

LABORATÓRIO DE QUÍMICA VERDE PARA O CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIAS

*Ellefon Emmanuel Souza de Oliveira - ellefon_oliveira@hotmail.com
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Rua José Franco de Oliveira, s/n
62.790-970 - Redenção - Ceará*

*Bárbara Karen do Nascimento Gadelha - karengadelha@aluno.unilab.edu.br
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Rua José Franco de Oliveira, s/n
62.790-970 - Redenção - Ceará*

*Fernando Cesar de Souza Filho - fernandoeng.energias@aluno.unilab.edu.br
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Rua José Franco de Oliveira, s/n
62.790-970 - Redenção - Ceará*

*Francisco Diego Martins da Silva - die45silva@gmail.com
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Rua José Franco de Oliveira, s/n
62.790-970 - Redenção - Ceará*

*Roberto Matheus Ferreira de Freitas - robertoeng.energias@aluno.unilab.edu.br
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Rua José Franco de Oliveira, s/n
62.790-970 - Redenção - Ceará*

*Maria Cristiane Martins de Souza - mariacristiane@unilab.edu.br
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Rua José Franco de Oliveira, s/n
62.790-970 - Redenção - Ceará*

*José Cleiton Souza dos Santos - jcs@unilab.edu.br
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Rua José Franco de Oliveira, s/n
62.790-970 - Redenção - Ceará*

Resumo: *As aulas de laboratório das disciplinas de química são extremamente importantes, no que diz respeito a realização prática das teorias apresentadas em sala de aula. A prática experimental estimula o aluno a descobrir de maneira autônoma e gradativa as ligações entre o conteúdo abordado na sala com o seu dia a dia. O aluno tem a oportunidade de observar e realizar diferentes tipos de reações e utilizar instrumentos específicos usados em escala de laboratório, que podem ser preditos para o aumento de escala, até obter reatores para plantas*

pilotos industriais, esse aprendizado é único. No entanto, a teoria deve acompanhar a prática, essa integração traz o real exercício da inovação, em que o alunos podem observar os problemas reais na comunidade e propor soluções, muitas vezes simples, mas eficazes, os conceitos vão sendo conectados e uma rede de informações ficará acessível em sala de aula. Diante disso, o presente trabalho objetiva facilitar a visualização da aplicabilidade de conceitos teóricos de química básica em processos de escala laboratorial, com perspectiva de implementação em escala industrial, utilizando a reação para a produção de ácidos graxos através de saponificação assistida em banho ultrassônico seguida de hidrólise ácida, processo este que possibilita a utilização de matérias primas residuais, óleo de coco, atribuindo assim um caráter verde ao processo. Os ácidos graxos produzidos podem ser esterificados gerando biocombustível.

Palavras-chave: Aulas práticas. Aplicabilidade. Saponificação. Hidrólise ácida.

1 INTRODUÇÃO

O curso de Engenharia de Energias ofertado pela Universidade da Integração internacional da Lusofonia Afro-Brasileira - UNILAB, desde de 12 de novembro de 2010, possui uma rica grade curricular que contempla e compila disciplinas voltadas ao estudo de energias renováveis e não renováveis. As disciplinas de química teóricas e práticas estão presentes nessa grade que compõe a base do curso, assim como em todos os cursos de engenharia. No entanto, a compreensão da química como base para o uso em processos verdes está distante da grade tradicional da engenharia. Diante disso, indagações são criadas a cerca da aplicabilidade dos conhecimentos de química teórica e prática em áreas do âmbito profissional para o engenheiro de energia.

É diante desta problemática que se propõe implementar aulas práticas que tenham um caráter de consciência ambiental, o que concerne a química verde, e que permitam aos alunos visualizarem a aplicabilidade dos conceitos de química básica através da realização de processos que tenham relevância na indústria, possibilitando-os vislumbrar que a área da química verde para o engenheiro de energia também apresenta oportunidades promissoras de carreira. Nesse artigo utilizou-se como processo demonstrativo a produção de ácidos graxos utilizando óleo de coco como matéria prima.

A produção de ácidos graxos do óleo de coco por meio de hidrólise, que denota a reação entre trigliceróis (sais de ácidos graxos) e água, pode acontecer na presença de catalisadores básicos, ácidos ou enzimáticos (ZENEVICZ, 2015; GOMES, 2009). Essa metodologia apresenta-se como uma rota alternativa a produção de biocombustível e para sua execução é necessário o domínio dos conhecimentos de química básica explorados no curso de engenharia de energias.

2 METODOLOGIA

A prática referente a produção de ácidos graxos por saponificação em banho ultrassônico seguida de hidrólise ácida foi dividida em três partes: A parte A foi dedicada à preparação dos reagentes e equipamentos a serem utilizados na reação de saponificação. Já a parte B consistiu na hidrólise ácida com posterior separação da camada aquosa da camada sobrenadante, lavagem dos ácidos graxos, secagem dos mesmos e verificação do seu índice de acidez. A parte C ocorreu paralelamente as partes A e B, e consistiu na verificação da aplicabilidade dos conceitos de

química básica durante a execução de ambas as etapas.

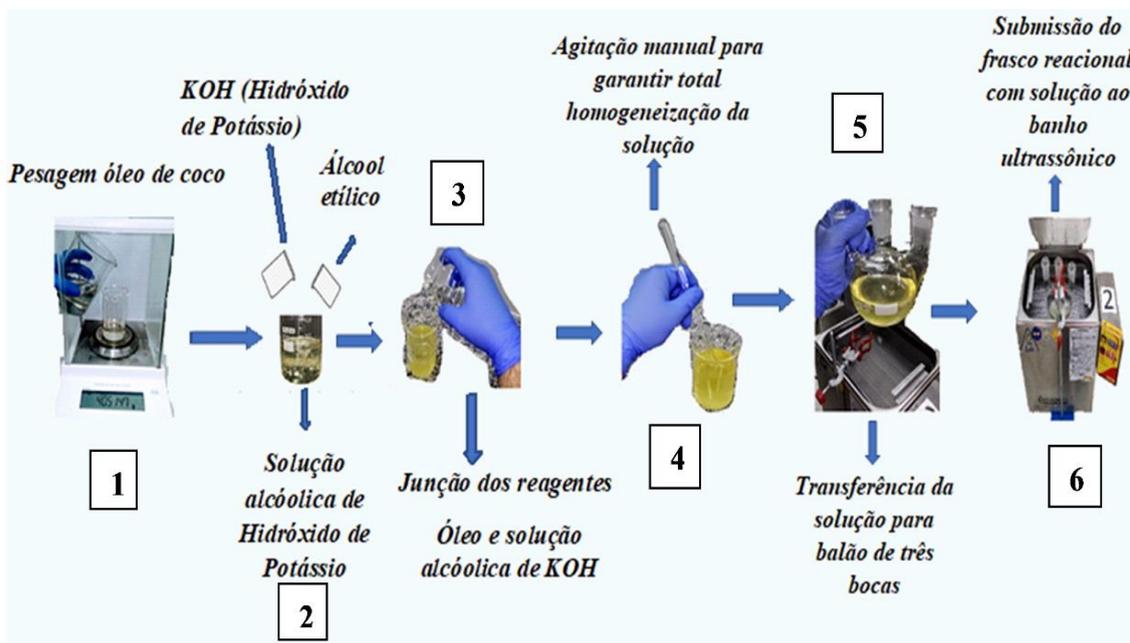
2.1 Verificação do índice de acidez

Consiste essencialmente em determinar o volume de solução (ácida ou básica) de concentração exatamente conhecida, requerida para reagir quantitativamente com um dado volume de uma amostra de solução (básica ou ácida) sob determinação. O ponto de equivalência é determinado pelo uso de indicadores que mudam de cor no ponto viragem. Então, através do volume de reagente adicionado e da sua concentração, determina-se a quantidade de matéria de reagente consumido; em seguida, através da estequiometria da reação (equação balanceada), determina-se a quantidade de matéria da substância e, se conhecido o volume de solução que a continha, a concentração da solução (MASTERTON, W.L.; SLOWINSKI, E.J.; STANITSKI, C.L. 1990).

2.2 Parte A - Preparação de reagentes e equipamentos para areação desaponificação

No procedimento adotado, inicialmente pesou-se 100g de óleo de coco e 20g de hidróxido de potássio (KOH). Em seguida preparou-se uma solução alcóolica de KOH (1:5; KOH:óleo; m/m e 2:1; álcool: óleo; V/m), adicionando-se 200mL de álcool etílico a solução de KOH. Em seguida, adicionou-se essa solução à amostra de óleo previamente pesada e aquecida. A solução foi agitada por 60min à 60°C. A figura 1 apresenta o esquema do procedimento experimental adotado.

Figura 1 – Preparação dos reagentes e equipamentos para reação de saponificação assistida em banho ultrassônico



Fonte: Autor

2.2 Parte B – Hidrólise ácida; separação camada aquosa (inferior) e sobrenadante; secagem e verificação do índice de acidez.

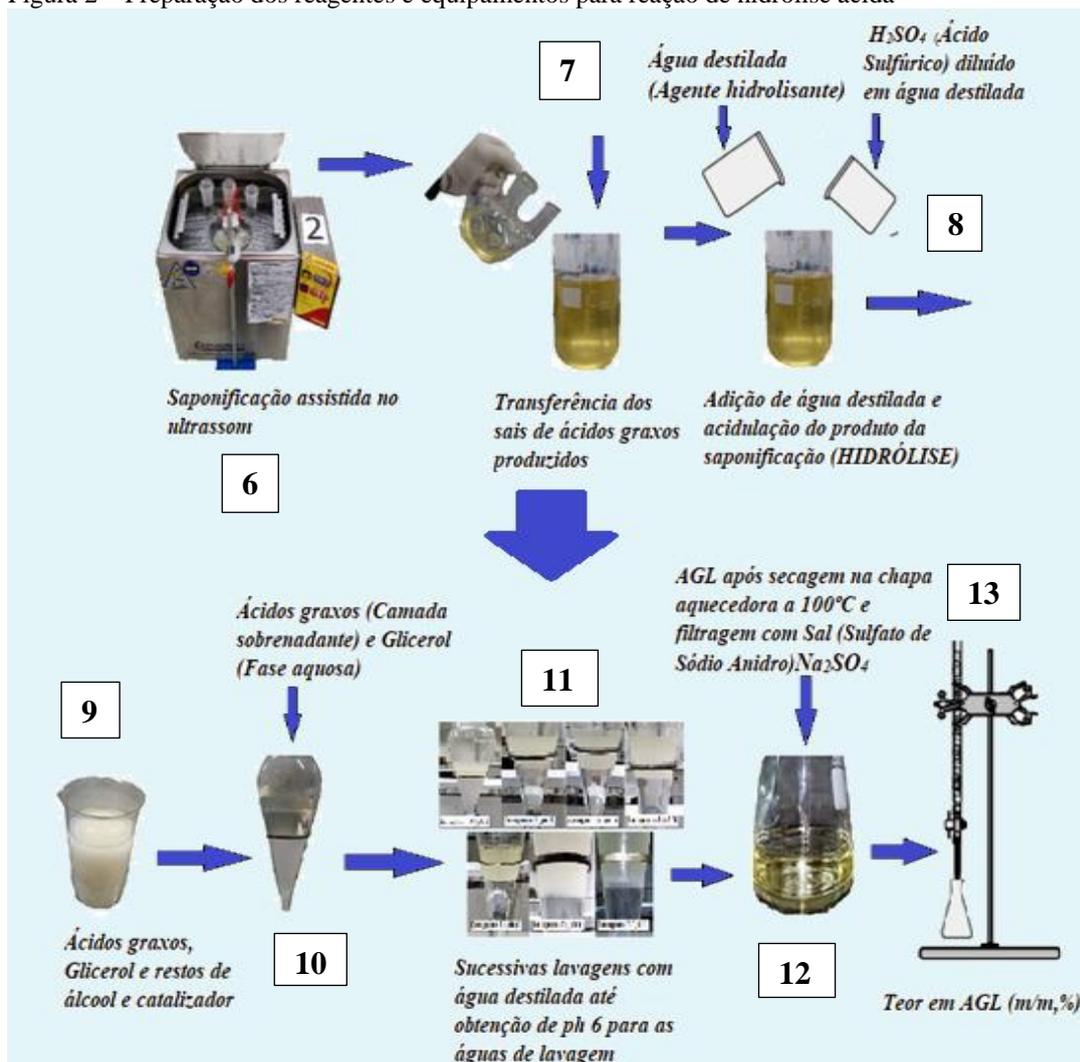
Após o término da reação de saponificação, aguardou-se o conteúdo se resfriar naturalmente. Os sais de ácidos graxos produzidos (sabão) foram transferidos para um béquer de 1000 mL. Adicionou-se então 600 ml de água (agente hidrolisante) misturando-a com

cuidado, para não formar espuma. Depois de dissolvido todo o sabão, acrescentou-se ao conteúdo do béquer, uma solução de 20 mL H_2SO_4 (Ácido sulfúrico) previamente diluída em 66,67 ml de água destilada, sucessivas vezes até a obtenção de pH abaixo de 4 para a solução final, garantindo assim a total liberação do ácido orgânico do seu sal.

A mistura foi transferida para um funil de decantação e depois a camada aquosa (correspondente ao glicerol, impurezas, resto de álcool e catalisador alcalino) foi separada da massa de ácidos graxos sobrenadante, que foi então lavada sucessivas vezes com água a $80^\circ C$, aplicando agitação moderada em movimentos circulares, ao conteúdo do funil. As lavagens foram executadas até a obtenção de pH 6 para as águas de lavagem.

A massa de ácido graxo obtida foi aquecida até $110^\circ C$ para ser desumidificada, no entanto, os ácidos graxos ainda apresentaram leve turbidez, indicando a presença de água, mesmo após o aquecimento. Aplicou-se ao produto da hidrólise com resíduos de água, sulfato de sódio anidro, uma vez que este forma com a água um sal decahidratado ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$) que apresentou-se em um caráter gelatinoso no fundo do béquer, facilitando a posterior filtragem que foi realizada para remoção da água retida no sal. (LIMA, 2010). A figura 2 apresenta o esquema do procedimento experimental adotado na parte B.

Figura 2 – Preparação dos reagentes e equipamentos para reação de hidrólise ácida



Fonte: Autor

2.3 Parte C - Verificação da aplicabilidade dos conceitos de química básica nas parte A e B

Os passos constituintes das partes A e B foram enumerados de 1 a 13 no intuito de facilitar a organização de suas análises.

Para parte A

▪ *Passo 1 - Pesagem do óleo*

Aplicabilidade dos conhecimentos em medidas de massa e volume: Precisão e exatidão

▪ *Passo 2 - Preparação da solução alcóolica de hidróxido de Potássio*

Aplicabilidade dos conhecimentos em solubilidade de substâncias

▪ *Passo 3 – Junção dos reagentes: Óleo e solução alcóolica de KOH*

Aplicabilidade dos conhecimentos em indicativos de ocorrência de reação

▪ *Passo 6 - Produção de sabão / Saponificação*

Aplicabilidade dos conhecimentos em ácidos e bases

Para parte B

▪ *Passo 8 e 9 – Adição de água destilada e acidulação do produto da saponificação, Solução com ácidos graxos, glicerol e restos de álcool e catalizador*

Aplicabilidade dos conhecimentos em indicativo de ocorrência de reação

▪ *Passo 11 – Lavagens sucessivas com água destilada*

Aplicabilidade dos conhecimentos em separação de substâncias

▪ *Passo 12 – Filtragem com sulfato de sódio anidro*

Aplicabilidade dos conhecimentos em separação de substâncias

▪ *Passo 13 - Teor em ácidos graxos livres (AGL)*

Aplicabilidade dos conhecimentos em verificação de índice de acidez por titulação

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Parte A - Preparação de reagentes e equipamentos para areação de saponificação

Esta etapa consistiu na produção de sabão

3.2 Parte B - Hidrólise ácida; separação camada aquosa (inferior) e sobrenadante; secagem e verificação do índice de acidez.

Esta etapa consistiu na produção de ácidos graxos por hidrólise ácida

3.3 Parte C - Verificação da aplicabilidade dos conceitos de química básica nas parte A e B

Passo 1 - Pesagem do óleo

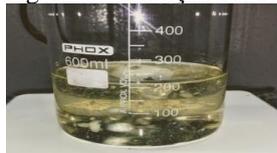
Na etapa inicial de pesagem de 100g do óleo de coco verificou-se que a realização de uma medida de massa com exatidão é essencial para o desenvolvimento de todo o processo, uma vez que todas as quantidades de reagentes que foram utilizadas na reação de saponificação inicial, foram previamente calculados, baseados em conceitos de relações estequiométricas e

molaridade, no intuito de garantir um bom rendimento ao final das reações. Dessa forma qualquer alteração dos valores medidos em relação aos valores teóricos preestabelecidos, pode acarretar em rendimentos não tão satisfatórios e em um processo com eficiência abaixo do esperado. Além disso a utilização da matéria prima, óleo de coco, apresenta umas das primeiras características que atribuem um caráter verde a está prática, sendo esta a utilização de óleos de elevado índice de acidez ou residuais, dando-lhes uma finalidade nobre, sendo esta a possibilidade de utilização na produção de biocombustível.

Passo 2 - Preparação da solução alcóolica de hidróxido de Potássio

A reação de saponificação acontece entre o óleo que encontra-se em estado líquido e uma base (KOH – Hidróxido de Potássio) que encontra-se na forma sólida em pastilhas. Verificou-se que o conhecimento em solubilidade proporciona a otimização da reação, pois através da diluição do KOH em álcool etílico, torna-se mais fácil o contato entre os reagentes, óleo e KOH, uma vez que agora encontram-se no mesmo estado físico. Além disso a utilização do etanol também ressalta mais uma vez o caráter verde desta prática, uma vez que este tem baixa toxicidade se comparado ao metanol, além do fato de em seu processo de produção serem utilizadas matéria primas renováveis como cana de açúcar, beterraba ou milho A diluição do KOH pode ser vista na figura 3.

Figura 3 – Diluição KOH

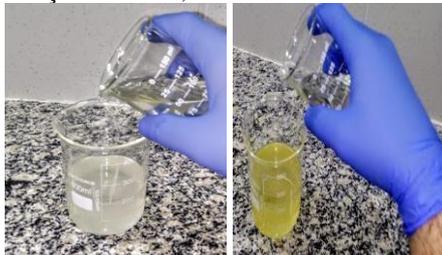


Fonte: Autor

Passo 3 – Junção dos reagentes: Óleo e solução alcóolica de KOH

Através da observação da mudança de coloração antes e após os reagentes entrarem em contato, além do fato de ambos serem praticamente incolores e depois constituírem uma solução de coloração amarelada, garantindo que não houve apenas uma combinação de cores, possibilita a verificação da ocorrência de reação, através da análise macroscópica visual do aspecto da solução. A análise macroscópica da solução de KOH, álcool e óleo, por ser vista na figura 4.

Figura 4 – Análise macroscópica da solução de KOH, álcool e óleo



Fonte: Autor

Passo 6 - Produção de sabão / Saponificação

Através da reação de uma base forte (KOH) e um ácido fraco (óleo), sais são produzidos. Por meio do conhecimento de ácidos e bases fortes ou fracos é possível compreender o que ocorre em âmbito microscópico durante a reação de saponificação bem como o caráter básico do produto da reação devido o aumento da concentração do íon OH^- , proveniente da dissociação da base.

Figura 5 – Reação de Saponificação



Fonte: Autor

A realização desse passo também possibilita o discente ter conhecimento da importância da reação de saponificação para a indústria uma vez que na reação de saponificação de triglicerídeos, é produzida, além do sabão, a glicerina, que é aproveitada pela indústria para ser usada na fabricação de cosméticos, como cremes e sabonetes. Além disso, os alunos poderão ter contato com a tecnologia do banho ultrassônico, que possibilita a realização da reação de saponificação em menos tempo, devido a cavitação provocada por ondas ultrassônicas, uma vantagem quando comparada a rota tradicional sob agitação mecânica em condensador sob refluxo. Mais uma vez ressaltando o caráter verde, devido a redução dos gastos energéticos de produção A figura 5 apresenta os reagentes adicionados ao banho ultrassônico.

Passo 8 e 9 – Adição de água destilada e acidulação do produto da saponificação, Solução com ácidos graxos, glicerol e restos de álcool e catalizador

Da mesma maneira que no passo 3 verificou-se a ocorrência de reação através da observação da mudança de coloração dos reagentes, após serem colocados em contato, nas etapas 8 e 9 também se pode verificar o mesmo. Nesta etapa também se observou que a utilização de matéria prima não nobre e, portanto, de elevada acidez não interfere negativamente na reação, pelo contrário, uma vez que na acidulação o objetivo é aumentar propositalmente a acidez, um óleo de elevada acidez contribuirá positivamente na produção dos ácidos graxos. O caráter verde desta etapa consiste em reafirma a vantagem da utilização de óleos degradados, residuais, e com elevada acidez, destinando-os a uma finalidade nobre. A figura 6 ilustra a mudança de cor da solução.

Figura 6 – Análise macroscópica da acidulação dos sais produzidos na saponificação



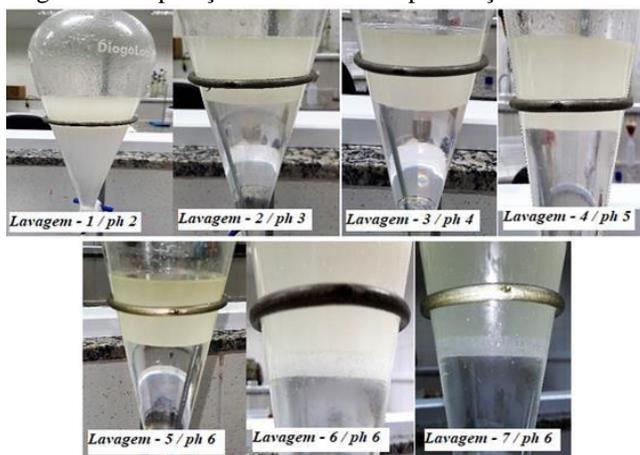
Fonte: Autor

Passo 11 – Lavagens sucessivas com água destilada

Através aplicabilidade dos conhecimentos em solubilidade de substâncias foi possível verificar a eficiência de um simples processo de separação por meio de adição de solvente, neste caso a água, pois uma vez que água e óleo são imiscíveis, a adição da primeira ao conteúdo do

funil de decantação, não compromete a solução removendo, portanto, restos de álcool e glicerol que possam ter ficado juntos aos ácidos graxos, mesmo após a remoção prévia do glicerol. A figura 7 ilustra as etapas de separação por lavagens as quais os ácidos graxos foram submetidos. O aspecto verde desta etapa refere-se a remoção prévia do glicerol, antes da etapa de lavagem, resultando em um co-produto de elevada pureza e com alto valor agregado na indústria de cosméticos, além disso essa rota elimina a necessidade de lavagens para purificação do biocombustível produzido pelas esterificação dos ácidos produzidos, uma vez que as lavagens para purificação dos ácidos já foram realizadas.

Figura 7 – Separação de substâncias por adição de solvente



Fonte: Autor

Passo 12 – Filtragem com sulfato de sódio anidro

Através de adição de sulfato de sódio anidro aos ácidos graxos, foi possível remover a água residual, uma vez que esta forma com o sulfato de sódio um sal decahidratado, e por meio de filtração, ilustrada na figura 8, foi possível separar o sal formado dos ácidos graxos. Os ácidos graxos produzidos podem ser esterificados por catálise química ou enzimática utilizando etanol, culminando assim na produção de biodiesel. Atualmente 11% de biodiesel é adicionado ao diesel tradicional, com perspectiva de aumento para 15% em 2023, diminuindo a dependência do diesel, fortalecendo a economia agrícola e promovendo a sustentabilidade.

Figura 8 – Filtragem dos ácidos graxos para remoção de sal



Fonte: Autor

Passo 13 - Teor em ácidos graxos livres (AGL)

Por meio de titulação utilizando base (NaOH) e indicador de fenolftaleína foi possível verificar o potencial hidrogeniônico dos ácidos graxos (ph) a partir da verificação do ponto de viragem da solução que tornou-se rosa carmim. A figura 9 ilustra a coloração da solução após aplicação do método titulométrico. De posse do valor de base gasto no processo, é possível determinar o índice de acidez através de sua aplicação em equações específicas para determinação desse índice.

Figura 9 – Coloração da solução após realização do procedimento de titulação



Fonte: Autor

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da proposta deste trabalho, Verificou-se que a utilização de processos que tenha relevância na indústria e com caráter ambientalmente sustentável, como demonstrativos para a aplicabilidade de conceitos de química básica, é uma importante ferramenta no que concerne a estimulação do interesse dos discentes do curso de engenharia de energias às disciplinas de química teórica e prática, propriamente ditas, como também no que diz respeito ao surgimento da perspectiva de seguir carreira em áreas da engenharia que necessitem de conhecimentos mais aprofundados na área da química, pois, uma vez que a visualização da finalidade do aprendizado de determinado conteúdo é compreendida pelo aluno, isso cria um leque de possibilidades e instiga o interesse do mesmo em desvendar outros campos de atuação que envolvam a química e que estejam dentro das atribuições do engenheiro de energia, permitindo-o vislumbrar oportunidades de carreira em áreas que até então não eram tidas como prioridade em seus planejamentos. Além disso, possibilita o desenvolvimento da consciência ambiental, uma característica essencial para a nova geração de profissionais em tempos de escassez de recursos e crises ambientais e financeiras, estimulando a capacidade dos novos engenheiros de energias a buscarem soluções para os problemas atuais dentro de suas atribuições, preocupando-se com a sustentabilidade e com o desenvolvimento econômico, buscando a conciliação de ambos.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio financeiro das agências brasileiras de desenvolvimento científico e tecnológico, fundação cearense de apoio ao desenvolvimento científico e tecnológico (FUNCAP) (bp3-0139-000005.01.00/18) e ao conselho nacional de desenvolvimento científico e tecnológico (CNPq) projetos 422942/2016-2 e 409058/2016-5.

REFERÊNCIAS

GOMES, Michele Mendes da Rocha. **Produção de biodiesel a partir da esterificação dos ácidos graxos obtidos por hidrólise de óleo de peixe**. 2009. 66 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação de Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro

- Brasil, 2009. Cap. 5.

MASTERTON, W.L.; SLOWINSKI, E.J. e STANITSKI, C.L. **Princípios de Química**. 6. ed. Editora Guanabara. 1990.

LIMA, Larissa Pinto de. **Produção de ácidos graxos assistida por ultrassom visando à produção de biodiesel**. 2010. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza - Ce, 2012. Cap. 3. Disponível em: <http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFC-7_da237b3dbe945f1100c2d7339df37598>. Acesso em: 13 mar. 2019.

ZENEVICZS, Mara Cristina Picoli. **Hidroesterificação enzimática de óleo de soja e de fritura em sistema de ultrassom**. 2015. 133 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/sc, 2015. Cap. 4. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/156524>>. Acesso em: 29 fev. 2019.

GREEN CHEMISTRY LABORATORY FOR THE ENGINEERING OF ENERGIES COURSE

Abstract: *The laboratory classes of the chemistry subjects are extremely important, with respect to the practical realization of the theories presented in the classroom. The experimental practice stimulates the student to discover in an autonomous and gradual way the links between the content addressed in the room with his daily life. The student has the opportunity to observe and perform different types of reactions and to use specific instruments used in laboratory scale, which can be predicted for scale up, until reactors are obtained for industrial pilot plants, this learning is unique. However, the theory must accompany the practice, this integration brings the real exercise of innovation, in which the students can observe the real problems in the community and propose solutions, often simple but effective, the concepts are being connected and a network of information will be accessible in the classroom. The present work aims to facilitate the visualization of the applicability of theoretical concepts of basic chemistry in laboratory scale processes, with a perspective of implementation on an industrial scale, using the reaction for the production of fatty acids through saponification assisted in ultrasonic bath followed by acid hydrolysis, a process that allows the use of residual raw materials, coconut oil, thus giving a green character to the process. The produced fatty acids can be esterified to generate biofuel.*

Keywords: *Practical classes. Applicability. Saponification. Acid hydrolysis.*