

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA

ERIKA DE SOUZA E SILVA

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE
UMA USINA DE BIODIESEL DE PEQUENA ESCALA A PARTIR DE OGR NO
MUNICÍPIO DE ITAJUBÁ- MG**

Itajubá/MG

2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA

ERIKA DE SOUZA E SILVA

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE
UMA USINA DE BIODIESEL DE PEQUENA ESCALA A PARTIR DE OGR NO
MUNICÍPIO DE ITAJUBÁ- MG**

Dissertação submetida ao Programa de PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências em ENGENHARIA DE ENERGIA.

Área de Concentração: ESMA

Orientador: Prof. Dr. Francisco Antônio Dupas

Itajubá/MG

2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

ERIKA DE SOUZA E SILVA

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE
UMA USINA DE BIODIESEL DE PEQUENA ESCALA A PARTIR DE OGR NO
MUNICÍPIO DE ITAJUBÁ- MG**

Dissertação aprovada por banca examinadora em 25 de novembro de 2013, conferido ao autor o título de *Mestre em Ciências em Engenharia de Energia*.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Francisco Antônio Dupas(Orientador)

Prof. Dr. Flávio Neves Teixeira

Prof. Dr. Rubenildo Vieira Andrade

Itajubá/MG

2013

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu companheiro Carlos Daniel que admiro muito. Sem sua ajuda e paciência não seria possível concretizar este sonho. Obrigada por fazer parte de minha vida!

AGRADECIMENTOS

Os meus agradecimentos são a minha dupla evolutiva o Carlos Daniel, aos meus queridos pais José Hamilton e Aparecida, meus especiais sogros Lúdia e Carlos, minha irmã Eloiza e meu orientador Dupas que sempre me apoiam nos bons e nos maus momentos. É muito bom saber que tenho em quem confiar, em ter pessoas do meu lado que querem meu bem e ficam felizes com minhas vitórias.

Sou muito grata por estar perto de pessoas tão boas, de corações abertos e firmes. Saiba que eu quero também fazer o que for possível por vocês. Disponham do meu carinho sincero e podem contar comigo sempre que precisarem.

Sou eternamente grata a vocês!

RESUMO

Neste trabalho é realizada uma análise de viabilidade técnico-econômica da implantação de uma miniusina de produção de biodiesel a partir de óleos e gorduras residuais (OGR) na cidade de Itajubá, sul de Minas Gerais. Para isso foram feitas prospecções sobre a cadeia produtiva deste biocombustível e analisados diversos trabalhos científicos abordando os processos de pré-tratamento e transesterificação com suas possíveis variações: catálise alcalina, ácida, enzimática e também técnicas de conversão não-catalíticas, elencando as principais vantagens e desvantagens de cada rota analisada. Sob o ponto de vista mercadológico, foi possível concluir que existe uma disponibilidade máxima de 343 toneladas por ano de OGR na área de atuação e uma demanda de biodiesel em torno de 193 toneladas por ano. Por fim, a implantação de uma miniusina de produção de biodiesel a partir de OGR em Itajubá/MG é viável economicamente a partir de um volume mínimo de 8.500 litros por mês. Além disso, para uma faixa de captação considerada realista que vai de 8.500 a 14.300 litros por mês é possível obter uma TIR de 19%, VPL de R\$7.495,49 e payback de 3 anos e meio para um investimento total de R\$298.546,00.

Palavra Chave: Viabilidade técnico-econômica, miniusina, biodiesel, OGR.

ABSTRACT

In this paper made an analysis of the technical and economic feasibility of implementation of a small-scale plant for the production of biodiesel from waste oils and fats (OGR) made in the city of Itajubá, south of Minas Gerais. For this were made prospections about the biodiesel production chain and analyzed many scientific papers addressing the processes of pretreatment and transesterification with its possible variations: alkaline, acid and enzymatic catalysis as well as non-catalytic techniques, listing the main advantages and disadvantages of each route analyzed. From the marketing point of view, it was concluded that there is a maximum availability of 343 tons per year of OGR on the operation area and demand for biodiesel around 193 tonnes per year. Finally, the implementation of a small-scale plant for the biodiesel producing from OGR in Itajubá/MG is economically feasible from a minimum volume of 8,500 liters per month. In addition to a pick up range considered realistic that will 8500-14300 liters per month is possible to obtain an IRR of 19%, NPV of R\$ 7,495.49 and payback of 3,5 years for a total investment of R\$ 298,546.00.

Keyword: Economic feasibility, small-scale plant, biodiesel, UCO.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVO	15
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1	PANORAMA GERAL DA CADEIA DO BIODIESEL.....	16
3.2	BIODIESEL NO BRASIL	18
3.3	OGR: CUSTOS E DISPONIBILIDADE.....	20
3.4	PRÉ-TRATAMENTO DE OGR.....	22
3.5	MÉTODOS DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DE OGR.....	23
3.5.1	Catálise alcalina	23
3.5.2	Catálise ácida	25
3.5.3	Catálise enzimática	28
3.5.4	Técnicas de conversão não-catalítica para transesterificação	30
3.6	TÉCNICAS PARA ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE PROJETOS.....	32
3.6.1	Valor presente líquido - VPL	33
3.6.2	Taxa interna de retorno - TIR	34
3.6.3	Payback	35
4	MATERIAIS E MÉTODOS	36
4.1	DESCRIÇÃO DA ÁREA GEOGRÁFICA DE ATUAÇÃO.....	38
4.2	ESTUDO DE MERCADO.....	38
4.2.1	Fornecedores: Potencial de geração de OGR	39
4.2.2	Clientes	40
4.2.3	Concorrentes	41
4.3	ELABORAÇÃO DE CENÁRIOS.....	41
4.3.1	Premissas	42
4.4	ANÁLISE DE INVESTIMENTO.....	45
4.5	ANÁLISE DOS RESULTADOS ECONÔMICOS.....	46
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
5.1	ESTUDO DE MERCADO	47
5.1.1	Fornecedores: Potencial de geração de OGR	47
5.1.2	Clientes	49
5.1.3	Concorrentes	50
5.2	ELABORAÇÃO DE CENÁRIOS	52
5.2.1	Cenário pessimista	53
5.2.2	Cenário realista	54
5.2.3	Cenário otimista	56
5.3	ANÁLISE DE INVESTIMENTO.....	57
5.3.1	Planta industrial	58
<i>5.3.1.1</i>	<i>Fornecedor A</i>	59
<i>5.3.1.2</i>	<i>Fornecedor B</i>	60
<i>5.3.1.3</i>	<i>Fornecedor C</i>	61
<i>5.3.1.4</i>	<i>Análise dos fornecedores e itens adicionais à planta industrial</i>	62
5.3.2	Capital de giro	62
5.3.3	Licenças	63
5.3.4	Veículos	63
5.4	ANÁLISE DOS RESULTADOS ECONÔMICOS	63

5.4.1	Cenário pessimista.....	63
5.4.1.1	<i>Valor presente líquido – VPL</i>	64
5.4.1.2	<i>Taxa interna de retorno – TIR</i>	65
5.4.1.3	<i>Payback</i>	65
5.4.2	Cenário realista.....	66
5.4.2.1	<i>Valor presente líquido – VPL.....</i>	67
5.4.2.2	<i>Taxa interna de retorno – TIR</i>	67
5.4.2.3	<i>Payback</i>	68
5.4.3	Cenário otimista	68
5.4.3.1	<i>Valor presente líquido – VPL</i>	69
5.4.3.2	<i>Taxa interna de retorno – TIR</i>	69
5.4.3.3	<i>Payback</i>	70
6	CONCLUSÃO.....	71
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	72
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Efeito do biodiesel sobre as emissões associadas ao diesel.....	18
Figura 2 – Evolução anual da capacidade nominal autorizada pela ANP, produção de biodiesel e demanda compulsória no Brasil	20
Figura 3 – Matérias-primas utilizadas para produção de biodiesel	20
Figura 4 – Catálise alcalina	25
Figura 5 – Catálise ácida	27
Figura 6 – Catálise enzimática.....	29
Figura 7 – Conversão não - catalítica.....	31
Figura 8 – Modelo de fluxo de caixa	34
Figura 9 – Estrutura conceitual proposta para a pesquisa	38
Figura 10 – Mapa de Itajubá e região	39
Figura 11 – Comportamento dos preços médios de óleo diesel S50 - (R\$/litro), em cada etapa da cadeia.....	44
Figura 12 – Quantidade de insumos e rendimentos da reação.....	45
Figura 13 – Mapa de área de captação de matéria prima.....	48
Figura 14 – Mini-usina do fornecedor B.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Propriedades físicas e químicas do óleo de cozinha usado.....	21
Tabela 2	–	Quantidade de OGR gerada em vários países ao redor do mundo.....	21
Tabela 3	–	Preço médio dos óleos utilizados na produção de biodiesel	22
Tabela 4	–	Gastos com mão de obra	44
Tabela 5	–	Despesas em geral.....	46
Tabela 6	–	Dados demográficos.....	49
Tabela 7	–	Consumo de diesel nas prefeituras das área de atuação.....	50
Tabela 8	–	Plantas de biodiesel autorizadas para operação e comercialização	52
Tabela 9	–	Resumo das Plantas de biodiesel autorizadas para operação e comercialização	53
Tabela 10	–	Cenário pessimista: Custos e despesas.....	54
Tabela 11	–	Cenário pessimista: Demonstrativo de resultados	55
Tabela 12	–	Cenário realista: Custos e despesas.....	56
Tabela 13	–	Cenário realista: Demonstrativo de resultados	56
Tabela 14	–	Cenário otimista: Custos e despesas	57
Tabela 15	–	Cenário otimista: Demosntrativo de resultados.....	58
Tabela 16	–	Investimento totais da miniusina e depreciação	59
Tabela 17	–	Cenário pessimista: Fluxo de caixa	65
Tabela 18	–	Cenário pessimista: Pay Back	67
Tabela 19	–	Cenário realista: Fluxo de caixa	67
Tabela 20	–	Cenário realista: Pay back	69
Tabela 21	–	Cenário otimista: Fluxo de caixa	69
Tabela 22	–	Cenário otimista: Pay back.....	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

OGR – Óleos e gorduras residuais;

PAYBACK – Tempo de recuperação do capital investido;

TIR – Taxa interna de retorno;

VPL – Valor presente líquido;

TMA – Taxa mínima de atratividade;

DRE – Demonstrativo de resultado.

1. Introdução

A escassez provável de combustíveis fósseis em um futuro próximo, combinada com as preocupações sobre as conseqüências da dependência deste tipo de fonte de energia, em termos de mudanças do clima na Terra, forçou o mundo a buscar alternativas menos nocivas ao meio ambiente. Dentro desse contexto, as fontes renováveis de energia, especialmente os biocombustíveis, surgiram como uma opção importante, pois são derivados da biomassa e podem substituir, parcial ou totalmente, os combustíveis derivados de petróleo e gás natural em motores à combustão ou em outras formas de geração de energia (SANTANA, 2010).

Os biocombustíveis são menos poluentes, pois emitem menos compostos químicos nocivos do que os combustíveis fósseis nos processos de combustão e também porque seu processo de produção tende a ser mais limpo. A adoção do etanol é considerada um dos principais mecanismos de combate ao aquecimento global, pois reduz as emissões de gás carbônico (CO₂). Parte do CO₂ emitido pelos veículos movidos a etanol é reabsorvido pelas plantações de cana-de-açúcar através da fotossíntese. Isso faz com que as emissões do CO₂ sejam parcialmente compensadas. Na comparação com o diesel de petróleo, o biodiesel também tem significativas vantagens ambientais. Estudos do National Biodiesel Board (associação que representa a indústria de biodiesel nos Estados Unidos) demonstraram que a queima de biodiesel pode emitir em média 48% menos monóxido de carbono, 47% menos material particulado (que penetra nos pulmões), 6 % menos hidrocarbonetos (ANP, 2012), além de ser isento de enxofre.

Entretanto, o grande desafio econômico para a viabilização do biodiesel é o alto custo dos óleos vegetais puros, que constitui entre 70% e 85% do custo global de produção deste insumo energético (HAAS e FOGLIA, 2005). Dentre os óleos fontes de matéria prima para a produção de biodiesel estão o óleo de canola, palma, girassol, soja entre outros, no entanto, estes óleos são limitados na sua capacidade de produção podendo causar competição com o mercado de óleo comestível, aumentando seu custo (KANSEDO et al, 2009).

Portanto, fica evidente a necessidade de buscar novas fontes de matéria-prima, mais viáveis e de menor impacto ao meio ambiente, para a produção do biodiesel. Dentro dessa categoria podem ser citados os óleos e gorduras residuais (OGRs). Esse resíduo é gerado em um grande número de estabelecimentos, principalmente quando se trata de áreas urbanas que apresentam um elevado consumo de óleos vegetais comestíveis. São basicamente dois os possíveis destinos para o óleo residual de fritura: esgoto sanitário, causando a poluição da

água e onerando seu tratamento, e processadores que transformam o resíduo em um novo produto (GUABIROBA e D'AGOSTO, 2008). Entretanto, quantidades consideráveis desse resíduo ainda são descartadas incorretamente na maioria dos locais, visto que os centros de “fast foods” e restaurantes tem aumentado com o crescimento da população brasileira (ENWEREMADU e MBARAWA, 2009). Logo, o uso desse resíduo para a produção de biodiesel é uma alternativa promissora na medida em que alia o aspecto econômico devido ao baixo custo de aquisição do óleo com o aspecto ambiental, evitando a contaminação dos corpos hídricos ao mesmo tempo em que é produzido um combustível menos poluente.

Para comprovar a viabilidade econômica desta alternativa, foi avaliada a hipótese da implantação de uma usina de produção de biodiesel de pequeno porte na cidade de Itajubá – MG, com o objetivo de aproveitar a disponibilidade de matéria-prima da região. Delimitada a área de atuação, foi elaborada uma estimativa do potencial de matéria-prima disponível na região a partir de dados estatísticos, considerando fatores e parâmetros envolvidos na concepção do processo produtivo e orçamentos obtidos junto aos fabricantes de equipamentos existentes no mercado. Também foram utilizados dados reais sobre os custos de coleta e purificação do óleo de cozinha usado fornecidos por empresas do segmento visando a elaboração de cenários econômicos que foram avaliados através de indicadores financeiros como TIR, VPL e “Payback”.

É importante ressaltar que muitos trabalhos tem sido realizados com o objetivo de avaliar a viabilidade econômica de plantas de larga escala, no entanto, existem poucos estudos voltados as pequenas usinas e seu potencial local. Assim, o presente trabalho pode revelar-se muito útil na determinação das características técnicas e financeiras para a implantação de plantas de produção de biodiesel de pequeno porte.

Com relação à estrutura do trabalho, no capítulo 2 foram definidos os objetivos gerais e específicos do estudo, no capítulo 3 foi realizada uma revisão bibliográfica abordando o panorama geral da cadeia do biodiesel, métodos de produção e técnicas para análise de viabilidade econômica de projetos. No capítulo 4 foram definidos os materiais e métodos utilizados para o estudo de viabilidade econômica da miniusina de produção de biodiesel a partir de OGR, com os resultados e discussões sendo apresentados no capítulo 5. Por fim no capítulo 6 foram apresentadas as conclusões obtidas através do estudo em questão e no capítulo 7 são feitas algumas sugestões de temas complementares para trabalhos futuros.

2. Objetivo

O objetivo deste trabalho consiste em elaborar um estudo de viabilidade técnico-econômica para a implantação de uma usina de produção de biodiesel de pequeno porte a partir de óleos e gorduras residuais (OGR) na cidade de Itajubá – MG.

2.1. Objetivos específicos

- Avaliar o estado da arte das tecnologias de produção de biodiesel a partir de OGR;
- Definir a melhor rota tecnológica para a operação em pequena escala;
- Projetar cenários para implantação de uma usina de biodiesel em Itajubá;
- Analisar a viabilidade econômica do empreendimento através dos indicadores financeiros TIR, Payback, TMA e VPL;

3. Revisão bibliográfica

3.1. Panorama geral da cadeia do biodiesel

O biodiesel foi definido pela American Society for Testing and Materials (ASTM) como um monoalquil éster de ácidos graxos ou éster (m)etílico de ácidos graxos derivados de matérias-primas renováveis, tais como os óleos vegetais. Trata-se de um líquido de cor amarelo-escuro, com ponto de ebulição superior a 200 °C, ponto de inflamação entre 145-175 °C, intervalo de destilação de 195-325 °C e uma pressão de vapor inferior a 5(mm Hg a 22 °C). Também é biodegradável e tem reatividade estável (DEMIRBAS, 2009). O termo “bio” indica a fonte biológica do biodiesel, em relação ao diesel convencional (VAN KASTEREN e NISWORO, 2007). Micro-emulsificação, pirólise e transesterificação são processos utilizados na produção de biodiesel a partir de óleo vegetal (YUSUF et al, 2011). O processo mais comum é a transesterificação que envolve álcool e óleo vegetal na presença de um catalisador para originar biodiesel e glicerol (LAM et al, 2011).

O nome Biodiesel foi introduzido nos Estados Unidos em 1992 pelo National Soy Diesel Development Board (atualmente National Biodiesel Board), pioneiro na comercialização de biodiesel nos Estados Unidos. Ele pode ser usado em qualquer mistura com diesel de petróleo uma vez que tem muitas características semelhantes, mas com menores emissões de gases poluentes, sendo renovável, biodegradável e essencialmente livre de enxofre (MARTINI e SHELL, 1998). Quimicamente, o biodiesel consiste em ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos que podem ser produzidos a partir de fontes de lípidos diferentes, por transesterificação, reação com o álcool na presença de uma base, ácido, enzima ou catalisador sólido (KNOTHE, 2005). Qualquer tipo de matéria-prima que contém ácidos graxos livres e/ou triglicerídios, tais como óleos vegetais e gorduras animais podem ser convertidos em biodiesel. No entanto, os produtos finais devem satisfazer rigorosos requisitos de qualidade antes de serem aceitos como biodiesel, como a norma EN14214 para a Europa e ASTM D6751 para os EUA (ALI e HANNA, 1994; MITTELBAACH, 1996; ALTIN et al, 2001; CANAKCI e SANLI , 2008; HOSSAIN e DAVIES, 2010). As matérias-primas mais exploradas comercialmente são os óleos comestíveis derivados de soja, canola, palma, girassol, coco, algodão, etc (KEORBITZ, 1999).

As principais vantagens da utilização do biodiesel são a sua capacidade de renovação, a melhoria da qualidade das emissões de gases de escape e a biodegradabilidade. Ainda existem limites técnicos com relação aos motores para o uso de misturas acima de 20% de biodiesel no diesel (B20), mas este biocombustível promove a redução das principais emissões associadas ao diesel derivado de petróleo, com a exceção dos óxidos de nitrogênio (NOx). O incremento observado nas emissões deste poluente, como indicado na Figura 1, não é elevado, de 2% a 4% para B20, mas deve ser considerado porque é um dos principais precursores do ozônio troposférico, um dos graves problemas de qualidade do ar na maioria das cidades (EPA, 2002).

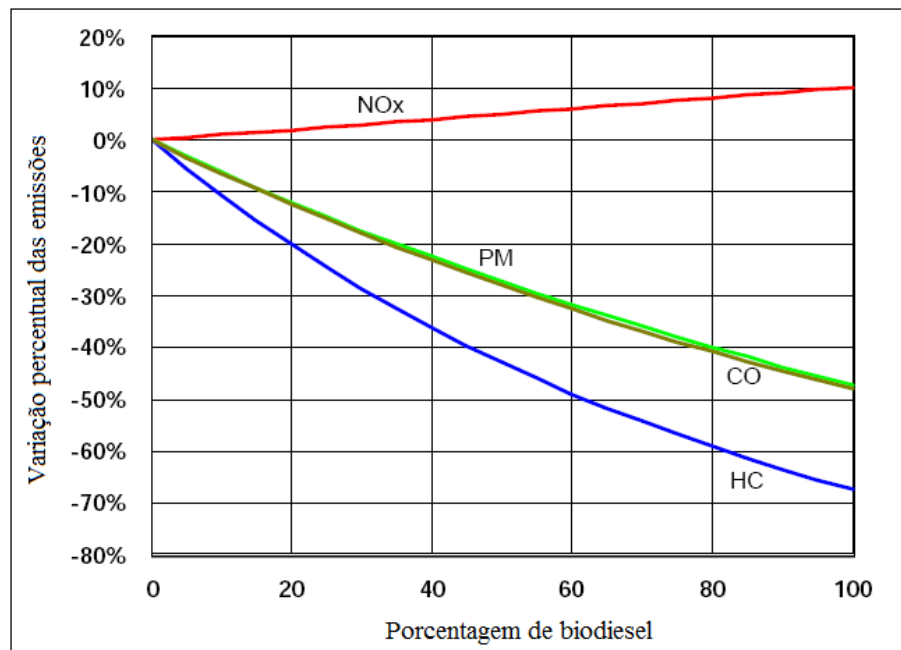


Figura 1 - Efeito do Biodiesel sobre as emissões associadas ao diesel (EPA, 2002).

Não consta desta figura o efeito dos óxidos de enxofre (SOx). Como o biodiesel não contém enxofre, as emissões destes óxidos são reduzidas com o uso do biodiesel. As emissões de gases de efeito estufa associadas ao biodiesel têm sido avaliadas na última década, nas condições europeias, considerando o uso de colza e soja como matérias-primas e ésteres metílicos como B10 e B20 (NAE, 2005). Os resultados, expressos em biodiesel puro (B100), indicam reduções de 40% a 70% das emissões de monóxido de carbono, hidrocarbonetos e material particulado em relação ao diesel puro (IEA, 2004).

Entretanto, o biodiesel é atualmente mais caro que o diesel, principal fator que vem impedindo a sua utilização mais generalizada. A produção mundial atual de óleo vegetal e

gordura animal, não é suficiente para substituir o uso de combustíveis fósseis líquidos (DIZGE et al, 2009). A utilização de algas produzidas naturalmente e algumas espécies de plantas que geram óleos não comestíveis, como pinhão manso, mamona e palma, podem desempenhar um papel significativo no fornecimento de matérias-primas alternativas, mas em contrapartida exigem a disponibilidade de grandes áreas de plantio (DORADO, 2008).

O biodiesel é uma alternativa tecnologicamente viável ao diesel fóssil, mas custa de 1,5-3 vezes mais. Uma forma de minimizar este problema é o uso de resíduos como fonte de matéria-prima para a produção de biodiesel, pois estes possuem menor custo de aquisição podendo ser obtidos a um baixo custo, além de não exigir áreas de cultivo como as oleaginosas, necessitando apenas de uma logística eficiente de coleta.

3.2. Biodiesel no Brasil

Em janeiro de 2008, o Programa Nacional de Uso e Produção de Biodiesel (PNPB) assegurou a adoção de 2% de biodiesel no diesel (B2) no Brasil. Motivados pela possibilidade de oportunidades futuras, a expansão do setor de produção de biodiesel foi muito otimista, causando ociosidade na maioria das indústrias. Como consequência, a capacidade instalada para produção de biodiesel foi suficiente para atender a uma demanda equivalente ao B7 (mistura de 7% de biodiesel no diesel). O excesso de capacidade levou a níveis elevados de concorrência predatória e ao uso de leilões de biodiesel, causando a queda dos preços a níveis economicamente prejudiciais para a cadeia. Neste mesmo período, o preço da soja atingiu um nível muito elevado, devido a sua utilização não só como matéria-prima para os combustíveis, mas também como alimento. O conjunto desses fatores causaram efeitos negativos, tais como a falta de entrega do volume vendido em leilões por algumas produtoras de biodiesel. Em meio a este cenário, o governo decidiu antecipar para julho de 2008, o aumento do percentual de mistura para 3% (B3), um adiantamento de quase um ano, a fim do melhor equilíbrio entre a oferta e demanda no mercado de biodiesel (VACCARO, 2010). Atualmente, o percentual de mistura de biodiesel no diesel é de 5% (B5). Na Figura 2 segue a apresentação da demanda de biodiesel no Brasil nos anos de 2005 a 2012.

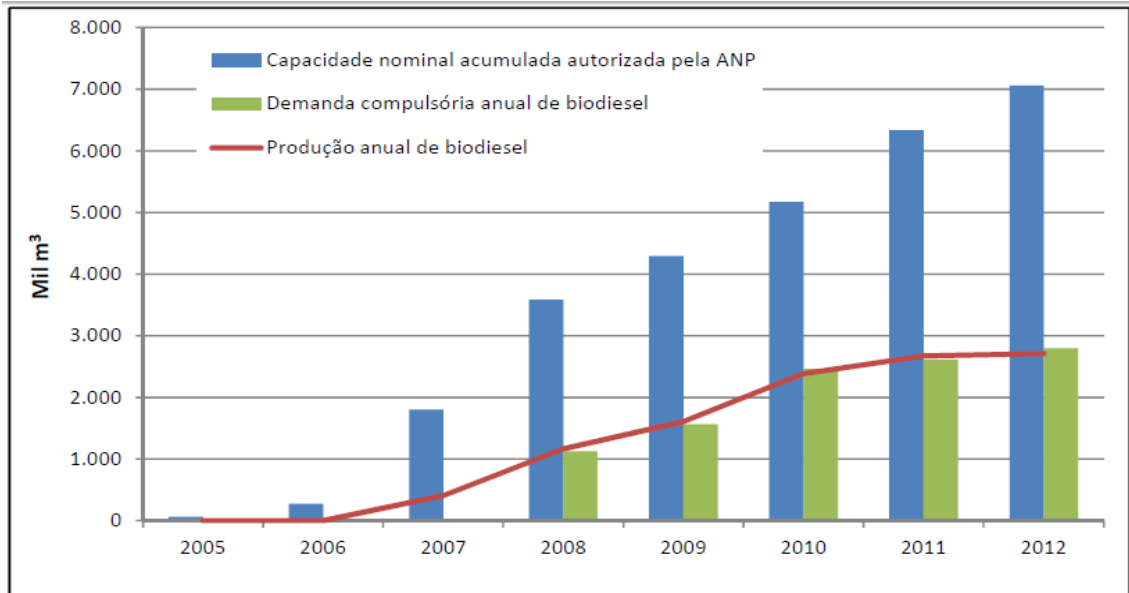


Figura 2 – Evolução anual da capacidade nominal autorizada pela ANP, produção de biodiesel e demanda compulsória no Brasil (ANP, 2013).

É neste panorama de sustentabilidade energética que o país vem buscando novas alternativas entre as fontes de matéria-prima para a produção de biodiesel, visando a redução de custos do produto final que atualmente possui grande dependência do óleo de soja conforme demonstra a Figura 3:

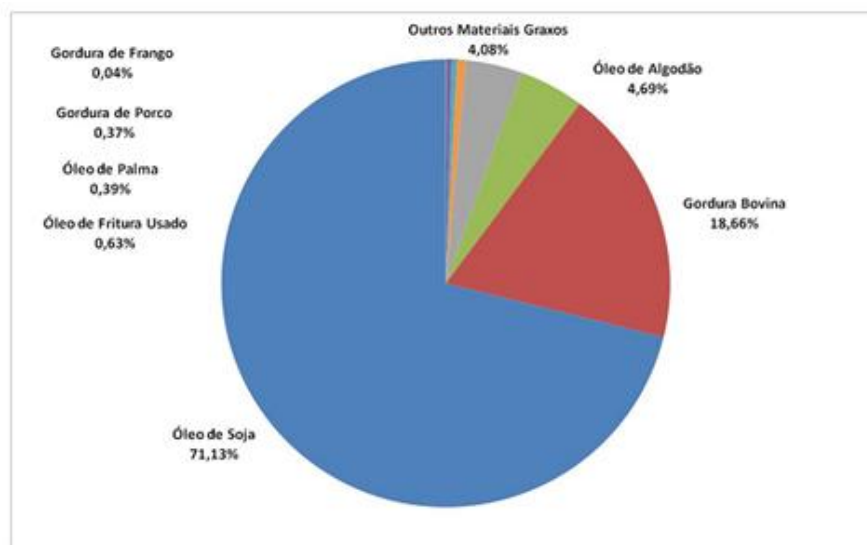


Figura 3: Matérias-primas utilizadas para produção de biodiesel (ANP, 2013).

3.3. OGR: Custos e disponibilidade

Em muitas partes do mundo os óleos comestíveis são usados em frigideiras ou fritadeiras e após um tempo variável de uso são descartados. Estes óleos têm propriedades diferentes dos brutos e refinados. A presença de calor e água acelera a hidrólise dos triglicerídios, aumentando o conteúdo de ácidos graxos livres no óleo (MARMESAT et al, 2007). O conteúdo de ácidos graxos livres e água têm efeitos negativos significativos sobre a reação de transesterificação (CANAKCI, 2005). Eles também interferem na separação do biodiesel do glicerol. Especialmente, a viscosidade do óleo aumenta consideravelmente devido a formação de ácidos diméricos e poliméricos no óleo de cozinha usado. A massa molecular e o índice de iodo diminuem, enquanto o índice de saponificação e a densidade do óleo aumentam (TOMASEVIC e SILER-MARINKOVIC, 2003; KULKARNI e DALAI, 2006; RUIZ-MENDES et al, 2008). A Tabela 1 mostra as propriedades químicas e físicas de uma amostra recolhida de óleo de cozinha usado.

Tabela 1: Propriedades físicas e químicas do óleo de cozinha usado (WEN et al, 2010)

Propriedade	Unidade	Valor
Ácido palmítico	% em peso	8,5
Ácido esteárico	% em peso	3,1
Ácido oleico	% em peso	21,2
Ácido linoléico	% em peso	55,2
Ácido linolênico	% em peso	5,9
Outros	% em peso	4,2
Teor de água	% em peso	1,9
Densidade	cm ³ /g	0,91
Viscosidade cinemática (40°C)	mm ² /s	4,2
Índice de saponificação	mgKOH/g	207
Índice de acidez	mgKOH/g	3,6
Índice de Iodo	gI ₂ 100g ⁻¹	83
Teor de sódio	mg/kg	6,9
Índice de peróxidos	mg/kg	23,1

Atualmente não existe nenhum método sistemático de processamento de óleos usados gerados nas residências e a maior parte deste resíduo é despejada na tubulação, terminando na rede de esgoto e ocasionando a poluição das águas superficiais. Além disso, mais de 80% do óleo é consumido nas residências tornando a disposição final desse resíduo um grave problema por causa do grande volume envolvido (ALCANTARA et al, 2000). A Tabela 2 apresenta os valores estimados de óleo de cozinha usado gerado em alguns países e as

principais fontes de óleo. É notório o consumo nos Estados Unidos, país que sozinho gera cerca de 10 milhões de toneladas de óleo de cozinha usado anualmente (GUI et al, 2008).

Tabela 2: Quantidade de OGR gerada em vários países ao redor do mundo.

País	Quantidade (milhões toneladas/ano)	Fonte de óleo	Ref
EUA	10	Óleo de soja	(GUI et al, 2008)
China	4,5	Óleo de soja, gordura animal	(GUI et al, 2008)
Europa	0,7-10	Óleo de canola, óleo de girassol	(KULKARNI e DALAI, 2006)
Japão	0,45-0,57	Óleo de soja, óleo de palma, gordura animal	(IMAHARA et al, 2006)
Taiwan	0,07	Óleo de soja, óleo de palma e gordura animal	(TSAI et al, 2007)
Malásia	0,5	Óleo de palma	(GUI et al, 2008)
Canadá	0,12	Gordura animal, óleo de canola	(GUI et al, 2008)
Inglaterra	1,6	Óleo de soja, óleo de canola	(BERRUTI e BRIENS, 2011)
Irlanda	0,153	Óleo de colza	(DIYA*UDDEEN, 2012)

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, o consumo de óleos vegetais por domicílio no Brasil é de aproximadamente 7 kg por ano (IBGE, 2012). Do ponto de vista econômico, o alto custo do biodiesel produzido a partir de óleos vegetais virgens é uma das maiores barreiras para sua comercialização, podendo chegar a aproximadamente 1,5 vezes o custo do diesel dependendo da fonte de óleo (PROKOP, 2002). Uma das maneiras amplamente aceitas para reduzir o custo do biodiesel centra-se na minimização dos custos da matéria-prima tanto em pequena quanto em grande escala. O uso do óleo residual de cozinha ao invés do óleo virgem para produção do biodiesel tem sido uma eficaz maneira de reduzir esse custo, além de trazer maiores benefícios ambientais pelo fato de proporcionar uma alternativa de disposição final ao óleo antes descartado no meio ambiente (ENWEREMADU et al, 2009).

De acordo com a Tabela 3, o custo do óleo usado é 2 a 3 vezes menor em comparação aos óleos virgens, fato que leva a uma significativa redução dos custos totais do processo.

Tabela 3: Preço médio dos óleos utilizados na produção de biodiesel (DEMIRBAS, 2008).

Óleo	Preço (US\$/ton)
Palma	703
Colza	824
Soja	771
OGR	224
Gordura Animal	412

Tecnicamente, os métodos de produção de biodiesel a partir de óleo de cozinha usado não diferem do processo de transesterificação convencional usando catalisadores alcalinos, ácidos, e enzimáticos. Dependendo dos compostos indesejáveis (especialmente ácidos graxos livres e água), cada catalisador tem suas vantagens e desvantagens. Então, dependendo da qualidade do óleo pode ser necessária uma etapa de pré-tratamento da matéria-prima visando sua adequação aos parâmetros de qualidade exigidos para a reação de transesterificação. Poucos estudos na literatura científica falam sobre os custos adicionais dessa etapa, entretanto, é possível verificar uma redução de até 45% dos custos diretos de produção, mesmo com os custos adicionais do pré-tratamento (ZHANG et al, 2003). As seções seguintes apresentam diversos experimentos realizados para o pré-tratamento do óleo e também para os diferentes métodos de transesterificação.

3.4. Pré-tratamento do OGR

Análises mostram que as diferenças entre o óleo de cozinha usado e os óleos virgens não são muito grandes para a produção de biodiesel (KNOTHE et al, 1997). Portanto, na maioria dos casos, aquecimento e remoção de partículas sólidas por filtração é suficiente para a subsequente reação de transesterificação. No entanto, em alguns casos, os produtos da decomposição do óleo causam deterioração na sua qualidade, fato que pode levar a uma redução do rendimento em éster durante a produção de biodiesel e a formação de produtos indesejados. Os efeitos negativos destes compostos indesejáveis podem ser evitados por um tratamento prévio do óleo de cozinha usado. Diferentes tipos de pré-tratamento têm sido utilizados para esse fim como: injeção de vapor, neutralização, evaporação e filtração a vácuo (KULKARNI e DALAI, 2006).

Vapor e métodos de sedimentação foram utilizados para investigar os efeitos do pré-tratamento nas propriedades do óleo de cozinha usado e dos ésteres produzidos a partir dele. O estudo foi realizado em dois estágios com aquecimento do óleo a 65° C seguido por sedimentação. Os resultados de ambos os estágios de pré-tratamento mostram que houve uma redução no teor de umidade, ácidos graxos livres e substancial redução na viscosidade, além do aumento do poder calorífico. O óleo pré-tratado foi transesterificado e a redução do índice de acidez (6,3-4,3%) e do teor de umidade (1,4-0,4%) responderam por um aumento substancial no rendimento (de 67,5% para 83,5%) em éster conforme observado (SUPPLE et al, 2002).

Uma sequência de métodos de pré-tratamento foi utilizada para reduzir ácidos graxos livres, água e o conteúdo de polímeros em óleo de cozinha usado antes da realização da transesterificação. Para isto foram usados dois estágios com hidróxido de potássio (KOH) como catalisador a 65 °C durante 90 min. Os ácidos graxos livres passaram por um processo de neutralização, sendo removidos como sabão enquanto o alto conteúdo de polímeros foi tratado com carbono ativado e removido por adsorção (CVENGROS e CVENGROSOVA, 2004).

Outros métodos de pré-tratamento têm sido reportados na literatura como: filtração e secagem usando forno de microondas a 60 °C durante 10 min (SAIFUDDIN e CHUA, 2004); secagem com sulfato de magnésio e subsequente filtração a vácuo para remover qualquer material em suspensão e cristais de magnésio (FELIZARDO, 2006); centrifugação para remoção da porção sólida deste e mistura com 10% em peso de sílica gel (28-200 mesh) seguida por agitação e filtração a vácuo para remoção da água (ISSARIYAKUL, 2007); filtragem de óleo residual sob vácuo após a desidratação durante a noite usando sulfato anidro seguida de uma nova filtragem a vácuo antes da transesterificação (DIAS et al, 2008); secagem com cloreto de cálcio e filtragem com filtro de celulose para a remoção de matéria suspensa e cristais de cloreto de cálcio (PREDOJEVIC, 2008).

Embora a remoção de impurezas tais como água, ácidos graxos livres e polímeros antes da transesterificação possa melhorar o rendimento e a qualidade dos ésteres de óleo de cozinha usado, o pré-tratamento tende a aumentar os custos de produção do biodiesel necessitando de uma análise mais criteriosa dos métodos a serem empregados.

3.5. Métodos de produção de biodiesel a partir de OGR

3.5.1. Catálise alcalina

O uso de catalisadores alcalinos na transesterificação do óleo residual de cozinha é a técnica mais utilizada pela indústria, porém apresenta uma série de limitações. A Figura 4 ilustra o esquema básico desse método:

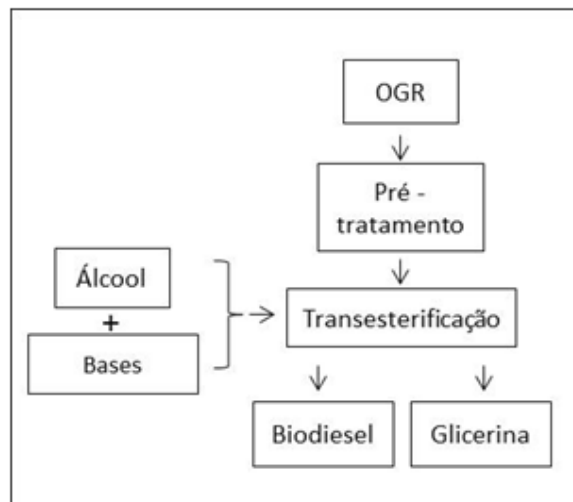


Figura 4 – Catálise alcalina

Os catalisadores mais usados são o hidróxido de potássio (KOH) e hidróxido de sódio (NaOH) que apresentam elevada sensibilidade à pureza da reação sendo afetados pelo conteúdo de água e de ácidos graxos livres (ZHANG et al, 2003; MARCHETTI et al, 2007). A presença de água pode provocar a saponificação do éster sob condições alcalinas. Além disso, os ácidos graxos livres também podem reagir com o catalisador alcalino produzindo sabões e água. A saponificação não só consome o catalisador, mas também provoca a formação de emulsões que dificultam a separação, recuperação e purificação do biodiesel. Assim, óleo vegetal desidratado com teor de ácidos graxos livres não maior do que 1%, catalisador anidro e álcool anidro são necessários para a viabilidade comercial de sistemas de catálise alcalina.

Apesar destes problemas, NaOH tem sido utilizado por muitos pesquisadores para a transesterificação, apesar da sua taxa de reação mais lenta (KULKARNI e DALAI, 2006). O uso do metanol e NaOH como catalisador na transesterificação do óleo de coco usado com conteúdo de ácidos graxos livres de 1,47% foi relatado, sendo observado um rendimento máximo de 94% para a faixa de temperatura de 60-65 °C, concentração de catalisador de 0,5% e duas vezes a quantidade estequiométrica de metanol (ARQUIZA et al, 2000). Da mesma forma, a transesterificação do óleo de cozinha usado com teor de acidez na faixa de 0,42-2,07 mg de KOH/g, utilizando-se NaOH como catalisador também foi reportada (FELIZARDO et al, 2006). Também foi realizada a transesterificação do óleo de cozinha usado com etanol, utilizando NaOH como catalisador, temperatura de reação de 60 °C por 20 min e concentração ótima de catalisador de 0,08% em peso. A média global de conversão alcançada foi de 94,5% (CHHETRI et al, 2008). O uso de NaOH como catalisador na

transesterificação do óleo de cozinha usado também tem sido relatado por (LEUNG e CHEN, 2000; LEUNG, 2001; GUO, 2002).

Outros trabalhos tem relatado o uso do catalisador KOH como precursor da reação de transesterificação. Biodiesel foi produzido a partir da transesterificação alcalina do óleo usado de girassol com baixo índice de acidez. O processo foi realizado com metanol na presença de KOH a 55 °C com duração de 2 h (RAO et al, 2007). Usando o mesmo tipo de catalisador, a transesterificação do óleo de cozinha usado com índices de acidez variando de 0,67-3,64 mg de KOH/g foi realizada com metanol, comprovando que o maior rendimento de biodiesel (88-90%) foi obtido para uma proporção metanol/óleo entre 7,8 e 8,1 durante 80-90 min em temperaturas variando de 30-50 °C na presença de 0,75% em peso de catalisador KOH (PHAN, 2008).

Outro experimento utilizou etanol e KOH para a transesterificação do óleo de soja usado. A reação foi realizada à temperatura constante de 35 °C com o objetivo de minimizar o custo de aquecimento e evaporação do etanol (ALLAWZI e KANDAH, 2008). As atividades catalíticas de NaOH e KOH foram comparadas na reação de transesterificação do óleo de cozinha usado com índice de acidez de 2,76 concluindo que o KOH proporciona maior velocidade de reação do que NaOH (DORADO et al, 2004). Logo, o hidróxido de potássio tem sido considerado como um melhor catalisador para a transesterificação de óleos alimentares usados (ENCINAR et al, 2005).

3.5.2. Catálise ácida

Conforme mencionado anteriormente, uma limitação da transesterificação com catálise alcalina se deve à sensibilidade deste processo a pureza dos reagentes, especialmente ao conteúdo de água e ácidos graxos livres. Estudos relatam que os catalisadores ácidos são insensíveis ao índice de acidez e são melhores do que os catalisadores alcalinos para óleos vegetais com índice de acidez maior do que 1% (FREEDMAN et al, 2984). O método é ilustrado pela Figura 5 a seguir:

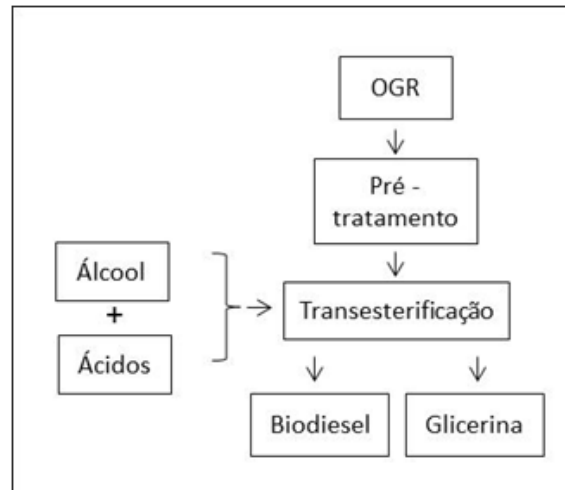


Figura 5 - Catálise ácida

A transesterificação de óleos comestíveis utilizando ácidos fortes está disponível em artigos na literatura (SCHWAB et al, 1987; FREEDMAN et al, 1986; LIU, 1994; CANAKCI e GERPEN 1999). A transesterificação de triglicerídios pode ser catalisada por ácidos inorgânicos tais como o ácido sulfúrico, ácido clorídrico, ácido fosfórico e ácidos orgânicos sulfonados.

A transesterificação por catálise ácida começa pela mistura do óleo diretamente com o álcool acidificado, de modo que a separação e a transesterificação ocorram em um único passo, com o álcool atuando tanto como solvente quanto reagente de esterificação (CERVERO et al, 2008). Experimentos em escala piloto realizaram a transesterificação de óleo residual de cozinha na presença do catalisador ácido sulfúrico a 70 °C. Uma razão molar mínima de 50:1 para metanol/óleo e concentração de ácido de 1,5-3,5% foram utilizadas. A alta proporção de metanol foi usada para promover um alto equilíbrio para as conversões de óleo em ésteres (RIPMEESTER, 1998; MCBRIDE, 1999).

As atividades catalíticas de vários ácidos para a transesterificação de óleo de cozinha usado têm sido comparadas. A transesterificação de óleo de palma residual foi realizada sob diferentes condições. Ácido sulfúrico, clorídrico e etanol foram utilizados em diferentes concentrações. Catalisadores na faixa de 1,5-2,25M produziram biodiesel com menor peso específico em um tempo de reação muito mais curto do que em concentrações mais baixas. Comparado ao ácido clorídrico (HCl), o ácido sulfúrico (H₂SO₄) apresentou atividade catalítica superior. O uso de álcool em excesso proporcionou reduções significativas no tempo de reação. Daí, a transesterificação catalisada por ácidos de Bronsted requer alta concentração

de catalisador e uma razão molar mais elevada para reduzir o tempo de reação (AL-WIDYAN e AL-SHYOUKH 2002).

Além dos ácidos de Bronsted, ácidos de Lewis também tem sido usados na transesterificação de óleo vegetal. Um processo foi desenvolvido para a produção de ésteres a partir de matéria-prima com elevado conteúdo de ácidos graxos livres utilizando-se acetatos de cálcio e bário como catalisador. Estes catalisadores não formam sabão com os ácidos graxos livres, no entanto, razões molares acima de 3:1 promovem a formação de sais. Outras limitações incluem alta temperatura e alta pressão necessárias à reação. Além disso, compostos de bário são tóxicos na natureza (BASU e NORRIS, 1996).

Acetatos e estearatos de manganês, chumbo, zinco, cobalto e níquel também foram testados a uma razão molar de óleo para álcool de 1:12 em temperatura de 200 °C por 200 min. Os resultados mostraram que os estearatos apresentam melhor desempenho que os acetatos por causa da melhor solubilidade no óleo, apresentando também melhor desempenho que os ácidos de Bronsted com menor concentração de catalisador e uma razão molar de óleo/álcool mais baixa (DI SERIO et al, 2005).

Outras pesquisas sobre biodiesel tem se concentrado no uso de catalisadores ácidos sólidos também conhecidos como catalisadores heterogêneos. Resinas sulfônicas, tais como Nafion NR50, zircônia sulfatada e zircônia tungstenizada podem catalisar reações de transesterificação de forma tão eficiente quanto o ácido sulfúrico (DUNFORD, 2012). Estudos relatam que o catalisador ácido sólido ideal para a transesterificação de óleo de cozinha usado deve possuir características tais como moderadas a elevadas concentrações de sítios de ácidos fortes e superfície hidrofóbica (LOTERO et al, 2005). Diferentes tipos de catalisadores ácidos sólidos, tais como óxido de molibdênio suportado em sílica, óxido de molibdênio suportado em zircônio, óxido de tungstênio suportado em sílica-alumina e estearato de zinco suportado em sílica foram sintetizados e avaliados para a produção de biodiesel a partir de óleo de cozinha usado. Estereato de zinco imobilizado em gel de sílica foi o mais ativo e estável catalisador heterogêneo. O catalisador foi reutilizado muitas vezes sem qualquer perda na atividade apresentando rendimento em ésteres de 98% (JACOBSON et al, 2008).

As vantagens de usar catalisadores ácidos sólidos são: insensibilidade ao índice de acidez; esterificação e transesterificação podem ser realizadas simultaneamente; fácil remoção do catalisador; o biodiesel não requer lavagem com água; rendimentos em éster são geralmente elevados; a quantidade de catalisador por tonelada de biodiesel é muito menor do

que para outros processos e os catalisadores podem ser usados por um período de tempo prolongado. No entanto, estes sistemas operam sob alta temperatura e pressão.

3.5.3. Catálise enzimática

É possível verificar na literatura científica que tem havido um crescente interesse no uso de enzimas tais como lipases para a catálise de óleos para a produção de biodiesel conforme mostrado na Figura 6:

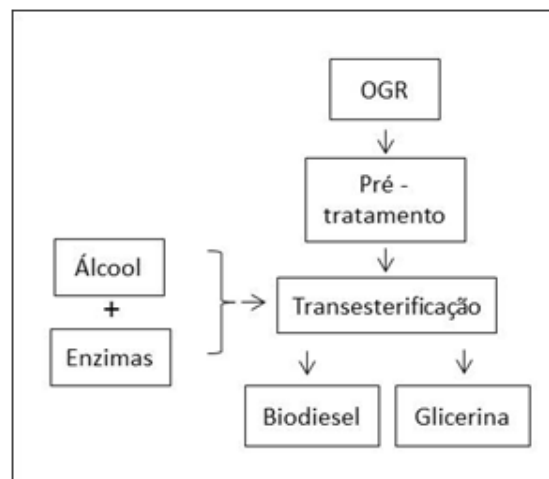


Figura 6 – Catálise enzimática

Algumas das vantagens deste tipo de transesterificação sobre as reações catalisadas quimicamente incluem a não geração de subprodutos, fácil remoção do produto, condições moderadas de reação (temperatura de 35-45 °C) e reciclagem do catalisador (WU et al, 1999). Tem sido relatado que as reações enzimáticas são insensíveis ao índice de acidez e teor de água podendo ser utilizadas para a transesterificação do óleo de cozinha usado (WU et al, 1999; HSU et al, 2001).

Diversos tipos de lipases tem sido estudadas e selecionadas conforme demonstra o experimento que utiliza 4 espécies especificamente: *Mucor Meihi* (Lipozyme IM60), *Candida antarctica* (SP435), *Geotrichum candidum* e *Pseudomonas cepacia* (PS30). Estas foram empregadas como catalisadores para a transesterificação de azeite de oliva, óleo de soja e sebo. As condições de reação desenvolvidas para o sebo provaram-se eficazes também para a transesterificação de óleo de cozinha usado através dos seguintes parâmetros: temperatura de 45 °C; velocidade de agitação de 200 rpm; concentração de enzima na faixa de 12-25% e tempo de reação de 4-8 h (para os álcoois primários) e 16 h (para álcoois secundários). M.

Meihi foi a mais eficaz para a transesterificação do sebo usando álcoois primários (95% de conversão) e *C. antarctica* e *P. Cepacia* foram mais eficientes para o uso de álcoois secundários (90% de conversão) (HSU et al, 2002).

Outro experimento estudou a transesterificação contínua de óleo de cozinha usado com etanol utilizando cepacias Bulkholderias imobilizadas (IM BS-30) como catalisador em um reator de coluna re-circulante. Foram analisados os efeitos da taxa de alimentação, temperatura, tempo de reação e reusabilidade da enzima sobre o rendimento do produto. As condições ótimas para a obtenção de 96% de rendimento em éster foram: taxa de alimentação de 30 ml/min; temperatura de 50 °C; razão molar etanol/óleo de 4:1 e tempo de reação de 48 h (HSU et al, 2004).

Também foi relatado que a metanólise com solvente orgânico livre não proporciona altas conversões (NELSON et al, 1996). Para melhorar este processo, foram conduzidos experimentos para a transesterificação de óleo de cozinha usado via adição de metanol em etapas, o que impede a inativação da lipase. Outra vantagem deste método é que o índice de acidez e a água têm pouco ou nenhum efeito sobre a eficiência da metanólise e o biocatalisador imobilizado pode ser reutilizado (WATANABE et al, 2001). Da mesma forma, foi realizada uma metanólise de três etapas com óleo de cozinha usado e lipases. No processo, um terço de álcool foi alimentado no começo da reação, um terço 10 h após o início da reação e mais um terço após 24 h de reação, concluindo que se a razão molar é maior do que 0,5 o produto torna-se insolúvel em álcool (SHIMADA et al, 2003).

Foram realizadas outras investigações sobre a conversão enzimática de óleos residuais usando lipase imobilizada de *Rhizopus oryzae* com foco na otimização dos vários parâmetros de processo como razão molar metanol/óleo, carga de biocatalisador, temperatura de reação e teor de água. Os resultados mostram que a proporção molar metanol/óleo de 4:1, lipase imobilizada/óleo de 30% em peso e 40 °C foram adequados sob pressão de 1 atm. Sob condições ótimas o rendimento de esteres metílicos ficou em torno de 88-90%. A irreversível inativação da lipase foi verificada e uma adição de metanol em etapas para reduzir a inativação de lipases imobilizadas foi proposta como nos experimentos acima (CHEN et al, 2006).

Foi possível perceber que a imobilização tem um efeito substancial sobre a atividade catalítica da lipase especialmente quando a matéria-prima com alto índice de acidez e teor de água é usada para a transesterificação. Além disso, podem ser citadas as seguintes vantagens da utilização de lipases (MARCHETTI et al, 2007):

- Possibilidade de regeneração e reutilização do resíduo imobilizado, porque ele pode ser deixado no reator se a reatividade é mantida baixa;
- Maior estabilidade térmica da enzima devido ao estado nativo;
- Separação mais fácil do produto.

Algumas desvantagens incluem:

- Perda de alguma atividade inicial devido ao volume de moléculas de óleo;
- Número de enzimas suportadas não uniforme;
- Biocatalisadores são mais caros do que as enzimas naturais.

3.5.4. Técnicas de conversão não-catalítica para transesterificação

Devido ao fraco potencial de miscibilidade do metanol em óleo, a sua conversão é uma reação muito lenta. As opções não-catalíticas são concebidas para superar o atraso no tempo de reação inicial causado por essa baixa solubilidade do álcool sobre a fase de triglicerídios. Uma abordagem que é agora comercializada consiste na utilização de um co-solvente solúvel tanto no metanol quanto no óleo. Este método é ilustrado na Figura 7:

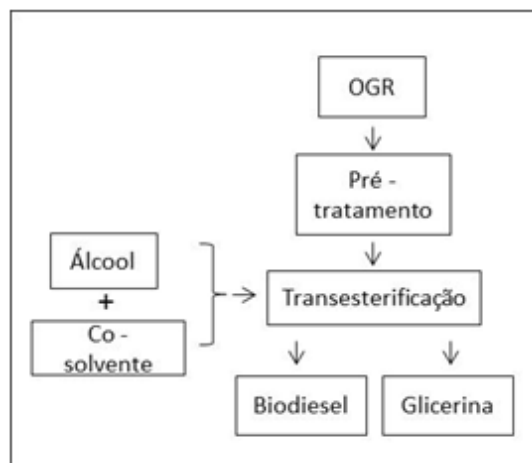


Figura 7 – Conversão não-catalítica

O resultado é uma reação rápida, da ordem de 5-10 min, sem resíduos de catalisador, em qualquer uma das fases. Um destes co-solventes é o tetrahidrofurano, escolhido, em parte, porque tem um ponto de ebulição muito próximo do metanol e requer uma temperatura de operação bastante baixa, em torno de 30 °C. O BIOX, processo de produção patentado, usa essa abordagem para converter os triglicerídios e ácidos graxos livres em um processo contínuo de duas etapas à pressões atmosféricas e temperatura ambiente, tudo em menos de 90 min. Através da adição de um co-solvente, os ácidos graxos livres são convertidos primeiro e, em seguida, os triglicerídios sem qualquer etapa de pré-tratamento. O processo atinge conversão maior do que 99%, mesmo quando se utiliza matérias-primas com elevado índice de acidez (até 10%), tais como gorduras animais ou óleo bruto de palma. 99,9% do co-solvente é recapturado e o excesso de metanol utilizado no processo é então reciclado e reutilizado (BIOX, 2012).

Uma segunda abordagem utiliza metanol a temperaturas muito elevadas e alta pressão. Este processo é conhecido como metanol supercrítico. A utilização de tecnologia supercrítica na produção de biodiesel é uma tecnologia emergente. O metanol supercrítico não só atua como um solvente, mas também como um catalisador ácido (WARABI et al, 2004). A utilização de álcool supercrítico para a transesterificação de óleo vegetal puro é bem reportada na literatura (SAKA e KUSDIANA, 2001, 2004; KUSDIANA e SAKA, 2001; DEMIRBAS, 2008; BALAT, 2005; DEMIRBAS, 2006). No entanto, sua aplicação na transesterificação de óleo de cozinha usado ainda não está bem documentada. Podem ser citadas as seguintes vantagens para sua aplicação (VERA et al, 2005; BALAT, 2008):

- Glicerídios e ácidos graxos livres reagem a taxas equivalentes;
- A fase homogênea elimina os problemas difusivos;
- O processo tolera grandes percentagens de água no processo catalítico da matéria-prima que requer a remoção periódica de água ou uma fase intermediária para evitar a desativação do catalisador;
- A etapa de remoção do catalisador é eliminada;

- Se uma alta razão de metanol:óleo é usada, a conversão total do óleo pode ser conseguida em poucos minutos.

Apesar de ter todas estas vantagens, o método de metanol supercrítico tem algumas desvantagens graves como:

- O processo opera a pressões muito altas (25-40 MPa);
- As altas temperaturas (350-400 °C) trazem proporcionalmente ao alto aquecimento custos de refrigeração;
- Altas razões de metanol:óleo (geralmente definidas em 42:1) envolvem custos elevados para a evaporação do metanol não-reagido;

3.6. Técnicas para análise de viabilidade econômica de projetos

Verificadas as questões técnicas relativas à produção de biodiesel a partir de óleos e gorduras residuais torna-se necessária a análise das metodologias mais utilizadas na literatura científica para a análise de viabilidade econômica de projetos. Analisar a fundo um projeto de um novo investimento proposto é de fundamental importância para o sucesso futuro de um negócio, pois permite a identificação de possíveis riscos e gargalos inerentes ao processo produtivo antes do efetivo desembolso de capital. Uma análise de investimentos busca, através de técnicas avançadas, a utilização da estatística e matemática financeira, para ajudar na tomada de decisão entre as soluções desenvolvidas (MOTTA e CALÔBA, 2002). A utilização da Engenharia Econômica como um instrumento de análise de investimentos consiste no auxílio à tomada de decisão entre o tipo de investimento mais apropriado ao negócio, atribuindo um valor ao dinheiro no tempo (BALARINE, 2004).

A avaliação de um projeto de investimento normalmente consiste em um conjunto de técnicas que buscam calcular parâmetros como o *Payback* (ou o Tempo de Recuperação do Capital Investido), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Valor Presente Líquido (VPL), que virão a auxiliar na escolha de um projeto (BRUNI, 1998). Estes parâmetros pode ser obtidos por meio da utilização do fluxo de caixa do projeto, que consiste em uma escala horizontal onde são marcados os períodos de tempo, identificando as entradas de caixa com setas para

cima e as saídas de caixa com setas para baixo, conforme Figura 8 (CASAROTTO FILHO e KOPITTE, 1998).

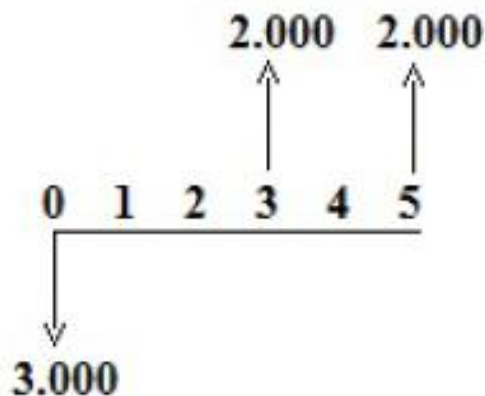


Figura 8 – Modelo de fluxo de caixa

Outro elemento importante da análise de viabilidade econômica é a Taxa Mínima de Atratividade (TMA), que é estabelecida ao se analisar que em uma proposta de investimento deve ser considerado o fato de se estar perdendo a oportunidade de auferir retornos pela aplicação do mesmo capital em outros projetos, isto é, o projeto proposto deve ser rentável a ponto de, no mínimo, superar a taxa de juros equivalente à rentabilidade das aplicações e negócios correntes de baixo risco. A TMA é funcionalmente utilizada para descontar o fluxo de caixa (trazer ao valor presente), dessa forma, auxiliando o cálculo de parâmetros fundamentais como a TIR e o VPL de um projeto (CASAROTTO FILHO e KOPITTE, 1998). A utilização da TMA pode ser definida com a política de cada empresa, porém a sua determinação ou escolha é de fundamental importância na decisão de alocação de recursos nos projetos de investimento (SCHROEDER, 2005).

3.6.1. Valor presente líquido - VPL

O método do Valor Presente Líquido (VPL) é um parâmetro de orçamento de capital sofisticado que, ao ser determinado, permite a aceitação do projeto (se positivo) ou não (se negativo), através da subtração de um investimento inicial do valor presente de seus fluxos de entrada de caixa, descontados a uma taxa igual ou maior ao custo de capital da empresa, ou mais precisamente a TMA (GITMAN, 2006). Matematicamente, o valor presente líquido é a soma algébrica de todos os fluxos de caixa descontados para o instante presente ($t = 0$), a uma taxa de juros “ i ”, estabelecendo assim a Equação 1 (MOTTA, 2002).

$$VPL(i) = \sum_{j=0}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} - I \quad (1)$$

Onde:

i = taxa de desconto ou TMA;

j = período genérico que varia de 0 a n , percorrendo todo o fluxo de caixa;

FC_j = fluxo genérico para $j = [0 \dots n]$ que pode ser positivo (receita) ou negativo (custos);

I = investimento inicial;

$VPL(i)$ = valor presente líquido descontado a uma taxa i ;

3.6.2. Taxa interna de retorno – TIR

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é um parâmetro relativo que mede a rentabilidade do investimento no tempo, contemplando as receitas, custos e investimentos ocorridos ao longo do projeto, produzindo uma taxa que deve ser superior a TMA para indicar a viabilidade do negócio (MOTTA e CALÔBA, 2002). Para o método da TIR, é necessário o cálculo da taxa que zera o valor presente dos fluxos de caixa das alternativas, isso é, consiste em encontrar o VPL igual à zero, onde nesse ponto, a taxa de desconto será a TIR do investimento (CASAROTTO FILHO e KOPITTE, 1998). Assim, fazendo-se uma comparação entre os métodos do VPL e da TIR, pode-se afirmar que o método da TIR reinveste todos os fluxos de caixa à própria TIR, enquanto que o método do VPL reinveste estes à TMA, o que pode conduzir a decisões discrepantes entre os métodos (MEGGINSON e SMART, 2008). Matematicamente, a TIR pode ser obtida por meio da equação 2:

$$0 = \sum_{j=0}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} - I \quad (2)$$

Onde:

i = taxa interna de retorno ou TIR;

j = período genérico que varia de 0 a n , percorrendo todo o fluxo de caixa;

FC_j = fluxo genérico para $j = [0 \dots n]$ que pode ser positivo (receita) ou negativo (custos);

I = investimento inicial;

3.6.3. Período de recuperação do investimento - Payback

Na engenharia econômica existem outros parâmetros que auxiliam a análise e tomada de decisão frente a um projeto através da análise do tempo de retorno do investimento. O *payback* é um parâmetro muito utilizado na análise de investimentos, pois representa o prazo necessário para a recuperação do capital investido (BRUNI, 1998) e pode ser definido como o exato montante de tempo necessário para a empresa recuperar seu investimento inicial em um projeto, calculado a partir de seus fluxos de entrada e saída de caixa (GITMAN, 2006). Por outro lado, o *payback* é utilizado como uma referência para seleção entre alternativas de investimento, devendo ser visto apenas como um indicador, não servindo como uma resposta definitiva à escolha entre as opções disponíveis de investimentos, pois este método não leva em consideração o fluxo de caixa após o período de retorno do investimento e alternativas de períodos totais diferentes (CASAROTTO FILHO e KOPITTE 1998).

4. Materiais e métodos

Mesmo considerando que a implantação de uma miniusina de produção de biodiesel a partir de OGR é um empreendimento viável tecnicamente e ecologicamente correto, ele só cumprirá sua função social se for capaz de apresentar resultados que garantam o retorno satisfatório do capital investido. Para avaliar essa questão, faz-se necessária a elaboração de um estudo que possa fornecer as bases econômica e comercial para uma decisão de investimento. Assim, foram utilizadas as ferramentas Google Maps para a delimitação da área geográfica de atuação da miniusina de produção de biodiesel, incluindo os cálculos do potencial máximo de geração de OGR e da demanda de biodiesel na região com auxílio de dados estatísticos do IBGE. Também foi utilizado o Microsoft Excel 2007 para o cálculo dos fluxos de caixa e indicadores de viabilidade econômica do projeto conforme as equações descritas no item 3.6. A Figura 9 a seguir apresenta um esquema geral da metodologia utilizada neste trabalho:

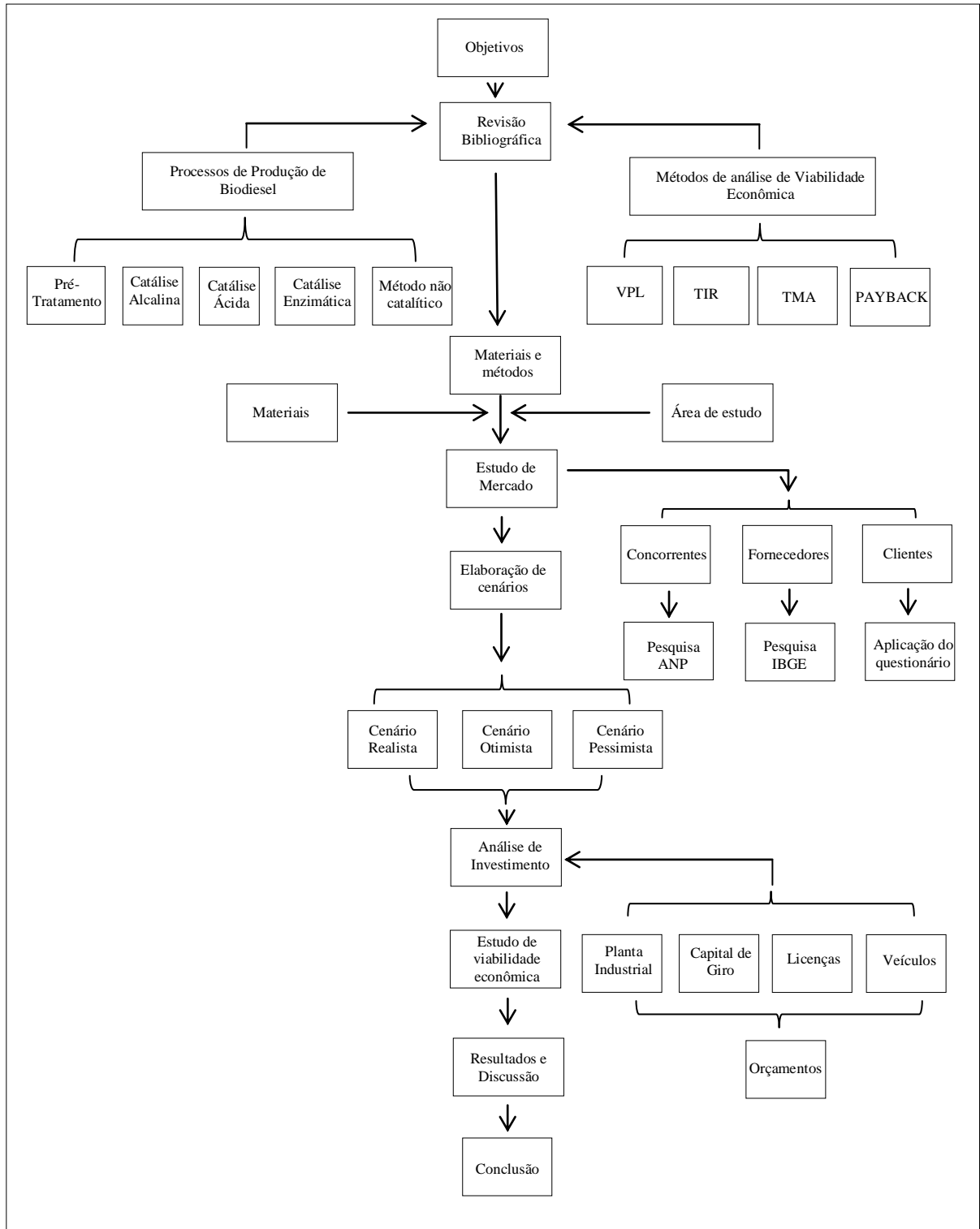


Figura 9 – Estrutura conceitual proposta para a pesquisa

4.1. Descrição da área geográfica de atuação

A miniusina de produção de biodiesel hipotética terá como sede a cidade de Itajubá, localizada na região sul do Estado de Minas Gerais. Entretanto, a área geográfica de captação de matéria-prima abrangerá um total de 10 municípios localizados em um raio de 70 km da cidade sede: Piranguinho, Piranguçu, Santa Rita do Sapucaí, Maria da Fé, Brazópolis, São José do Alegre, Pedralva, Delfim Moreira, Wenceslau Braz.

A cidade de Itajubá está estrategicamente posicionada entre duas das mais importantes rodovias do país, a Rodovia Fernão Dias (60 km) e a Rodovia Presidente Dutra (65 km). Sua população estimada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística em 2011 é de 91.159 habitantes (IBGE 2011). O município situa-se no sul de Minas Gerais e faz divisa com os municípios de São José do Alegre, Maria da Fé, Wenceslau Braz, Piranguçu, Piranguinho e Delfim Moreira conforme demonstra a Figura 10. Também é pertencente à bacia hidrográfica do rio Sapucaí, cuja nascente fica na cidade de Campos do Jordão. Encontra-se na latitude Sul - 22° 30' 30" e longitude Oeste - 45°27'20". (PREFEITURA DE ITAJUBÁ, 2014)

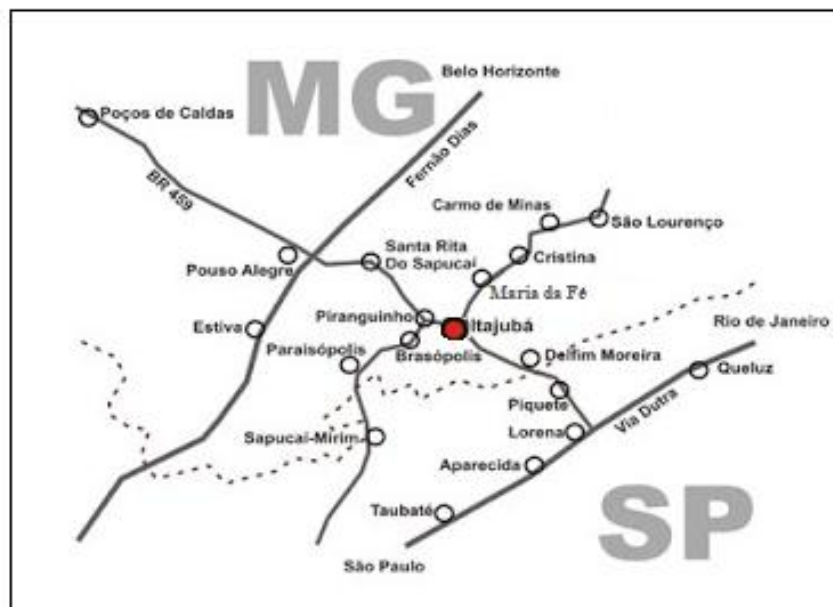


Figura 10 – Mapa de Itajubá e região (ITAJUBÁ NEWS NOTICÍAS, 2014)

4.2. Estudo de mercado

Uma das ferramentas indispensáveis à elaboração de um estudo de viabilidade financeira consiste na análise de mercado. Essa ferramenta permite avaliar a aceitação do

produto pelos clientes em potencial, bem como mensurar a influência dos fornecedores e concorrentes dentro da área de atuação. O estudo desses pilares básicos de qualquer segmento de mercado possibilita uma estimativa mais acurada do fluxo de caixa em potencial, reduzindo os riscos do empreendimento.

4.2.1. Fornecedores: Potencial de geração de OGR

Definida a área de captação de matéria-prima, foi feita uma coleta de dados a partir do aplicativo Cidades@ (IBGE, 2013) para a obtenção do número de domicílios de cada cidade da região delimitada. A partir daí, foi realizado o cálculo da disponibilidade máxima de geração de óleos e gorduras residuais a partir do consumo anual de óleo por domicílio obtido a partir da Pesquisa de Orçamentos Familiares 2008-2009: Aquisição Alimentar Domiciliar (IBGE, 2010). Para este cálculo também foi considerado o percentual de perdas provenientes da absorção de OGR pelos alimentos durante o processo de fritura (AMORIM et al, 2010) conforme demonstrado na fórmula a seguir:

$$D_m = \sum_{i=1}^{10} [(Nd_i \times C_{OGR}) - (Nd_i \times C_{OGR}) \times P \text{ \%}] \quad (3)$$

Onde:

D_m = Disponibilidade máxima de OGR na região de atuação;

Nd_i = Número de domicílios de cada cidade da região de atuação;

C_{OGR} = Consumo anual de OGR por domicílio;

P = Percentual de perdas decorrentes da absorção de OGR pelos alimentos.

Convém ressaltar que apenas o setor residencial foi considerado no cálculo. Os setores comercial e industrial não foram levados em conta neste trabalho devido à ausência de dados estatísticos confiáveis na literatura, levando a necessidade da aplicação de uma pesquisa de mercado na área de atuação para uma melhor estimativa do potencial de geração de OGR.

4.2.2. Clientes

Para a análise dos clientes em potencial, considerou-se o biodiesel como um produto substituto ou complementar ao óleo diesel mineral. A partir daí, abre-se um leque enorme de segmentos de atuação. Entretanto, como o estudo em questão trata de uma planta de produção de pequena escala, é possível explorar nichos de mercado de acordo com o artigo 4º da resolução nº 25/2008 da ANP: “ficam autorizados para o exercício das atividades de construção, modificação e operação de planta produtora de biodiesel as requerentes que venham a construir ou modificar e operar plantas produtoras de biodiesel com capacidade de produção de até 30.000 (trinta mil) litros mensais de biodiesel, desde que a referida produção seja destinada, exclusivamente, para consumo próprio ou para fins de pesquisa. Estão desobrigados a solicitar autorização para comercialização as empresas, cooperativas ou consórcios de empresas autorizadas para o exercício da atividade de operação de plantas produtoras de biodiesel destinadas, exclusivamente, para consumo próprio ou para fins de pesquisa”.

Logo, o biodiesel produzido pela miniusina poderia ser comercializado em caráter experimental a diversas empresas do segmento como transportadoras de mercadorias, transporte coletivo, cooperativas agrícolas, etc. Entretanto, com o objetivo de reduzir ao máximo os custos de logística, foi priorizado o atendimento de uma demanda mais local a partir de um nicho específico de mercado: as Prefeituras Municipais da área geográfica de atuação.

O motivo da escolha destes órgãos se dá pela possível sinergia no que tange as políticas municipais de saneamento básico e reciclagem de resíduos conforme preconiza a lei nacional de resíduos sólidos 12.305/2010. Além disso, as próprias prefeituras da região são grandes consumidoras de óleo diesel e como a matéria-prima (OGR) é coletada dentro dessa área de atuação é possível enquadrar a atividade como uma prestação de serviços de industrialização de óleos e gorduras residuais incorrendo em maiores facilidades administrativas e tributárias.

Para a avaliação dessa demanda em potencial do biodiesel dentro do nicho de mercado mencionado foi aplicado um questionário junto às 10 prefeituras da área de captação de matéria-prima que teve como foco a obtenção de dados quantitativos sobre o consumo mensal de diesel de cada órgão, preços praticados e o interesse pela compra do biodiesel produzido. A partir daí, foi feito o cálculo da demanda de biodiesel em potencial na área de atuação da

miniusina, considerando o uso de uma mistura de 15% de biodiesel ao diesel (B15) consumido pelas prefeituras, visto que atualmente já existe a mistura obrigatória de 5% de biodiesel no diesel (B5) ofertado nos postos de combustível e que de acordo com o artigo 1º da resolução nº 2/2008 da ANP é permitido o uso de uma mistura de até 20% de biodiesel no diesel (B20). Para este cálculo foi utilizada a seguinte fórmula:

$$C_B = \sum_{i=1}^{10} (Cd_i \times 12) \times P_M \quad (4)$$

Onde:

C_B = Consumo anual de biodiesel na área de atuação;

Cd_i = Consumo mensal de diesel de cada cliente da área de atuação;

P_M = Percentual de mistura de biodiesel no diesel.

4.2.3. Concorrentes

Para análise da concorrência dentro do segmento de atuação foram consideradas as usinas detentoras de autorização para comercialização de biodiesel emitida pela ANP independente do tipo de matéria prima utilizada, visto que não existem usinas em atuação utilizando apenas OGR. Estes dados foram obtidos no boletim mensal do biodiesel de abril de 2013 (ANP, 2013) e dispostos em tabelas informando os nomes das empresas, área de localização e capacidade instalada de produção.

4.3. Elaboração de cenários

De posse das informações relativas ao mercado de atuação, parte-se para uma análise das possíveis entradas e saídas de caixa inerentes a operação da miniusina com o objetivo de avaliar se o fluxo de caixa gerado é capaz de remunerar satisfatoriamente o capital investido. Para isso foi utilizado o método da elaboração de cenários, que permite um exame das combinações de diferentes variáveis sob situações distintas, conduzindo a uma avaliação mais acurada das previsões que podem levar o projeto a apresentar resultado negativo no futuro (BREALEY et al, 2008).

A análise de cenários apresenta maior abrangência, pois permite avaliar o impacto sobre o retorno da empresa de mudanças simultâneas de variáveis como as entradas de caixa, saídas de caixa e custo de capital de um projeto. Os resultados obtidos pelas simulações permitem estimar e avaliar os riscos de um projeto, contribuindo para a tomada de decisões de investimento (GITMAN, 2003). Assim, foram elaborados 3 cenários distintos dentro de um horizonte de 5 anos de operação da miniusina, período considerado suficiente para a obtenção de dados que permitam a avaliação da viabilidade econômica de um empreendimento de pequena escala e também o possível scale-up da planta em uma etapa posterior. O primeiro cenário foi classificado como pessimista, onde foi considerada a coleta de 5 a 25% de matéria-prima em relação ao percentual máximo de captação. No segundo cenário foi realizada uma análise mais realista do mercado de atuação, considerando o intervalo de 30 a 50% de captação de matéria-prima em relação ao total. O último cenário, considerado otimista, prevê uma captação de 55 a 75% de matéria-prima na região de atuação. Para justificar o aumento na captação é previsto o investimento em campanhas publicitárias e atividades de educação ambiental visando à conscientização da população residente na área geográfica de atuação.

Foi então elaborado um Demonstrativo de Resultados (DRE) para cada cenário avaliado, abrangendo a projeção de receitas para cada ano de operação da miniusina provenientes da comercialização do biodiesel e da glicerina conforme os preços praticados no mercado interno. Dos valores obtidos foram descontados os possíveis custos e despesas do empreendimento como: matérias-primas e insumos, tributos, mão de obra e encargos, manutenção, seguros, depreciação, contingências, despesas administrativas, de distribuição e de comercialização e os custos de recuperação do capital investido. Estes custos e despesas foram calculados de acordo com as premissas a seguir.

4.3.1. Premissas

Além da questão de captação de matéria-prima, também foram adotadas algumas premissas que serviram de base para a formulação dos cenários descritos anteriormente, incluindo o preço de venda do biodiesel e subprodutos bem como todos os gastos necessários a operação da miniusina e administração do negócio. Estes dados foram divididos nas seguintes categorias:

- **Faturamento:** Como parte da receita total, foram consideradas as receitas advindas da comercialização do biodiesel e da glicerina em todos os cenários. Para esta análise, adotou-se o preço de R\$2,30 por litro para o biodiesel e R\$0,30 por kg para a glicerina. Conforme demonstra no Figura 11 a frente, o preço adotado para o biocombustível não apresenta grandes variações em relação aos preços praticados atualmente, visto que o mercado tende a enxergar o biodiesel como substituto ao diesel fóssil. Também foi possível constatar que as distribuidoras mantêm uma margem em torno de 15% do preço do diesel na bomba. Logo, a manutenção do preço de venda do biodiesel por R\$2,30 para o consumidor final é uma estratégia factível para que não haja grandes barreiras de penetração no mercado.

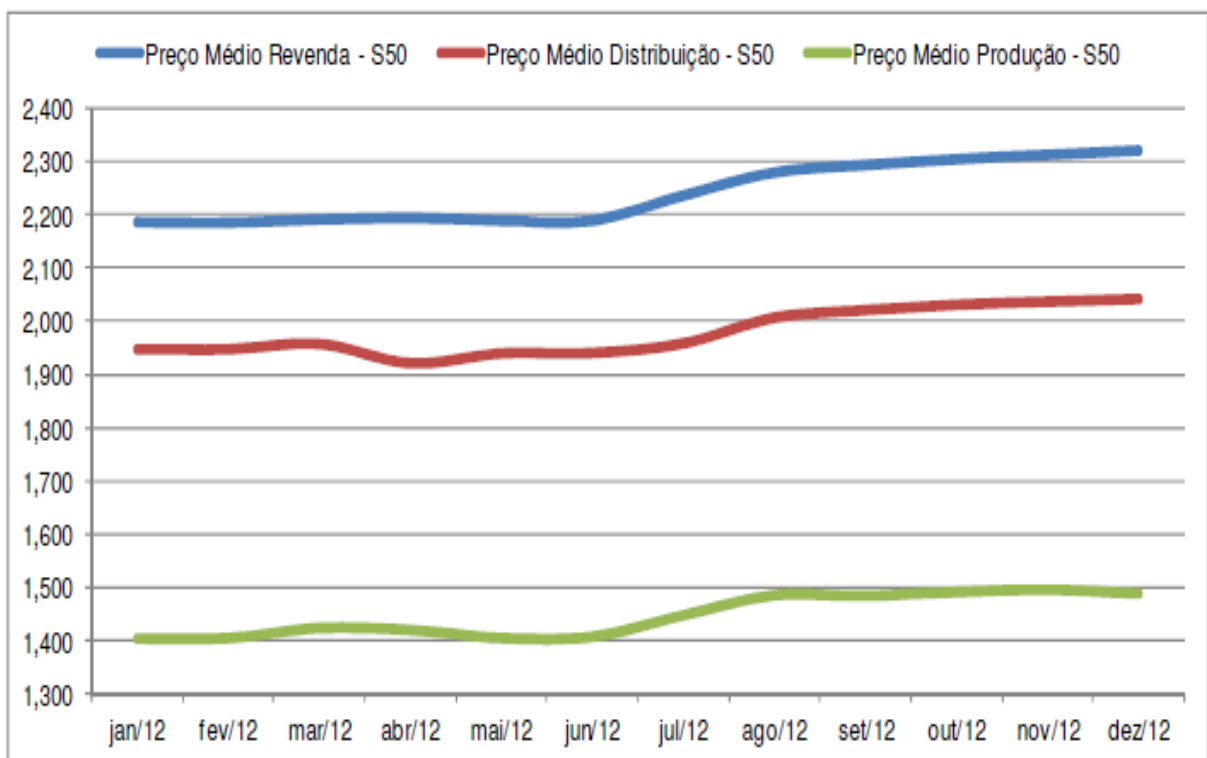


Figura 11 - Comportamento dos preços médios de óleo diesel S50– (R\$/litro), em cada etapa da cadeia [117]

- **Gastos com mão-de-obra:** Para a operação da miniusina e coleta de OGR foram avaliadas as necessidades de força de trabalho sem onerar excessivamente os custos do negócio tendo em vista a baixa escala de produção da planta. Dentro dessa perspectiva foram discriminadas as seguintes competências: 1 técnico em química para o controle de qualidade da matéria-prima coletada bem como do biodiesel produzido; 1 secretária para o atendimento ao público; 1 administrador para a gestão e controle administrativo da empresa; 2 funcionários de produção responsáveis pelo processo de purificação do OGR coletado e pela fabricação do biodiesel; 2 funcionários responsáveis pela coleta de OGR na região de atuação. Também

foram contabilizados os encargos trabalhistas de cada funcionário conforme as regras do regime de tributação simples nacional (33,77% sob o valor do salário) bem como férias e 13º salário. Os valores para a remuneração de cada cargo são descritos na tabela a seguir:

Tabela 4 – Gastos com mão-de-obra

Cargo	Salário
Químico	R\$ 1.400,00
Secretária	R\$ 900,00
Administrador	R\$ 1.500,00
Produção	R\$ 900,00
Coleta de OGR	R\$ 1.050,00

- **Gastos com insumos de produção e coleta:** Após a definição dos gastos relativos a mão-de-obra necessária ao funcionamento da planta piloto de produção, foram estimados os custos relativos aos insumos e serviços utilizados no processo de produção do biodiesel e na coleta de OGR. Dentro dessa categoria foram contabilizados os dispêndios com a aquisição de metanol, catalisador (KOH), energia elétrica, água, frete para entrega do biodiesel aos clientes, combustível e manutenção do veículo utilizado na coleta. Alguns destes valores variam de acordo com a quantidade de óleo coletado. Para a estimativa do dispêndio com metanol foi considerado um valor de 15% em relação ao total de óleo e de 2% para o catalisador conforme o fluxograma a seguir:



Figura 12: Quantidade de insumos e rendimentos da reação

Com relação ao frete, considerou-se o valor de R\$1,00 por km para entrega do biodiesel. Para o seguro do veículo foi realizada uma cotação para uma saveiro usada ano 2005, obtendo o valor de R\$2.700,00 por ano que somado aos tributos (DPVAT, Taxa de licenciamento e IPVA) totaliza a quantia de R\$3.600,00 por ano.

- **Despesas em geral:** Além dos dispêndios atrelados a força de trabalho, processo de produção e coleta, também foram contabilizados outras despesas comuns a qualquer empresa

como: aluguel de imóvel, contador, material de escritório, material de limpeza, publicidade, telefone com internet e serviço de destinação final de resíduos conforme descrito na Tabela 5:

Tabela 5 – Despesas em geral

Despesas	Valor
Aluguel de imóvel	R\$500,00
Contador	R\$300,00
Material de escritório	R\$200,00
Material de limpeza	R\$100,00
Publicidade	R\$300,00
Telefone	R\$100,00
Destinação de resíduos	R\$300,00

4.4. Análise de investimento

Na sequência do trabalho, foram calculados os aportes necessários para colocar a usina piloto em pleno funcionamento, abrangendo itens como máquinas e equipamentos, instalações e licenças necessárias, capital de giro, etc. O modelo de produção escolhido foi a transesterificação com catálise alcalina, uma vez que é a tecnologia mais utilizada em todo o mundo em escala industrial (KARLIS et al, 2012), abrangendo uma base mais ampla de dados científicos confiáveis, além de fazer uso de insumos mais fáceis de serem adquiridos e apresentar um maior número de fabricantes de equipamentos de pequena escala no mercado brasileiro.

Na categoria máquinas e equipamentos, foram realizadas 3 cotações de plantas para produção de biodiesel junto à empresas fabricantes do mercado brasileiro. O nome dos fabricantes foi preservado a fim de evitar à divulgação de informações confidenciais que possam causar problemas a competitividade destas empresas no mercado de atuação. Assim, os 3 orçamentos obtidos foram denominados A, B e C. Foi então avaliada qual a tecnologia apresentou melhor custo benefício com base nas características técnicas julgadas mais adequadas às necessidades do projeto como: capacidade de produção; manutenção; prazo de entrega; assistência técnica; tecnologia eficiente e fácil de operar; qualidade do produto final; e, por fim, o preço do equipamento em relação aos outros fornecedores.

Para a determinação do valor necessário ao capital de giro, foi considerado um montante capaz de cobrir as despesas com os custos variáveis e custos fixos para o período de

2 meses de operação da miniusina. Também foram calculados os gastos relativos à obtenção das licenças e autorizações necessárias a operação da miniusina como: licença ambiental, alvará do corpo de bombeiros, autorização da ANP, etc.

4.5. Análise dos resultados econômicos

Uma vez que os métodos para a avaliação dos principais parâmetros da miniusina de biodiesel foram determinados, a viabilidade econômica do empreendimento pode então ser examinada. Para isso, analisou-se a produção do biocombustível em pequena escala, porém considerando a atividade como um empreendimento onde se espera o retorno do investimento. Para a análise dos resultados econômicos do projeto foi proposta uma abordagem abrangendo os aspectos microeconômicos da atividade produtiva com base nos conceitos da engenharia econômica conforme abordado no item 3.6 da Revisão Bibliográfica, considerando o valor de 18% ao ano para a Taxa Mínima de Atratividade - TMA, o que equivale a uma taxa de 1,5% ao mês, valor superior a qualquer aplicação financeira considerada mais segura, justificando assim os riscos inerentes ao negócio. As outras ferramentas utilizadas no estudo em questão (VPL, TIR e Payback) foram aplicadas sobre os fluxos de caixa de cada cenário avaliado, obtendo-se os resultados de viabilidade econômica para cada um deles conforme demonstrado no capítulo a seguir.

5. Resultados e discussão

5.1. Estudo de mercado

O estudo de mercado tem como objetivo principal analisar as questões relacionadas ao mercado de atuação e o potencial de aceitação do produto a ser lançado. Outro objetivo é detectar as oportunidades existentes e a potencialidade de sucesso do empreendimento, ou em outras palavras, a viabilidade mercadológica do mesmo. Para isso foram analisados os três pilares básicos que compõem um segmento de mercado: clientes, fornecedores e concorrentes.

5.1.1. Fornecedores: Potencial de geração de OGR

Para a determinação do potencial de geração de OGR foi delimitada a área de atuação com a inclusão de 9 municípios vizinhos a cidade sede da miniusina de produção conforme demonstrado no mapa a seguir:



Figura 13 – Mapa da área de captação de matéria-prima (GOOGLE MAPS, 2014)

A partir daí, foram obtidos os dados demográficos de cada cidade da região de captação de matéria-prima de modo a estimar com maior confiança a demanda em potencial de óleo de cozinha usado gerada na região. A Tabela 6 ilustra esses dados:

Tabela 6 – Dados demográficos

Cidade	População	Domicílios
Brasópolis	14.661	4.674
Delfim Moreira	7.971	2.423
Itajubá	90.658	27.909
Maria da Fé	14.216	3.961
Pedralva	11.467	3.401
Piranguçu	5.217	1.610
Piranguinho	8.016	2.412
Santa Rita do Sapucaí	37.754	11.237
São Jose do Alegre	3.996	1.271
Wenceslau Braz	2.553	781
Total	196.509	59.679

Assim, é possível verificar que existe um total de 59.679 domicílios na área de captação de matéria-prima. Considerando que cada domicílio gera em média 7 kg de óleo por ano (IBGE, 2010) e que existe uma perda máxima de 18% (AMORIM at al, 2010) em decorrência da absorção do óleo pelos alimentos durante o processo de fritura, chega-se a uma disponibilidade total de:

$$D_m = \sum_{i=1}^{10} [(Nd_i \times C_{OGR}) - (Nd_i \times C_{OGR}) \times P \ %]$$

$$D_m = \sum_{i=1}^{10} [(Nd_i \times 7) - (Nd_i \times 7) \times 18 \ %]$$

$$D_m = 342.552 \text{ kg/ano.}$$

5.1.2. Clientes

Conforme já mencionado, a miniusina de biodiesel pretende atender a um nicho de mercado específico: as prefeituras municipais da área geográfica de captação de matéria-prima. Para avaliar essa demanda foi aplicado um questionário junto a estes órgãos obtendo os dados discriminados na Tabela 7:

Tabela 7 – Consumo de diesel nas prefeituras da área de atuação

Cidade	Consumo mensal de diesel (litros) na prefeitura
Brasópolis	12.000
Delfim Moreira	15.000
Itajubá	7.000
Maria da Fé	12.000
Pedralva	14.000
Piranguçu	5.900
Piranguinho	12.000
Santa Rita do Sapucaí	16.660
São Jose do Alegre	375
Wenceslau Braz	12.500
Total	107.435

Com o questionário foi possível constatar o interesse de todas as prefeituras na aquisição do biodiesel e uma demanda mensal de **107.435 litros** de óleo diesel. Considerando que a ANP permite uma mistura de até 20% de biodiesel no óleo diesel mineral, é possível calcular a demanda de biodiesel na região de acordo com a fórmula a seguir:

$$C_B = \sum_{i=1}^{10} (Cd_i \times 12) \times P_M \qquad C_B = \sum_{i=1}^{10} (Cd_i \times 12) \times 15\%$$

$$C_B = 193 \text{ toneladas por ano.}$$

Conforme os cálculos do item 5.1.1, estima-se uma disponibilidade máxima em torno de 393 toneladas por ano de OGR na região de atuação, quantia que seria suficiente para suprir a demanda de 193 toneladas de biodiesel por ano.

5.1.3. Concorrentes

Atualmente existem 67 plantas produtoras de biodiesel autorizadas pela ANP para operação no País, correspondendo a uma capacidade total autorizada de 21.397,06 m³/dia. Destas 67 plantas, 63 possuem Autorização para Comercialização do biodiesel produzido, correspondendo a 20.093,04 m³/dia de capacidade autorizada para comercialização. Existem ainda 5 novas plantas de biodiesel autorizadas para construção e 11 plantas de biodiesel autorizadas para ampliação. Dentre as 11 plantas autorizadas para ampliação, 5 são para aumento da capacidade de produção de biodiesel e 6 são para ampliações que não alteram a capacidade final de produção de biodiesel, possuindo como objeto aumento da tancagem, construção de caldeiras ou instalação de novos equipamentos. Com a finalização das obras e posterior autorização para operação, a capacidade total de produção de biodiesel autorizada poderá ser aumentada em 3.001,72 m³/dia, que representa um acréscimo de 14% na capacidade atual. Destaca-se também que atualmente há 2 solicitações de autorização para construção de novas plantas produtoras de biodiesel e 2 solicitações de autorização para construção referente à ampliação de capacidade de plantas já existentes. Tais solicitações encontram-se em processo de análise na ANP. No mês de abril de 2013, foi outorgada uma autorização para ampliação referente à instalação de equipamentos de processo para a empresa COOPERBIO (Cuiabá – MT) e foi cancelada a autorização para Operação nº365 de 09/09/2008 publicada no DOU de 10/09/2008, da empresa BIONORTE (São Miguel do Araguaia – GO), segundo Despacho nº369 de 11/04/2013 publicado no DOU de 12/4/2013 (ANP, 2013). A Tabela 8 mostra todas as plantas produtoras citadas anteriormente:

Tabela 8 - Plantas de biodiesel autorizadas para operação e comercialização (ANP, 2013).

Empresa	Município	UF	Capacidade (m³/dia)¹
ABDIESEL	Varginha	MG	2,4
ABDIESEL	Araguari	MG	6
ADM	Rondonópolis	MT	1352
ADM	Joaçaba	SC	510
AGRENCO	Alto Araguaia	MT	660
AGROPALMA	Belém	PA	80
AMAZONBIO	Ji-Paraná	RO	90
ARAGUASSÚ	Porto Alegre do Norte	MT	100
BARAALCOOL	Barra dos Burgres	MT	190,46
BEIRA RIO	Terra Nova do Norte	MT	12
BIANCHINIBI	Canoas	RS	900
BIG FRANGO	Rolândia	PR	6
BINATAURAL	Formosa	GO	450
BIO BRAZILIAN	Barra do Garças	MT	98
BIO ÓLEO	Cuiabá	MT	150
BIO PETRO	Araraquara	SP	194,44
BIO VIDA	Várzea Grande	MT	18
BIOBRAX	Una	BA	98
BIOCAMP	Campo Verde	MT	300
BIOCAR	Dourados	MS	30
BIONASA	Porangatu	PR	653
BIOPAR	Rolândia	MT	120
BIOPAR	Nova Marilândia	MT	100
BIOSEP	Três Pontas	MG	36
BIOTINS	Paraíso do Tocantins	TO	81
BIOVERDE	Taubaté	SP	503,27
BOCCHI	Muitos Capões	RS	300
BRASIL ECODIESEL	São Luís	MA	360
BSBIOS	Passo Fundo	RS	444
BSBIOS MARINALVA	Marinalva	PR	510
BUNGE	Nova Mutumk	MT	413,7
CAMARA	Ijuí	RS	650
CARAMURU	Ipameri	GO	625
CARAMURU	São Simão	GO	625
GARGILL	Três Lagoas	MS	700
CESBRA	Volta Redonda	RJ	166,7
COMANCHE	Simões Filho	BA	335
COOMISA	Sapezal	MT	12
COOPERBIO	Cuiabá	MT	460
COOPERFELIZ	Feliz Natal	MT	10
DELTA	Rio Brillhante	MT	300

Empresa	Município	UF	Capacidade (m³/dia)¹
FERTIBOM	Catanduva	SP	333,3
FIAGRIL	Lucas do Rio Verde	MT	563
FUGA COUROS	Camargo	RS	300
GRANOL	Porto Nacional	TO	360
GRANOL	Anápolis	GO	1033
GRANOL	Cachoeira do Sul	RS	933,33
GRUPAL	Sorriso	MT	120
INNOVATTI	Mairinque	SP	30
JATAÍ	Jataí	GO	50
JBS	Colider	MT	100
JBS	Lins	SP	560,23
MINERVA	Palmeiras de Goiás	GO	45
OLEOPLAN	Veranópolis	RS	1050
OLFAR	Erechim	RS	600
ORLÂNDIA	Orlândia	SP	150
OURO VERDE	Rolim de Moura	RO	9
PETROBRAS BIOCMBUSTÍVEIS	Montes Claros	MG	422,73
PETROBRAS BIOCMBUSTÍVEIS	Quixadá	CE	301,71
PETROBRAS BIOCMBUSTÍVEIS	Candeias	BA	603,42
POTENCIAL	Lapa	PR	477
RONDOBIO	Rondonópolis	MT	10
SPBIO	Sumaré	SP	83,28
SSIL	Rondonópolis	MT	50
TAUÁ	Nova Mutum	MT	100
Transportadora Caibiense	Rondonópolis	MT	100
V-BIDIESEL	Iraquara	BA	360

Tabela 9 - Resumo das Plantas de biodiesel autorizadas para operação e comercialização (ANP, 2013).

Plantas autorizadas	Quantidade	Capacidade (m³/dia)
Plantas autorizadas somente para operação	4	456,00
Plantas autorizadas para operação e comercialização	63	20.093,04
TOTAL (Plantas autorizadas para operação)	67	21.397,06

5.2. Elaboração de cenários

Verificadas as questões mercadológicas relativas à área geográfica de atuação parte-se para uma análise microeconômica com o objetivo de simular a operação da miniusina de biodiesel e seus possíveis resultados. Para isso, foram elaborados três cenários distintos: pessimista, realista e otimista. Cada projeção foi realizada ao longo de cinco anos com as

receitas sendo calculadas através de um percentual pré-determinado de captação de matéria-prima em relação ao potencial máximo de geração de OGR já calculado anteriormente. Assim, no cenário pessimista foi considerado de 5 a 25% de captação do potencial de geração, no cenário realista considerou-se de 30 a 50% e, por fim, de 55 a 75% de captação no cenário otimista. Também foram avaliados os custos e despesas inerentes ao negócio conforme demonstrado no capítulo 4.3.1. De posse desses dados foram elaborados os demonstrativos de resultados para cada cenário de atuação.

5.2.1 Cenário pessimista

No cenário pessimista foi considerado um intervalo de captação de 5 a 25% do potencial disponível de óleo já calculado anteriormente, com aumentos gradativos de 5% a cada ano de operação. A Tabela 10 ilustra os gastos contabilizados para o primeiro ano de atuação e para os anos subsequentes os valores diferem apenas no consumo de metanol e catalisador que variam de acordo com a quantidade de óleo utilizada no processo produtivo.

Tabela 10 – Cenário pessimista: Custos e despesas

1º ANO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Pessoal													
Salários	7.700	7.700	7.700	7.700	7.700	7.700	7.700	7.700	7.700	7.700	7.700	7.700	92.400
Encargos	2.600	2.600	2.600	2.600	2.600	2.600	2.600	2.600	2.600	2.600	2.600	2.600	31.203
Subtotal													123.603
Administrativas													
Aluguel	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	6.000
Mat. de Escritório	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	2.400
Contador	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	3.600
Material de Limpeza	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1.200
Telefone	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1.200
Subtotal													14.400
Operacionais													
Metanol	247	247	247	247	247	247	247	247	247	247	247	247	2.958
Catalisador	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	1.019
Energia Elétrica	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	2.400
Água / Esgoto	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1.200
Destinação final de resíduos	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	3.600
Frete	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	8.400
Subtotal													16.619
Veículo													
Manutenção / Combustível	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	9.600
Seguro / Tributos	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	3.600
Subtotal													13.200
Promoção / Publicidade	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	3.600
Total													171.422

Com a definição dos custos e despesas inerentes ao negócio é possível elaborar um demonstrativo de resultados considerando a venda de todo o volume de biodiesel e glicerina produzidos, de modo a avaliar os resultados econômicos do cenário em questão conforme demonstrado na Tabela 11:

Tabela 11 – Cenário pessimista: Demonstrativo de resultados

Cenário Pessimista					
	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano	5º ano
Capacidade Produtiva Total (kg / ano)	343.000	343.000	343.000	343.000	343.000
Capacidade de captação	17.150	34.300	51.450	68.600	85.750
1. Receitas Brutas					
1.1 Biodiesel	37.473	74.946	112.418	149.891	187.364
1.2 Glicerina	772	1.544	2.315	3.087	3.859
2. Dedução das Receitas	38.245	76.489	114.734	152.978	191.223
2.1 Impostos	1.147	3.060	5.737	8.261	10.326
3. Receita Líquida	37.097	73.429	108.997	144.717	180.896
4. Custos e Despesas					
4.1 Pessoal	123.603	123.603	123.603	123.603	123.603
4.2 Administrativo	14.400	14.400	14.400	14.400	14.400
4.3 Veículo	13.200	13.200	13.200	13.200	13.200
4.4 Produção	16.619	17.637	18.656	19.675	20.694
4.5 Promoção/Publicidade	3.600	3.600	3.600	3.600	3.600
4.6 Depreciação	25.550	25.550	25.550	25.550	25.550
4.7 Total	196.972	197.991	199.010	200.028	201.047
5. Resultado do Exercício	-159.875	-124.561	-90.013	-55.311	-20.151
6. Acumulado Anual	-159.875	-284.436	-374.449	-429.760	-449.911

A partir dessa simulação, foi possível constatar que no cenário em questão o negócio não teria capacidade de se sustentar em longo prazo, incorrendo em prejuízos até o quinto ano de atividade. Entretanto, foi possível perceber que como a depreciação não incorre necessariamente em uma saída de caixa da empresa, a partir do quinto ano de operação chegasse ao ponto de equilíbrio do negócio que se daria a partir do mínimo de 25% de captação do potencial de óleo na área geográfica de atuação, o que equivale a um volume em torno de **7.145 litros de óleo por mês**.

5.2.2. Cenário realista

O cenário realista foi feito de maneira análoga ao cenário anterior, porém considerou-se agora um intervalo de captação de 30 a 50% do potencial de óleo calculado, também com aumentos gradativos de 5% a cada ano de operação. A Tabela 12 ilustra os gastos contabilizados para o primeiro ano de atuação. Nos anos subsequentes os valores também diferem apenas no consumo de metanol e catalisador que variam de acordo com a quantidade de óleo utilizada no processo.

Tabela 12 – Cenário realista: Custos e despesas

1º ANO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Pessoal													
Salários	7.700	7.700	7.700	7.700	7.700	7.700	7.700	7.700	7.700	7.700	7.700	7.700	92.400
Encargos	2.600	2.600	2.600	2.600	2.600	2.600	2.600	2.600	2.600	2.600	2.600	2.600	31.203
Subtotal													123.603
Administrativas													
Aluguel	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	6.000
Mat. de Escritório	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	2.400
Contador	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	3.600
Material de Limpeza	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1.200
Telefone	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1.200
Subtotal													14.400
Operacionais													
Metanol	1.479	1.479	1.479	1.479	1.479	1.479	1.479	1.479	1.479	1.479	1.479	1.479	17.750
Catalisador	509	509	509	509	509	509	509	509	509	509	509	509	6.112
Energia Elétrica	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	2.400
Água / Esgoto	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1.200
Destinação final de resíduos	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	3.600
Frete	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	8.400
Subtotal													21.712
Veículo													
Manutenção / Combustível	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	9.600
Seguro / Tributos	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	3.600
Subtotal													13.200
Promoção / Publicidade													
	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	3.600
Total	16.189	16.189	16.189	16.189	16.189	16.189	16.189	16.189	16.189	16.189	16.189	16.189	176.516

A partir da definição dos custos e despesas inerentes ao negócio foi elaborado um demonstrativo de resultados para avaliar os resultados econômicos do cenário estudado, também considerando a comercialização de toda a produção conforme demonstrado na Tabela 13 a seguir:

Tabela 13 – Cenário realista: Demonstrativo de Resultados

Cenário Realista					
	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano	5º ano
Capacidade Produtiva Total (kg / ano)	343.000	343.000	343.000	343.000	343.000
Capacidade de captação	102.900	120.050	137.200	154.350	171.500
1. Receitas Brutas					
1.1 Biodiesel	224.837	262.309	299.782	337.255	374.728
1.2 Glicerina	4.631	5.402	6.174	6.946	7.718
2. Dedução das Receitas	229.467	267.712	305.956	344.201	382.445
2.1 Impostos	12.391	15.527	17.745	19.964	23.712
3. Receita Líquida	217.076	252.184	288.211	324.237	358.733
4. Custos e Despesas					
4.1 Pessoal	123.603	123.603	123.603	123.603	123.603
4.2 Administrativo	14.400	14.400	14.400	14.400	14.400
4.3 Veículo	13.200	13.200	13.200	13.200	13.200
4.4 Produção	21.712	22.731	23.750	24.768	25.787
4.5 Promoção/Publicidade	3.600	3.600	3.600	3.600	3.600
4.6 Depreciação	25.550	25.550	25.550	25.550	25.550
4.7 Total	202.066	203.084	204.103	205.122	206.141
5. Resultado do Exercício	15.010	49.100	84.107	119.115	152.593
6. Acumulado Anual	15.010	64.110	148.217	267.332	419.925

Dentro do cenário avaliado, foi possível perceber que o negócio apresenta fluxo de caixa positivo em todos os anos de atividade, gerando um lucro acumulado de **R\$419.925,00** ao final do período de 5 anos analisado. Entretanto, ainda não é possível acercar-se da

viabilidade econômica do cenário em questão sem antes analisar se o montante obtido é capaz de pagar os investimentos necessários à implantação da miniusina, fato que será analisado mais a frente. Também foi possível notar que o intervalo de captação de óleo abrangido pela simulação, de **8.575 litros até 14.290 litros por mês**, é bastante factível visto que a maioria das empresas e cooperativas de reciclagem de OGR existentes na região trabalham nessa faixa de valores.

5.2.3. Cenário otimista

Por fim, no cenário otimista foi considerado um intervalo de captação de 55 a 75% do potencial de óleo calculado, com aumentos gradativos de 5% a cada ano de operação. A Tabela 14 ilustra os gastos contabilizados para o primeiro ano de atuação e os anos subsequentes diferindo apenas no consumo de metanol e catalisador que variam de acordo com a quantidade de óleo utilizada.

Tabela 14 – Cenário otimista: Custos e despesas

1º ANO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Pessoal													
Salários	7.700	7.700	7.700	7.700	7.700	7.700	7.700	7.700	7.700	7.700	7.700	7.700	92.400
Encargos	2.600	2.600	2.600	2.600	2.600	2.600	2.600	2.600	2.600	2.600	2.600	2.600	31.203
Subtotal													123.603
Administrativas													
Aluguel	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	6.000
Mat. de Escritório	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	2.400
Contador	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	3.600
Material de Limpeza	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1.200
Telefone	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1.200
Subtotal													14.400
Operacionais													
Metanol	2.712	2.712	2.712	2.712	2.712	2.712	2.712	2.712	2.712	2.712	2.712	2.712	32.542
Catalisador	934	934	934	934	934	934	934	934	934	934	934	934	11.206
Energia Elétrica	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	2.400
Água / Esgoto	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1.200
Destinação final de resíduos	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	3.600
Frete	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	8.400
Subtotal													26.806
Veículo													
Manutenção / Combustível	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	9.600
Seguro / Tributos	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	3.600
Subtotal													13.200
Promoção / Publicidade													
	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	3.600
Total	17.846	17.846	17.846	17.846	17.846	17.846	17.846	17.846	17.846	17.846	17.846	17.846	181.609

Com a definição dos custos e despesas inerentes ao negócio é possível elaborar um demonstrativo de resultados para avaliar os resultados econômicos desta simulação conforme demonstrado na Tabela 15:

Tabela 15 – Cenário otimista: Demonstrativo de Resultados

Cenário Otimista					
	1º ano	2º ano	3º ano	4º ano	5º ano
Capacidade Produtiva Total (kg / ano)	343.000	343.000	343.000	343.000	343.000
Capacidade de captação	188.650	205.800	222.950	240.100	257.250
1. Receitas Brutas					
1.1 Biodiesel	412.200	449.673	487.146	524.619	562.091
1.2 Glicerina	8.489	9.261	10.033	10.805	11.576
2. Dedução das Receitas	420.690	458.934	497.179	535.423	573.668
2.1 Impostos	26.083	28.454	32.814	35.338	37.862
3. Receita Líquida	394.607	430.480	464.365	500.085	535.805
4. Custos e Despesas					
4.1 Pessoal	123.603	123.603	123.603	123.603	123.603
4.2 Administrativo	14.400	14.400	14.400	14.400	14.400
4.3 Veículo	13.200	13.200	13.200	13.200	13.200
4.4 Produção	26.806	27.825	28.843	29.862	30.881
4.5 Promoção/Publicidade	3.600	3.600	3.600	3.600	3.600
4.6 Depreciação	25.550	25.550	25.550	25.550	25.550
4.7 Total	207.159	208.178	209.197	210.215	211.234
5. Resultado do Exercício	187.447	222.302	255.168	289.870	324.571
6. Acumulado Anual	187.447	409.750	664.918	954.787	1.279.359

O cenário em questão mostra-se muito atrativo sob o ponto de vista da geração de caixa obtida pelo empreendimento, chegando a um montante acumulado de **R\$1.279.359,00** ao final do período de 5 anos analisado. Entretanto, é importante ressaltar que os custos relativos à logística de coleta mantiveram-se constantes, fato que pode interferir na viabilidade econômica do negócio devido ao grande acréscimo no volume de óleo coletado em relação aos cenários anteriores, abrangendo um intervalo de **15.720 a 21.437 litros por mês**.

5.3. Análise de investimento

Verificado o potencial de geração de caixa da miniusina de produção de biodiesel, parte-se para a análise dos investimentos necessários a sua implantação. Para isso, os recursos foram divididos nos seguintes itens: planta industrial, capital de giro, licenças e autorizações, veículos e um adicional de 10% do valor total para eventuais imprevistos, obras civis e instalações necessárias. Também foram calculados os gastos relativos à depreciação de máquinas, equipamentos, veículos, etc.

O fluxo de caixa é um dos aspectos mais importantes para a avaliação da capacidade de investimento de uma empresa, porém o saldo final de caixa não coincide com o DRE e o lucro líquido, apurados pelo resultado contábil da empresa através do regime de competência.

Eles são mensurados pelas efetivas movimentações de todas as entradas e saídas de fundos da empresa sem incorporar as despesas “não-desembolsáveis” como a depreciação e a amortização do principal de dívidas, por exemplo. A regra básica é de que todo projeto de investimento seja avaliado em termos de fluxo de caixa, e não apenas com base nos lucros, uma vez que é por meio de resultado de caixa que a empresa assume efetiva capacidade de pagamento e re-aplicação dos benefícios gerados pelos recursos investidos. Assim, o fluxo de caixa final do projeto foi calculado através do lucro líquido obtido em cada cenário simulado anteriormente adicionado às despesas não-desembolsáveis, caso da depreciação, conforme demonstrado na Tabela 16 que mostra a composição final dos investimentos juntamente com os valores relativos à depreciação que foram calculados da seguinte forma: 10% ao ano para máquinas e equipamentos, tancagem e mobília; 20% ao ano para veículos e 25% para suprimentos de informática e ferramentas.

Tabela 16 – Investimentos totais da miniusina e depreciação

INVESTIMENTOS		DEPRECIÇÃO	
Máquinas e Equipamentos	R\$ 180.000,00	R\$ 18.000,00	
Tancagem (Matéria-prima e Biodiesel)	R\$ 18.000,00	R\$ 1.800,00	
Computadores / Ferramentas	R\$ 5.000,00	R\$ 1.250,00	
Mobília Básica	R\$ 7.000,00	R\$ 700,00	
Veículo	R\$ 19.000,00	R\$ 3.800,00	
Licenças	R\$ 4.000,00	-	
Capital de Giro	R\$ 38.343,29	-	
Imprevistos (10% do total)	R\$ 27.134,33	-	
TOTAL	R\$ 298.477,62	R\$ 25.550,00	

Os itens discriminados na tabela acima são melhor detalhados nos tópicos subsequentes.

5.3.1. Planta industrial

Para a avaliação dos recursos necessários a aquisição das máquinas e equipamentos utilizados no processo de produção de biodiesel foram realizadas 3 cotações junto à fornecedores nacionais de miniusinas no mercado. O nome dos fabricantes foi preservado a fim de evitar à divulgação de informações confidenciais que possam causar problemas a competitividade destas empresas no mercado de atuação. Os 3 orçamentos obtidos foram denominados de A, B e C e são descritos a seguir.

5.3.1.1. Fornecedor A

Junto ao fornecedor A foi orçada a miniusina de biodiesel de menor capacidade nominal, **500 litros/dia**, composta basicamente dos seguintes elementos:

- Conjunto de tanques para armazenamento e bombas para matéria-prima (óleos vegetais, álcool e catalisador). Para o armazenamento de produtos acabados (biodiesel e glicerina) os tanques serão dimensionados e fornecidos pelo cliente;
- Unidade industrial de produção de biodiesel com conjunto de reação de transesterificação formado por bombas, reator, decantador (separação de fases: biodiesel/glicerina);
- Conjunto de destilação e recuperação do álcool da glicerina e do biodiesel formado por bombas, evaporador e condensador;
- Sistema de adequação do biodiesel formado por lavador, aquecedor, secador, resfriador e filtro;
- Tanques intermediários para as etapas de reação, recuperação de álcool do biodiesel e glicerina e da adequação do biodiesel;
- Sistema de aquecimento formado por resistências elétricas instaladas nos equipamentos;
- Torres de resfriamento com bomba de circulação de água;
- Painel de força e comando para os motores dos aparelhos e bombas com controles de temperatura por meio de termostatos.

Neste levantamento preliminar de custos para fabricação da unidade de produção de biodiesel descrita acima, o montante total a ser investido é de **R\$ 385.000,00**.

5.3.1.2. Fornecedor B

No segundo orçamento obtido, a usina de menor porte possui capacidade nominal de **800 litros/dia** de biodiesel, sendo composta basicamente dos seguintes elementos:

- 01 tanque com volume de 220 litros (bioreator) com tampa e fundo cônico, incluindo suporte de 3 pés, construído em chapa de aço inox AISI-304, espessura USG 14 – 1,92mm, com adaptação de acessórios para tubulação soldada ao lado do cilindro, conforme dimensões indicadas;
- 01 tanque com volume de 70 litros (Metox) acoplado ao sistema do tanque principal;
- 02 bombas de aço inox periféricas de 1 cv – 220 Volts;
- 01 filtro de óleo em aço inox 304 type com capacidade de filtragem de 1.000 litros/hora correspondendo à uma unidade com bomba, quadro elétrico, duas torres, suporte e rodas;
- 01 filtro de purificação de biodiesel e recuperador de metanol em aço inox 304 type com capacidade de filtragem de 1.000 litros/hora formado por uma unidade com bomba, quadro elétrico, duas torres, suporte e rodas.



Figura 10 – Mini-usina do fornecedor B

Neste levantamento preliminar de custos para fabricação da unidade de produção de biodiesel descrita acima, o valor total do investimento foi de **R\$ 180.000,00**.

5.3.1.3. Fornecedor C

No último orçamento obtido também foi cotada a miniusina de biodiesel de menor porte, com capacidade de produção de **500 litros/dia**, composta dos seguintes equipamentos:

- 01 tanque de medição e controle de temperatura com capacidade de 200 litros/batelada, construído em aço carbono;
- 01 reator com capacidade de 50 litros/batelada, construído em aço inox AISI 304 para dissolução do catalisador no álcool;
- 01 reator com capacidade de 250 litros/batelada construído em aço inox AISI 304 para o processo de transesterificação;
- 02 tanques de separação da glicerina com capacidade de 250 litros/batelada confeccionados em polipropileno fluoretado, especialmente desenhados para líquidos viscosos;
- 01 sistema de purificação de biodiesel com capacidade de 500 litros/dia;
- 01 unidade recuperadora de metanol e redutora de umidade com capacidade de 250 litros/batelada, produzida em aço inox AISI 304;
- 01 sistema de pré-tratamento do óleo usado com mesa de filtragem e tanque coletor provido de peneira e aquecimento elétrico.
- Itens adicionais: tubulações, curvas, uniões, tees, válvulas e acessórios diversos para interligação entre os equipamentos, pés de sustentação, estrutura metálica, escadas, plataforma, corrimões, painel elétrico completo para os acionamentos, aquecedores e termostato.

No levantamento preliminar de custos para fabricação da unidade de produção de biodiesel descrita acima, chega-se a um valor total de investimento de **R\$ 180.000,00**.

5.3.1.4. Análise dos fornecedores e itens adicionais à planta industrial

De posse dos três orçamentos foi então avaliada qual a tecnologia apresentou melhor custo benefício com base nas características técnicas julgadas mais adequadas às necessidades do projeto como: capacidade de produção, manutenção, prazo de entrega, assistência técnica, eficiência tecnológica, facilidade de operação, qualidade do produto final, e, por fim, o preço do equipamento em relação aos outros fornecedores. Dessa forma, o equipamento do **fornecedor B** foi considerado o de melhor custo-benefício, pois apresenta uma maior capacidade de produção (800 litros/dia) por um preço praticamente igual ao do fornecedor C e bem abaixo ao do fornecedor A, ambos de capacidade inferior (500 litros/dia). Também foram orçados outros equipamentos necessários à operação da planta como os tanques para armazenamento dos produtos finais (biodiesel e glicerina), móveis, computadores e ferramentas.

5.3.2. Capital de giro

O capital de giro é o recurso utilizado para sustentar as operações do dia-a-dia de uma empresa, ou seja, é o capital que precisa estar disponível em caixa para a condução normal do negócio. Um dos pontos importantes da administração eficiente do capital de giro é seu impacto no fluxo de caixa da empresa, visto que o volume de capital de giro utilizado depende de seu volume de vendas, política de crédito e do nível de estoque mantido. O capital de giro necessita de recursos para seu financiamento, ou seja, quanto maior for seu valor, maior a necessidade de financiamento, seja com recursos próprios, seja com recursos de terceiros. Para a determinação destes recursos deve ser analisado o ciclo operacional do projeto, que é subdividido em ciclos econômico e financeiro. O ciclo econômico reflete o processo produtivo, da compra de insumos à venda dos bens e serviços. O financeiro, por sua vez, vai do pagamento da compra de insumos ao recebimento pelas vendas. Logo, esse espaço de tempo deve ser coberto por recursos financeiros que devem estar previstos no montante inicial disponível para o investimento no projeto. Para esta simulação foi considerado um valor capaz de cobrir todos os custos e despesas durante 2 meses de operação da miniusina. Como foram feitos 3 cenários de custos diferentes, optou-se por utilizar os valores do último ano do cenário otimista, pois estes seriam os valores máximos que podem ocorrer durante toda a simulação, totalizando um montante de **R\$38.343,29**.

5.3.3. Licenças

Para a legalização da operação são necessários alguns documentos como contrato social, licenças e autorizações para o funcionamento da miniusina, incluindo: alvará municipal de funcionamento, licenças ambientais da esfera estadual (FEAM) e federal (IBAMA), alvará do corpo de bombeiros com a elaboração de projeto de combate a incêndio, e, por fim, autorização para a produção de biodiesel junto a ANP. A estimativa total de recursos para a retirada de toda a documentação citada é de **R\$4.000,00**.

5.3.4. Veículos

No que tange a logística do empreendimento, foi considerado que a entrega do biodiesel será realizada por empresa terceirizada com o objetivo de reduzir os gastos relativos a aquisição de um veículo de grande porte. Para a coleta de OGR foi considerada a aquisição de um veículo saveiro flex usado ano 2005 com capacidade de carga de 700 kg, devido aos menores gastos com manutenção, facilidade de peças de reposição e também pela maior facilidade de locomoção em áreas urbanas e de trânsito mais intenso. De acordo com a tabela FIPE, o veículo mencionado anteriormente pode ser adquirido por um valor em torno de **R\$19.000,00**.

5.4. Análise dos resultados econômicos

Determinadas todas as variáveis necessárias à análise da viabilidade econômica dos cenários elaborados, parte-se para a verificação dos possíveis resultados destas simulações. Para isso foram utilizadas algumas ferramentas de engenharia econômica aplicadas ao fluxo de caixa de cada cenário com a inclusão da depreciação conforme demonstrado na sequência.

5.4.1. Cenário pessimista

O fluxo de caixa obtido para o cenário pessimista é mostrado na Tabela 17, sendo os valores negativos realçados em vermelho e os valores positivos mostrados em azul:

Tabela 17 – Cenário pessimista: Fluxo de caixa

Fluxo de Caixa						
	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5
Lucro Líquido		R\$ (159.875,03)	R\$ (124.561,46)	R\$ (90.012,79)	R\$ (55.311,13)	R\$ (20.150,55)
Depreciação	(Investim)	R\$ 25.550,00	R\$ 25.550,00	R\$ 25.550,00	R\$ 25.550,00	R\$ 25.550,00
Fluxo de Caixa	-R\$ 298.477,62	R\$ (134.325,03)	R\$ (99.011,46)	R\$ (64.462,79)	R\$ (29.761,13)	R\$ 5.399,45

5.4.1.1. Valor presente líquido - VPL

Inicialmente, foi utilizado o valor presente líquido (VPL) como primeiro critério de avaliação. O VPL expressa o resultado econômico atualizado, ou seja, a riqueza absoluta gerada pelo projeto. O valor presente líquido é obtido pela diferença entre o valor presente dos benefícios líquidos de caixa, previstos para cada período do horizonte de duração do projeto, e o valor presente do investimento. É um critério de aceitação e rejeição de um projeto. Todo investimento que apresentar um valor presente líquido maior ou igual à zero é considerado atraente. Projetos com valor negativo indicam um retorno inferior à taxa mínima requerida para o investimento, revelando ser economicamente desinteressante sua aceitação. O cálculo do VPL ocorre através do fluxo de caixa do projeto que é trazido para o valor presente utilizando-se a taxa mínima de atratividade de 18% ao ano por meio da seguinte fórmula:

$$VPL(i) = \sum_{j=0}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} - I$$

$$VPL = -134.325,03/(1+18\%) - 99.011,46/(1+18\%)^2 - 64.462,79/(1+18\%)^3 - 29.761,13/(1+18\%)^4 + 5.399,45/(1+18\%)^5 - 298.477,62$$

$$VPL = - 237.167,61 - 298.477,62$$

$$VPL = - 535.645,23$$

Observa-se que descontando os vários fluxos de caixa pela taxa anual de 18%, o VPL é inferior à zero, demonstrando que o investimento não oferece rentabilidade superior à mínima aceitável. Nessa situação de geração de riqueza líquida negativa, a decisão não agrega valor econômico à empresa, confirmando a inviabilidade do cenário em questão.

5.4.1.2. Taxa interna de retorno - TIR

O segundo método de avaliação considerado na análise é a Taxa Interna de Retorno. Esta é uma das técnicas mais utilizadas para a avaliação de alternativas de investimentos. A TIR, em outras palavras, é a taxa de desconto que faz com que o VPL de uma oportunidade de investimento iguale-se a zero (já que o valor presente das entradas de caixa é igual ao investimento inicial). A aceitação ou rejeição de determinado investimento é decidida em função do processo de comparação da taxa interna de retorno obtida com a rentabilidade mínima requerida pela empresa para seus investimentos, ou seja, a TMA. Se a TIR exceder ou igualar o percentual mínimo desejado pela empresa considera-se o investimento como economicamente atraente, devendo ser aceito. Caso contrário deverá ser rejeitado. O cálculo da TIR também ocorre através do fluxo de caixa do projeto, ou seja, ao se descontarem vários fluxos previstos de caixa pela TIR, o resultado atualizado será exatamente igual ao montante do investimento, denotando-se, por conseguinte, a rentabilidade do projeto conforme demonstra a equação:

$$0 = \sum_{j=0}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} - I$$

$$0 = -134.325,03/(1+TIR) - 99.011,46/(1+TIR)^2 - 64.462,79/(1+TIR)^3 - 29.761,13/(1+TIR)^4 + 5.399,45/(1+TIR)^5 - 298.477,62$$

Para o cenário em questão percebe-se que a maioria dos fluxos de caixa são negativos, fato que impede o cálculo correto da taxa de interna de retorno, visto que esta não tem significado prático para valores menores do que zero. Logo, é possível perceber que neste cenário a TIR não está agregando valor e riqueza ao projeto, confirmando a inviabilidade do mesmo.

5.4.1.3. Payback

O último critério a ser avaliado é o chamado payback, ou seja, o tempo necessário para que o investimento seja recuperado por meio de benefícios incrementais líquidos de caixa providos pelo investimento. É o período em que os valores dos investimentos (fluxos

negativos) se anulam com os respectivos valores de caixa (fluxos positivos). O período de *payback* é interpretado com frequência como um importante indicador do nível de risco de um investimento. Quanto maior for esse prazo, maior será o risco envolvido no empreendimento. O *payback* é encontrado descontando-se os fluxos de caixa livre, que é o caixa disponível aos investidores, do montante inicial investido conforme demonstrado na Tabela 18:

Tabela 18 – Cenário pessimista: Payback

Ano	Investimentos	Fluxo de Caixa	Saldo a Pagar
0	R\$ (298.477,62)	-	R\$ (298.477,62)
1		R\$ (134.325,03)	R\$ (432.802,64)
2		R\$ (99.011,46)	R\$ (531.814,10)
3		R\$ (64.462,79)	R\$ (596.276,89)
4		R\$ (29.761,13)	R\$ (626.038,02)
5		R\$ 5.399,45	R\$ (620.638,57)

Conforme verificado na tabela acima, o projeto não é capaz de retornar os investimentos realizados dentro do período de 5 anos avaliado, revelando a necessidade de novas rodadas de investimentos para que o negócio não acumule dívidas. Este fato denota a inviabilidade econômica do cenário avaliado.

5.4.2. Cenário realista

O fluxo de caixa obtido no cenário realista é mostrado na Tabela 19, onde é possível verificar a não ocorrência de valores negativos:

Tabela 19 – Cenário realista: Fluxo de caixa

Fluxo de Caixa						
	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5
Lucro Líquido		R\$ 15.010,04	R\$ 49.099,78	R\$ 84.107,39	R\$ 119.115,00	R\$ 152.592,83
Depreciação	(Investim)	R\$ 25.550,00	R\$ 25.550,00	R\$ 25.550,00	R\$ 25.550,00	R\$ 25.550,00
Fluxo de Caixa	-R\$ 298.477,62	R\$ 40.560,04	R\$ 74.649,78	R\$ 109.657,39	R\$ 144.665,00	R\$ 178.142,83

5.4.2.1. Valor presente líquido - VPL

Este cenário também foi avaliado pelo valor presente líquido através do fluxo de caixa do projeto que é trazido para a data zero utilizando-se a taxa mínima de atratividade de 18% ao ano por meio da fórmula:

$$VPL(i) = \sum_{j=0}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} - I$$

$$VPL = 40.560,04/(1+18\%) + 74.649,78/(1+18\%)^2 + 109.657,39/(1+18\%)^3 + 144.655,00/(1+18\%)^4 + 178.142,83/(1+18\%)^5 - 298.477,62$$

$$VPL = 307.210,57 - 298.477,62$$

$$\mathbf{VPL = 8.732,95}$$

Assim, é possível observar que mesmo descontando os vários fluxos de caixa pela taxa anual de 18%, o VPL é superior à zero, demonstrando que o investimento oferece rentabilidade superior à mínima aceitável. Nessa situação de geração de riqueza líquida positiva, a decisão agrega valor econômico à empresa, confirmando a viabilidade do projeto.

5.4.2.2. Taxa interna de retorno - TIR

O cenário realista também foi analisado pelo método da taxa interna de retorno de maneira análoga ao tópico anterior com o cálculo sendo realizado pela seguinte equação:

$$0 = \sum_{j=0}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} - I$$

$$0 = 40.560,04/(1+TIR) + 74.649,78/(1+TIR)^2 + 109.657,39/(1+TIR)^3 + 144.655,00/(1+TIR)^4 + 178.142,83/(1+TIR)^5 - 298.477,62$$

$$\mathbf{TIR = 19\%}$$

Para a resolução do cálculo acima e obtenção do resultado foi utilizado o software Microsoft Excel que já apresenta uma função própria para isso. Comparando a TIR obtida com a TMA de 18% (TIR>TMA) conclui-se que a taxa interna de retorno está agregando valor e riqueza ao projeto, confirmando a viabilidade do mesmo.

5.4.2.3. Payback

Conforme feito anteriormente, o payback para o cenário realista foi calculado descontando-se os fluxos de caixa livre, que é o caixa disponível aos investidores, do montante inicial investido conforme demonstrado na Tabela 20:

Tabela 20 – Cenário realista: Pay Back

Ano	Investimentos	Fluxo de Caixa	Saldo a Pagar
0	R\$ (298.477,62)	-	R\$ (298.478)
1		R\$ 40.560,04	R\$ (257.917,58)
2		R\$ 74.649,78	R\$ (183.267,79)
3		R\$ 109.657,39	R\$ (73.610,40)
4		R\$ 144.665,00	R\$ 71.054,60
5		R\$ 178.142,83	R\$ 249.197,43

De acordo com a tabela acima, é possível obter o retorno do capital investido no período de 3 anos e meio aproximadamente. Este prazo pode ser considerado atrativo em comparação a alternativas de investimento mais conservadoras, remunerando adequadamente os investidores que assumiram os riscos inerentes ao negócio. Logo, é possível perceber que o cenário realista é viável economicamente, pois todos os 3 critérios analisados apresentam resultados favoráveis ao empreendimento.

5.4.3. Cenário otimista

Para o cenário otimista, o fluxo de caixa obtido é mostrado na Tabela 21 a seguir, onde também foi possível verificar a não ocorrência de valores negativos:

Tabela 21 – Cenário otimista: Fluxo de caixa

Fluxo de Caixa

	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5
Lucro Líquido		R\$ 187.447,46	R\$ 222.302,09	R\$ 255.168,01	R\$ 289.869,66	R\$ 324.571,32
Depreciação	(Investim)	R\$ 25.550,00	R\$ 25.550,00	R\$ 25.550,00	R\$ 25.550,00	R\$ 25.550,00
Fluxo de Caixa	-R\$ 298.477,62	R\$ 212.997,46	R\$ 247.852,09	R\$ 280.718,01	R\$ 315.419,66	R\$ 350.121,32

5.4.3.1. Valor presente líquido - VPL

De maneira análoga aos cenários anteriores, foi utilizado o valor presente líquido para a análise de viabilidade do cenário em questão por meio do fluxo de caixa do projeto que é trazido para o valor presente utilizando-se a taxa mínima de atratividade de 18% ao ano por meio da seguinte fórmula:

$$VPL(i) = \sum_{j=0}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} - I$$

$$VPL = 212.977,46/(1+18\%) + 247.852,09/(1+18\%)^2 + 280.718,01/(1+18\%)^3 + 315.419,66/(1+18\%)^4 + 350.121,32/(1+18\%)^5 - 298.477,62$$

$$VPL = 845.094,69 - 298.477,62$$

$$VPL = 546.617,07$$

Observa-se que mesmo descontando os vários fluxos de caixa pela taxa anual de 18%, o VPL é superior à zero, demonstrando que o investimento oferece rentabilidade superior à mínima aceitável. Nessa situação de geração de riqueza líquida positiva, a decisão agrega valor econômico à empresa, confirmando a viabilidade do projeto.

5.4.3.2. Taxa interna de retorno - TIR

Conforme já mencionado anteriormente, a TIR é definida como a taxa de desconto que iguala o valor presente das entradas de caixa ao investimento inicial referente a um projeto. Este cálculo foi realizado pela seguinte equação:

$$0 = \sum_{j=0}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} - I$$

$$0 = 212.977,46/(1+TIR) + 247.852,09/(1+TIR)^2 + 280.718,01/(1+TIR)^3 + 315.419,66/(1+TIR)^4 + 350.121,32/(1+TIR)^5 - 298.477,62$$

TIR = 78%

Para a resolução do cálculo acima e obtenção do resultado também foi utilizado o software Microsoft Excel que já apresenta uma função própria para isso. Comparando a TIR obtida com a TMA de 18% (TIR>TMA) conclui-se que a taxa interna de retorno está agregando valor e riqueza ao projeto, confirmando a viabilidade do mesmo.

5.4.3.3. Payback

O payback também foi avaliado para o cenário otimista através do fluxo de caixa obtido conforme demonstrado na Tabela 22:

Tabela 22 – Cenário otimista: Pay Back

Ano	Investimentos	Fluxo de Caixa	Saldo a Pagar
0	R\$ (298.477,62)	-	R\$ (298.477,62)
1		R\$ 212.997,46	R\$ (85.480,16)
2		R\$ 247.852,09	R\$ 162.371,93
3		R\$ 280.718,01	R\$ 443.089,94
4		R\$ 315.419,66	R\$ 758.509,60
5		R\$ 350.121,32	R\$ 1.108.630,92

Conforme verificado na tabela acima, é possível obter o retorno do capital investido em apenas 1 ano e 4 meses de operação da miniusina, prazo que pode ser considerado extremamente atrativo em comparação a outras alternativas de investimento mais conservadoras, remunerando adequadamente os investidores que assumiram os riscos inerentes ao negócio e juntamente com os outros critérios analisados corrobora para a viabilidade econômica do empreendimento.

6. Conclusão

Através do estudo em questão foi possível chegar as seguintes conclusões sobre a viabilidade técnico-econômica da miniusina de produção de biodiesel a partir de OGR:

- A transesterificação alcalina é o método de produção de biodiesel mais utilizado pela indústria, tendo NaOH e KOH como os catalisadores mais amplamente utilizados, sendo KOH o mais viável para a produção de biodiesel a partir de OGR;
- Se o teor de ácidos graxos livres for maior do que 1%, um catalisador ácido é uma boa escolha. No entanto, este processo requer alta concentração de catalisador e proporção molar conduzindo a problemas de corrosão nos reatores;
- A utilização de enzimas também tem sido empregada na produção de biodiesel com relatos de elevado rendimento em estéres a partir do óleo de cozinha usado, entretanto, o longo tempo de reação e o curto período de atividade das enzimas ainda são questões que afetam a viabilidade econômica do seu uso;
- No caso da utilização do álcool supercrítico, taxas mais elevadas de reação foram observadas quando comparadas com a transesterificação convencional. Outra vantagem é que os ácidos graxos livres são convertidos completamente em ésteres. No entanto, os requisitos de elevada temperatura, pressão e razão molar de óleo para álcool tornam o processo dispendioso para a escala industrial;
- Sob o ponto de vista mercadológico, é possível concluir que existe uma disponibilidade máxima de 343 toneladas por ano de OGR na área de atuação e uma demanda de biodiesel em torno de 193 toneladas por ano considerando apenas as prefeituras da área de atuação;
- Por fim, a implantação de uma miniusina de produção de biodiesel a partir de OGR em Itajubá/MG é economicamente viável a partir de um volume mínimo de 8.500 litros por mês. Além disso, para uma faixa de captação de OGR considerada realista que vai de 8.500 a 14.300 litros é possível obter uma TIR de 19%, VPL de R\$ 8.732,95 e payback de 3 anos e meio para um investimento total de R\$ 298.477,62.

7. Sugestões para trabalhos futuros

De forma a contribuir com a melhoria e aumento da base de conhecimentos científicos ã respeito do tema deste trabalho são feitas algumas sugestões para possíveis trabalhos futuros de outros pesquisadores:

- **Créditos de carbono:** Neste estudo desprezou-se a geração de receitas adicionais a partir da negociação de créditos de carbono. Considerando-se que a cadeia produtiva do biodiesel é geradora de créditos de carbono, sugere-se que sejam realizados estudos de viabilidade econômica contemplando os efeitos de se adicionar eventuais receitas à empresa produtora de biodiesel, geradas pela negociação desses contratos.

- **Análise de sensibilidade:** No trabalho não foi realizada análise de sensibilidade para verificar a influência de cada variável isoladamente na viabilidade econômica do projeto como o impacto do preço do óleo residual, custos logísticos de coleta e entrega do biodiesel, programas de educação ambiental e conscientização da população, fatores que poderiam ser abordados em novos trabalhos.

- **Modelagem matemática:** Outra sugestão de trabalho futuro seria o desenvolvimento de um modelo matemático para a determinação da função de transferência que rege a operação da usina de produção de biodiesel a partir de OGR em escala piloto de modo a obter os parâmetros necessários ao scale-up da planta e a análise de viabilidade econômica do empreendimento para uma maior capacidade de operação.

Referências bibliográficas

ALCANTARA, R.; AMORES, J.; CANOIRA, L.; FIDALGO, E.; FRANCO, M. J.; NAVARRO, A. **Catalytic production of biodiesel from soy-bean oil, used frying oil and tallow.** *Biomass Bioenergy* 2000;18:515–27.

ALI, Y.; HANNA, M. A. **Alternative diesel fuels from vegetable oils.** *Bioresour Technol* 1994;50 (2):153–63.

ALLAWZI, M.; KANDAH, M. I. Parametric study of biodiesel production from used soybean oil. *Eur J Lipid Sci Technol* 2008;110(8):760–7.

ALTIN, R.; CETINKAYA, S.; YUCESU, H. S. **The potential of using vegetable oil fuels as fuel for diesel engines.** *Energy Convers Manage* 2001;42(5):529–38.

AL-WIDYAN, M. I.; AL-SHYOUKH, A. O. Experimental evaluation of the transesterification of waste palm oil into biodiesel. *Bioresour Technol* 2002;85:253–6.

AMORIM, M. M. A.; JUNQUEIRA, R. G.; JOKL, L. **Consumo de óleo e gordura nas preparações do almoço self-service.** *Alim. Nutr., Araraquara*, v. 21, n. 2, p. 217-223, abr./jun, 2010.

ANP. **Agência Nacional Do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.** Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?pg=9201&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1262617588151>>. Acesso: 14 de março de 2012.

ANP. **Boletim Anual de Preços de Petróleo, Gás Natural e Combustíveis nos Mercados Nacional e Internacional de 2013.** Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?dw=65868>>. Acessado em: Maio, 2013

ANP. **Boletim Mensal do Biodiesel, Abril de 2013.** Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?pg=65917&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1370112188884>>. Acessado em: Maio, 2013.

ARQUIZA, A. C.; BAYUNGAN, M. C.; TAN, R. **Production of biodiesel and oleochemicals from used frying oil.** University of Philippines, Los Baños, 2000.

BALAT, M. **Biodiesel from vegetable oils via transesterification in supercritical ethanol.** Energy Edu Sci Technol 2005;16:45–52

BALAT, M.; BALAT, H. **A critical review of bio-diesel as a vehicular fuel.** Energy Convers Manage 2008;49:2727–41.

BALARINE, O. F. O. **Tópicos de matemática financeira e engenharia econômica.** 2. ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2004.

BASU, H. N.; NORRIS, M. E. **Process for production of esters for use as a diesel fuel using a non-alkaline catalyst.** US Patent No. 5525126, June 11, 1996.

BERRUTI, F.; BRIENS, C. **Industrial and commercial fats, oils and greases. Final Report. Green fuels and chemicals—GPE 4484/CBE 9334.** Faculty of engineering. The University of Western Ontario (2011).

BIOX Process. Disponível em <www.bioxcorp.com>; Acessado em abril de 2012.

BREALEY, A. R.; MMYERS, C. S.; ALLEN, F. **Princípios de Finanças Corporativas.** 8. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2008.

BRUNI, A. L.; FAMÁ, R.; SIQUEIRA, J. O. **Análise do risco na avaliação de projetos de investimento: Uma aplicação do método de Monte Carlo.** São Paulo: Caderno de Pesquisas em Administração, v.1, n°6, 1° Trim.1998.

Cadernos NAE / Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. n° 2 (jan.2005). Brasília: Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica, 2005.

CANAKCI, M.; GERPEN, J. V. **Biodiesel production via acid catalysis.** Trans ASAE 1999;42(5):1203–10.

CANAKCI, M.; OZSEZEN, A. N. **Evaluating waste cooking oil as alternative diesel fuel.** GU J Sci 2005;18(1):81–91.

CANAKCI, M.; SANLI, H. **Biodiesel production from various feedstocks and their effects on the fuel properties.** J Ind Microbiol Biotechnol 2008;35(5):431–41.

CASAROTTO FILHO, N.; KOPITTE, B. H. **Análise de Investimentos.** São Paulo: Atlas, 1998.

CERVERO, P. J. M.; COCA, J.; LUQUE, S. **Production of biodiesel from vegetable oils.** Grasas y Aceites 2008;59(1):76–83.

CHEN, G.; YING, M.; LI, W. **Enzymatic conversion of waste cooking oils into alternative fuel–biodiesel.** Appl Biochem Biotrechnol 2006;129-132(1–3):911–21.

CHHETRI, A. B.; WATTS, K. C.; ISLAM, M. R. **Waste cooking oil as an alternative feedstock for biodiesel production.** Energies 2008;1:3–18.

CVENGROS, J.; CVENGROSOVA, Z. **Used frying oils and fats and their utilization in the production of methyl esters of higher fatty acids.** Biomass Bioenergy 2004;27:173–81.

DEMIRBAS, A. **Biodiesel from vegetable oil in supercritical methanol.** Energy Convers Manage 2002;43:2349–56.

DEMIRBAS, A. **Biodiesel production via non-catalytic SCF method and biodiesel fuel characteristics.** Energy Convers Manage 2006;47:2271–82.

DEMIRBAS, A. **Economic and environmental impacts of the liquid biofuels.** Energy Education Science and Technology 2008:37–58.

DEMIRBAS, A. **Progress and recent trends in biodiesel fuels.** Energy Conversion and Management 2009;50:14–34.

DIAS, J. M.; ALVIM-FERRAZ, M. C. M.; ALMEIDA, M. F. **Comparison of different homogeneous alkali catalysts during transesterification of waste and virgin oils and evaluation of biodiesel quality.** *Fuel* 2008;87:3572–8.

DIYA'UDDEEN, B. H.; AZIZ, A. R. A.; DAUD, W. M. A. W.; CHAKRABARTI, M. H. **Performance evaluation of biodiesel from used domestic waste oils: a review.** *Process Safety and Environmental Protection* 2012;90:164–79.

DIZGE, N.; AYDINER, C.; IMER, D, Y; BAYRAMOGLU, M.; TANRISEVEN, A.; KESKINLER, B. **Biodiesel production from sunflower, soybean, and waste cooking oils by transesterification using lipase immobilized onto a novel microporous polymer.** *Bioresource Technology* 2009;100:1983–91.

DI SERIO, M.; TESSER, R.; DIMICCOLI, M.; CAMMAROTA, F.; NASATASI, M.; SANTACESARIA, E. **Synthesis of biodiesel via homogeneous Lewis acid catalyst.** *J Mol Catal* 2005;239:111–5.

DORADO, M. P.; BALLESTEROS, E.; MITTELBAACH, M.; LOPEZ, F. J. **Kinetic parameters affecting the alkali-catalyzed transesterification process of used olive oil.** *Energy Fuels* 2004;18:1457–62.

DORADO, M. P. **Biofuels refining and performance 2008.** New York: McGraw-Hill; 2008. p. 107–47

DUNFORD, N. T. **Biodiesel production techniques.** Food Technology Fact Sheet, FAPC-150; 2006. www.fapc.biz; Acesso: 14 de março de 2012;

ENCINAR, J. M.; GONZALEZ, J. F.; RODRÍGUEZ-REINARES, A. **Biodiesel from used frying oil.** Variables affecting the yields and characteristics of the biodiesel. *Ind Eng Chem Res* 2005;44:5491–9.

FELIZARDO, P.; CORREIA, M. J. N.; RAPOSO I, MENDES J. F.; BERKEMEIER R, BORDADO J. **Production of biodiesel from waste frying oil**. Waste Manage 2006; 26:487–94.

FREEDMAN, B.; BUTTERFIELD, R. O.; PRYDE, E. H. Transesterification kinetics of soybean oil. J Am Oil Chem Soc 1986;63 (10):1375–80.

FREEDMAN, B.; PRYDE, E. H.; MOUNTS, T. L. **Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils**. J AmOil Chem Soc 1984;61(10):1638–43.

GITMAN, L. J. **Princípios de Administração Financeira**. 10. ed. São Paulo: Pearson, 2003.

GITMAN, L. J. **Princípios da administração financeira: essencial**. São Paulo: Bookman, 2006.

GOOGLE MAPS: <https://maps.google.com/>. Acessado em Janeiro, 2014.

GUABIROBA, R. C.; D'AGOSTO, M. A. **Modelo de Cadeias de Coleta de Óleo Residual de Fritura para a Produção de Biodiesel Baseado em Cenários Nacional e Internacional**". XXII ANPET, Fortaleza, CE, Brasil, 2008.

GUI, M. M.; LEE, K. T.; BHATIA, S. **Feasibility of edible oil vs. non-edible oil vs. waste edible oil as biodiesel feedstock**. Energy 2008;33:1646–53.

GUO, Y.; LEUNG, Y. C.; KOO, C. P. **A clean biodiesel fuel produced from recycled oils and grease trap oils**. Better air quality in Asian and Pacific rim cities, BAQ 2002. 16–18 December 2002, Hong Kong Polytechnic University. PS-55: 1–6.

HAAS, M. J.; FOGLIA, T. A. **Alternate feed stocks and technologies for biodiesel production**. Biodiesel handbook 2005. Urbana, IL: AOCS Press; 2005. p. 42–61.

HOSSAIN, A. K.; DAVIES, P. A. **Plant oils as fuels for compression ignition engines: a technical review and life-cycle analysis**. Renew Energy 2010; 35(1):1–13. 1.

HSU, A.; JONES, K. C.; FOGLIA, T. A.; MARMER, W. N. **Immobilized lipase-catalyzed production of alkyl esters of restaurant grease as biodiesel.** Appl Biochem 2002;36(3):181–6.

HSU, A.; JONES, K. C.; FOGLIA, T. A.; MARMER, W. N. **Continuous production of ethyl esters of grease using an immobilized lipase.** J Am Oil Chem Soc 2004;81(8):749–52.

HSU, A.; JONES, K. C.; MARMER, W. N. **Production of alkyl esters from tallow and grease using lipase immobilized in pylosilicate sol-gel.** J Am Oil Chem Soc 2001;78(6):585–8.

IBGE, 2010. Pesquisa de Orçamentos Familiares 2008-2009: Aquisição Alimentar Domiciliar Per Capita. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pof/2008_2009_analise_consumo/pofanalise_2008_2009.pdf. Acessado em: Maio, 2013.

IBGE, 2010 - Pesquisa de Orçamentos Familiares 2008-2009: Aquisição Alimentar Domiciliar Per Capita. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pof/2008_2009_analise_consumo/pofanalise_2008_2009.pdf. Acessado em: Maio, 2013.

IBGE, 2011 - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. População e estimativa em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2011/POP2011_DOU.pdf. Acessado em Janeiro, 2014.

IBGE, 2013 - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidade @: Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/xtras/uf.php?coduf=31>. Acessado em: Junho, 2013.

IEA, Biofuels for transport: an international perspective, IEA/EET, comunicação ao CGEE. Paris, maio 2004.

IMAHARA, H.; MINAMI, E.; HATTORI, M.; MURAKAMI, H.; MATSUI, N.; SAKA, S. **Current situations and prospects of oil/fat resources for biodiesel production.** In: Joint international conference on sustainable energy and environment (SEE 2006), Bangkok, Thailand. November 2006.

ISSARIYAKUL, T.; KULKARNI, M.G.; DALAI, A. K.; BAKHSHI, N. N. **Production of biodiesel from waste fryer grease using mixed methanol/ethanol system.** Fuel Process Technol 2007;88:429–36.

ITAJUBÁ NEWS NOTÍCIAS. < <http://itajuba-news.blogspot.com.br/2012/12/maria-da-fe-turismo-hotel-restaurante.html>>. Acessado em Janeiro, 2014.

JACOBSON, K.; GOPINATH, R.; MEHER, L. C.; DALAI, A. K. **Solid acid catalyzed biodiesel production from waste cooking oil.** Appl Catal B Environ 2008;85:86–91.

KANSEDO, J.; LEE, K. T.; BAHATIA, S. **Cerbera odollam (sea mango) oil as a promising non-edible feedstock for biodiesel production.** Fuel 2009;88:1148–50.

KEORBITZ, W. **Biodiesel production in Europe and North American, an encouraging prospect.** Renew Energy 1999;16:1078–83.

KNOTHE, G.; DUNN, R.O.; BAGBY, M. O. **Biodiesel: the use of vegetable oils and their derivatives as alternative diesel fuels.** In: ACS symposium series no. 666: fuels and chemicals from biomass; 1997.p. 172–208.

KNOTHE, G. **What is biodiesel.** Biodiesel handbook 2005. Champaign, IL: AOCS Press; 2005. p. 1–3.

KULKARNI, M. G.; DALAI, A. K. **Waste cooking oil—an economical source for biodiesel: a review.** Ind Eng Chem Res 2006;45:2901–13.

KUSDIANA, D.; SAKA, S. **Effects of water on biodiesel fuel production by supercritical methanol treatment.** Bioresour Technol 2004;91:289–95.

KUSDIANA, D.; SAKA, S. **Kinetics of transesterification in rapeseed oil to biodiesel fuel as treated in supercritical methanol.** Fuel 2001;80:693–8.

LAM, M. K.; LEE, K. T., **Mixed methanol–ethanol technology to produce greener biodiesel from waste cooking oil: a breakthrough for SO_{42-}/S_nO_2 – SiO_2 catalyst.** Fuel Processing Technology 2011;92:1639–45.

LEUNG, D, Y. C.; CHEN, G. Y. **In: Biodiesel production using waste cooking oil from restaurant.** Symposium on Energy Engineering in the 21st century (SEE2000), vol. 4. 2000. p. 1553–9.

LEUNG, D. Y. C. **Development of a clean biodiesel fuel in Hong Kong using recycled oil.** Water Air Soil Poll 2001;130:277–82.

LIU, K. **Preparation of fatty acid methyl esters for gas chromatography analysis of lipids in biological materials.** J Am Oil Chem Soc 1994;71(11):1179–87.

LOTERO, E.; LIU, Y.; LOPEZ, D. E.; SUWANNAKARN, K.; BRUCE, D. A.; GODWIN, J. G. **Synthesis of biodiesel via acid catalysis.** Ind Eng Chem Res 2005;44:5353–63.

MARCHETTI, J. M.; MIGUEL, V. U.; ERRAZU, A. F. **Possible methods for biodiesel production.** Renew Sustain Energy Rev 2007;11:1300–11.

MARMESAT, S.; RODRIGUEZ-MACADO, E.; VELASCO, J.; DORBANGARNES, M.C. **Used frying fats and oils: comparison of rapid tests based on chemical and physical oil properties.** Int J Food Sci Technol 2007;42:601–8.

MARTINI, N.; SHELL, J. S. **Plant oils as fuels - present state of science and future development.** Berlin: Springer; 1998. p.276.

MCBRIDE, M. **Modeling the production of biodiesel oil from waste frying oil.** B.A.Sc thesis, Department of Chemical Engineering, University of Ottawa;1999.

MEGGINSON, W. L.; SMART, S. B. **Introduction to Corporate Finance.** Cengage Learning, 2008.

MITTELBACH, M. **Diesel fuel derived from vegetable oils**. VI. Specifications and quality control of biodiesel. *Bioresour Technol* 1996;56 (1):7–11.

MOTTA, R.; CALÔBA, G. M. **Análise de Investimentos: Tomada de decisão em Projetos Industriais**. São Paulo: Atlas, 2002.

NELSON, L. A.; FOGLIA, T. A.; MARMER, W. N. **Lipase-catalyzed production of biodiesel**. *J Am Oil Chem Soc* 1996;73(8):1191–4.

NYE, M. J.; WILLIAMSON, T. W.; DESHPANDE, S.; SCHRADER, J. H.; SNIVELY, W. H.; YURKEWICH, T. P., et al. **Conversion of used frying oil to diesel fuel by transesterification: preliminary tests**. *J Am Oil Chem Soc* 1983;60(8):1598–601.

PHAN, A. N.; PHAN, T. M. **Biodiesel production from waste cooking oils**. *Fuel* 2008;87:3490–6.

PREDOJEVIC, Z. J. **The production of biodiesel from waste frying oils: a comparison of different purification steps**. *Fuel* 2008;87:3522–8.

PROKOP, T. **Personal Communication, Imperial Western**. Products, 14970 Chandler St, Coachella, CA, (2002) 91720.

RAO, G. L. N.; SAMPATH, S.; RAJAGOPAL, K. **Experimental studies on the combustion and emission characteristics of a diesel engine fuelled with used cooking oil methyl ester and its diesel blends**. *Int J Appl Sci Technol* 2007;4(2):64–70.

REEFAT, A. A.; ATTIA, N. K.; SIBAK, H. A. E.; SHELTAWY, S. T. E. L.; DIWANI, G. I. **Production optimization and quality assessment of biodiesel from waste vegetable oil**. *Int J Environ Sci Technol* 2008;5(1):75–82.

RIPMEESTER, W. E. **Modeling the production of biodiesel oil from waste cooking oil**. B.A.Sc thesis, Department of Chemical Engineering, University of Ottawa;1998.

RUIZ-MENDES, M. V.; MARMESAT, S.; LIOTTA, A.; DOBARGANES, M. C. **Analysis of used frying fats for the production of biodiesel.** *Grasas y Aceites* 2008;59(1):45–50.

SAIFUDDIN, N.; CHUA, K. H. **Production of ethyl ester (biodiesel) from used frying oil: optimization of transesterification process using microwave irradiation.** *Malaysian J Chem* 2004;6(1):77–82.

SAKA, S.; KUSDIANA, D. **Biodiesel fuel from rapeseed oil as prepared in supercritical methanol.** *Fuel* 2001;80:225–31.

SANTANA, G. C. S.; MARTINSOB, P. F.; BATISTELLA, C. B. R.; MACIEL FILHOB, M. R. **Simulation and cost estimate for biodiesel production using castor oil.** *Wolf Macielb chemical engineering research and design* 88 (2010) 626–632.

SCHROEDER, J. T. **O custo de capital como taxa mínima de atratividade na avaliação de projetos de investimento.** *Revista Gestão Industrial*, v. 1, n. 2, 2005

SCHWAB, A. W.; BAGBY, M. O.; FREEDMAN, B. **Preparation and properties of diesel fuels from vegetable oils.** *Fuel* 1987;66(10):1372–8.

SHIMADA, Y.; WATANABE, Y.; SUGIHARA, A.; TOMINAGA, Y. **Enzymatic alcoholysis for biodiesel fuel production and application of the reaction to oil processing.** *J Mol Catal B Enzym* 2003;17:133–42.

SKARLIS, S.; KONDILI, E.; KALDELLIS, J. K. **Small-scale biodiesel production economics: a case study focus on Crete Island.** *Journal of Cleaner Production* 2012: 20-26.

SUPPLE, B.; HOLWARD-HILDIGE, R.; GONZALEZ-GOMEZ, E.; LEAHY, J. J. **The effect of steam treating waste cooking oil on the yield of methyl ester.** *J Am Oil Chem Soc* 2002;79(2):175–8.

TOMASEVIC, A. V.; SILER-MARINKOVIC, S. S. **Methanolysis of used frying oil.** *Fuel Process Technol* 2003;81:1–6.

TSAI, W. T.; LIN, C. C.; YEH, C. W. **An analysis of biodiesel fuel from waste edible oil in Taiwan.** *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 2007;11:838–57.

U.S. EPA, “*A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions*” Draft Technical Report, October 2002. <<http://www.epa.gov/otaq/models/analysis/biodsl/p02001.pdf>>; Acesso: 14 de março de 2012.

VACCARO, G. L. R. **Prospective scenarios for the biodiesel chain of a Brazilian state.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2010; 13: 1263–9.

VAN KASTEREN, J. M. N.; NISWORO, A. P. **A process model to estimate the cost of industrial scale biodiesel production from waste cooking oil by supercritical transesterification.** *Resources, Conservation and Recycling* 2007;50:442–58.

VERA, C. R.; D’IPPOLITO, S. A.; PIECK, C. L.; PARERA, J. M. **Production of biodiesel by two step supercritical reaction process with adsorption refining.** In: 2nd Mercosur congress on chemical engineering and 4th Mercosur congress on process systems engineering (ENPROMER-2005); 2005.

WARABI, Y.; KUSDIANA, D., SAKA, S. **Reactivity of triglycerides and fatty acids of rapeseed oil in supercritical alcohols.** *Bioresour Technol* 2004;91:283–7.

WATANABE, Y.; SHIMADA, Y.; SUGIHARA, A.; TOMINAGA, Y. **Enzymatic conversion of waste edible oil to biodiesel fuel in a fixed-bed bioreactor.** *J Am Oil Chem Soc* 2001;78(7):703–7.

WEN, Z.; YU, X.; TU, S. T.; YAN, J.; DAHLQUIST, E. **Biodiesel production from waste cooking oil catalyzed by TiO₂–MgO mixed oxides.** *Bioresource Technology* 2010;101:9570–6.

WU, W. H.; FOGLIA, T. A.; MARMER, W. N.; PHILLIPS, J. G. **Optimizing production of ethyl esters of grease using 95% ethanol by response surface methodology.** *J Am Oil Chem Soc* 1999;76(4):571–621.

YUSUF, N.; KAMARUDIN, S. K.; YAAKOB, Z. **Overview on the current trends in biodiesel production.** Energy Conversion and Management 2011;52:2741–51.

ZHANG, Y.; DUBE, M. A.; MCLEAN, D. D.; KATES, M. **Biodiesel production from waste cooking oil. 1.** Process design and technological assessment. Bioresour Technol 2003;89:1–16.

ZHANG, Y.; DUBÉ, M. A.; MCLEAN, D. D.; KATES, M. **Biodiesel production from waste cooking oil: 2.** Economic assessment and sensitivity analysis. Bioresource Technology 90 (2003) 229–240.