.4.1.	<i>Introdução</i>	28
2.4.2.	<i>Objetivo</i>	30
2.4.3.	<i>Materiais e reagentes</i>	31
2.4.4.	<i>Procedimento Experimental</i>	31
2.4.5.	<i>Exercícios</i>	32
3.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

1. INTRODUÇÃO

Apesar do tema biodiesel não ser difundido nas escolas do Ensino Médio, é frequentemente utilizado e discutido na mídia, o que o torna conhecido em diversos níveis da sociedade, bem como tem sido cobrado em questões do ENEM, vestibulares e concursos de um modo geral. O biodiesel trata-se de um combustível que apresenta características de eficiência energética semelhante ao diesel de petróleo, podendo ser utilizado como substituto ou adicionado ao combustível tradicional. No entanto, ele se diferencia por ser um combustível renovável, sendo produzido a partir de gorduras e óleos animais e vegetais, bem como óleos residuais de fritura e óleo de microalgas. O CO₂ emitido na combustão do biodiesel, é reabsorvido no processo de fotossíntese pela planta que serve de matéria prima na produção do óleo de partida para a produção de biodiesel, formando assim, um ciclo renovável (Fig. 1).

Segundo a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2016), o biodiesel é um combustível renovável obtido a partir de um processo químico denominado transesterificação. Por meio desse processo, os triglicerídeos presentes nos óleos e gordura animal reagem com um álcool primário, metanol ou etanol, gerando

uma mistura de ésteres e a glicerina. Essa mistura de ésteres somente pode ser comercializada como biodiesel, após passar por processos de purificação para adequação às especificações de qualidade junto à ANP, sendo destinado principalmente à aplicação em motores de ignição por compressão (ciclo Diesel). Para ser considerado biodiesel, o combustível tem que atender às especificações contidas no regulamento técnico de nº 4/2012 da ANP.

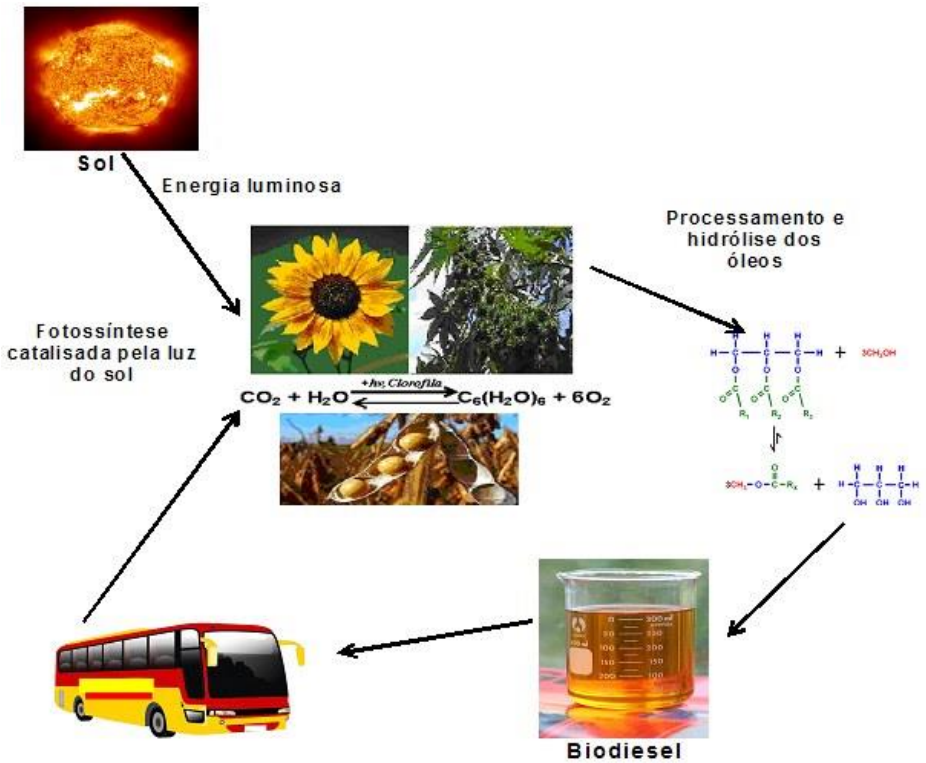


Figura 1: Ciclo de produção e consumo do Biodiesel. Fonte:

www.infoescola.com/quimica/biodiesel

O tema biodiesel permite ser trabalhado e articulado a conteúdos disciplinares. Na disciplina de química podemos usá-lo para citar os conceitos de substância, misturas, características físico-químicas, reações orgânicas, estequiometria, interações intermoleculares, cinética, entre outros. Andrade (2007), afirma que o biodiesel apresenta características promissoras para abordagem nas aulas de química e, com isso, pode gerar motivação e interesse dos alunos.

Os biocombustíveis estão sendo colocados como uma alternativa para solucionar diversos problemas ligados ao meio ambiente e sobre a utilização de combustíveis fósseis, como o petróleo. Entretanto, esse tema é pouco difundido em escolas e universidades, sendo atribuída à falta de materiais didáticos que sejam acessíveis para abordagem dos biocombustíveis como tema contextualizador. Sendo assim, esta apostila tem como propósito principal a de trazer propostas de procedimentos experimentais apresentando uma linguagem simples, que abordem o conteúdo de forma ampla e explicativa, amenizando assim essa problemática.

Na parte experimental deste material didático abordou-se grande parte da cadeia produtiva do biodiesel, iniciando com a extração do óleo natural de amendoim e soja, perpassando pela síntese orgânica do biodiesel, à caracterização físico-química a partir da medição da viscosidade tanto do biodiesel como dos demais reagentes e produtos envolvidos no processo e, por fim, a sua reação de combustão comparativa a outros combustíveis.

2. EXPERIMENTOS

2.1. Extração do óleo de amendoim e de soja

2.1.1. Introdução

A escolha da matéria prima para obter o óleo a fim de produzir biodiesel deve ser rica em triglicerídeos. Nesse caso, ao se escolher uma espécie vegetal, ela tem que ser das espécies das oleaginosas, tais como o amendoim e a soja. Esses óleos podem ser extraídos por prensagem mecânica ou por afinidade a um determinado solvente. O óleo extraído das sementes descascadas, sem película e sem embrião se mostra mais puro e de maior valor comercial. Os óleos obtidos da soja e do amendoim são óleos de cor amarelo pálido, odor e sabor suave característico.

Os óleos e gorduras apesar de serem formados por triglicerídeos, são usados como sinônimos no nosso dia a dia, eles apresentam propriedades físicas diferentes. As gorduras são sólidas à temperatura ambiente, enquanto os óleos são líquidos nas mesmas condições.

Os óleos e gorduras são compostos graxos de origem animal e vegetal. Ambos pertencem ao grupo dos lipídios e subgrupo dos triglicerídeos, pois são definidos na química como compostos orgânicos que reagem com a água, originando um ácido graxo e um poliálcool

(glicerina). Os triglicerídeos são, portanto, originados da união de três moléculas de ácidos graxos e uma de glicerina (Fig. 2).



Figura 2: Formação do triglicerídeo.

2.1.2. *Objetivo*

A proposta é de fazer a extração manual, em pequena escala, do óleo de soja e/ou amendoim e calcular o teor de óleo em cada oleaginosa estudada. Esse óleo extraído pode ser usado posteriormente para produzir biodiesel.

2.1.3. *Materiais e reagentes*

- Pistilo e Almofariz;
- Cápsula de porcelana;
- Filtro de pano;
- Chapa Aquecedora;
- Balança Analítica;

- Soja desidratada;
- Amendoim torrado e sem pele;
- Etanol P.A. (95%);
- Proveta de 50 mL.

2.1.4. Procedimento Experimental

- Pese 20 g de soja desidratada ou 20 g de amendoim torrado e sem pele (Fig. 3) em balança analítica;
- Triture bem a oleaginosa (amendoim ou soja) com o pistilo e o almofariz (Fig. 4);
- Acrescente o etanol pouco a pouco até um limite de 50 mL e continue triturando bem até obter uma pasta;
- Pese uma cápsula de porcelana vazia;
- Transfira a mistura para o filtro de pano e deixe a fase líquida escorrer dentro da cápsula de porcelana já pesada;
- Para obter uma quantidade maior da fase líquida, esprema com força esse filtro fazendo uma trouxa recolhendo esse caldo ainda na cápsula;
- Leve essa cápsula ao aquecimento em chapa até a observação da evaporação total do etanol;

- Desligue o aquecimento e deixe a cápsula resfriar até atingir a temperatura ambiente. Volte a pesar a cápsula que contém o óleo;
- Por diferença de massa entre a cápsula com o óleo e cápsula vazia, determine a massa do óleo extraído e calcule o rendimento da extração.



Figura 3: Amendoim com casca, sem casca e triturado.



Figura 4: Amendoim triturado com pistilo em almofariz.

2.1.5. Exercícios

1. Qual(is) tipo(s) de separação de mistura é(são) observado(s) nesse processo?
2. Baseado na polaridade, sugira um outro solvente que poderia ser utilizado para extração do óleo de soja ou amendoim?
3. Por que escolher o etanol como solvente extrator nesse experimento?
4. Cite as vantagens e desvantagens obtidas nesses métodos de extração.
5. Compare o rendimento massa/massa obtida entre o amendoim e a soja.
6. Como se certificar do que foi extraído nessa metodologia?
7. Qual seria a composição principal de ácidos graxos do que foi extraído em cada caso?

2.2. Síntese do biodiesel etílico

2.2.1. Introdução

O biodiesel é uma mistura de ésteres obtida a partir da reação de transesterificação do triglicerídeo, promovida por um catalisador, que permite separar a unidade da glicerina dos radicais graxos na forma de ésteres (Fig. 5).

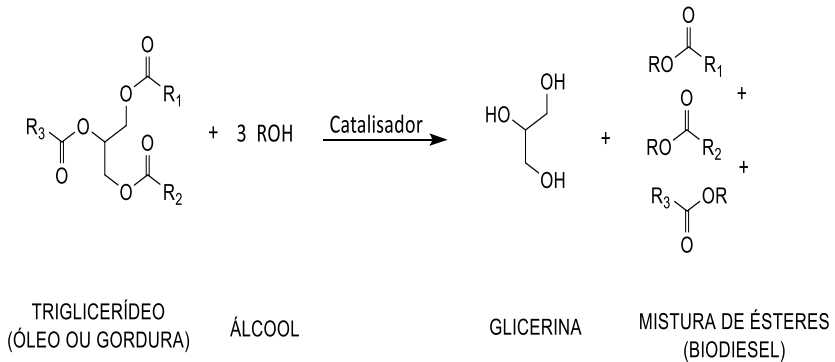


Figura 5: Reação de transesterificação

As condições de reação são determinantes no rendimento e na qualidade final do biodiesel, tais como álcool reagente, óleo de partida, tempo e temperatura de reação, natureza do catalisador (ácida ou alcalina, homogênea ou heterogênea).

O uso de catalisadores ameniza as condições de síntese aumentando a velocidade da reação. Os catalisadores alcalinos

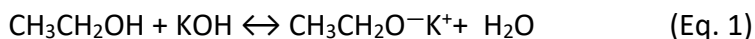
homogêneos são os mais utilizados em relação aos ácidos, pois permitem maior velocidade da reação e maiores conversões do óleo em biodiesel em condições moderadas de temperatura (CARDOSO *et al.*, 2020). No entanto, o catalisador alcalino homogêneo, quando está em presença de água, promove a produção de sabão por meio da hidrólise do éster, o que dificulta a separação da fase de glicerina e reduzindo, portanto, o rendimento da reação. Dentre os catalisadores alcalinos homogêneos destacam-se os alcóxidos de sódio ou potássio, obtidos a partir da reação entre um álcool com o NaOH ou KOH, respectivamente.

O metanol é o álcool comumente utilizado na síntese do biodiesel devido às suas propriedades físico-químicas, por permitir melhores condições de produção e por apresentar maior separação de fases. Porém, se trata de um álcool extremamente tóxico, não-renovável, que oferece alto risco de explosão e que precisa ser manipulado com muita cautela, além de ser letal. O etanol é uma boa alternativa ao metanol e vem sendo utilizado como uma possibilidade muito promissora, pois não possui as propriedades indesejadas que o metanol apresenta, além de ser um álcool renovável, o que confere uma maior vantagem ambiental ao biodiesel.

Este experimento foi adaptado da literatura (CARDOSO, *et al.*, 2015) que propõe a síntese do biodiesel etílico usando um liquidificador,

um eletrodoméstico que facilmente pode ser encontrado nas escolas e será alvo desse experimento a ser realizado.

A reação entre o etanol e o KOH, permite a formação do catalisador etóxido de potássio, de acordo com a Equação 1 descrita a seguir:



O etóxido, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{O}^-\text{K}^+$, é o que de fato atua como catalisador na reação de transesterificação entre o óleo (triglicerídeo) e o etanol formando o biodiesel, e não o KOH. É sabido que o biodiesel produzido com etanol apresenta um rendimento menor, comparado com a sua produção usando o metanol, especialmente devido a maior dificuldade de sua separação com a glicerina já que essa possui maior miscibilidade com o biodiesel etílico. Entretanto, ao se adicionar uma quantidade extra de glicerina pura na mistura após a reação, o isolamento do biodiesel é facilitado por permitir a desestabilização da emulsão formada por espécies tais como os sais dos ácidos graxos (sabões), mono- e diglicerídeos e fosfolípidos que agem como surfactantes (CARDOSO *et al*, 2015).

2.2.2. *Objetivo*

Realizar a síntese do biodiesel a partir da transesterificação de óleo de soja com etanol, sob catálise alcalina homogênea, utilizando o liquidificador. O catalisador a ser usado será o etóxido de potássio e precisa ser preparado previamente à reação, em separado, a partir da reação entre o etanol e o KOH. Utilizar a relação volume/volume para calcular o rendimento de produção de biodiesel e de glicerina.

2.2.3. *Materiais e reagentes*

- 01 Erlenmeyer de 250 mL;
- 02 Provetas de 50 mL;
- 01 béquer de 50 mL;
- 01 espátula plástica;
- Liquidificador;
- Etanol absoluto (99,5%);
- KOH P.A;
- Glicerina;
- Óleo de fritura filtrado e seco.

2.2.4. Procedimento Experimental

Alguns dos principais itens utilizados nesse experimento estão expostos na Figura 6.



Figura 6: Materiais e reagentes utilizados no experimento proposto de síntese de biodiesel

- Em um béquer pese aproximadamente 1,0 g de KOH (**CUIDADO: O KOH é higroscópico, corrosivo e pode causar queimaduras**);
- Transfira o KOH pesado para o liquidificador arrastando aos poucos com 40 mL de etanol;
- Agite a mistura no liquidificador por 5 min.

- Transfira 50 mL de óleo de fritura para o liquidificador e deixe em agitação por 20 min;
- Transfira a mistura para o funil de separação;
- Caso não se perceba separação das fases entre o biodiesel e a glicerina formada, meça 5 mL de glicerina P.A. em um béquer, adicionando-a à mistura presente no funil de separação e agite suavemente;
- Ao observar a formação de fases, transfira a fase mais densa (glicerina) para uma proveta e meça o volume. Calcule o volume da glicerina formada. Caso tenha sido adicionado um volume adicional de glicerina no momento da separação das fases, subtraia o valor desse volume extra da glicerina adicionada do volume total de glicerina removida para efeitos de cálculo;
- Transfira o biodiesel para uma outra proveta e meça o volume.

2.2.5. Exercícios

1. Calcule o rendimento de síntese (%v/v) tanto da glicerina como do biodiesel.
2. Qual a função do catalisador nessa reação?
3. Por que o catalisador usado é considerado alcalino homogêneo?
4. Quais as dificuldades encontradas ao se pesar o KOH?
5. Por que a glicerina se separa do biodiesel ao final da reação?

2.3. Estimando as viscosidades do biodiesel, etanol, óleo de soja e glicerina relativas à água

2.3.1. Introdução

A viscosidade é um dos parâmetros mais importantes na caracterização de fluidos destinados ao seu uso como combustíveis. A viscosidade influencia na capacidade de levar o combustível aos bicos injetores para ser vaporizado no processo de difusão no ar, de modo a assegurar a correta combustão.

Viscosidade é a resistência apresentada por um fluido à alteração de sua forma, ou aos movimentos internos de suas moléculas umas em relação às outras. A viscosidade de um fluido indica sua resistência ao escoamento, sendo a fluidez o inverso da viscosidade. Neste contexto, optou-se por realizar essa caracterização físico-química, típica dos combustíveis, por meio da estimativa relativa da viscosidade. Essa caracterização será feita pela medida do tempo de escoamento do etanol, biodiesel, óleo de soja e glicerina, normalizando-se os resultados com o tempo de escoamento da água. Para tanto propõe-se uma metodologia simplificada com o uso de uma proveta, adaptando-se de uma metodologia disponível na literatura (VAZ, *et al*; 2012).

2.3.2. *Objetivo*

Esse experimento propõe verificar a viscosidade relativas à água dos líquidos envolvidos na cadeia produtiva da síntese do biodiesel: etanol, óleo de soja, biodiesel e glicerina. As diferentes viscosidades precisarão ser relacionadas à estrutura das moléculas presentes enfatizando seu tamanho, massa molecular, grupos funcionais e suas consequentes forças intermoleculares.

Obs.: Esse experimento propõe o uso de 5 provetas iguais. Mas caso não as possua e precise reutilizar a mesma proveta para diferentes amostras, tome o cuidado de lavar e secar bem a proveta antes de se estudar a amostra seguinte.

2.3.3. *Materiais e reagentes*

- 05 Provetas de 100 mL;
- Tampa de metal (refrigerantes de 1 L);
- Cronômetro;
- Água;
- Etanol P.A. (95%);
- Biodiesel;
- Óleo de soja;

- Glicerina.

2.3.4. Procedimento Experimental

Os principais itens utilizados nesse experimento estão expostos na Figura 7.



Figura 7: Materiais e reagentes utilizados no experimento proposto de viscosidade.

- Preencha cinco provetas graduadas com 100 mL de água, etanol, biodiesel, óleo de soja e glicerina, cada;
- Usando um cronômetro, marque o tempo que uma tampinha de metal leva do topo do líquido ao fundo da proveta em cada um dos líquidos analisados. Essa tampinha pode ser encontrada nos refrigerantes de garrafa de 290 mL ou de 1 L (OBS: Essa tampinha deve ser repousada na posição horizontal na superfície do líquido estudado). Tome cuidado

com o erro de paralaxe que ocorre pela observação errada na escala de graduação causada por um desvio ótico devido ao ângulo de visão do observador;

- Repita esse experimento pelo menos duas vezes para todos os líquidos. Como a tampa é metálica, pode ser removida facilmente utilizando-se um imã. Retire-a da proveta, lave-a e seque-a bem antes de repetir a próxima medição. Inclua os dados na Tabela 1;

- Calcule a média dos tempos de escoamento (somar os tempos de cada experimento e dividir pela quantidade de vezes medida, de acordo com a Equação 2) observado para cada líquido e preencha a Tabela 1;

$$t_{\text{médio}} = (E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_N) / N^{\circ} \text{ de medidas} \quad (\text{Eq. 2})$$

- Calcule a viscosidade de cada líquido a partir da razão entre seu tempo médio e o tempo médio da água (Equação 3). Preencha a Tabela 1;

$$v_{\text{em rel. a água}} = t_{\text{escoamento do líquido}} / t_{\text{escoamento da água}} \quad (\text{Eq. 3})$$

Tabela 1: Tempos de escoamento e viscosidade em relação à água

Amostras	Biodiesel	Etanol	Óleo de soja	Glicerina	Água
Tempo 1 (s)					
Tempo 2 (s)					
Tempo 3 (s)					
Tempo médio (s)					
Viscosidade em relação a água					

2.3.5. Exercícios

1. Coloque as amostras em ordem crescente de viscosidade. Justifique sua resposta baseado nas estruturas químicas das moléculas envolvidas em cada amostra estudada.
2. Ao analisar as viscosidades de cada amostra, justifique a diferença observada entre uma amostra e outra, de acordo com os tipos de interações intermoleculares.
3. Por que medir a viscosidade das amostras relativas à água?

2.4. Queima dos combustíveis

2.4.1. Introdução

As questões ambientais, de poluição e reação de combustão dos combustíveis e biocombustíveis podem ser abordadas nessa prática com a utilização de lamparinas.

O experimento proposto foi adaptado da literatura (CARDOSO *et al*, 2015). Neste experimento podemos destacar a questão ambiental quando comparamos a fuligem liberada por cada um dos combustíveis durante a sua queima e a quantidade de CO₂ liberada por quantidade de matéria queimada. Esse experimento permite a discussão e construção crítica entre os alunos sobre qual o melhor combustível a ser utilizado, considerando questões ambientais.

Nesse experimento temos a proposta de trabalhar a reação química de combustão dos pares combustível fóssil/biocombustível: gasolina/etanol e diesel/biodiesel. A seguir são apresentadas as estruturas bases de cada um desses combustíveis e sua respectiva reação de combustão (Figuras 8-11).

Etanol

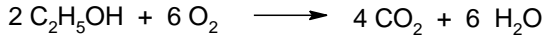
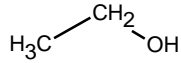


Figura 8: Reação de combustão do etanol

Gasolina (Iso-octano)

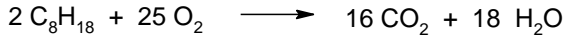
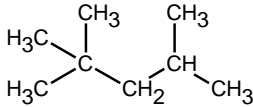


Figura 9: Reação de combustão da gasolina

Diesel de Petróleo (Hexadecano)

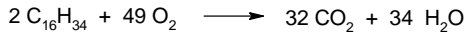
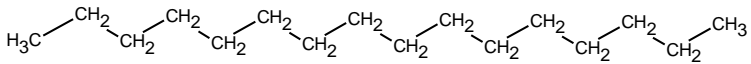


Figura 10: Reação de combustão do diesel de petróleo

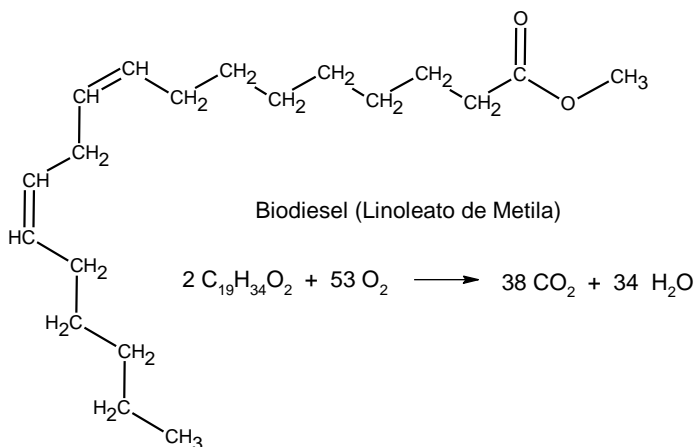


Figura 11: Reação de combustão do biodiesel

Obs.: As fórmulas do diesel, biodiesel e da gasolina são as fórmulas médias, uma vez que elas são misturas e não uma substância como o etanol, por exemplo.

2.4.2. Objetivo

Iremos analisar o produto da queima de quatro combustíveis bastante utilizados pelos veículos de transporte no Brasil, a fim de perceber seu poder poluente por meio da fuligem liberada durante o processo de combustão de cada um dos combustíveis.

2.4.3. *Materiais e reagentes*

- 4 Lamparinas;
- Isqueiro ou fósforo;
- Etanol P.A. (95%);
- Gasolina;
- Diesel;
- Biodiesel.

2.4.4. *Procedimento Experimental*

- Caso não disponha de lamparinas comerciais, pode-se confeccioná-las de modo artesanal usando recipientes de vidro com uma tampa metálica perfurada no meio e um pedaço de cordão (Fig. 12);



Figura 12: Lamparinas artesanais com óleo de diesel de petróleo, biodiesel, gasolina e etanol (nessa ordem da esquerda para a direita)

- Coloque cada um dos 4 combustíveis, álcool, gasolina, diesel e biodiesel, em diferentes lamparinas e faça com que o cordão da parte externa fique umedecido com o combustível em questão;
- Acenda as lamparinas e observe o produto da queima de cada combustível, verificando a cor da chama e a fuligem liberada.

OBS.: Este experimento deve ser realizado ao ar livre ou dentro de uma capela de exaustão.

2.4.5. Exercícios

1. Coloque os combustíveis em ordem crescente com relação a liberação de fuligem e justifique.
2. Qual a relação entre a quantidade de fuligem gerada ao longo da queima e o poder poluente de cada combustível estudado?
3. Com base nas reações de combustão de cada combustível mencionada na introdução, e no seu conhecimento de estequiometria, calcule a quantidade em grama de CO_2 gerada por cada grama de combustível queimado. Baseado nisso, coloque em ordem crescente o combustível que gera mais poluição por grama, no que se refere a produção de CO_2 .

4. Compare a relação de ordem crescente de poluição de cada combustível percebidas nas questões 2 e 3, e discuta qual o combustível pode ser caracterizado como mais poluente. Considere o caráter renovável dos biocombustíveis.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, G. C. F. **Biodiesel como tema gerador para aulas de Química no Ensino Médio**. TCC (Graduação) - Curso de Química, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.
- CARDOSO, C. C.; CARVALHO, M. A.; COSTA, J. B. S.; AMORIM, C. A. C.; SILVA, R. O.; CAMPOS, A. F. O uso de forno de micro-ondas doméstico e liquidificador na síntese de biodiesel. **Periódico Tchê Química**, Vol. 12, No. 24, p. 42-50, 2015.
- CARDOSO, C. C.; CAVALCANTI A. S.; SILVA R. O.; JUNIOR S. A.; SOUSA F. P.; PASA, V. M. D., ARIAS S.; PACHECO J. G. A. Residue-Based CaO Heterogeneous Catalysts from Crab and Mollusk Shells for FAME Production Via Transesterification. **J. Braz. Chem. Soc.**, Vol. 31, No. 4, 756-767, 2020.
- VAZ, E. L. S.; ACCIARI, H. A.; ASSIS, A.; CODARO, E. N. Uma experiência didática sobre viscosidade e densidade. **Química Nova na Escola**, Vol. 34, No. 3, p. 155-158, 2012.
- <https://www.infoescola.com/quimica/biodiesel/> (acesso em 15 de fevereiro de 2021).