

DENISE MOREIRA DOS SANTOS

Desenvolvimento de método para a obtenção de energia a partir da produção de biodiesel via extração de óleo de borra de pó de café em escala laboratorial

Dissertação apresentada ao Programa de Interunidades de Pós Graduação em Energia da Universidade de São Paulo (Escola Politécnica / Faculdade de Economia e Administração / Instituto de Eletrotécnica e Energia / Faculdade de Física) para obtenção de título em Mestre em Ciências.

Orientação: Profa Dra. Patrícia H.L.S.Matai

São Paulo

2010

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada à fonte.

Ficha Catalográfica

Santos, Denise Moreira dos.

Desenvolvimento de método para a obtenção de energia a partir da produção de biodiesel via extração de óleo de borra de pó de café em escala laboratorial./Denise Moreira dos Santos; orientadora Patrícia Helena Lara dos Santos Matai São Paulo – 2010.

55p.;; 29,7 cm

Dissertação (Mestrado – Programa de Interunidades de Pós Graduação em Energia) – EP/FEA/IEE/IF da Universidade de São Paulo.

1. Biodiesel 2. Energia - Método de obtenção 3.Extração de óleo I.Título

*“Se um dia você tiver que escolher entre o mundo e o amor,
lembre-se: se escolher o mundo ficará sem amor, mas se você
escolher o amor, com ele conquistará o mundo”*

Albert Einstein

Agradecimento

Agradeço a todos aqueles que direta ou indiretamente, colaboraram na elaboração desse trabalho, e em particular:

À professora Dra. Patrícia Matai por me guiar em seu conhecimento seguro, prático e por sua infinita paciência.

A todos os professores que passaram pela minha caminhada, em especial às professoras Maria Toshiko Suzuki de Oliveira e Ana Maria Aoki Gonçalves que me enriqueceram com o seu conhecimento.

A todos os professores do curso Técnico em Química da Etec Getúlio Vargas por terem me apoiado.

Ao Centro Paula Souza, e a direção da Escola Técnica Getulio Vargas, por ter possibilitado e apoiado a minha participação no curso de mestrado.

Ao Instituto de Eletrotécnica e Energia, Escola Politécnica, Instituto de Física, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo pela oportunidade de realização do mestrado.

A todos os professores do Programa de Interunidades de Pós Graduação em Energia que contribuíram para o meu desenvolvimento acadêmico.

A todos os meus familiares que compreenderem minhas ausências.

Aos meus amigos pelo incentivo e compreensão.

E principalmente a Deus por ter permitido concluir mais esta missão.

Muito Obrigada.

Resumo

Santos, D.M. Desenvolvimento de método para a obtenção de energia a partir da produção de biodiesel via extração de óleo de borra de pó de café em escala laboratorial. 2010. 55p. Dissertação de Mestrado – Programa de Interunidades de Pós Graduação em Energia. Universidade de São Paulo.

Muito se fala sobre a origem do café e o hábito de consumi-lo. Durante muitos séculos, sua utilização esteve restrita ao mundo mulçumano, e foram os holandeses os primeiros a conseguirem mudas e tentarem cultivá-las. Por conta do clima desfavorável em toda a Europa, as mudas foram enviadas para teste na América Central e em pouco tempo a produção se dava em larga escala. Em 1727 o café chegou ao Brasil e se tornou o principal produto de exportação do país.

O Brasil também é um grande consumidor de café e a sua borra é um resíduo doméstico diário em quase todas as residências, comércios, bares e restaurantes; e seu destino final serão os lixões e aterros sanitários

Mesmo não sendo uma oleaginosa o grão de café torrado contém cerca de 10 a 15% de ácidos graxos saturados e insaturados. Os óleos vegetais, provenientes grãos de plantas oleaginosas como de soja, mamona, amendoim, dendê entre outros, são as fontes mais comuns de triglicérides

Os triglicérides têm sido considerados opção viável e interessante como fonte renovável de energia com potencial para substituir parcial ou totalmente o óleo diesel derivado de petróleo. A alternativa energética está presente no nosso cotidiano.

Na aula de Química poderemos envolver a questão ambiental e a questão energética, a partir da extração do óleo essencial existente na borra de café, que contém cerca de 9 a 11% de ácidos graxos saturados e insaturados, valor considerável comparado aos grãos de oleaginosas e encontrar um destino para o mesmo, o biodiesel. Estimulando assim a criatividade e sugerindo aplicação do produto obtido.

Palavras Chave: óleo, café, biodiesel

Abstract

Santos, D.M. Development of methods for obtaining of energy biodiesel from coffee grounds in laboratory scale. 2010. 55p. Dissertação de Mestrado – Programa de Interunidades de Pós Graduação em Energia. Universidad de São Paulo.

Much is said about the origin of coffee and the habit of consuming it. For many centuries, its use was restricted to the Muslim world, and the Dutch were the first to get seedling and to try to grow them. Because of unfavorable weather across Europe, the seedlings were sent for testing in Central America and soon production occurred in a large scale. In 1727 coffee arrived in Brazil and became the main export of the country.

Brazil is also a major consumer of coffee and its residue is a daily domestic waste in almost all homes, shops, bars and restaurant, and its final destination will be the open dumps and landfills

Even though it is not an oleaginous grain the roasted coffee contains about 10 to 15% of saturated and unsaturated fatty acids. Vegetable oils from seeds of plants such as soybeans, castor beans, peanuts, palm oil among others, are the most common sources of triglycerides.

Triglycerides have been considered a viable and interesting option as a renewable energy source with the potential to partially or totally replace the diesel fuel derived from petroleum. The alternative energy is present in our daily lives.

In the Chemistry class we can involve environmental and energy issues, from the extraction of essential oil that exists in coffee ground, which contains about 9 to 11% of saturated and unsaturated fatty acids, a considerable value compared to oleaginous grains and finds a destination to it, the biodiesel. Thus stimulating creativity and suggesting implementation of the obtained product.

Keyword: oil, coffee, biodiesel

Sumário

1. Introdução	1
2. Objetivos Gerais	3
2.1 Objetivos Específicos	3
2.2 Objetivos Didático pedagógico	3
3. O café	4
3.1 Origens do café	4
3.2 O café no Brasil	6
3.3 A produção do café no Brasil	10
3.4 O consumo do café no Brasil	12
4. Óleos e Gorduras	14
4.1 Óleos de café	16
4.2 Composição Química do café	17
5. Biodiesel	18
5.1 O Biodiesel no Brasil	19
6. Parte Prática	21
6.1 A importância do experimento na Química	21
6.2 A problemática e a solução	23
6.3 Materiais e Métodos Utilizados	25
6.3.1 Métodos de Extração do óleo	25
6.3.2 Métodos Analíticos	28
6.4 Desenvolvimentos Experimentais	31
6.4.1 Obtenção do óleo da borra de café	31
6.4.2 Obtenção do biodiesel	35
6.5 Métodos Analíticos Realizados	37
6.6 Roteiros Experimentais	39
6.7 Resultados e Discussão	41
7. Referencia Bibliográfica	45

Lista de Figuras

Figura 1. Detalhes na linha de plantio, irrigação e vista aérea	8
Figura 2. Plantação de café robusta	8
Figura 3. Grãos de café do tipo robusta	9
Figura 4. Grãos de café do tipo arábica	9
Figura 5. Evolução do consumo interno de café no Brasil	13
Figura 6. Consumo Interno de Café em sacas de 60 kg e per - capita	13
Figura 7. Silo de armazenamento de grão de café	24
Figura 8. Vista lateral da Fazenda Carnielli-Venda Nova do Imigrante – ES	24
Figura 9. Extrator de Soxhlet	26
Figura 10. Evaporador rotativo a vácuo – Laboratório do Instituto Florestal	26
Figura 11 a. Bastonetes de borra de café , pó tradicional	32
Figura 11b. Bastonetes de borra de café, grãos moídos na máquina de café	33
Figura 12. Fase de incubação borra de café e etanol	33
Figura 13. Amostras de borra de café com pó de café tradicional e grãos	34
Figura 14. Extrator de Soxhlet em extração	34
Figura 15. Óleo da borra de café obtido pela extração	35
Figura 16. Densímetro e Picnômetro	38

Lista de Tabelas

Tabela1. Produção Mundial de Café e principais países produtores	10
Tabela1. Exportação Mundial e principais países produtores	11
Tabela2. Composição em ácidos graxos de diversos óleos vegetais	15
Tabela3. Principais Fontes de Oleaginosas e porcentagem de óleo	16
Tabela4. Teor de óleo de borra de café para cada amostra utilizada	41
Tabela5. Comparação dos resultados finais	42

1. Introdução

O mundo vem discutindo alternativas para os combustíveis fósseis, as fontes não renováveis de energia. O que fazer com resíduos que são descartados diariamente e muitas vezes nem percebemos que estamos contaminando o meio ambiente. Ligando os dois temas tão discutidos atualmente este trabalho visa à utilização de um resíduo descartado por milhares de pessoas diariamente e muitas vezes mais de uma vez por dia; o café, o Brasil é o maior produtor de café e grande consumidor. Sua borra é descartada sem nenhuma aplicação, aumentando o número deste resíduo em: residências, cafeterias, restaurantes, escritórios, comércio em geral entre outros, que consomem toneladas de pó de café mensalmente.

Mesmo não sendo considerado um grão oleaginoso, a literatura mostra que os grãos de café contêm certo teor de óleo fixo e essencial que pode ser extraído e aproveitado.

Este trabalho tem como objetivo extrair este óleo e transformá-lo em energia; energia esta que poderá ser aplicada em pequenas comunidades onde a cultura de armazenamento da borra de café já exista em pequena escala, mesmo que para outras aplicações, como por exemplo, utilização como fertilizantes.

Os triglicerídeos têm sido considerados uma opção viável e interessante como fonte renovável de energia com potencial para substituir parcial ou totalmente o óleo diesel derivado de petróleo. As fontes mais comuns de triglicerídeos incluem óleos vegetais (tais como soja, dendê, girassol, amendoim, mamona entre outros) e gorduras animais (sebo bovino principalmente).

Entretanto, o uso direto de óleos vegetais *in natura* ou em mistura com óleo diesel é impraticável, principalmente pelo fato destes apresentarem alta viscosidade, altos índices de acidez e de ácidos graxos livres, formação de goma no uso devido à oxidação do óleo, polimerização durante a combustão e na estocagem, depósito de carbono e espessamento do óleo lubrificante do motor. (FUKUDA et al. 2001). Nesse contexto, e como alternativa para a situação de tantos problemas surge o biodiesel, uma mistura de ésteres de ácidos, produzida através da reação de transesterificação de triglicerídeos com um álcool de cadeia curta (metanol ou etanol).

O biodiesel se presta a tal uso, pelo fato de o número de carbonos presentes em suas moléculas ser compatível com a faixa de distribuição de carbonos do óleo diesel (CARDONE et al,2003)

Alguns estudos mostram que a produção de biodiesel proveniente de óleos vegetais em comunidades pequenas e/ou em cooperativas é economicamente viável podendo resultar na diminuição dos custos envolvidos no cultivo de oleaginosas, se o combustível obtido for utilizado em máquinas e equipamentos envolvidos na agricultura local.

Em uma aula de Química este experimento pode estimular a preocupação com a reutilização de resíduos, e uma possível solução ambiental além de provocar uma discussão diferente sobre o tema Energia Alternativa e suas aplicações.

O Brasil é o maior produtor mundial de café e seu grande consumidor. O preparo da bebida a partir do café consiste de uma extração líquido/sólido do pó de café com água quente.

Mesmo não sendo classificada como oleaginosa, a literatura mostra que os grãos *Rubiáceos Coffea* espécie arbustiva produtora do café contêm certo teor de óleo fixo e essencial que pode ser extraído e aproveitado como insumo na produção de biodiesel. O grão de café torrado possui 44% de ácidos graxos saturados e 51% de ácidos graxos insaturados (TURATTI, 2001), mesmo considerando as possíveis perdas durante o processo de moagem e preparo do café, estes valores são significativos levando em consideração os grãos oleaginosos utilizados nas pesquisas para obtenção de biodiesel.

2. Objetivos Gerais

Este trabalho tem como objetivo geral desenvolver uma metodologia para obtenção de energia a partir do resíduo borra de café.

Verificar o potencial tecnológico da borra de café servida como insumo para produção de biodiesel.

2.1 Objetivos Específicos

Estudar e determinar condições adequadas para a extração do óleo contido na borra do pó de café.

Desenvolver o método para a obtenção de energia renovável a partir da produção, em escala de laboratorial, de biodiesel a partir da transesterificação de óleo de café residual extraído da borra do pó de café com álcool etílico.

Mostrar a viabilidade do tratamento e uso de um resíduo de biomassa como fonte de obtenção de energia, visando à questão ambiental.

2.2 Objetivos didático-pedagógicos

Mostrar a importância das aulas práticas no Curso de Química e a discussão do tema Energia Alternativa, no ensino médio e técnico de forma diferenciada, com a utilização de resíduo de biomassa como fonte de obtenção de energia.

Estimular os alunos a se aprofundarem nas questões ambientais trazendo novas soluções para as possíveis problemáticas.

Aplicar a metodologia desenvolvida, no ensino médio e técnico, trabalhando o conceito Energia Alternativa como tema transversal.

3. O Café

3.1 - Origens do Café

A origem do consumo de café é atribuída a um pastor etíope Kaldi, que viveu na Absínia, hoje Etiópia, há cerca de mil anos que observava a alteração no comportamento de suas cabras quando comiam os grãos vermelhos de arbustos nativos da região. Elas ficavam excitadas e agitadas, despertando a curiosidade do pastor que provou da planta e comprovou os seus efeitos revigorantes (NEVES, 1974).

Durante muitos séculos, a utilização do café restringiu-se ao mundo mulçumano. A partir do século VI, este passou a ser cultivado nos monastérios islâmicos.

Conta a lenda que o Arcanjo Gabriel ofereceu café para Maomé, que graças à bebida teria recuperado sua frágil saúde passando a recomendar o seu consumo. Foi a constatação desses efeitos benéficos que permitiu, após muitos séculos de banimento, que o Papa Clemente VIII estimulasse, no final do século XVI, o consumo entre os cristãos.

A partir de 1615 o café começou a ser saboreado no Continente Europeu, trazido por viajantes em suas freqüentes viagens ao oriente. Até o século XVII, somente os árabes produziam café. Alemães, franceses e italianos procuravam desesperadamente uma maneira de desenvolver o plantio em suas colônias. Mas foram os holandeses que conseguiram as primeiras mudas e as cultivaram nas estufas do jardim botânico de Amsterdã, fato que tornou a bebida uma das mais consumidas no velho continente, passando a fazer parte definitiva dos hábitos dos europeus.

A partir destas plantas, os holandeses iniciaram em 1699, plantios experimentais em Java. Essa experiência de sucesso trouxe lucro, encorajando outros países a tentar o mesmo. A Europa maravilhava-se com o cafeeiro como planta decorativa, enquanto os holandeses ampliavam o cultivo para Sumatra, e os franceses, presenteados com um pé de café pelo prefeito de Amsterdã, iniciavam testes nas ilhas de Sandwich e Bourbon.

Com as experiências holandesas e francesas, o cultivo de café foi levado para outras colônias européias. O crescente mercado consumidor europeu propiciou a expansão do plantio de café em países africanos e a sua chegada ao Novo Mundo. Pelas mãos dos colonizadores europeus, o café chegou ao Suriname, São Domingos, Cuba, Porto Rico e Guiana. Foi por meio das Guianas que chegou ao norte do Brasil. Desta maneira, o segredo dos árabes se espalhou por todos os cantos do mundo.

O hábito de tomar café foi desenvolvido na cultura árabe. No início, o café era conhecido apenas por suas propriedades estimulantes e a fruta era consumida fresca, sendo utilizada para alimentar e estimular os rebanhos durante viagens. Com o tempo, o café começou a ser macerado e misturado com gordura animal para facilitar seu consumo durante as viagens. (NEVES, 1974)

Em 1000 d.C., os árabes começaram a preparar uma infusão com as cerejas, fervendo-as em água. Somente no século XIV, o processo de torrefação foi desenvolvido, e finalmente a bebida adquiriu um aspecto mais parecido com o dos dias de hoje. A difusão da bebida no mundo árabe foi bastante rápida. O café passou a fazer parte do dia-a-dia dos árabes sendo que, em 1475, até foi promulgada uma lei permitindo à mulher pedir o divórcio, se o marido fosse incapaz de lhe prover uma quantidade diária da bebida. A admiração pelo café chegou mais tarde à Europa durante a expansão do Império Otomano. (NEVES, 1974)

O café conquistou definitivamente a Europa a partir de 1615, trazido dos países árabes por comerciantes italianos. O hábito de tomar o café, principalmente em Veneza, estava associado aos encontros sociais e à música que ocorriam nas alegres *Botteghe Del Caffè*. Em 1687 os turcos abandonaram várias sacas de café às portas de Viena, após uma tentativa frustrada de conquista, e estas foram usadas como prêmio pela vitória. Assim foi aberta a primeira *Coffee House* de Viena e difundido o hábito de coar a bebida e bebê-la adoçada com leite - o famoso café vienense.

Até hoje os cafés são locais onde pessoas se reúnem para discutir assuntos importantes ou simplesmente passar o tempo, sendo o ritual do cafezinho uma tradição que sobreviveu a todas as transformações.

O cafeeiro pertence à família *Rubiácea* e gênero *Coffea*. Existem duas espécies mais importantes economicamente: a *Coffea arábica* e a *Coffea canéfora*, conhecidas como arábica e robusta, respectivamente; a arábica é a mais apreciada, por produzir uma bebida de melhor qualidade. (NEVES, 1974).

3.2 - O Café no Brasil

O café chegou ao norte do Brasil, mais precisamente em Belém, em 1727, trazido da Guiana Francesa para o Brasil pelo Sargento-Mor Francisco de Mello Palheta a pedido do governador do Maranhão e Grão Pará, que o enviara às Guianas com essa missão. Já naquela época o café possuía grande valor comercial. (EMBRAPA, 2009)

Rapidamente a cultura espalhou-se pelos Estados do Maranhão, Bahia, Minas Gerais e Rio de Janeiro. A expansão da cultura cafeeira se deu no sentido Rio de Janeiro para São Paulo. Grandes propriedades se estabeleceram no Vale do Paraíba (no Estado de São Paulo), região que reunia dois importantes fatores: o clima favorável e uma grande extensão de terras virgens agriculturáveis (DPASCHOAL, 2006).

Por quase um século, o café foi a grande riqueza brasileira, e as divisas geradas pela economia cafeeira aceleraram o desenvolvimento do Brasil e o inseriram nas relações internacionais de comércio. A cultura do café ocupou vales e montanhas, possibilitando o surgimento de cidades e dinamização de importantes centros urbanos por todo o interior do Estado de São Paulo, sul de Minas Gerais e norte do Paraná. Ferrovias foram construídas para permitir o escoamento da produção, substituindo o transporte animal e impulsionando o comércio inter-regional de outras importantes mercadorias. O café trouxe grandes contingentes de imigrantes, consolidou a expansão da classe média, a diversificação de investimentos e até mesmo intensificou movimentos culturais. A partir de então o café e o povo brasileiro passam a ser indissociáveis. (ABIC, 2009).

Nos primórdios, o plantio era feito utilizando-se mão de obra escrava. As mudas de café eram intercaladas com mudas de alimentos, tais como feijão, mandioca e milho. Após a colheita, os grãos eram expostos ao sol para secar e em seguida, beneficiados para a retirada das cascas. O transporte das sacas de café era feito utilizando-se tropas de mulas, as quais na ida levavam a produção e na volta, transportavam ferramentas e mantimentos para as propriedades. (NEVES, 1974).

A riqueza fluía pelos cafezais, evidenciada nas elegantes mansões dos fazendeiros, que traziam a cultura européia aos teatros erguidos nas novas cidades do interior paulista. Durante dez décadas o Brasil cresceu movido pelo hábito do cafezinho, servido nas refeições de toda população, interiorizando nossa cultura, construindo fábricas, promovendo a miscigenação racial, dominando partidos políticos, derrubando a monarquia e abolindo a escravidão.

Além de ter sido fonte de muitas das nossas riquezas, o café permitiu alguns feitos extraordinários. Durante muito tempo, o café brasileiro mais conhecido em todo o mundo era o tipo Santos. A qualidade do café santista e o fato de ser um dos principais portos exportadores do produto determinaram a criação do Café Tipo Santos (ABCI, 2009)

A cafeicultura no centro-sul do Brasil começou a ter problemas em 1870, quando uma grande geada atingiu as plantações do oeste paulista provocando prejuízos incalculáveis. Depois de uma longa crise, a cafeicultura nacional se reorganizou e os produtores, industriais e exportadores voltaram a alimentar esperanças de um futuro melhor. A busca pela região ideal para a cultura do café se estendeu por todo o país, se firmando hoje em regiões do Estado de São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Espírito Santo, Bahia e Rondônia. O café continua hoje, a ser um dos produtos mais importantes para o Brasil e é, sem dúvida, o mais brasileiro de todos. Hoje o país é o primeiro produtor e o segundo consumidor mundial do produto.

As áreas cafeeiras estão concentradas no centro-sul do país, onde se destacam quatro estados produtores: Minas Gerais, São Paulo, Espírito Santo e Paraná. A região Nordeste também tem plantações na Bahia, e da região Norte pode-se destacar Rondônia. A produção de café arábica se concentra em São Paulo, Minas Gerais,

Paraná, Bahia e parte do Espírito Santo, enquanto o café robusta é plantado principalmente no Espírito Santo e Rondônia.

A figura 1 apresenta três plantações de café mostrando a linha de plantio, sistema de irrigação e uma vista aérea imagem retirada da Revista do Café edição de março de 2001. A figura 2 representa o plantio da espécie Robusta retirada do mesmo periódico Revista do Café edição de março de 2001.



Figura 1 – Detalhes na linha de plantio, irrigação e vista aérea, respectivamente.
(Fonte: Revista do Café março, 2001)



Figura 2 – Plantação de Café Robusta (Fonte: Revista do Café, março 2001)

As figura 3 e 4 representam, respectivamente, os grãos de café dos tipos robusta e arábica, com as figuras podemos observar as características diferentes dos grãos, e o tamanho dos arbustos, a espécie robusta tem grãos mais amarelados e galhos longos e o arábica com galhos pequenos e mais cheios e grãos claros.



Figura 3 - Grão de café do tipo robusto.

(Fonte: ABIC, 2009).



Figura 4 - Grãos de café do tipo arábico.

(Fonte: ABIC, 2009).

3.3 A Produção do Café no Brasil

O Brasil configura-se como o maior produtor, sendo responsável por 33% de todo o café comercializado no mercado internacional (incluindo-se os mercados interno e externo). O segundo maior país exportador é o Vietnã, que responde por 15% das exportações mundiais seguido de perto pela Colômbia com 7,5%. (CONAB, 2010),

conforme tabelas 1A e 1B que informam a produção mundial e os principais países produtores e a exportação mundial de café, utilizando como unidade volume em mil sacas de 60 kg.

PRODUÇÃO E EXPORTAÇÃO MUNDIAL DE CAFÉ

Tabela 1A – Produção Mundial e Principais países produtores

Países	2009		2008		2007		2006		2005	
	Produção	Particip. (%)								
Brasil (*)	39.470	32,88	45.992	35,91	36.070	30,21	42.512	32,92	32.944	29,98
Vietnã	18.000	14,99	18.500	14,44	16.467	13,79	19.340	14,98	13.842	12,42
Colômbia	9.000	7,50	8.664	6,76	12.504	10,47	12.541	9,71	12.564	11,27
Indonésia	10.632	8,86	9.350	7,30	7.777	6,51	7.483	5,79	9.159	8,22
Etiópia	4.500	3,75	4.350	3,40	4.906	4,11	4.636	3,59	4.003	3,59
Índia	4.827	4,02	4.371	3,41	4.460	3,74	5.158	3,99	4.396	3,94
México	4.200	3,50	4.651	3,63	4.150	3,48	4.200	3,25	4.225	3,79
Guatemala	3.500	2,92	3.785	2,95	4.100	3,43	3.950	3,06	3.676	3,30
Peru	3.315	2,76	3.872	3,02	3.063	2,57	4.319	3,34	2.489	2,23
Honduras	3.527	2,94	3.450	2,69	3.842	3,22	3.461	2,68	3.204	2,87
Costa do Marfim	1.850	1,54	2.353	1,84	2.598	2,18	2.847	2,20	1.962	1,76
Nicarágua	1.686	1,40	1.615	1,26	1.700	1,42	1.300	1,01	1.718	1,54
El Salvador	1.065	0,89	1.547	1,21	1.621	1,36	1.371	1,06	1.502	1,35
Outros países	14.473	12,06	15.588	12,17	16.139	13,52	16.021	12,41	15.779	14,16
TOTAL	120.045	100,00	128.088	100,00	119.397	100,00	129.139	100,00	111.463	100,00

Fonte: Mapa/SPAE/CONAB 2010 – volume em mil sacas de 60 kg

Tabela 1B – Exportação Mundial e Principais países produtores

Países	2009		2008		2007		2006		2005	
	Exportação	Participação (%)								
Brasil (*)	30.481	31,70	29.728	30,44	28.398	29,41	27.978	30,32	26.431	30,17
Vietnã	17.090	17,77	16.101	16,49	17.936	18,57	13.904	15,07	13.432	15,33
Colômbia	7.894	8,21	11.085	11,35	11.557	11,97	10.936	11,85	10.871	12,41
Indonésia	6.519	6,78	5.741	5,88	2.945	3,05	4.117	4,46	5.784	6,60
Etiópia	1.851	1,92	2.852	2,92	3.073	3,18	2.803	3,04	2.170	2,48
Índia	3.108	3,23	3.378	3,46	2.718	2,81	3.742	4,06	3.059	3,49
México	2.838	2,95	2.448	2,51	1.950	2,02	2.200	2,38	2.500	2,85
Guatemala	3.508	3,65	3.778	3,87	3.800	3,93	3.650	3,96	3.376	3,85
Peru	3.074	3,20	3.733	3,82	2.843	2,94	4.099	4,44	2.269	2,59
Honduras	3.084	3,21	3.259	3,34	3.382	3,50	3.231	3,50	2.974	3,39
Costa do Marfim	1.884	1,96	1.585	1,62	1.833	1,90	2.531	2,74	1.645	1,88
Nicarágua	1.371	1,43	1.625	1,66	1.510	1,56	1.110	1,20	1.528	1,74
El Salvador	1.307	1,36	1.438	1,47	1.396	1,45	1.149	1,25	1.299	1,48
Outros países	12.152	12,64	10.915	11,18	13.232	13,70	10.829	11,74	10.269	11,72
TOTAL	96.161	100,00	97.666	100,00	96.576	100,00	92.279	100,00	87.607	100,00

Fonte: Mapa/SPAE/CONAB 2010 – volume em mil sacas de 60 kg

3.4 O Consumo do Café no Brasil

O consumo interno de café tem aumentado nos últimos anos. Expectativas iniciais indicavam um pequeno crescimento considerando-se a crise econômica mundial que teve início em 2008. A crise, que afetou muitos setores, não interferiu, no entanto, no consumo de café pelas famílias brasileiras. Uma evolução significativa pode ser observada nas empresas associadas ao processamento das diversas formas de café as quais participam com quase 65% do café industrializado produzido. (ABIC, 2009).

Segundo Associação Brasileira da Indústria de Café (2009) “o consumo doméstico, predominantemente de cafés do tipo Tradicional, tanto quanto o consumo fora do lar, onde predominam os cafés Superiores e Gourmet, apresentaram taxas de crescimento positivas. Maiores investimentos em produtos e no marketing interno do café impulsionaram as vendas das marcas mais conhecidas. O mercado recebe, mensalmente, novas marcas de cafés especiais, fazendo com que o mercado brasileiro apresente uma oferta muito significativa de cafés de alta qualidade para os consumidores brasileiros”.

No período compreendido entre 2008 e 2009, o consumo de café foi de 5,81 kg de grão cru correspondendo a 4,65 kg de café torrado, ou a aproximadamente 78 litros de bebida per capita por ano. A evolução registrada no período em referencia de 3,0% em relação ao período anterior (período de 2008-2009). (ABIC, 2009).

As Figuras 5 e 6 mostram a evolução do consumo interno de café em sacas (de 60 Kg) e per - capita no Brasil até o mês de novembro de 2009.

O aumento do consumo interno pode ser justificado pela melhoria de qualidade. Ao lançar o Selo de Pureza em 1989, a Associação Brasileira da Indústria do Café visava reverter à queda observada no consumo através da oferta de café de melhor qualidade para o consumidor.

A evolução de consumo interno de café no Brasil, no período compreendido entre 1990 até o mês de novembro de 2009, em milhões de sacas de 60 kg de café está apresentada na Figura 5.

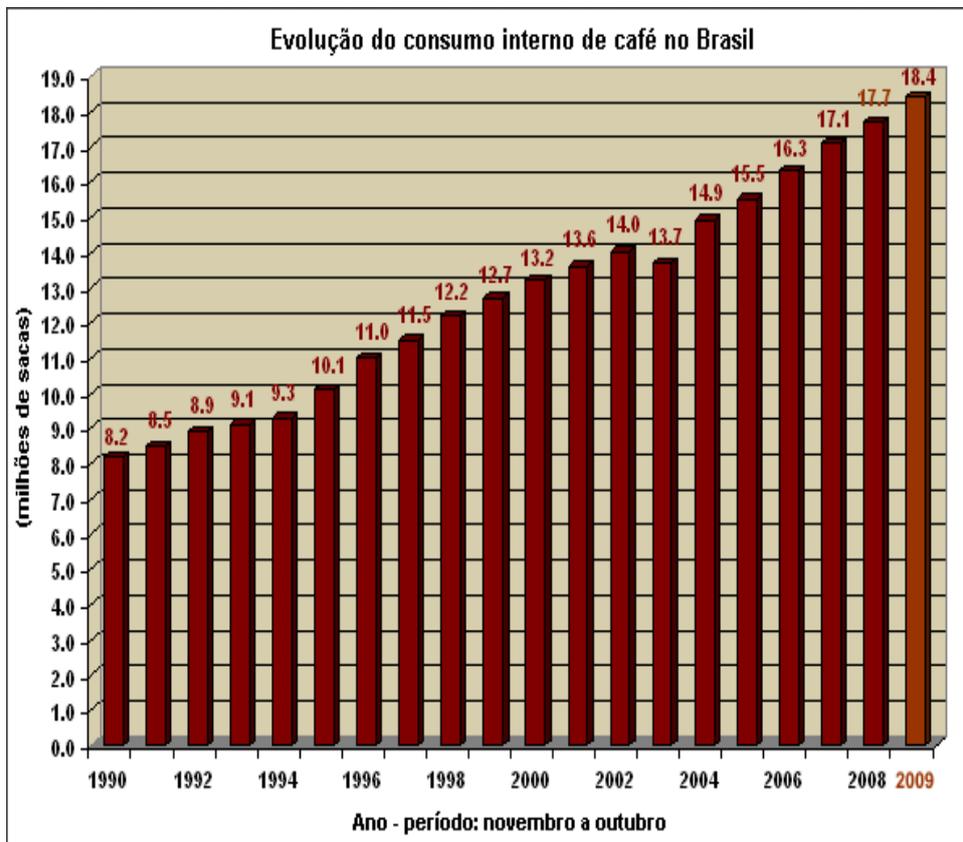


Figura 5 – Evolução do consumo interno de café no Brasil (ABIC-2010)

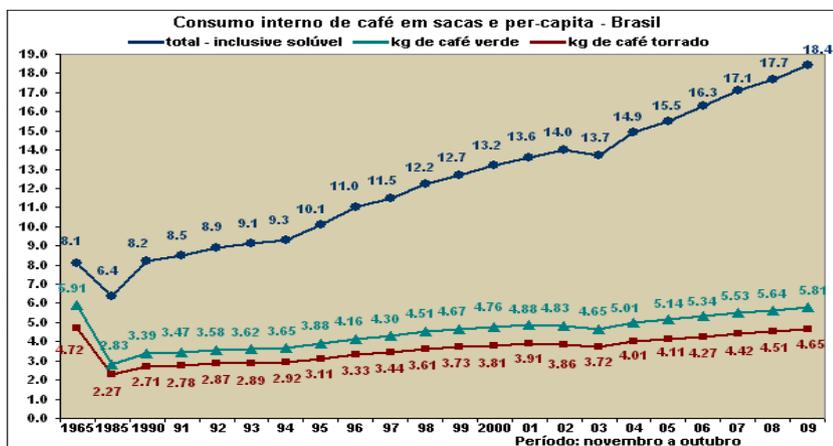


Figura 6 – Consumo Interno de Café em sacas de 60 kg e per - capita (ABIC, 2010)

4. Óleos e Gorduras

Segundo a definição de FONSECA, 2001 a Bioquímica estuda os processos químicos que ocorrem nos organismos vivos, animais e vegetais, os compostos bioquímicos e a sua importância industrial; os compostos bioquímicos são divididos em três classes principais: lipídios, hidratos de carbono e proteínas. Normalmente os compostos bioquímicos apresentam massa molar elevada como é o caso, por exemplo, dos alcoóis e dos ácidos graxos.

Os alcoóis graxos são alcoóis primários com mais de oito átomos de carbono na cadeia, que geralmente é linear. São denominados alcoóis graxos superiores os compostos que apresentam dezesseis ou mais átomos de carbono na cadeia. Em condições ambientes, os alcoóis graxos que possuem de oito a onze átomos de carbono são líquidos oleosos e os que possuem acima de onze átomos de carbono são sólidos. Os alcoóis graxos saturados mais importantes são o octílico, o decílico, o laurílico, miristílico, o cetílico e o estearílico e entre os alcoóis graxos insaturados comercialmente importantes são os oleílico, linoleílico, linolenílico. Eles são utilizados como solventes para graxas, ceras, gomas, aditivos para óleos lubrificantes e como tensoativos não iônicos para obtenção de emulsões de óleo em água. Os ácidos graxos são os ácidos obtidos a partir de óleos e gorduras animais ou vegetais. Em condições ambientes, podem ser encontrados nas fases líquida, semi-sólida (pastosa) ou sólida; podendo ser saturados ou insaturados.

Dos compostos bioquímicos, os lipídios se definem como todo éster que, ao sofrer hidrólise, forma um ácido graxo e um monoálcool graxo ou polialcool.

Os glicerídeos são triésteres formados a partir de três moléculas de ácidos graxos superiores e uma molécula de triálcool (propanotriol); o glicerídeo formado pode ser um óleo ou uma gordura. Exemplos de glicerídeos de origem vegetal é óleo de milho, manteiga de cacau, manteiga de coco, de abacate, óleo de girassol, óleo de canola entre outros.

Óleos são derivados predominantemente de ácidos graxos insaturados e se apresentam na fase líquida em condições ambientes já as gorduras são derivadas de ácidos graxos saturados e se apresentam na fase sólida em condições ambientes.

A tabela 2 apresenta a composição em ácidos graxos de diversas fontes de oleaginosas. Apesar de os grãos de café não serem considerados como oleaginosos, os dados de composição estão colocados na referida tabela para efeito de comparação.

Tabela 2 - Composição em ácidos graxos de diversos óleos vegetais e dos cafés cru e torrado.

Ácidos Graxos	Saturados		Insaturados		
	Palmítico (C16)	Estearico (C18)	Olêico (C18')	Linoléico (C18'')	Linolênico (C18''')
Canola ¹	4%	2%	61%	20%	9%
Amendoim ¹	10%	2%	49%	31%	-
Palma ¹	45%	4%	40%	10%	-
Milho ¹	11%	2%	25%	60%	1%
Oliva ¹	11%	2%	73%	8%	1%
Soja ¹	10%	10%	23%	54%	7%
Girassol ¹	6%	5%	18%	65%	< 1%
Café cru²	34%	9%	10%	41%	1%
Café torrado¹	35%	9%	10%	40%	1%

Fonte: ¹ ACH Food Companies, Inc. (2004); ² TURATTI (2001).

A tabela 3 apresenta o conteúdo expresso em porcentagem de óleo nos vegetais oleaginosos.

Tabela 3 - Principais fontes vegetais oleaginosas e seus conteúdos em porcentagem de óleo

Fonte de óleo	Conteúdo de óleo (%)
Copra	66-68
Babaçu	60-65
Gergelim	50-55
Polpa de palma (dendê)	45-50
Caroço de palma	45-50
Amendoim	45-50
Colza (canola)	40-45
Girassol	35-45
Açafrão	30-35
Oliva	25-30
Algodão	18-20
Soja	18-20
Café cru arábica	15
Café cru robusta	10

Adaptado de MORETTO e FETT (1998)

4.1 - Óleos de Café

O óleo de café pode ser obtido por extração por solvente ou por prensagem; na sua composição química encontram-se principalmente os esteróis, que apresentam propriedades cosméticas de retenção de umidade, penetração na pele, aderência, entre outras, justificando sua utilização em cremes. Por outro lado, o óleo de café pode ser empregado na fabricação de produtos alimentícios tais como: em recheios de balas, como realçador do sabor de café no café solúvel, na preparação de café gelado, café enlatado, cappuccinos, pudins, produtos que utilizam leite, produtos de confeitaria, sobremesas e sorvetes (TURATTI, 2001).

4.2. - Composição Química do Café

A composição química do grão de café cru depende de vários fatores tais como os métodos empregados na colheita, os tipos de processamento e de armazenamento dos grãos, das características hereditárias e ambientais; seus constituintes principais são os carboidratos de alta e baixa massa molar; os ácidos orgânicos que dependem de fatores como a idade, processamento e fermentação; os principais ácidos encontrados no café são os ácidos clorogênicos e os ácidos quínico, málico, cítrico e fosfórico. Em média, o café arábico contém mais ácido quínico que o robusto. Para os ácidos málico e cítrico, os teores são superiores em arábica, do que em robusta. O teor de ácido fosfórico é em média quase que igual no arábico e robusto. Já a quantidade de ácidos clorogênicos nos grãos de cafés crus varia de 4,0 % a 9,0 %, em base seca, para café arábico. Os compostos nitrogenados representam na composição do café. Dentro desta classe de compostos, encontram-se a cafeína, a trigonelina, os aminoácidos e as proteínas. A cafeína é a substância do café responsável pelos efeitos estimulantes do sistema nervoso central e os fatores ambientais e agrícolas não influenciam de modo significativo na quantidade de cafeína presente em grãos crus. Encontram-se também proteínas presentes nos grãos de café, localizadas no citoplasma ou ligadas a polissacarídeos nas paredes celulares. Sua degradação durante a torração é responsável pelo aparecimento de voláteis que atribuirão aroma ao café. A idade da planta e o período de maturação dos frutos influem diretamente no teor de proteínas no grão.

Também é conhecida a presença de cinzas no café, mais não há muitas informações nas literaturas que permitam diferenciar café arábico de café robusto, pelo teor de cinzas. (CLARKE, 1985).

Os lipídios também são encontrados nos de grãos de café se localizando em maior quantidade no endosperma do fruto. Segundo a literatura, o teor de óleo na espécie arábica é de 15 % e de 10 % para robusta. (SPEER e KÖLLING-SPEER, 2001)

5 – Biodiesel

O Biodiesel é obtido através da reação de óleos vegetais com um intermediário ativo, formado pela reação de um álcool com um catalisador, processo conhecido como transesterificação. Os produtos da reação química são o éster e o glicerol; estes ésteres têm características físicas químicas muito semelhantes às do diesel. A reação de transesterificação pode empregar tipos diversos de alcoóis, preferencialmente de baixo peso molecular, os mais estudados são os alcoóis metílicos e etílicos. A reação com metanol é tecnicamente mais viável que com álcool etílico. Utilizando o álcool etílico com teor de água inferior a 2%, visto que a água atuaria como inibidor da reação. Também com a separação da glicerina obtida como subproduto, encontraremos diferenças, no caso da síntese do éster metílico a separação ocorreria com uma simples decantação, com o éster etílico o processo requer um maior número de etapas. O catalisador utilizado pode ser do tipo ácido ou básico. Entretanto, geralmente a reação empregada na indústria é feita em meio básico, uma vez que este apresenta melhor rendimento e menor tempo de reação que o meio ácido, além de apresentar menores problemas relacionados à corrosão dos equipamentos. As bases químicas utilizadas são o hidróxido de potássio e o hidróxido de sódio, sendo que o hidróxido de potássio apesar de mais caro apresenta vantagens na separação do éster do glicerol. (FRIEDMAN, 1986)

5.1 O Biodiesel no Brasil

Segundo o Ministério de Minas e Energia (2005) o Brasil desenvolve pesquisas sobre biodiesel, promove iniciativas para usos em testes e foi um dos pioneiros ao registrar a primeira patente sobre o processo de produção de combustível a partir de 1980. No ano de 2004, o Governo Federal, por meio do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), definiu todos os parâmetros necessários à produção e utilização do biodiesel no país. Os aspectos relativos à cadeia produtiva, às linhas de financiamento e à estrutura da base tecnológica foram estabelecidos. O marco regulatório que autoriza o uso comercial do biodiesel no Brasil considera principalmente a competitividade frente aos demais combustíveis e uma política de inclusão social. A produção a partir de diferentes oleaginosas e rotas tecnológicas são permitidas, o que possibilita a participação do agronegócio e da agricultura familiar.

Quanto às emissões e desempenho do motor, estudos produzidos até o ano de 1997 há um amplo consenso de que o biodiesel e misturas contendo biodiesel produzem reduções significativas de matéria particulada e aumentos de NO_x em motores de carga pesada. Algumas estratégias para aliviar o aumento de NO_x já foram demonstradas; no entanto, o aumento das emissões de NO_x prevalece como um sério problema para uma expansão significativa do uso comercial do biodiesel. Para motores que atendem aos padrões de emissão de cargas pesadas de 1998 e 2004, não há dados disponíveis, ao menos aparentemente, sobre desempenho durante operações realizadas com biodiesel. Testes em chassis dinamométricos com veículos de carga leve e pesada, operando com biodiesel, também têm sido muito limitados. Portanto, a total compreensão sobre as emissões dos poluentes emanados por este combustível renovável ainda requererá um conjunto muito maior de testes. Em geral, a maioria dos resultados obtidos com biodiesel mostra redução substancial nas emissões de particulados, poluidores gasosos, hidrocarbonetos aromáticos, e SO₂. Entretanto, emissões de NO_x aumentaram ou diminuíram, dependendo do ciclo de serviço ou dos métodos utilizados no teste com motores. Há também resultados em que pouca diferença é percebida entre as emissões de monóxido de carbono, dióxido de carbono e NO_x para o diesel comum e biodiesel de girassol. Testes experimentais mostraram uma perda de potência e um aumento nas emissões de particulados quando óleo de girassol puro foi utilizado como combustível. Entretanto, a potência e as emissões características de ésteres metílicos de ácidos graxos

de girassol foram similares àquelas obtidas para diesel. Houve diminuição da opacidade das emissões, das emissões de CO e um pequeno aumento das emissões de NOx. Materiais particulados estão sendo reconhecidos como grandes colaboradores para o aquecimento global, além de contribuírem para a piora da saúde humana, principalmente em crianças e asmáticos. (ENCINAR et al., 1999)

6. Parte Prática

6.1. A Importância do Experimento na Química

Apesar do grande desenvolvimento teórico da Química, ela continua a ser uma ciência eminentemente experimental; daí a importância das aulas práticas. A experiência treina o aluno no uso de métodos, técnicas e instrumentos de laboratório e permite a aplicação dos conceitos teóricos aprendidos.

Nas ciências, os fatos experimentais incentivam as teorias e estas propõem novos experimentos. De tal modo se entrelaçam teorias e fatos experimentais, de forma que o aluno pesquisador deve fazer o esforço para romper com a teoria quando esta não se aplica aos experimentos, ou refazer os experimentos até conseguir resultado mais convincente cientificamente (ZUBRICK,2005).

A prática de demonstrações químicas em sala de aula exibe muitas contribuições à prática docente. Elas permitem o melhor aprendizado e retenção de conteúdos por parte dos alunos e é inegável a sua contribuição para estimular e despertar o interesse dos mesmos na aprendizagem e prática de ciências. Também permite ser um instrumento pelo quais os professores podem demonstrar seus interesses e entusiasmos em relação à Química e a sua prática pedagógica, sendo assim um meio de troca de experiências importante entre os professores enquanto executores da demonstração e os alunos enquanto espectadores.

Os experimentos podem ser apresentados de diversas maneiras, para ilustrar ou construir diversos tipos de conhecimentos, descrevendo os sistemas químicos em uma escala macroscópica de fácil visualização aos alunos, onde a percepção e impacto visual se tornam importantes, possibilitando uma interação entre as transformações químicas e os conceitos vistos em sala de aula.

Durante a exposição de um experimento, se bem planejada e executada, a atenção do aluno pode estar exclusivamente para aquela atividade, fazendo assim com que este obtenha uma boa resposta às indagações e observações sobre o fenômeno apresentado. Logo, uma demonstração química pode promover o desenvolvimento do raciocínio científico, a assimilação do método científico e o treinamento da capacidade observacional dos alunos através do desenvolvimento de conclusões mentais do

fenômeno químico apresentado. Esta experiência pode ser por muitas vezes mais valiosa do que simples práticas de laboratório que podem induzir apenas a reprodução de experimentos e não a racionalização das reações químicas em questão (ZUBRICK, 2005).

Demonstrações, além de ilustrar ou construir um determinado tópico de aula, podem ainda ser aliadas a materiais ou fenômenos observados no cotidiano servindo de ponte entre um conceito que pode inicialmente parecer abstrato e coisas que vivemos no dia-a-dia que por muitas vezes nos passam despercebidos. Assim, um experimento pode servir como janela para um novo tipo de observação que os alunos posteriormente possam ter sobre a realidade que os cerca, promovendo assim a chamada Química do cotidiano, onde os conhecimentos podem ser abstraídos ou observados também a partir de experiências comuns a todas as pessoas (FONSECA, 2001).

Experimentos, ainda, podem também promover a dinâmica na aula, quebrando a “monotonia”, e unindo a Química a questões cotidianas e discutidas na atualidade trazendo um clima atraente e agradável às aulas de Química, fator o qual pode ser aliado ao, despertando ainda mais o interesse por parte dos alunos.

Vale ressaltar ainda que experiências em sala de aula possuam o aspecto de “ciência para todos”, trazendo a ciência para sala de aula, facilitando o entendimento e possibilitando o acesso do aluno à prática científica, muitas vezes entendida como sendo uma atividade complexa e desenvolvida apenas por uma classe específica de pessoas devidamente “capacitadas” para essa função. Então, o desenvolvimento delas pode quebrar a barreira existente entre o cientista pesquisador e a sociedade, trazendo a ciência de forma fácil e atraente aos alunos. Uma vez que todos estão habilitados a desenvolver práticas científicas, mostra-se que nós mesmos podemos ser cientistas assim como desenvolvemos ciência na maioria de nossas tarefas diárias, dando a certeza de que a Química nos acompanha em nossa jornada cotidiana (ZUBRICK, 2005).

6.2. - A problemática e a solução

Observando a grande quantidade de borra de café que diariamente tem como destino o lixo doméstico e lixões da cidade e conhecendo as propriedades ainda existentes na borra de café descartada, o seu reaproveitamento em forma de Energia seria de grande importância para uma comunidade carente se transformada em combustível.

Alguns problemas surgiriam para este reaproveitamento, em primeiro lugar a quantidade, o armazenamento, a transformação Química (local, equipamentos, vidrarias, pessoas especializadas e a Energia necessária para o início do processo) e o custo inicial.

O trabalho iniciou-se por uma pesquisa de campo, em uma das regiões de maior produção de café do Brasil, o município de Venda Nova do Imigrante no Estado do Espírito Santo ES, região de agroturismo, com propriedades com direito ao selo de garantia de produção e exportação de café. Três grandes propriedades foram visitadas: Fazenda Carnielli, Fazenda Busato e Fazenda Lorenção todas localizadas na área rural que comercializam pó de café para a população local. Vale ressaltar que esta população tem o hábito de armazenar em um refrigerador próximo as lojas de agronegócios, a borra de café; para ser utilizada como fertilizante.

A questão armazenagem pode se tornar um hábito se a comunidade for conscientizada da importância da sua aplicação e seu retorno como forma de combustível.

A figura 7 apresenta a área de armazenamento de grãos da Fazenda Carnielli e a figura 8 apresenta uma vista lateral da mesma fazenda com a plantação de café ao fundo.



Figura 7: Silo de Armazenamento de grão de café
Fazenda Carnielli – Venda Nova do Imigrante –ES



Figura 8: Vista lateral da Fazenda Carnielli- Venda Nova
do Imigrante - ES

Para o desenvolvimento experimental foi utilizado à borra de café inicialmente da cantina da Etec Getúlio Vargas e posteriormente a borra de café da máquina de café existente na sala dos professores da mesma Etec. A idéia era de utilizar borra de café de vários destinos com marcas de pó de café diferentes para poder observar a quantidade de óleo obtida.

6.3 – Materiais e Métodos Utilizados

6.3.1 - Métodos de Extração do Óleo

A extração do óleo é normalmente realizada de duas maneiras: por extração com solvente ou mecanicamente por prensagem.

Extração por Solvente

O conteúdo de óleo de plantas é determinado por extração Soxhlet com a utilização de solvente orgânico, que é evaporado ou recuperado, restando apenas o óleo a ser pesado.

O uso de éter de petróleo é aceito e utilizado na extração de óleo de café. Esse procedimento demora várias horas e alterações no mesmo ocasiona resultados diferentes, especialmente no que diz respeito ao grau de moagem do grão antes da extração. Esse tipo de extração funciona para grãos torrados, crus e borras de café proveniente da preparação da bebida ou da indústria de café solúvel(COELHO,1985).

No método normativo da CEE (Directive 91/2568/CEE), a extração é conduzida com hexano em Soxhlet por 8 horas, com refluxo de seis vezes por hora. Em seguida, o extrato é seco com sulfato de sódio anidro e colocado num frasco de 500mL. Usando um evaporador a vácuo, o solvente é evaporado e o resíduo é seco a 105^o C para obter o óleo de café. O mesmo procedimento pode ser realizado para grãos crus e torrado. (FOLSTAR, 1985).

Um método padronizado para a extração com éter de petróleo é dado pela AOAC (1965). Nele, grãos de café crus são moídos e o passante em peneiras com Mesh número 30 (Tyler) é, em seguida, seco em estufa. A extração Soxhlet é então realizada

com uma duração de 16 horas com a temperatura de ebulição de éter de petróleo entre 35 e 50°C.

Para grãos torrados, a quantidade de óleo extraída é maior, em base seca, já que o grão perde matéria (mas não lipídios) durante a torração (STREULI et al., 1966).

A figura 9 apresenta o aparelho de Extração de Soxhlet, utilizado para extração de óleo (sólido-líquido).



Figura 9– Extrator de Soxhlet.

Laboratório de Química da Etec Getúlio Vargas

A figura 10 representa um evaporador rotativo para separação do solvente e óleo.



Figura 10 – Evaporador rotativo a vácuo- separação de solvente dos extrativos.

Laboratório do Instituto Florestal

Extração por Prensagem

Como método de extração a frio do óleo de café, TURATTI (2001) utilizou prensas contínuas de fabricação nacional de 40 kg/h e 100 kg/h para grãos crus e de 100 kg/h para grãos torrados (nesse caso, os grãos foram pré-aquecidos à temperatura de 40°C) de cafés arábicos.

Segundo TURATTI, 2001 por este método percebem se, que a eficiência de extração do óleo de grãos torrados é quase três vezes superior à eficiência de extração para grãos crus dependendo da prensa utilizada. Isso provavelmente ocorre devido à perda de massa do grão durante a torração, que não altera a quantidade de óleo presente no mesmo, e à quebra da estrutura celular pelo calor da torra, que facilita a liberação do óleo durante a prensagem.

Extração Industrial

A extração do óleo vegetal em larga escala apresenta diversas etapas. A primeira consiste em preparar o grão que deve ser armazenado em ambiente seco e a baixas temperaturas. O grão é então quebrado e condicionado com vapor para facilitar a extração. Em seguida, é prensado na forma de flocos que são então alimentados em extratores por solvente ou prensagem. Enquanto a prensa permite a obtenção de óleos de várias fontes, o extrator com solvente produz uma quantidade maior de óleo. Na extração com solvente, os flocos são alimentados em conjunto com hexano, que é repetidamente evaporado e condensado. Após o término da extração, o solvente é removido da torta com o uso de vapor e o óleo é encaminhado a uma unidade de refino (ZAPPI et al., 2003).

O óleo passa por um processo de degomagem com ácido fosfórico para remover fosfolipídios, no refino, que quando não removidos precipita e forma uma mistura viscosa de difícil manipulação. As gomas são então removidas com adição de água e centrifugadas. Os ácidos graxos livres do óleo são removidos por lavagem com solução diluída de hidróxido de sódio ou potássio

e posterior centrifugação. Os ácidos graxos livres podem ser usados na fabricação de sabão ou adicionados novamente na torta. Pigmentos e traços de ácidos graxos livres, gomas e minerais são removidos durante o branqueamento com terras especiais. Essas terras adsorvem os materiais indesejados e são removidas por filtração. O último passo consiste na remoção de ceras que cristalizam com o resfriamento do óleo (ZAPPI et al., 2003).

6.3.2 – Métodos Analíticos

Densidade

A densidade para os triglicerídeos é tanto menor quanto menor for seu peso molecular e mais alto o seu grau de insaturação. As gorduras são mais densas no estado sólido do que no estado líquido. Em termos absolutos, a densidade é expressa em gramas por centímetro cúbico. A densidade relativa (specific gravity), simbolizada por d_4^{20} , é a relação entre a massa de uma substância e a massa de igual volume de água a 4°C. (MORETTO, 1998)

Procedimento – Através da leitura direta do densímetro. Os densímetros, quase sempre de forma cilíndrica, com um bulbo central terminado em haste fina e graduado, são constituídos de modo que o ponto de afloramento indique sobre a escala, a densidade do líquido no qual está imerso o aparelho. A leitura deve ser feita sempre abaixo do menisco.

Cinzas

Resíduos por incineração ou cinzas é o nome dado ao resíduo obtido por aquecimento de um produto em temperatura próxima a 550°C. Nem sempre este resíduo representa toda a substância inorgânica presente na amostra, pois alguns sais podem sofrer redução ou volatilização nesse aquecimento. (MORETTO, 1998)

Procedimento – Colocar o papel de filtro contendo os insolúveis totais no éter em uma capsula de porcelana de 50mL, previamente aquecida em mufla a 550°C por uma hora, resfriada em dessecador com chama baixa. Incinerar em

mufla a 550°C. Resfriar em dessecador até a temperatura ambiente. Pesar, repetir as operações de aquecimento e resfriamento até peso constante. O calculo será o numero de gramas de cinzas multiplicado por cem e dividido por o numero de gramas da amostra, teremos cinzas por cento p/p.

Solubilidade

Solubilidade é definida como as propriedades de dissolução de óleos e gorduras em solventes específicos. Depende da natureza e a quantidade de constituintes graxos (triglicerídeos, ácidos graxos livres e outras substancias acompanhantes), do solvente e da temperatura. (MORETTO, 1998)

Pequenas quantidades de amostras são misturadas, uma após a outra, com solventes de gordura e solventes seletivos e sucessivamente diluídos. Através de leve agitação e, se necessário, aquecimento brando, a dissolução, separação de constituintes ou emulsificação são determinados.

Material necessário será: tubos de ensaio, banho-maria, reagentes voláteis como: éter etílico, tolueno, acetona, clorofórmio, metanol, etanol, acido acético.

Procedimento – Pesar 5gramas em um tubo de ensaio à temperatura ambiente (20-25°C). Determinar a solubilidade em cada um dos solventes citado acima, respectivamente, já que a maioria das gorduras pode ser prontamente dissolvida nestes solventes em dada proporção. A solubilidade é monitorada em éter de petróleo, já que a maioria das gorduras é solúvel em éter de petróleo. Os óleos comestíveis são limitadamente solúveis em etanol absoluto á temperatura ambiente, enquanto que a temperaturas elevadas, gorduras normais são prontamente solúveis em etanol absoluto.

A presença de ácidos graxos livres, glicerídeos de ácidos graxos de baixo peso molecular, mono e diglicerídeos aumentam a solubilidade de gorduras em etanol.

A extração de óleos ou gorduras fundidas por agitação com água destilada produzirá emulsões que irão desestabilizar rapidamente, emulsões estáveis indicam a presença de sabões, mucilagens e substancias similares. O resultado é expresso como solubilidade de óleos e gorduras no solvente utilizado na escala de pouco, muito, praticamente, limitadamente, rapidamente solúvel.

Devem-se mencionar todas as observações, tais como: cor, turvação leve ou forte, formação de emulsões, precipitação, apresentando a estrutura e cor, qualquer outra característica distinta.

Índice de Acidez

Definido como o número de miligramas de hidróxido de potássio necessários para neutralizar os ácidos livres de um grama de amostra da amostra, o índice de acidez revela o estado de conservação do óleo. A decomposição dos glicerídeos é acelerada por aquecimento e pela luz, e a rancidez é quase sempre acompanhada pela formação de ácido graxo livre. Poderá ser expressa também em mL de solução normal por cento v/p ou em g de ácido oléico por cento p/p. A acidez livre de uma gordura decorre da hidrólise parcial dos glicerídeos, por isso não é uma constante ou característica, mas é uma variável intimamente relacionada com a natureza e a qualidade da matéria prima, com a qualidade e o grau de pureza da gordura, com o processamento e, principalmente, com as condições de conservação da gordura. (MORETTO, 1998)

O material necessário será frasco de Erlenmeyer de 125mL, cilindro graduado de 50 mL, bureta de 25mL. Reagentes: solução neutra de éter etílico-álcool etílico (2+1), solução de hidróxido de sódio 0,1N e indicador de fenolftaleína a 1%.

Procedimento – Colocar em Erlenmeyer de 125mL duas gramas de amostra, adicionar 25 mL da solução neutra de éter etílico –álcool etílico (2+1), agitar. Adicionar duas gotas de indicador fenolftaleína e titular com solução de hidróxido de sódio 0,1N até a coloração rósea.

Os cálculos para índice de acidez será o numero de mL de solução de hidróxido de sódio 0,1N gasto na titulação multiplicado pelo fator de correção do hidróxido de sódio 0,1N multiplicado por equivalente grama da base.

6.4 – Desenvolvimentos Experimentais

Para o desenvolvimento experimental da extração de óleo da borra de café, foi utilizado basicamente o pó de café após o processo de filtração.

O material utilizado foi: a borra de café, álcool etílico, álcool isopropílico, éter etílico, solução alcoólica de fenolftaleína, solução de hidróxido de sódio 0,9N, biftalato de potássio, papel filtro, papel universal de ph, béqueres de 250mL e 500mL, Erlenmeyer de 250mL, provetas analíticas de 10mL e 50mL, Extrator de Soxhlet 250mL, bureta volumétrica de 50mL, condensador de bolas, balão de fundo redondo de 250mL, suporte universal com garras de segurança, Chapa de aquecimento, manta de aquecimento, Estufa Analítica, agitador magnético. Os reagentes utilizados para extração, reação e análise são de grau para Análise.

6.4.1 - Obtenção do óleo da borra de café

A preparação da amostra para extração foi iniciada com o processo de filtração do pó de café com água a temperatura de 90°C, preparação tradicional do café. A borra residual retida no papel filtro, foi transferida para uma placa de petri passando por um processo de secagem, para retirada da umidade, em Estufa Analítica ventilada á 80°C por 2h, e posteriormente transferida para um dessecador até a temperatura ambiente. Foi utilizada também a borra de café retirada da máquina de café para efeito de comparação no resultado final.

Foi pesada uma massa de 100g das amostras e transferida para um béquer de 250mL com etanol numa proporção de 1:6 para incubação, em banho térmico, sob pressão atmosférica e agitação constante e lenta por 2h. A seguir a mistura foi filtrada e a parte líquida foi transferida para um funil de separação, onde serão observadas as duas fases líquidas, etanol e óleo da borra de café.

Outra amostragem de massa 100g de borra de café seca foi prensada em uma seringa de injeção, sem agulha, para formação de bastonetes, e estes foram enrolados em uma folha de papel filtro para substituir o cartucho de celulose utilizado no extrator de Soxhlet, este recurso foi necessário para evitar

perda de resíduos da borra de café; resíduos estes finos devido ao tipo de granulação do pó de café comercial. Como solvente foi utilizado o etanol P.A nas proporções de 1:6 e 1:10. O solvente foi colocado no balão e aquecido; transformado em vapor, passando pelo braço lateral do extrator e condensando no condensador de refluxo, pingando sobre a amostra sólida a ser extraída, enrolada no papel filtro e encapsulada em recipiente poroso, que realiza a filtração simultaneamente. O solvente acumula no reservatório até atingir o nível da curva do sifão, quando então é todo sifonado de volta para o balão, carregando o material extraído; este fica no balão enquanto o solvente reinicia o processo.

A figura 11A e 11B apresenta a borra de café após o processo de secagem, a amostra A borra de café preparada de forma tradicional e a B resíduo da máquina de café, ambas prensadas para preparação da extração por Soxhler.



Figura 11A – Bastonetes de borra de café, pó tradicional



Figura 11B – Bastonetes de borra de café, grãos moídos na máquina de café.

A figura 12 apresenta o processo de encubação da borra de café no etanol depois de retirada do banho Maria onde foi observada a separação de fases.



Figura 12 – Borra de café e etanol após encubação e separação de fases.

Fonte: Laboratório de Química Etec Getúlio Vargas

A Figura 13 mostra a seqüência de amostragem realizada para extração de óleo.



Figura 13 – Amostras de borra de café com pó de café tradicional e grãos de café moídos na máquina de café

A figura 14 ilustra o processo de extração do óleo da borra de café, utilizando o Extrator de Soxhler



Figura 14 – Extrator de Soxhlet (Fonte: laboratório de Química Etec Getúlio Vargas)

A figura 15 Apresenta os primeiros resultados obtida após a extração do óleo da borra de café

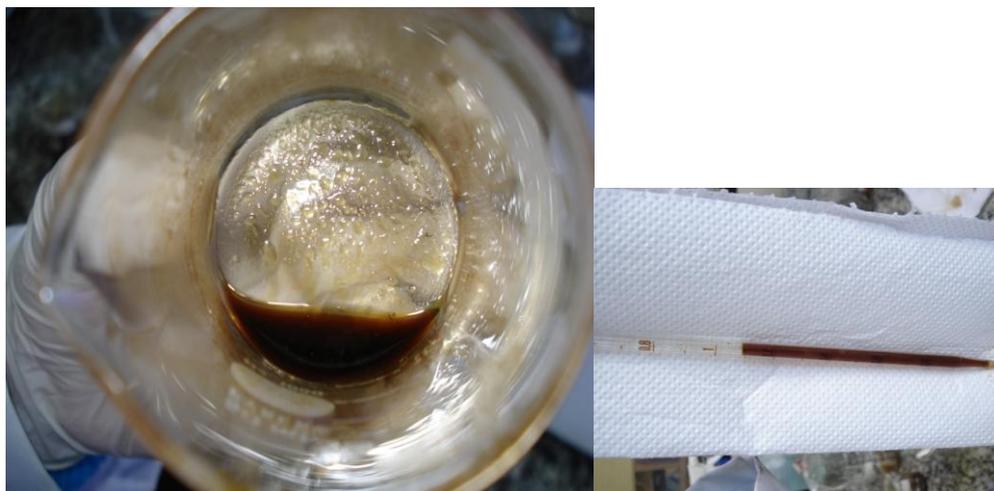


Figura 15 – Óleo da borra de café obtido pela extração de Soxhlet.

6.4.2 - Obtenção do biodiesel

A reação de transesterificação direta de triglicerídeos presentes nos óleos vegetais foi realizada com a finalidade de se produzir éster alquila dos ácidos graxos (biodiesel) de tais moléculas. A reação foi realizada em amostra de óleo de café provenientes da borra de café e com o intuito de observar a influência da temperatura, do tipo de álcool, e do tempo na conversão final da reação.

As reações de transesterificação foram realizadas em balão de vidro encamisado com três conexões e capacidade interna para 500mL .Na conexão central encaixou-se um agitador mecânico com o auxílio de uma rolha e de rolamento. Em uma das conexões laterais, um termômetro foi conectado utilizando rolha plástica perfurada. Na terceira conexão, um condensador de bolas resfriado a água foi encaixado também com o uso de rolha perfurada. O controle de temperatura foi realizado por banho térmico que recirculou água pela camisa do balão. Aproveitando as vidrarias existentes no laboratório, e que eram pouco utilizadas.

Os dois catalisadores recomendados pela literatura foram: Metóxido de sódio (MeONa) catalisador básico que apresenta os melhores resultados e por não liberar íons hidroxila durante a reação, o que poderia contribuir para a saponificação dos triglicerídeos e o ácido sulfúrico (H_2SO_4) também é relatado na literatura que o

catalisador ácido é mais eficiente (MA e HANNA, 1999). Em todas as reações, o álcool utilizado foi etanol, o qual foi pré-aquecido até a temperatura da reação antes de ser adicionada ao balão contendo o óleo também pré-aquecido.

O volume de óleo utilizado foi definido como sendo de 100mL, volume este obtido do processo de extração do óleo da borra de café e levando em consideração que tal volume, após convertido em ésteres alquila, não permitiria a determinação, segundo normas técnicas, de características pertinentes à utilização de tais ésteres como combustível. A quantidade de catalisador foi estabelecida como 1 % da massa de óleo, segundo literatura e o catalisador básico utilizado foi hidróxido de sódio (AL-WIDYAN e AL-SHYOUKH, 2002). A massa de álcool foi calculada para corresponder a um excesso de 100 % em mols (razão molar 6:1) em relação ao óleo, considerando que o óleo é composto única e exclusivamente formado por triglicerídeos. A temperatura de reação foi definida como a temperatura de ebulição da mistura catalisador/óleo/álcool. Após o fim da reação, a mistura foi transferida para um funil de separação e descansou durante 24 horas. As fases foram então separadas.

6.5 – Métodos analíticos Realizados

Levando em consideração a quantidade de óleo de café obtido e por ser uma atividade experimental em escala laboratorial, os métodos pesquisados foram adaptados.

Determinação de Acidez

A determinação de acidez dos óleos vegetais da borra de café foi efetuada para conhecer o teor de ácidos graxos livres na amostra para isso uma massa de aproximadamente 0,5 g do óleo foi pesada e transferida para frasco Erlenmeyer juntamente com 25mL de uma solução 2:1 de álcool isopropílico e éter etílico e duas gotas de solução alcoólica de fenolftaleína. A titulação foi realizada em triplicata com solução de hidróxido de sódio 0,01 N, até a coloração rósea persistir por 30 segundos. A padronização da solução de hidróxido de sódio foi realizada com a titulação de 1,25 gramas de biftalato de potássio em 250mL de água, também em triplicata. (Adaptação do Método do INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985).

Determinação da Umidade

A determinação de umidade foi efetuada com base no método de perdas por dessecação em estufa até massa constante; 0,5 gramas de cada óleo foram pesados em cadinhos de porcelana e aquecidos a 105 °C durante uma hora em Estufa Convectiva Nova Ética. Após o aquecimento, as amostras foram transferidas ao dessecador até atingirem temperatura ambiente. Foram então pesados novamente e o teor de umidade foi determinado pela diferença nas massas do conjunto cadinho/óleo (Adaptação do Método do INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985).

Determinação da Densidade

A densidade da amostra de óleo da borra de café foi determinada utilizando picnômetros. Os picnômetros foram calibrados com água e posteriormente utilizados na determinação das densidades da amostra por relação de massa e volume. As determinações de densidade foram realizadas com réplica. Foi utilizado este Método, pois a quantidade de óleo de borra de café obtida não era suficiente para utilização de um densímetro.

As figuras abaixo identificam o densímetro e o picnômetro utilizados para determinar a densidade, o primeiro por medição direta e o segundo por diferença de massa.



Figura 16– Respectivamente as figuras de um densímetro e um picnômetro.

Fonte: fotos OLX Produtos de Laboratório

6.6 – Roteiros Experimentais

Para desenvolver as partes experimentais foi escolhida uma turma de 3º módulo do Curso Técnico em Química. A turma de 36 alunos foi dividida em 4 grupos de tal forma que todos participassem de pelo menos uma etapa dos experimentos. Para cada etapa os grupos se dividiram novamente em três grupos, garantindo assim três amostragens e três resultados por etapa.

Os resultados foram analisados e discutidos em grupo.

1ª Etapa – Coleta e preparo das amostras.

2ª Etapa - Extração do óleo da borra de café

3ª Etapa - Obtenção do Biodiesel

4ª Etapa – Análise do produto obtido.

Os alunos seguiram os roteiros e metodologias já determinados e os materiais previamente separados em kits.

Foi observado o interesse e a desenvoltura dos alunos durante o experimento, se sentindo motivados a acompanhar e discutir as etapas de cada experiência. Infelizmente não foi realizado um teste final com o biodiesel obtido por não termos equipamentos disponíveis para isso.

Ao concluírem as atividades experimentais foi elaborado um relatório para cada uma das quatro etapas e todas comentadas em aula.

Vários interesses em resíduos surgiram durante os comentários e a questão ambiental também foi abordada, de forma a esclarecer a importância do reaproveitamento de resíduos.

Questões como economia energética também foi abordada, e sugestões como aproveitamento do Sol para o processo de secagem, evitando assim a utilização da estufa elétrica causando economia para a comunidade que se beneficiaria do combustível obtido.

A utilização do material disponível no momento também gerou uma observação importante, pois nem sempre temos com facilidade o material descrito nos Métodos Analíticos e muitas vezes somos obrigadas a fazer diversas adaptações para garantir a análise. Importante realçar a utilização de materiais em bom estado de conservação e a utilização dos equipamentos de proteção individuais.

Em cada etapa do experimento varias fases de aprendizagem foram analisadas: na primeira etapa de coleta e preparo de amostra, observamos a técnica de utilização da balança analítica, secagem da amostra e sua importância para a análise química, a utilização da vidraria adequada para cada técnica. As duas etapas seguintes de extração do óleo e processo de obtenção do biodiesel propiciaram as técnicas de montagem de equipamentos para laboratório, o reconhecimento de condensadores, a utilização e a diferenciação de balões de fundo chato ou redondo, ate a própria montagem de um extrator; conceitos simples mais muito importante para conhecimento em futuras experiências até profissionais para os futuros técnicos. E finalmente as Metodologias Químicas para comparação dos resultados finais, técnicas como pipetagem e titulações foram observadas e analisadas.

6.7. Resultados e Discussão

Extração do óleo de café

A quantidade de óleo obtida foi de 10,6g em média para 100g de borra de café seca. O tempo de permanência da borra de café no Extrator Soxhlet foi inferior a 16 horas devido a problemas na vedação do equipamento que provocaram vazamento, período de duração das aulas práticas, e por motivos de segurança o equipamento foi desligado ao término das aulas. A quantidade de óleo extraída para cada amostragem pode ser observada na Tabela 4.

Tabela 4 – Teor de óleo de borra de café para cada amostra utilizada

Amostra	Massa (1)	Massa (2)	Teor
1	100	8,9	8,9
2	100	11,6	11,6
3	100	10	10

Legenda: Massa (1) = massa da borra de café (g)

Massa (2) = massa do óleo (g)

Teor = teor de óleo (%)

A comparação entre as quantidades extraídas de cada amostra é possível dizer que, a extração ocorreu com eficiência próxima a 95 %, já que o teor de óleo para grãos arábica, em base seca, na literatura é de aproximadamente 12 % (MAZZAFERA et al., 1998). Observando ainda que foi utilizada a borra de café e não os grãos de café, e com o processo de torrefação do grão e posteriormente o preparo do café, para obter o resíduo poderão ocorrer alguma perda. Vale ressaltar que a amostra 1 foi da borra de café de marcas de pó de café diversas misturadas entre si; e a amostra 2 e 3 foi da máquina de café, onde os grãos torrados são moídos na própria máquina. As diferenças obtidas entre as amostras 2 e 3 deve-se a perdas durante o experimento.

Determinação da Acidez

A acidez em ácidos graxos livres dos óleos da borra de café foi de $3,1 \pm 0,3$ (%p/p). Parte dessa acidez é relativa à presença de ácidos graxos livres, que se saponificados durante a reação de transesterificação dificultam a separação dos produtos, como observamos na obtenção do biodiesel. As análises foram realizadas em duplicata.

Determinação de Umidade

O resultado da determinação do teor de umidade da amostra do óleo da borra de café foi de 0,26%, o teor de umidade para óleos caracterizados está abaixo do limite de 1%, de acordo com dados da literatura, em que as reações paralelas de saponificação não afetam de forma significativa as reações de transesterificação.

Determinação da densidade

A densidade encontrada na amostra de óleo da borra de café foi de 0,89g/mL, Valor um pouco a baixo da literatura, considerando possíveis perdas de massa no momento da análise e falta de precisão da balança analítica.

A tabela 5 mostra uma comparação dos resultados obtidos.

	Óleo da borra de café	Óleo do grão de café torrado
Acidez (%p/p)	$3,1 \pm 0,3$	$2,62 \pm 0,29$
Umidade	0,26	0,28
Densidade (g/mL)	0,89	1,2

Tabela 5 – Comparação dos resultados finais entre os óleos da borra de café e o grão de café

Obtenção do Biodiesel

Após observarmos os resultados obtidos e levando em consideração às condições utilizadas em laboratório, concluimos que o experimento para obtenção de Energia, é viável dentro do contexto Químico em seis aulas de 50 minutos, com alunos de conhecimentos prévios de normas e praticas de laboratório para montagem de materiais e manuseio de equipamentos.

Os resultados foram satisfatórios e muito semelhantes aos dados da literatura. Este experimento foi realizado parcialmente com alunos de um curso técnico em Química, em escala laboratorial; mais também seria viável em escala piloto. Possibilitando a uma pequena comunidade, com orientações previas de conceitos Químicos, produzir seu próprio biodiesel para utilização em maquinas e equipamentos na lavoura; reduzindo despesas em combustível e ainda levando em conta que a matéria prima principal é descartada diariamente.

Com base nos resultados obtidos podemos afirmar a viabilidade da obtenção de Biodiesel a partir do óleo da borra de café. Aparentemente não existe empecilho na utilização de etanol na reação de transesterificação, mais se recomenda uma análise precisa do teor de ácidos graxos livres. A reação de transesterificação apresenta um bom rendimento mesmo em temperatura ambiente, o que é extremamente vantajoso economicamente.

Após a extração do óleo da borra de café ainda restará um novo resíduo que pode ser utilizado como briquetes misturados a cascas, folhas e galhos resultantes do cafezal e comercializados ou utilizados na própria fomalha da fazenda gerando lucro para a comunidade.

Sugestões para Trabalhos Futuros

Diante dos resultados aqui obtidos, propõe-se, para futuros estudos, visando à Produção de biodiesel do óleo da borra de café.

- avaliação do uso de outros catalisadores alcalinos (KOH), como redução de custo.
- avaliação do procedimento em maior escala para possibilitar um teste do combustível obtido e observar o seu rendimento.
- avaliação do procedimento para armazenamento e secagem da borra de café para futura extração do óleo, em escala piloto, utilizando recursos naturais para secagem da borra de café.
- avaliação do uso do combustível em pequenas comunidades, para equipamentos agrícolas.

7. Referencias Bibliográficas

ABIC (Associação Brasileira da Indústria de café). **Estatísticas do consumo interno**. Disponível em: < <http://www.abic.com.br> >. Janeiro 2009. Acesso em 25 de Maio de 2009.

ABIC (Associação Brasileira da Indústria de café). **Estatísticas do produtores e consumidores de café**. Disponível em: < <http://www.abic.com.br> >. Janeiro 2009. Acesso em 15 de Março de 2010.

ACH Food Companies, Inc. **Trans-Fatty Acid Brochure**. Disponível em: < <http://www.humko.com> >. Maio de 2009. Acesso em 25 de Maio de 2009.

AL-WIDYAN, M. I.; AL-SHYOUKH, A. O.; **Experimental Evolution of the Transesterification of Waste Palm Oil into Biodiesel**. Bioresource Technology, Vol. 85, p. 253-256, 2002

ANTOLIN, G.; TINAUT, F. V.; BRICENO, Y.; CASTANO, V.; PEREZ, C.; RAMIREZ, A. I. **Optimization of Biodiesel Production by Sunflower Oil Transesterification**. Bioresource Technology. Vol. 83. p. 111-114. 2002.

AOAC Method 14.029, in *Official Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemists*. 10th ed. Washington, DC, 1965.

BARROS JÚNIOR, M. C. **Avaliação de Alternativas de Utilização de Grãos Defeituosos de Café na Indústria Alimentícia**. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Farmácia. 2004.

CARDONE, M.; MAZZONCINI, M.; MENINI, S.; ROCCO, V.; SENATORE, A.; SEGGIANI, M.; VITOLO, S. **Brassica Carinata as an Alternative Oil Crop for the Production of Biodiesel in Italy**: Agronomic Evaluation, Fuel Production by Transesterification and Characterization. *Biomass and Energy*, 25, p 623 – 636, 2003.

CLARKE, R. J. **Water and Mineral Contents**. In: CLARKE, R.J.; MACRAE, R. (Ed.) *Coffee: Chemistry*. London: Elsevier Applied Science, 1985. p. 83-152.

COELHO, K.F. **Avaliação química e sensorial da qualidade do café de bebida estritamente mole após a inclusão de grãos defeituosos**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2000. 96 p. (Dissertação, Mestrado em Ciência dos Alimentos).

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento) **Avaliação da Safra Agrícola Cafeeira 2007/2008**.

DPASCHOAL, L.N – **Aroma de Café** – DPASCHOAL

ENCINAR, J. M.; GONZALEZ, J. F.; SABIO, E.; RAMIRO, M. J. **Preparation and Properties of Biodiesel from Cynara cardunculus L. Oil**. *Ind. Eng. Chem. Res.* Vol. 38, p. 2927-2931. 1999.

FONSECA, MARTHA REIS MARQUES DA. **Completamente Química : Química Orgânica** – São Paulo – FTD , 2001.

FUKUDA, H.; KONDO A.; NODA H. Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oils. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, vol 92, No. 5, p. 405-416, 2001.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. São Paulo: O Instituto, 1985.

KNOTHE, G. **Dependence of Biodiesel Fuel Properties on the Structure of Fatty Acid Alkyl Esters**. *Fuel Processing Technology*, Vol. 86, p. 1059-1070, 2005.

MA, F.; HANNA M. **Biodiesel Production: A Review.** *Bioresource Technology*, vol. 70 p.1-15, 1999.

MAZZAFERA, P.; SOAVE, D.; ZULLO, M.A.T.; GUERREIRO, O.F. **Oil content of green beans from some coffee species.** *Bragantia*, v. 57, 1998.

MAZZAFERA, P. **Chemical composition of defective coffee beans.** *Food Chem.*, v. 64, p. 547-554, 1999.

MME (Ministério das Minas e Energia). **Governo Federal Autoriza Uso Comercial do Biodiesel.** Disponível em: < <http://www.abic.com.br> r>. Dezembro de 2004. Acesso em 17 de Abril de 2005.

MORETTO, E.; FETT, E. **Tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos.** São Paulo: Varela, 1998. 150p.

NEVES, C.A. - **Estória do Café.** Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro do Café, 1974. 52p.

OLIVEIRA, L. S.; FRANÇA, A. S.; CAMARGOS, R. R. S.; BARROS JÚNIOR, M. C. **Avaliação Preliminar da Viabilidade de Produção de Biodiesel a Partir de Grãos Defeituosos de Café.** *Revista Brasileira de Armazenamento*. N. 7, p. 74-77, 2003.

SBI CAFÉ (Sistema Brasileiro de Informação do Café). **Biblioteca do Café. A história do café.** Disponível em < <http://www.sbicafe.ufv.br>> março 2009. Acesso 30 de março de 2009.

STREULI, H. SCHWAB-VON BÜREN, H. and HESS, P., **Mitt Geb. Lebensm. Unters. Hyg.**, 1966, 57, 142-6.

TURATTI, J.M. **Extração e caracterização de óleo de café.** In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2, 2001, Vitória, Simpósio... p.. 1533-1539.

ZAPPI, M.; HERNANDEZ, R.; SPARKS, D.; HORNE, J.; BROUGH, M.; ARORA, S. M.; MOTSENBOCKER, W. D. **A Review of the Engineering Aspects of the Biodiesel Industry.** MSU E-TECH Laboratory Report ET-03-003. 2003.

ZUBRICK, JAMES W. **Manual de Sobrevivência no Laboratório de Química Orgânica** – Rio de Janeiro – LTC, 2005.