

**ESCOLA POLITÉCNICA  
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

**RAFAEL RIBEIRO BORGHERESI**

**Glicerina: Geração de energia elétrica como solução ao resíduo  
gerado na produção de biodiesel**

**São Paulo**

**2013**



**RAFAEL RIBEIRO BORGHERESI**

**Glicerina: Geração de energia elétrica como solução ao resíduo  
gerado na produção de biodiesel**

Monografia apresentada como exigência de conclusão de curso de Pós Graduação Lato Senso do Programa de Educação Continuada da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

**São Paulo**

**2013**



**RAFAEL RIBEIRO BORGHERESI**

**Glicerina: Geração de energia elétrica como solução ao resíduo  
gerado na produção de biodiesel**

Monografia apresentada como exigência de conclusão de curso de Pós Graduação Lato Senso do Programa de Educação Continuada da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

Área de concentração: Engenharia Elétrica

Orientadora: Professora Doutora Patrícia Helena Lara dos Santos Matai.

**São Paulo**

**2013**

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

**Borgheresi, Rafael Ribeiro**

**Glicerina: geração de energia elétrica como solução ao resíduo gerado na produção de biodiesel / R.R. Borgheresi. -- São Paulo, Paulo, 2013.  
58 p.**

**Monografia (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Programa de Educação Continuada em Engenharia.**

**1.Glicerina 2.Fontes alternativas de energia 3.Resíduos de combustível I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Programa de Educação Continuada em Engenharia II.t.**

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço à minha esposa Maria Fernanda pelo grande companheirismo e por estar ao meu lado em todos os momentos. Sempre me estimulando, trocando ideias e experiências.

À professora Dra. Patricia Matai, pela orientação e direcionamento adequado ao trabalho.

Ao amigo Fernando Alarcon por ajudar desde o início com ideias, constantes revisões e troca de experiências que colaborou diretamente na execução deste trabalho.

## EPÍGRAFE

*“Às vezes parece que, para alguns,  
as relações humanas sejam regidas  
por dois dogmas modernos:  
eficiência e pragmatismo”.*

Papa Francisco





## RESUMO

O Brasil tem em sua geografia grandes vantagens agronômicas, por se situar em uma região tropical, com altas taxas de iluminação e altas temperaturas médias anuais. Este cenário associado ao regime hídrico torna o país com maior potencial para produção de biomassa, uma energia renovável. Visando explorar esse potencial, o Governo Federal criou em 2004 o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel que acelerou a geração do produto. No espaço de cinco anos, o programa conseguiu induzir a formação de um parque industrial capaz de atender a uma demanda de cerca de dois bilhões e meio de litros de biodiesel. Este cenário, entretanto, possui um efeito colateral, a produção de glicerina. Esta que é o subproduto da geração de biodiesel não possui demanda de mercado que acompanhe esse crescimento. Paralelamente, é de conhecimento que o Brasil tem a necessidade de expandir a sua geração de energia e tem buscado alternativas para manter a qualidade e a segurança do sistema energético. Uma vez que foi observado o potencial energético da glicerina, este trabalho pretende identificar as principais condições, levando em consideração os aspectos técnicos e econômicos, que possibilitem a utilização da glicerina como combustível para geração de energia elétrica, focando principalmente em microgeração. Foi realizado um estudo de fluxo de caixa objetivando obter um panorama geral da viabilidade econômica da glicerina como combustível para gerar energia elétrica, tendo como resultado principal um tempo de retorno de 6,02 anos. Foi identificado também um potencial brasileiro de 88,23MW de potencia a ser aproveitada apenas pela utilização da glicerina utilizando dados atuais.

**Palavras-chave:** Glicerina; Biomassa; Microgeração.

## **ABSTRACT**

Brazil has in its geography major agronomic advantages, since it is situated in a tropical region, with high sun lighting and high average temperatures. This scenario, combined with the water makes the country with the greatest potential to produce biomass, a renewable energy. Seeking to exploit this potential, the Federal Government created in 2004 the National Program for Production and Use of Biodiesel which accelerated the generation of this product. Within five years, the program could induce the formation of an industrial park able to meet a demand of about two and a half billion liters of biodiesel. This scenario, however, has a side effect, the production of glycerin. This byproduct of biodiesel generation has no market demand to follow this growth. In parallel, it is known that Brazil needs to expand its power generation and has sought alternatives to maintain the quality and security of the power system. Since it was observed the energy potential of glycerin, this study aims to identify the main conditions, taking into account the technical and economic aspects, which enable the use of glycerin as a fuel for electricity generation, focusing mainly on microgeneration. A cash flow study was conducted aiming an overview of the economic viability of glycerin as a fuel to generate electricity, resulting in a foremost payback of 6,02 years. It also identified a Brazilian potential 88,23 MW of power to be exploited only by the use of glycerin utilizing current data.

**Keywords:** Glycerin; Biomass; Microgeneration.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Potencial de geração de energia elétrica a partir de resíduos florestais (silvicultura). .....	23
Figura 2. Potencial de geração de excedente de energia elétrica no setor sucroalcooleiro. ....	24
Figura 3. Potencial de geração de energia elétrica a partir de óleo de palma.....	25
Figura 4. Transesterificação de triglicerídeos.....	27
Figura 5. Matéria prima por região do país.....	28
Figura 6. Grafico evolução produção biodiesel. ....	31
Figura 7. Consumo de glicerina pelos diferentes setores industriais.....	33
Figura 8. Glicerina separada de ácidos gráxos e sais após tratamento. ....	39
Figura 9. Queimador de glicerina em forno da cerâmica bom Jesus. ....	42

## **LISTA DE GRÁFICOS**

GRÁFICO 1. REPRESENTATIVIDADE DAS FONTES DE ENERGIA ELÉTRICA - Empreendimentos em operação no Brasil Março/2013.....	22
---	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Empreendimentos em operação no brasil Março/2013 .....	21
Tabela 2. Produção mensal de biodiesel para os estados do centro-oeste. ....	29
Tabela 3. Produção brasileira de biodiesel em BEP .....	30
Tabela 4. Dados e conversão de unidades. Elaboração Própria.....	32
Tabela 6. Variáveis do fluxo de caixa do projeto. ....	49
Tabela 7. Fluxo de caixa inicial do projeto de aproveitamento da glicerina para a queima e geração de energia elétrica. ....	51

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
COPERNOR	Companhia Petroquímica do Nordeste
EPA	Environmental Protection Agency
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MME	Ministério de Minas e Energia
ONS	Operador Nacional do Sistema
RQ	Reportable Quantification
SIN	Sistema Interligado Nacional
TPQ	Threshold Planning Quantity
VCS PD	Verified Carbon Standard Project Description

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	15
1. OBJETIVO GERAL.....	17
1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
2. METODOLOGIA .....	18
3. REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	19
3.1 DEMANDA ENERGÉTICA NO BRASIL .....	19
3.2 BIOMASSA .....	19
3.3 BIODIESEL .....	26
3.4 GLICERINA.....	31
3.5 MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA .....	34
3.6 DISTRIBUIÇÃO E LOGÍSTICA.....	36
3.7 TRATAMENTO DA GLICERINA .....	37
3.8 APLICAÇÕES DA GLICERINA – ENERGIA.....	40
4. ESTUDO DE VIABILIDADE ECONOMICA: .....	44
4.1. CUSTOS X RECEITA .....	44
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	53
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:.....	55



## INTRODUÇÃO

Desde o fim do século XX, a sociedade mundial vem ponderando significativamente suas preocupações com a preservação do meio ambiente, em todos os pontos inseridos no contexto econômico das atividades industriais. Isso é evidenciado pelo inconveniente da produção de elementos tóxicos prejudiciais a saúde humana e ao meio ambiente, provocados por boa parte dos meios atuais e geração de energia (DANTAS, 2010).

A produção de energia do Brasil, necessitando se expandir de forma consistente, tem como uma alternativa promissora a utilização de fontes renováveis na matriz elétrica. A matriz elétrica do Brasil é considerada renovável devido a seu alto aproveitamento da hidroeletricidade.

Contudo, o Brasil ainda depende de usinas de fontes não renováveis, como o carvão mineral, para suprir a demanda atual do País. São as usinas térmicas a carvão mineral que garantem a complementariedade do sistema elétrico nacional. (MEDEIROS, 2013).

Encontrar novas alternativas para combustíveis tem sido amplamente estudado por vários grupos de cientistas no mundo inteiro, pois o provável esgotamento das reservas de petróleo no mundo é um tema preocupante. Combustíveis são indispensáveis para as práticas industriais e para o progresso tecnológico e econômico mundial. Outro problema em questão é a poluição emitida principalmente pela queima dos combustíveis comuns utilizados atualmente. Nessa busca por combustíveis mais limpos e com possíveis aplicações, após o sucesso do etanol, surgiu o biodiesel, um combustível derivado de fontes biológicas que pode ser usado em motores diesel ao invés do diesel derivado de petróleo.

Em janeiro de 2008, dentro da Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel - PNPB, entrou em vigor a mistura legalmente obrigatória de 2% (B2), em todo o território nacional e com previsão de chegar até B20 até 2020 (MME, 2010)

Entretanto, como consequência da produção do biodiesel, há a geração da glicerina como subproduto formado na reação de transesterificação desse biocombustível em uma proporção aproximadamente de 10%.

A glicerina é um líquido oleoso, solúvel em água e álcool, insolúvel em hidrocarbonetos e apresenta risco de explosão, quando em contato com agentes oxidantes (FERREIRA, 2009). É utilizada em cosméticos, está presente na indústria farmacêutica, na composição de cápsulas, xaropes e pomadas; na química, em tintas, vernizes e detergentes; na alimentícia, para conservar bebidas e alimentos, como refrigerantes, balas, bolos, carnes e rações, além de embalagens. Na indústria do tabaco, a glicerina torna as fibras do fumo mais resistentes e evita o ressecamento das folhas e é também usada para amaciar e aumentar a flexibilidade de fibras têxteis (OLIVEIRA, 2008).

Segundo a Associação Brasileira da Indústria Química (ABIQUM), em 2008 a capacidade instalada da indústria nativa do setor de glicerina estava na casa dos 41,5 milhões de litros para suprir uma demanda de 30 milhões de litros. Com o aumento da produção de glicerina já registrado, o mercado atual apresentado não tem a capacidade de absorver a quantidade gerada atualmente, e a produção de biodiesel, que tem projeção de aumentar ainda mais, pode ficar comprometida. Devido a este problema, considerando-se este excedente de glicerina bruta, é de grande importância o desenvolvimento de tecnologias alternativas e inovadoras, para a formação de produtos com valor agregado que promovam o aproveitamento e comercialização deste subproduto nos diversos ramos da indústria e há diversas pesquisas em desenvolvimento estão buscando soluções para a glicerina (RODRIGUES, 2010).

O presente estudo analisa a aplicabilidade da glicerina em processos de geração de energia elétrica para diferentes fins. Tendo, assim firmado este contexto, o estudo vem, com o objetivo de promover queima da glicerina para geração de energia elétrica e deste modo apresentar-se como parte da solução da destinação do resíduo na produção de biodiesel.

## **1. OBJETIVO GERAL**

Analisar a aplicabilidade da glicerina, oriunda da produção do biodiesel, em processos de geração de energia elétrica.

### **1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Dentro do contexto do aproveitamento da glicerina para microgeração distribuída, pretende-se identificar os principais desafios técnicos e econômicos da sua utilização.

## **2. METODOLOGIA**

Este trabalho faz uso da pesquisa bibliográfica, compreendida como o ato de investigar e de pesquisar informações sobre o assunto, abordando o levantamento realizado em base de dados nacionais e estrangeiros, com o objetivo de detectar o que existe de consenso ou de polêmico no estado da arte da literatura.

Com este propósito foi efetuada uma revisão das publicações com temas relacionados à produção de biodiesel, geração e tratamento de glicerina, sua logística de distribuição, além de pesquisa e aprofundamento dos temas biomassa e geração distribuída.

Para o estudo de viabilidade econômica, o processo de obtenção de dados e informações foi principalmente realizado em avaliação do projeto da Indústria Cerâmica Trevo, localizada no Mato Grosso do Sul, município de Nova Alvorada do Sul, juntamente com a pesquisa básica em meio eletrônico. Por fim, foi utilizado artifícios matemáticos e financeiros e para produção do fluxo de caixa análise de seus indicadores financeiros.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRAFICA**

#### **3.1 DEMANDA ENERGÉTICA NO BRASIL**

A demanda de energia elétrica brasileira deverá crescer a uma taxa média de 4,8% ao ano, saindo de um patamar de consumo total de 456,5 mil GWh no ano de 2010 para 730,1 mil GWh até 2020, trabalhando-se com a hipótese de a economia brasileira expandir-se ao ritmo de 5% ao ano na década seguinte. (EPE, 2011)

Em 2011, comparando com o ano de 2010, o consumo de energia no setor industrial, por exemplo, aumentou 9,6% na região Sudeste, sendo que 26% desse montante são de responsabilidade do Estado do Rio de Janeiro. O setor residencial também mostrou expansão no consumo de energia elétrica, sendo em aproximadamente 6,3%, devido principalmente à maior acessibilidade da população à eletrodomésticos e produtos eletroeletrônicos (MENDONÇA, 2011).

As crescentes preocupações econômicas e com o meio ambiente, além das previsões que as reservas de energia não-renováveis se esgotem nos próximos 50 anos, têm incentivado a busca de novas fontes de energia tais como energia solar (painéis com células fotovoltaicas), energia eólica e os biocombustíveis (NASCIMENTO, 2006).

#### **3.2 BIOMASSA**

A definição de biomassa é algumas vezes tratada de maneira diferente entre autores. Alguns deles definem biomassa como qualquer material derivado da vida vegetal e que seja renovável em um período de tempo inferior a 100 anos (PROBSTEIN E HICKS, 1982; KLASS, 1998), e sendo assim, a maioria dos recursos

energéticos como o petróleo e carvão mineral não são considerados renováveis, apesar de serem derivados da vida vegetal. Higman e Van der Burgt (2003) apud Fonseca (2009) definem a biomassa como sendo qualquer combustível ou matéria bruta derivados de organismos que estiveram vivos recentemente (CENBIO, 2009).

Segundo CENBIO (2009), biomassa seria todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica de origem animal ou vegetal que pode ser utilizado para produção de energia.

A ANEEL (2005) afirma que para fins de outorga de empreendimentos do setor elétrico a biomassa é considerada:

“todo e qualquer recurso renovável proveniente de matéria orgânica, sendo esta de origem animal ou vegetal que pode ser utilizada na produção de energia.”.

Devido ao fato da biomassa ser uma fonte de energia de fácil utilização, podendo ser aproveitada diretamente sempre teve desempenho importante em se tratando de energia.

Contudo, desde a expansão do uso de combustíveis fósseis, o uso da biomassa para energia é comumente relacionada às populações menos desenvolvidas e ao desmatamento indiscriminado de grandes áreas, pois historicamente a biomassa não era utilizada de forma sustentável. Hoje se tem conhecimento suficiente para utilizar a biomassa desta maneira e considerá-la renovável. Contudo, as crises do petróleo e o aumento da maturidade consumidora da população, a biomassa renovável passou a ter importância e visibilidade novamente pois pode ser uma alternativa sustentável (CENBIO, 2009).

A biomassa, sobretudo no Brasil, é uma fonte renovável de produção de energia em escala suficiente para desempenhar um papel expressivo na composição da matriz energética e no desenvolvimento de programas de energia renováveis. O petróleo é conhecido por ser uma fonte esgotável em está em estágio avançado de exploração. A biomassa, por outro lado, é um combustível produzido a partir de fontes renováveis, quando corretamente manejado, significando vantagens como a redução de emissões de gases de efeito estufa, melhoria no manejo de resíduos entre outros. De maneira geral, como é utilizada em menor escala, os impactos ambientais

são bastante reduzidos, quando comparados com grandes hidrelétricas e térmicas à combustíveis fósseis. Por ser majoritariamente produzida na zona rural, também é relacionada a muitos benefícios sociais, como criação de empregos, sobretudo para pessoas com baixo acesso à escolaridade, tendo como consequência a redução da migração à centros urbanos, melhoria tecnológica e melhor aproveitamento da terra, fornecimento de energia para áreas desassistidas (CENBIO, 2009).

Quando a biomassa é utilizada para geração de energia próximo aos centro consumidores, por ser de relativo fácil manejo e transporte, esta colabora com a diminuição das perdas de energia nas linhas de transmissão.

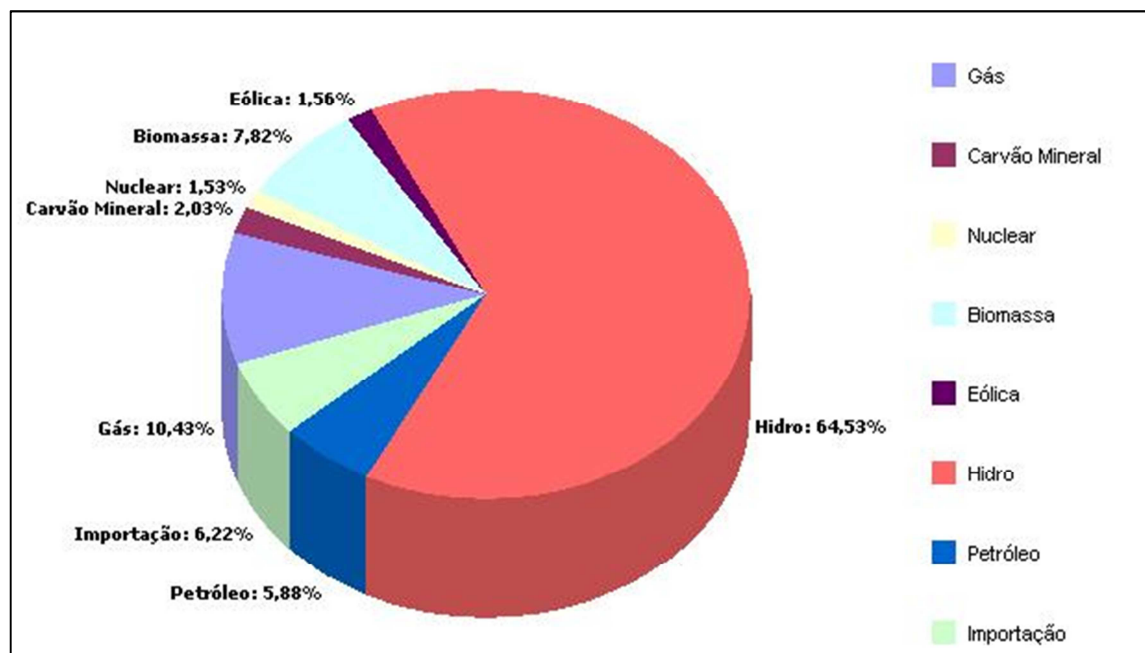
Em se tratando da matriz de energia elétrica no Brasil, os dados de Março de 2013 da ANEEL de empreendimentos hoje em operação, mostram que a biomassa é a terceira mais importante fonte de geração de energia elétrica com o valor de 7,82%, atrás do Gás Natural e Gás de Processo além da fonte hídrica. Este valor significa uma representatividade maior do que a soma das energias Eólica, Nuclear e Térmica a carvão mineral, juntas. A Tabela 1 e o Gráfico 1 mostram os empreendimentos em operação no Brasil e sua representatividade na matriz de energia elétrica no Brasil.

**TABELA 1. EMPREENDIMENTOS EM OPERAÇÃO NO BRASIL MARÇO/2013**

**FONTE: ANEEL, 2013**

<b>Empreendimentos em Operação</b>							
<b>Tipo</b>		<b>Capacidade Instalada</b>		<b>%</b>	<b>Total</b>		<b>%</b>
		<b>N.º de Usinas</b>	<b>(kW)</b>		<b>N.º de Usinas</b>	<b>(kW)</b>	
<b>Hidro</b>		1.050	84.690.402	64,52	1.050	84.690.402	64,52
<b>Gás</b>	Natural	109	12.000.830	9,14	148	13.684.493	10,43
	Processo	39	1.683.663	1,28			
<b>Petróleo</b>	Óleo Diesel	998	3.466.974	2,64	1.032	7.717.621	5,88
	Óleo Residual	34	4.250.647	3,24			
<b>Biomassa</b>	Bagaço de Cana	367	8.532.612	6,5	453	10.268.800	7,82
	Licor Negro	14	1.246.222	0,95			
	Madeira	45	379.235	0,29			
	Biogás	18	74.298	0,06			
	Casca de Arroz	9	36.433	0,03			

<b>Nuclear</b>		2	2.007.000	1,53	2	2.007.000	1,53
<b>Carvão Mineral</b>	Carvão Mineral	12	2.664.328	2,03	12	2.664.328	2,03
<b>Eólica</b>		92	2.044.538	1,56	92	2.044.538	1,56
<b>Importação</b>	Paraguai		5.650.000	5,46		8.170.000	6,22
	Argentina		2.250.000	2,17			
	Venezuela		200.000	0,19			
	Uruguai		70.000	0,07			
<b>Total</b>		<b>2.803</b>	<b>131.259.112</b>	<b>100</b>	<b>2.803</b>	<b>131.259.112</b>	<b>100</b>



**GRÁFICO 1. REPRESENTATIVIDADE DAS FONTES DE ENERGIA ELÉTRICA - EMPREENDIMENTOS EM OPERAÇÃO NO BRASIL MARÇO/2013**

**FONTE: ANEEL**

**<HTTP://WWW.ANEEL.GOV.BR/APLICACOES/CAPACIDADEBRASIL/OPERACAOCAPACIDADEBRASIL.ASP>**

No Brasil, a imensa superfície do território nacional, quase toda localizada em regiões tropicais e chuvosas, oferece excelentes condições para a produção e o uso energético sustentável da biomassa em larga escala. Além da produção de etanol, queima em fornos, caldeiras e outros usos não-comerciais, a biomassa apresenta grande potencial no setor de geração de energia elétrica

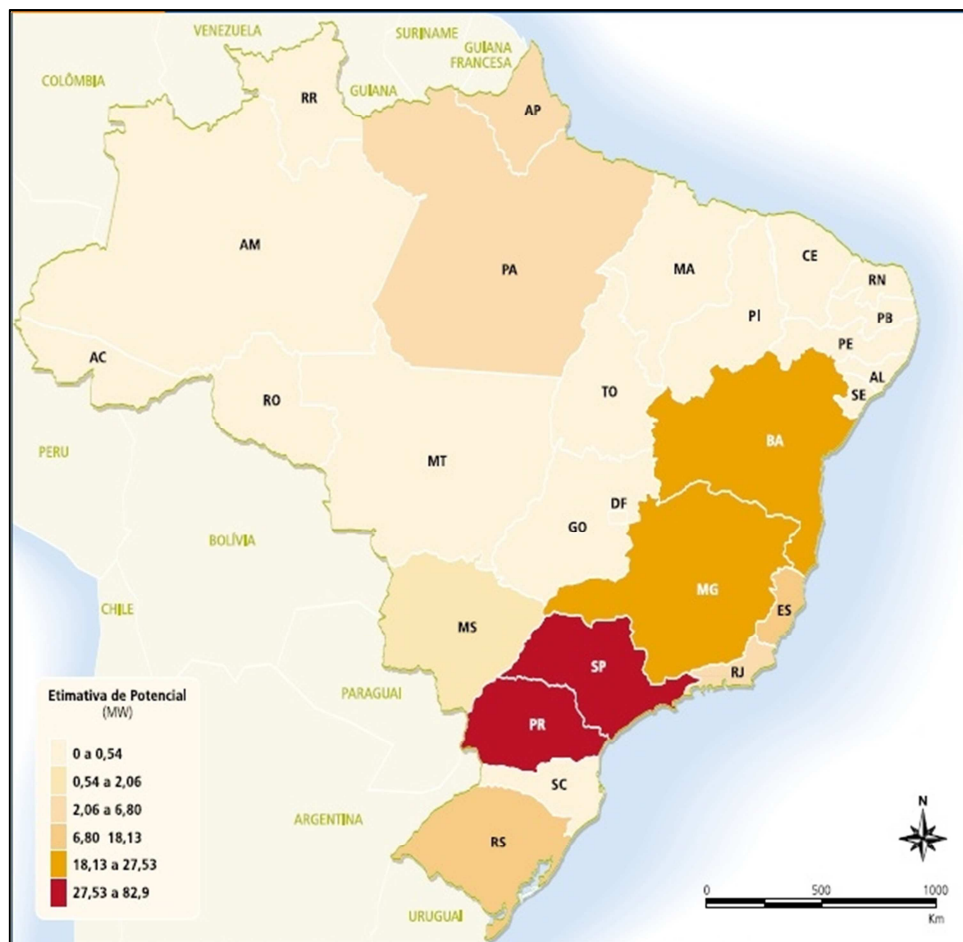
O setor sucroalcooleiro gera uma grande quantidade de resíduos, que é aproveitada na geração de eletricidade, principalmente em sistemas de cogeração. No caso



específico do Estado de São Paulo, é elevada a produção de biomassa energética por meio da cana-de-açúcar.

Trabalho elaborado pelo Centro Nacional de Referência em Biomassa - CENBIO indica um potencial de cogeração de excedentes de energia elétrica de 3.851 MW no setor sucroalcooleiro do Brasil (CENBIO, 2002).

A produção de madeira, em forma de lenha, carvão vegetal ou toras, também gera uma grande quantidade de resíduos, que podem igualmente ser aproveitadas na geração de energia elétrica. Na Figura 1, estão mostrados os Estados brasileiros com maior potencial de aproveitamento de resíduos da madeira, oriunda de silvicultura, para a geração de energia elétrica (Paraná e São Paulo).



**FIGURA 1. POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE RESÍDUOS FLORESTAIS (SILVICULTURA).**

**FONTE: CENBIO, 2002**

A Figura 2, apresenta o potencial de geração de excedente de energia elétrica no setor sucroalcooleiro.

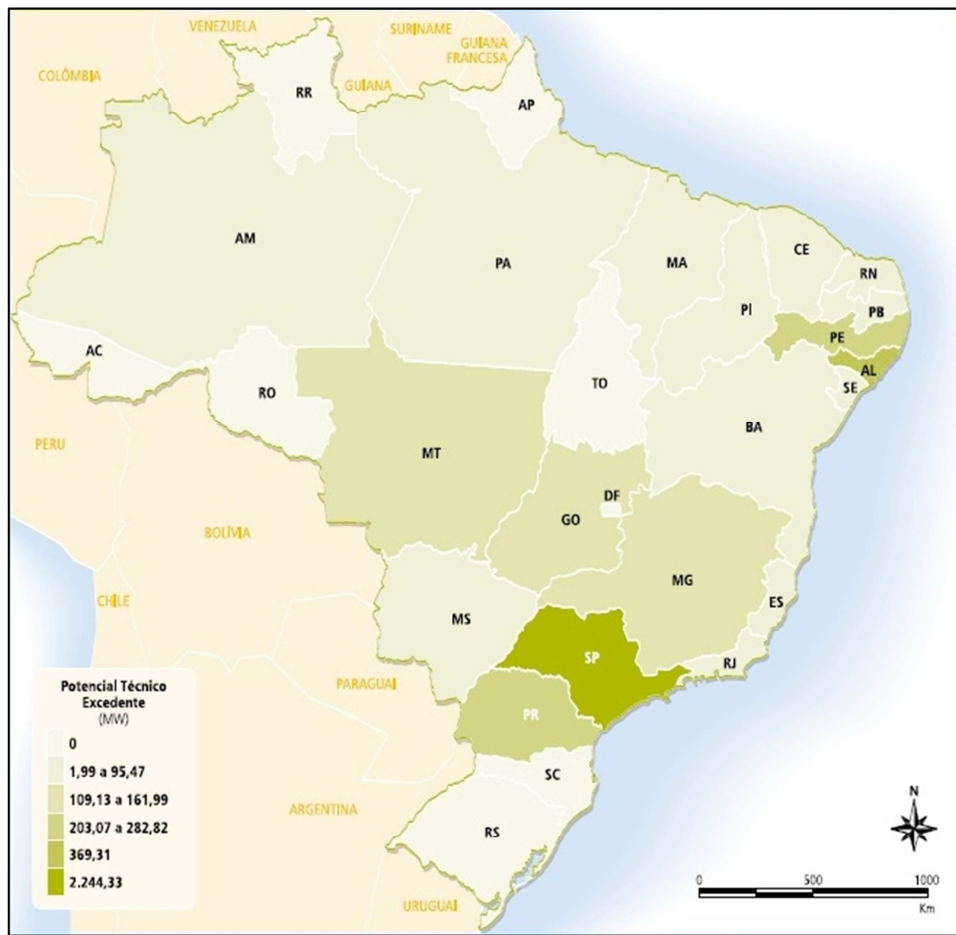
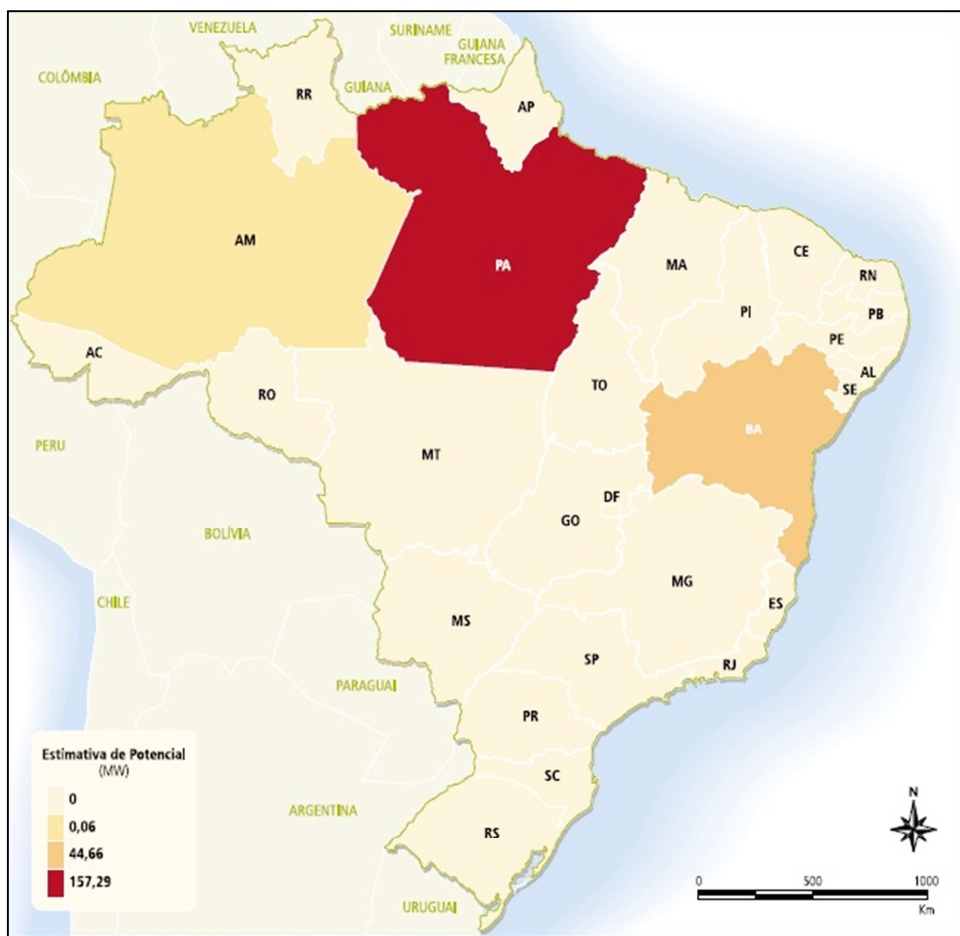


FIGURA 2. POTENCIAL DE GERAÇÃO DE EXCEDENTE DE ENERGIA ELÉTRICA NO SETOR SUCROALCOOLEIRO.

FONTE: CENBIO, 2002

Em alguns Estados brasileiros, principalmente na Região Amazônica, além dos resíduos florestais como ouriço de castanha-do-pará, casca de coco, caroço de açaí, entre outros, verifica-se também a importância de diversas espécies para a produção de óleo vegetal, que pode ser diretamente queimado em caldeiras, para a geração de energia elétrica e o atendimento de comunidades isoladas do sistema elétrico. Um exemplo é o óleo de dendê, com produtividade média anual de 4 toneladas de óleo por hectare, dez vezes maior que a da soja. (CENBIO, 2002).

A Figura 3 apresenta uma estimativa do potencial para geração de energia elétrica a partir de óleo de dendê.



**FIGURA 3. POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE ÓLEO DE PALMA.**

**FONTE: CENBIO, 2002**

Apesar do cenário aparentemente favorável, a energia oriunda da biomassa pode crescer mais, visto que a produção agrícola no Brasil é muito grande, o que acompanha uma grande geração de excedentes agrícolas.

Conforme visto, os excedentes agrícolas são uma grande fonte de matéria prima para gerar energia elétrica, contudo o seu maior aproveitamento esbarra em alguns fatores limitantes, sendo os principais deles, a competitividade com outras fontes e a logística de recolhimento, acumulação e distribuição da matéria prima, além falta de incentivos à geração em pequena escala.

Tais barreiras impedem um crescimento mais acelerado do aproveitamento dessa abundante fonte de energia, ocasionando muitas vezes a disposição e descarte

inadequado dos resíduos que na maioria dos casos são resíduos de produção agrícola. Essa atividade caracteriza um grande passivo ambiental que é disperso por todo o país, uma vez que não existem áreas adequadas para disposição dos resíduos de forma apropriada, como aterros sanitários.

É interessante atentar para o primeiro fator descrito, a competitividade com outras fontes de geração de energia. Segundo dados da EPE – Empresa de Pesquisa Energética, o primeiro leilão de biomassa aconteceu em 2006. Este leilão A-5 teve a participação de mais de 60MW contratados de fontes renováveis, num total de 1104MWs, ou seja, a biomassa iniciou seu processo em leilões com 6% de participação.

Contudo o mercado passou a ganhar mais confiança em 2007, no leilão específico de Fontes Alternativas, quando a biomassa conseguiu comercializar 541MWs de energia, 85% do total comercializado neste leilão.

Outro marco importante foi em 2008, no leilão de reserva específico para Biomassa. Este leilão a fontes à biomassa conseguiu somar e comercializar 2.379MW, valor desta vez representativo. A partir daí a Biomassa perdeu espaço e até 2011 não conseguiu ser competitiva com fontes eólicas e grandes hidrelétricas.

### **3.3 BIODIESEL**

O Brasil tem em sua geografia amplas vantagens agrícolas, por se situar em uma região tropical, com alta intensidade de radiação solar e, ao se associar à disponibilidade hídrica e regularidade de chuvas, torna-se o país com maior potencial para produção de energia renovável a partir da biomassa, dentre eles destaca-se o biodiesel. É um combustível líquido, biodegradável, não tóxico, produzido a partir de diferentes matérias-primas, tais como os produtos agrícolas, por meio de diversos processos. O biodiesel é obtido através da transesterificação

de triglicerídeos por esta razão, a principal matéria-prima utilizada na fabricação do biodiesel são óleos de origem vegetal ou animal. (MACEDO, 2005).

A reação química que envolve a fabricação do biodiesel é a transesterificação de óleos de origem vegetal ou animal na qual um triglicerídeo, que possui três grupos funcionais orgânicos ésteres em fórmula estrutural, e sua obtenção vêm da reação entre um ácido graxo e o glicerol, reage com um álcool, neste caso podendo ser metanol ou etanol, na presença de um catalisador que pode ser ácido, básico, metálico ou biológico. O resultado da reação produz uma mistura de ésteres alquílicos de ácidos graxos e glicerol. Esta mistura de ésteres é o que se denomina biodiesel.

A Figura 4 mostra uma representação da reação agora descrita.

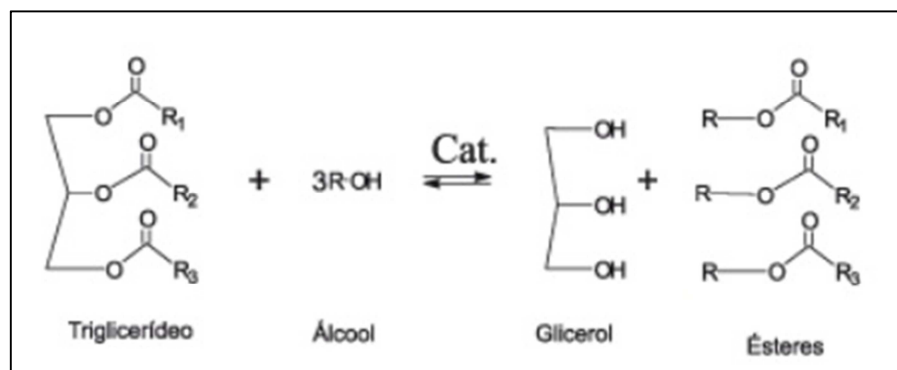


FIGURA 4. TRANSESTERIFICAÇÃO DE TRIGLICERÍDEOS.

FONTE: MOURA. ET AL, 2007

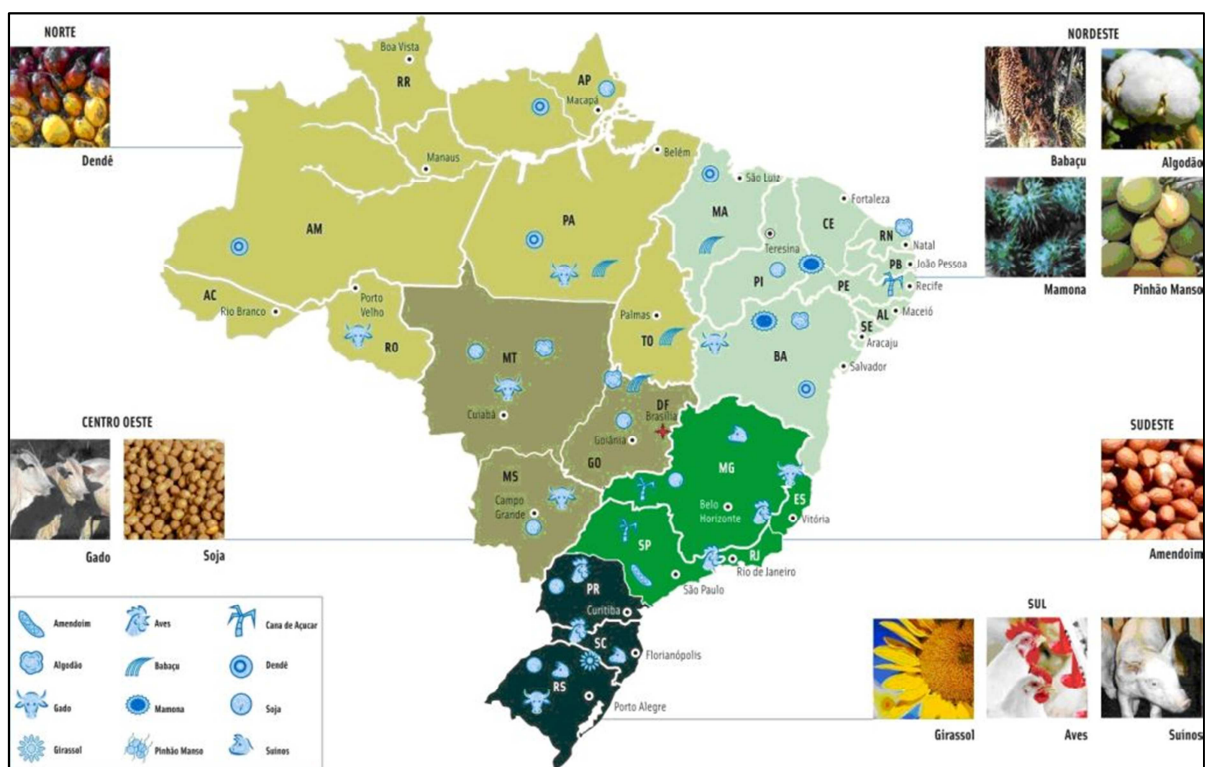
Há uma grande diversidade de opções para produção de biodiesel, tais como a palma e o babaçu no norte, a soja, o girassol e o amendoim nas regiões sul, sudeste e centro-oeste (WOLFF, 2008).

As condições climáticas favoráveis do Brasil oferecem diversas possibilidades de matérias-primas e as oportunidades se resumem nos seguintes:

- Grãos (canola, girassol e soja)
- Carços e sementes (algodão)

- Frutos (pinhão manso e palma)
- Óleos de fritura usados
- Gordura animal (óleo de sebo bovino, suíno e de aves)

O mapa apresentado na Figura 5 elaborado pela Biolatina mostra, as principais matérias primas distribuídas por região do país.



**FIGURA 5. MATÉRIA PRIMA POR REGIÃO DO PAÍS.**

**FONTE: BIOLATINA, 2013.**

Essa versatilidade para produção de biodiesel facilita a sua produção em todas as regiões do país. Entretanto, está atrelada ao potencial agrícola da região e atualmente é representada em sua grande maioria pela soja e gordura animal. Por esse motivo a região que apresenta maior produção, segundo a ANP (2012) é a região Centro-Oeste, chegando a mais de 7 milhões de Barris Equivalente de Petróleo (BEP) em 2012. A Tabela 2 mostra a produção mensal de biodiesel pela região centro-oeste do Brasil. Os estados produtores são Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, em ordem de importância.

TABELA 2. PRODUÇÃO MENSAL DE BIODIESEL PARA OS ESTADOS DO CENTRO-OESTE.

FONTE ANP, 2012

Total Centro-Oeste (BEP)								
Dados	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Janeiro	-	-	51.572	186.480	210.640	384.330	441.438	436.734
Fevereiro	-	-	60.244	206.154	243.600	480.154	495.921	544.939
Março	-	-	49.082	225.090	412.551	584.365	600.180	547.863
Abril	-	-	53.932	238.305	248.939	479.770	487.285	489.277
Maio	-	-	71.966	260.107	197.441	534.541	516.773	599.667
Junho	-	-	51.075	311.099	344.552	591.513	555.970	596.225
Julho	-	-	53.348	333.541	407.578	599.112	649.617	617.686
Agosto	-	85	94.400	315.583	451.111	657.780	648.209	772.720
Setembro	-	-	48.468	362.816	367.879	575.226	563.164	731.189
Outubro	-	-	65.700	312.850	425.287	601.549	547.510	691.838
Novembro	-	35.405	107.670	292.255	394.340	531.318	529.827	666.492
Dezembro	-	28.720	90.669	294.483	356.734	440.456	540.032	692.218
<b>Total do Ano</b>	-	<b>64.210</b>	<b>798.127</b>	<b>3.338.764</b>	<b>4.060.650</b>	<b>6.460.112</b>	<b>6.575.927</b>	<b>7.386.849</b>

O Brasil já se mostrou preocupado em aproveitar essa oportunidade da produção de biomassa através de iniciativas como o Pró-álcool, o mais relevante deles, que procurava substituir o uso da gasolina por etanol. Com menor sucesso, foi criado o Pró-óleo, com o intuito de substituir o diesel por derivados de tri-acilglicerídeos. No entanto, com a estabilização do preço do petróleo no mercado internacional em 1986, o Pró-óleo foi abandonado sem ter chegado ao mercado consumidor (OLIVEIRA, 2008).

Recentemente, o governo brasileiro retomou o programa de substituição de diesel por derivados de óleos vegetais, tendo autorizado o uso comercial do biodiesel por meio da Lei nº 11.097, de 13/01/2005, que dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira (OLIVEIRA, 2008).

Em 2003, tiveram início os primeiros estudos concretos para a criação de uma política do biodiesel no Brasil e, em dezembro de 2004, o governo lançou o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB). Com o objetivo de introduzir o biodiesel na matriz energética brasileira, PNPB teve como sua principal atividade a definição de metas e a criação de um marco legal para o biodiesel. (MME, 2010)



Com o perceptível amadurecimento do mercado brasileiro, esse percentual foi ampliado pelo Conselho Nacional de Política Energética, CNPE, sucessivamente até atingir 5% (B5) em janeiro de 2010, antecipando em três anos a meta estabelecida pela Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. (MME, 2010)

Atualmente, o biodiesel é comercializado misturado ao diesel de petróleo nos postos de abastecimento espalhados pelo país. Vários indicadores confirmam o sucesso do PNPB. Com relação à produção desse tipo de biocombustível, saltou de 69 milhões de litros em 2006 para 2,7 bilhões de litros em 2011. Esse resultado coloca o Brasil como um dos maiores mercado mundiais de biodiesel, juntamente com a Alemanha e os Estados Unidos, que produzem e consomem este combustível renovável há muito mais tempo. Outros importantes mercados são a França, a Espanha, a Itália e a Argentina. (MME, 2010). A tabela 3 elaborada com dados da ANP (2012) apresenta a produção brasileira em BEP, totalizando 17.249.043 BEP em 2012.

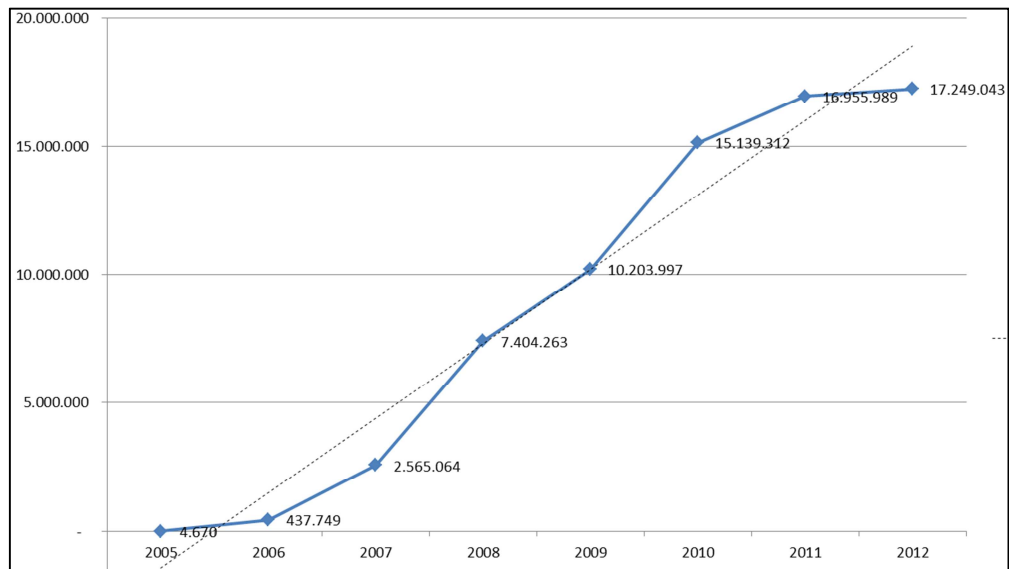
**TABELA 3. PRODUÇÃO BRASILEIRA DE BIODIESEL EM BEP**

**ANUAL. FONTE ANP, 2012**

	ANO (em BEP)							
Dados	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Janeiro	-	6.822	108.538	487.121	573.196	935.326	1.182.061	1.224.432
Fevereiro	-	6.618	107.421	489.027	508.943	1.129.546	1.121.513	1.361.467
Março	49	10.942	143.608	403.984	837.354	1.358.567	1.481.100	1.401.211
Abril	83	11.327	119.095	408.235	669.025	1.172.985	1.271.218	1.156.970
Maiο	163	16.352	164.974	482.137	657.636	1.286.110	1.398.750	1.351.404
Junho	145	41.175	172.290	651.952	895.385	1.300.138	1.469.097	1.363.312
Julho	46	21.131	169.501	683.796	980.507	1.315.959	1.585.347	1.461.279
Agosto	362	32.365	278.875	694.887	1.059.994	1.466.476	1.572.895	1.614.079
Setembro	13	42.729	291.909	839.047	1.018.453	1.395.601	1.484.315	1.600.227
Outubro	215	54.441	340.093	804.529	994.806	1.268.133	1.509.143	1.601.943
Novembro	1.785	101.662	357.805	748.684	1.054.323	1.318.712	1.504.726	1.565.425
Dezembro	1.809	92.185	310.956	710.864	954.375	1.191.759	1.375.824	1.547.295
<b>Total do Ano (BEP)</b>	<b>4.670</b>	<b>437.749</b>	<b>2.565.064</b>	<b>7.404.263</b>	<b>10.203.997</b>	<b>15.139.312</b>	<b>16.955.989</b>	<b>17.249.043</b>



O gráfico apresentado na Figura 6 mostra o histórico e tendência da produção de biodiesel no Brasil.



**FIGURA 6. GRAFICO EVOLUÇÃO PRODUÇÃO BIODIESEL.**

**FONTE PRODUÇÃO PRÓPRIA. DADOS ANP, 2012**

De acordo com o Boletim Mensal de Biodiesel elaborado pela ANP, o Brasil dispõe em 2012 de 65 plantas produtoras de biodiesel autorizadas pela ANP para operação no País, o que corresponde a uma capacidade total autorizada de 20.567,76 m³/dia. Destas 65 plantas, 61 possuem Autorização para Comercialização do biodiesel produzido, correspondendo a 19.009,04 m³/dia de capacidade autorizada para comercialização, ou seja, o Brasil possui hoje a capacidade instalada de produzir 6.938.299,6 m³/ano de biodiesel e tende aumentar ainda mais.

### 3.4 GLICERINA

Para se produzir biodiesel, o óleo obtido das plantas ou de gordura animal reage com álcool (etanol ou metanol) na presença de um catalisador. Este processo é chamado de transesterificação tendo como subproduto a glicerina.

Um estudo realizado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, afirma que para produzir 90m<sup>3</sup> de biodiesel, são gerados 10m<sup>3</sup> de glicerina. (GONÇALVES, 2006). Desta forma, com a capacidade instalada brasileira de 6.938.299,6 m<sup>3</sup> ao ano de produção de biodiesel, a geração de glicerina é estimada em aproximadamente 770.922,18 m<sup>3</sup> anuais. Ou seja, promoveu-se um aumento significativa da oferta nacional. Para melhor visualização, a Tabela 4 resume a produção em diferentes unidades.

**TABELA 4. DADOS E CONVERSÃO DE UNIDADES. ELABORAÇÃO PRÓPRIA**

REFERENCIAS ESPECIFICADAS NA TABELA.

	<b>Biodiesel</b>	<b>Glicerina</b>	<b>Referência</b>
<b>Proporção</b>	90	10	GONÇALVES, 2006
<b>m<sup>3</sup></b>	6.938.299,6 m <sup>3</sup>	770.922,1778 m <sup>3</sup>	ANP, 2012 e Calculado
<b>Densidade</b>	0,88 g/cm <sup>3</sup>	1,2610g/cm <sup>3</sup> ou ton/m <sup>3</sup>	BEN 2012 (Biodiesel) e INDUKERN, 2007 (Glicerina)
<b>Litros</b>	6.938.299.600 L	-	Calculado
<b>Toneladas</b>	6.105.703,648 ton	972.132,8662 ton	Calculado

A produção de glicerina segue a curva de produção de Biodiesel, porém, diferentemente de seu produto de origem, não possui um mercado tão estabelecido. Hoje se tem um volume muito superior à sua demanda que é estimada em cerca de 40 mil toneladas. Os mercados que utilizam a glicerina são as indústrias de cosméticos, de medicamentos, pelo setor de tintas e vernizes, de alimentos e química (VASCONCELOS, 2012).

Segundo a Associação Brasileira da Indústria Química (ABIQUIM), em 2008 a capacidade instalada da indústria nativa do setor de glicerina era aproximadamente dos 41,5 milhões de litros para atender a demanda de 30 milhões de litros. Desta forma, toda a glicerina produzida pelas usinas de biodiesel não possuem mercado a ser atendido, gerando um excedente de 972.133 toneladas de glicerina anuais.

A Figura 7 mostra os mercados consumidores de glicerina hoje estabelecidos.

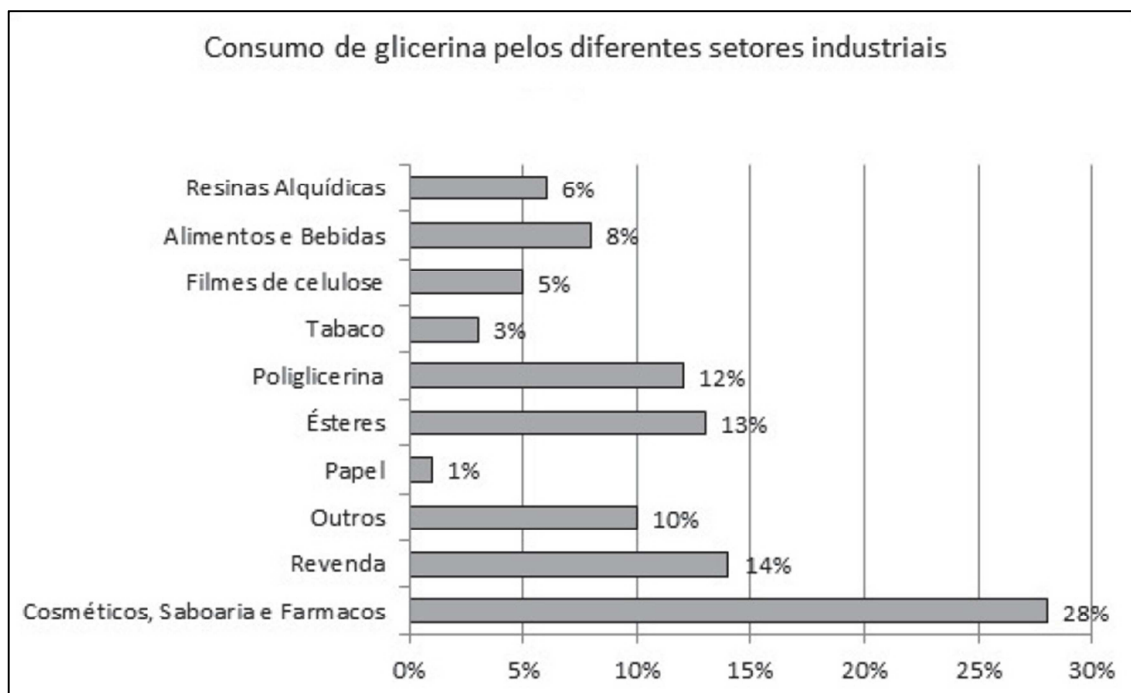


FIGURA 7. CONSUMO DE GLICERINA PELOS DIFERENTES SETORES INDUSTRIAIS.

FONTE: ADAPTADO DE MOTA, 2006

Sem um mercado definido para essa sobra, o subproduto do biodiesel está passível de um descarte inadequado, tornando-se um passivo ambiental e um fator limitador para os planos do Brasil em produção do biodiesel.

Existem atualmente algumas iniciativas para destinar essa glicerina de forma eficiente. Dentre as alternativas em estudo está o estudo da Companhia Petroquímica do Nordeste (Copernor), da descoberta de derivados do glicerol, como o etanol, propanodiol-3 e metanol, possibilitando a realimentação do sistema para a etapa de transesterificação (COPERNOR, 2010).

Outro exemplo inovador é a produção, a partir da glicerina, de propeno, matéria-prima para a indústria petroquímica. É a partir do propeno que se produz o polipropileno, que, por sua vez, é matéria-prima para a indústria do plástico.

Entretanto, as citadas alternativas, apesar de inovadoras e com forte apelo ambiental, ainda estão distantes de se concretizar.

No final de 2009, a Cerâmica Trevo, localizada no Mato Grosso do Sul, surgiu como uma das primeiras a utilizar a glicerina como combustível, em substituição à lenha, diretamente em seus fornos para o processo de cozimento de sua produção de 240mil tijolos mensais. (RODRIGUES, 2010)

Tal solução chama atenção pelo fato de utilizar a glicerina diretamente nos fornos e remete à solução de utilizá-la em caldeiras para geração de energia elétrica, sendo essa uma saída ambientalmente adequada e inteligente.

### **3.5 MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA**

A geração distribuída pode ser conceituada como aquela conectada ao sistema de distribuição ou na própria unidade consumidora, de pequeno porte e não despachada pelo Operador Nacional do Sistema (ONS), e localizada próxima ao centro de carga. Na legislação brasileira, conforme art. 14 do Decreto n. 5.163/2004, enquadra-se no conceito de geração distribuída aquela conectada diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador, proveniente de fontes renováveis de energia ou de cogeração com eficiência energética maior ou igual a 75%, e com potência inferior a 30 MW. (EXCELENCIA ENERGÉTICA, 2011)

Segundo trabalho realizado em conjunto pelo Instituto Socioambiental, Amigos da Terra - Amazônia Brasileira, Greenpeace Brasil, International Rivers - Brasil, Amazon Watch e WWF Brasil atualmente o Brasil perde 20% de sua energia gerada em sua transmissão – incluindo perdas técnicas e comerciais, devido ao fato de que a base de geração de energia é centralizada, caracterizado pelas longas distâncias entre os centros geradores e centros consumidores de energia, além das perdas comerciais, no roubo. (MOREIRA, MILIKAN, 2012)

A microgeração distribuída se baseia em pequenas plantas gerando energia elétrica próxima aos centros consumidores de energia reduzindo perdas em transporte em

extensas linhas de transmissão. Como vem de pequenos geradores, a microgeração distribuída se caracteriza por permitir aproveitar fontes alternativas de energia, fontes que antes eram inutilizadas, como por exemplo, energia solar, micro geradores eólicos ou biomassa. Além disso, a microgeração distribuída possui a vantagem de não gerar grandes impactos socioambientais, comumente gerados em empreendimentos de grande porte como Usinas Hidrelétricas ou Termoelétricas e até mesmo grandes parques eólicos.

A ANEEL, em sua Resolução Normativa Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012,

**“Microgeração distribuída:** central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100 kW e que utilize fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras”.

Segundo o artigo da empresa Excelência Energética, nos termos da Nota Técnica n. 0025/2011-SRD-SRC-SRG-SCG-SEM-SER-SPE/ANEEL, a presença de pequenos geradores próximos às cargas pode proporcionar diversos benefícios para o sistema elétrico, como:

- postergação de investimentos em expansão nos sistemas de distribuição e transmissão;
- baixo impacto ambiental;
- menor tempo de implantação;
- redução no carregamento das redes;
- redução de perdas;
- melhoria do nível de tensão da rede no período de carga pesada;
- provimento de serviços ancilares, como a geração de energia reativa; e
- diversificação da matriz energética.

A NT também aponta desvantagens associadas ao aumento da quantidade de pequenos geradores na rede de distribuição:

- maior complexidade de operação da rede de distribuição, em razão do fluxo bidirecional de energia;
- necessidade de alteração dos procedimentos das distribuidoras para operar, controlar e proteger suas redes;
- aumento da dificuldade para controlar o nível de tensão da rede no período de carga leve;
- alteração dos níveis de curto-circuito das redes;
- aumento da distorção harmônica na rede;
- Intermitência da geração devido à dificuldade de previsão de disponibilidade das fontes;
- elevada taxa de falhas dos equipamentos de geração;
- alto custo de implantação; e
- tempo de retorno elevado para o investimento

### **3.6 DISTRIBUIÇÃO E LOGÍSTICA**

Como a maior parte das usinas de biodiesel se encontra dispersas pelo país e o objetivo principal do governo federal é incorporar o programa de biodiesel à promoção da agricultura familiar, boa parte das usinas têm contratos com fazendas ou agricultores de pequeno porte, localizados, sobretudo no Nordeste e no Centro-Oeste (MDA, 2012).

Como a glicerina é gerada nas usinas de biodiesel, esta condição reflete da mesma maneira e acaba influenciando diretamente no custo de sua utilização pelas regiões sul e sudeste. Outro problema da distância é o desperdício de tempo, além do consumo de combustível fóssil e sua emissão de poluentes, maior tráfego nas estradas e risco de acidentes.

Entretanto, o fator transporte pode ser considerado facilitado quando comparado com outras biomassas como lenha, isso por conta de ser um combustível líquido transportado em caminhões-tanque, evitando transportar espaços vazios, resíduos ou outras substâncias como água residual por exemplo.

Dada a característica da geração distribuída de ser a geração próximas à centros consumidores de energia, e considerando que a glicerina é produzida de modo disperso em todas as regiões do país, a logística e distribuição devem ser um fator a ser considerado em uma avaliação de viabilidade. De modo geral, as usinas de biodiesel se localizam próximas à fonte de matéria prima, em zonas agroindustriais ou próximas aos centros industriais, ou seja, centros de consumo de energia e plantas de UTEs. Transportadoras e distribuidoras de combustível são peças que ainda precisam ser encaixadas para que a logística de entregas do biodiesel brasileiro realmente funcione para dar vazão à produção de glicerina.

Com relação à legislação de transportes, a glicerina não é classificada como perigosa segundo a portaria nº291 de 31/05/88 do Ministério dos Transportes. As seguintes normas também são consideradas:

- OSHA – Nenhum dos componentes químicos deste produto é considerado perigoso.
- SARA – Nenhum dos componentes químicos deste produto possui Reportable Quantification (RQ) ou Threshold Planning Quantity (TPQ) (seção 302).
- TSCA – Nenhum dos componentes químicos deste produto estão listados no relatório de Saúde e Segurança e não estão submetidos a regra de testes químicos.

### **3.7 TRATAMENTO DA GLICERINA**

Para que a glicerina possa ter aplicações mais variáveis além da sua combustão, mesma necessita de um tratamento prévio, onde todo o álcool utilizado na transesterificação (metanol ou etanol) é retirado através de sua destilação ainda é

submetida a um tratamento ácido para retirada dos sais também oriundo da produção do biodiesel.

Quando se trata da combustão, como a glicerina obtida no processo de produção de biodiesel vem misturada à água, ácidos graxos e sabões, há a necessidade de um tratamento para separá-los. É a fase mais pesada é composta de glicerina bruta, cuja concentração é em torno de 58% denominada comercialmente de glicerina loira. (CUBAS, 2008).

Os ácidos graxos devem ser retirados, uma vez a baixa temperatura, tendem a solidificar-se parcialmente ou a perder sua fluidez, levando à interrupção do fluxo do combustível e entupimento do bico aspersor do sistema de injeção. Os sais precisam ser removidos por serem agentes de corrosão de equipamentos metálicos (LÔBO, 2009).

A separação de glicerina da água pode ser feita através da condensação com temperatura controlada, possibilitando a separação destes dois componentes miscíveis.

Uma das maiores empresas produtoras de biodiesel do Brasil, a Brasil Ecodiesel Indústria e Comércio de Biocombustíveis, faz uso de um método de tratamento, usando ácido forte, o ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) para tratamento da glicerina, gerada em sua planta produtora de biodiesel.

Toda a glicerina, gerada na planta industrial, é drenada para a unidade de tratamento, onde passa por uma neutralização com ácido sulfúrico. Um rigoroso controle de qualidade verifica se a batelada, nome dado pela empresa a cada tanque a ser neutralizado, está de acordo com os padrões para ser transferida.

Após essa etapa, a glicerina, já homogeneizada com o ácido, passa por seis evaporadores contínuos com o intuito de evaporar o metanol utilizado em excesso no processo de produção de biodiesel.

Depois de evaporado o metanol, a glicerina passa por uma centrífuga, a fim de separar as fases: glicerina, ácido graxo e sais.



A glicerina e o ácido graxo são transferidos para um tanque vertical, onde por diferença de densidade, os mesmos separam-se em duas fases. A glicerina pode ser comercializada, o ácido graxo, um subproduto desse tratamento, pode ser queimado em caldeiras e os sais podem ser usados para complementar a matéria prima de olarias (CUBAS, 2008).

Outra alternativa de tratamento, desta vez apresentada por CUBAS (2008), realiza a neutralização da glicerina loira. Para a neutralização, foram adicionados à glicerina bruta o ácido fosfórico. Após homogeneizar a mistura glicerina/ácido as amostras foram centrifugadas e a fase intermediária, correspondente à glicerina neutralizada, foi separada para análise, conforme Figura 8.

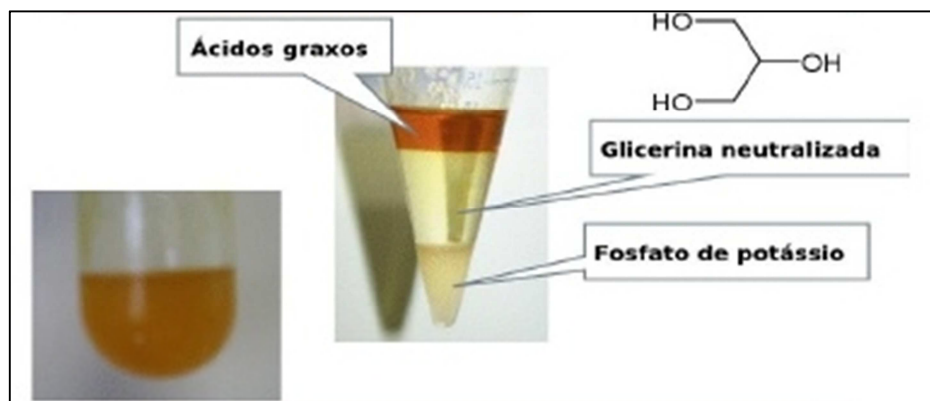


FIGURA 8. GLICERINA SEPARADA DE ÁCIDOS GRÁXOS E SAIS APÓS TRATAMENTO.

FONTE CUBAS, 2008

Após o tratamento descrito, a glicerina está pronta para ser utilizada comercialmente para fins energéticos.

O mesmo autor, realizou testes de poder calorífico da glicerina tratada e obteve os seguintes resultados:

os valores para o poder calorífico da glicerina neutralizada em média 3798cal/g, que corresponde a aproximadamente a metade da energia liberada pela glicerina bruta. O elevado valor para a glicerina bruta é explicado pela presença de traços de biodiesel e ácidos graxos.

Podemos verificar também que, apesar da glicerina bruta possuir um elevado poder calorífico superior, 6564cal/g, em média, apresenta muitas impurezas que podem causar problemas quando queimados sem nenhum tratamento. Os coprodutos formados, porém, após a neutralização, os sais de fosfatos e os ácidos graxos, podem ser utilizados em outras aplicações agregando um valor comercial que é despendido durante a queima. Desta forma, o tratamento da glicerina bruta, obtida no processo de produção de biodiesel, além de elevar a sua pureza possibilita também a redução na geração desse passivo ambiental e evita custos com a disposição do produto final

Segundo CUBAS (2008), dos diversos tratamentos conhecidos, o processo de diluição, seguido de neutralização e evaporação, é o mais usado por diversas empresas. Como não requer de uma estrutura complexa, pode ser realizado tanto na própria usina quanto no local da queima. Entretanto, deve-se analisar ainda a viabilidade financeira de cada etapa. É importante ressaltar que, a partir do tratamento da glicerina, alguns outros produtos são formados (sais e ácido graxo) o que também facilita para agregação de valor aos produtos na busca de viabilizar cada vez mais tal produção.

### **3.8 APLICAÇÕES DA GLICERINA – ENERGIA**

A glicerina pode ser utilizada como qualquer outro combustível, ou seja, em equipamentos térmicos como fornos, caldeiras e queimadores, em permuta ao óleo combustível tradicional (METZGER, 2007).

Outro problema técnico proveniente da característica do combustível é sua alta viscosidade, que torna a glicerina muito difícil de ser atomizada a temperatura ambiente com bicos aspersores comuns em queimadores de óleo. Deve-se observar que a glicerina pode conter uma porcentagem de álcool que irá reduzir a viscosidade. A redução da viscosidade pode ser significativa ou não, dependendo do

teor de álcool. A glicerina pode também ser aquecida para reduzir a viscosidade (DIPPR, 2005).

Segundo DIPPR (2005), a maior dificuldade da queima de glicerina é provavelmente a temperatura de auto-ignição, de 370°C, que quando comparada com a gasolina (280°C) e o querosene (210°C). Isso representa alta energia para reação de oxidação e necessidade de combustível auxiliar, além de queima bem controlada.

Outro fator que tem impedido uma maior utilização da glicerina para queima é o receio de emissões tóxicas, em particular a acroleína. A acroleína é um produto de decomposição térmica da glicerina quando aquecida acima de 280°C, valor bem abaixo da temperatura de auto ignição do glicerol. A acroleína é extremamente tóxica mesmo em concentrações muito baixas, cerca de 2 ppm (EPA, 2003).

Entretanto, a acroleína já é conhecida por ser muito instável em temperaturas altas e facilmente inflamável, segundo a Environmental Protection Agency (EPA) a queima da glicerina consome qualquer acroleína gerada (EPA, 2003).

Isso desde que a glicerina seja queimada em um ambiente já em alta temperatura, acima de 300°C, havendo a necessidade de um combustível auxiliar.

Segundo CERÂMICA TREVO (2009), que utiliza glicerina juntamente com a casca de arroz como combustíveis para o cozimento de sua produção de tijolos, a adaptação da fábrica demandou certo investimento e quebra de barreiras ditas como tecnológicas, financeiras e institucionais.

A barreira tecnológica é mencionada como a adição de novos equipamentos como queimadores individuais com bicos aspersores específicos, tanques de armazenagem, alteração na entrada dos fornos, e treinamento de funcionários para operar os novos equipamentos. A Cerâmica Trevo, conforme descrito no seu Documento de Concepção de Projeto (VCS PD), utiliza a casca de arroz em conjunto com a glicerina para obter um melhor resultado e principalmente evitar que a temperatura reduza de 300°C para não liberar a acroleína. O balanço é aproximadamente, 40% Glicerina e 60% Casca de Arroz, (CERAMICA TREVO, 2009).

Outras indústrias também fazem uso da glicerina como fonte de energia, como a Cerâmica Bom Jesus, localizada em Paudalho, Estado de Pernambuco. A Figura 9, a seguir mostra um queimador de Glicerina da cerâmica Bom Jesus.



FIGURA 9. QUEIMADOR DE GLICERINA EM FORNO DA CERAMICA BOM JESUS.

FONTE: CERAMICA BOM JESUS, 2009.

Dadas as características da biomassa em questão, as possibilidades de aproveitamento são muitas, resta analisar qual a possivelmente mais viável técnica e financeiramente.

Dentre as possibilidades de aproveitamento, pode-se citar:

- **Microgeração:** A microgeração pode ser realizada pelas próprias usinas de biodiesel, inserindo energia na rede ou utilizando a energia gerada para suprir a própria demanda.;
- **Combinação com outros combustíveis:** Como a glicerina é difícil de ser manejada, utilizá-la como combustível complementar, a fim de reduzir a quantidade do combustível principal pode ser uma alternativa mais viável. Esta possibilidade pode ser trabalhada a microgeração distribuída e geração convencional;
- **Cogeração:** Há também a possibilidade de trabalhar com a cogeração de vapor e energia elétrica tanto em plantas de biodiesel, como em outras indústrias;

- **Utilização em fornos e caldeiras industriais:** a exemplo da mencionada Cerâmica Trevo no Mato Grosso do Sul, que utiliza a glicerina para cozimento de seus tijolos, a queima para geração de calor para processos industriais, pode ser a mais flexível a talvez a mais comum atualmente.

Vale lembrar que a glicerina deverá sempre ser queimada em um ambiente já acima de 300°C por isso se faz necessário a utilização de um combustível auxiliar para que seja aplicável.

No capítulo a seguir, será focada a microgeração distribuída e análise da sua viabilidade econômica.

## **4. ESTUDO DE VIABILIDADE ECONOMICA:**

A fim de entender a viabilidade econômica da geração de energia a partir da glicerina, este capítulo abordará os aspectos econômicos da queima deste produto.

Como detalhado no capítulo anterior, há diversas maneiras de se utilizar a glicerina, por isso será levada em consideração para fins deste estudo de viabilidade econômica, a queima direta de glicerina para fins de geração de energia elétrica a ser inserida na rede de distribuição do Sistema Interligado Nacional (SIN). Consideram-se as seguintes premissas para fins de simplificação do estudo:

- Geração de energia em pequena escala;
- Localização próxima à produção de biodiesel e
- Purificação e tratamento na própria planta de geração de energia.

Outras premissas serão detalhadas no decorrer da análise econômica.

### **4.1. CUSTOS X RECEITA**

A metodologia a ser usada neste estudo consiste em calcular o retorno financeiro na venda de energia elétrica gerada por um grupo gerador à glicerina.

As variáveis de custos deste estudo serão:

- Custo de inserção no Sistema Interligado Nacional
- Os custos de O&M anuais dos sistemas;
- Custos de equipamentos (Bicos, Queimadores, Gerador, etc.);
- Total de glicerina queimada e seu preço por tonelada;
- Total de combustível auxiliar e preço por m<sup>3</sup>;
- Potencia de operação da usina;

- Horas em operação por ano;

As variáveis de receita deste estudo serão:

- Preço da energia elétrica fixado pela ANEEL;
- Energia produzida anualmente.

Foi considerada, para fins deste estudo, que tem objetivo de exemplificação, uma planta de pequeno porte atuando em microgeração, ou seja, até 100kW, de maneira que se enquadre na Resolução Normativa 482/2012 da ANEEL de 17 de abril de 2012<sup>1</sup>. Permitindo desta forma, seguir os preceitos de venda de energia na forma de compensação.

Foi calculada então, a receita do projeto que é a economia com a compra de energia provocada pela implantação do empreendimento, baseando-se na quantidade de energia gerada pela planta.

Considerou-se a utilização de uma Caldeira ATA de 300kgv/hora, pressão de trabalho a 10,55 Bar e um Gerador GRUPO GERADOR PRAMAC-LIFTER de 124kVA e rendimento de sistema termelétrico 20%. Na eq.(1) se apresentam os cálculos da capacidade real de geração de energia.

#### **Cálculo da capacidade real de geração de energia:**

- Potência do gerador: 124kVA
- Rendimento sistema termelétrico estimado: 20%
- Tempo de operação: 24horas/dia e 353 dias/ano – considerando 12 dias para manutenção

$$\text{Energia gerada} = \text{Potência} \times \text{Fator de Capacidade} \times \text{Tempo de operação} \quad (1)$$

$$\text{Energia gerada} = 124\text{kW} \times 0,2 \times 24 \text{ h} \times 353 \text{ dias}$$

$$\text{Energia gerada} = \mathbf{210.106 \text{ kWh/ano}}$$

<sup>1</sup>Estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e minigeração distribuída aos sistemas e distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica.  
<http://www.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf>

A Equação 1 retornou o valor de 210.106 kWh gerados por ano de operação da planta, sendo esta a fonte única de receita do projeto.

Conforme descrito anteriormente, a receita do projeto virá através da forma de compensação, ou seja, a quantidade de energia gerada e injetada na rede será abatida da compra da energia no momento do consumo. Sendo assim, a planta em questão deve possuir demanda igual ou superior a 210.106 kWh/ano.

Para o cálculo da receita do projeto é necessária a compreensão da modalidade de fornecimento. Foi considerado como premissa que o produtor se enquadra na tarifa horo-sazonal verde, é a modalidade de fornecimento estruturada para a aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia e dos períodos do ano, bem como de uma única tarifa de demanda de potência. As unidades consumidoras atendidas pelo sistema elétrico interligado com tensão de fornecimento inferior a 69 kV e demanda contratada inferior a 300 kW podem optar pela tarifa horo-sazonal, seja na modalidade azul ou verde. (ANEEL, 2005).

A Resolução Homologatória da ANEEL nº 1507 de 05/04 /2013, apresenta os valores mais atuais cobrados pelos consumidores de na modalidade A4 verde. Valores estes, apresentados na Tabela 5.

**TABELA 5. PREÇOS EM R\$/KWH MODALIDADE TARIFA A4 VERDE.**  
**FONTE: RESOLUÇÃO HOMOLOGATÓRIA ANEEL 1.507 DE 05/04/2013**

<b>Tarifa A4 Verde</b>			
Úmido/ponta	0,91	Seco/ponta	0,91
Úmido/ F. ponta	0,18	Seco/F. ponta	0,18

A energia gerada, calculada na Equação 1, é a energia a ser compensada, evitando o custo de compra de 210.106 kwh/ano ou 24,80 kwh/h.

Considerando que o horário na ponta é das 18 horas às 21 horas, acumulam-se 4 horas por dia de consumo na ponta e 20 horas por dia de consumo fora da ponta. A



tarifa A4 Verde, não diferencia valores Sazonais, conforme pode especificado na Tabela 5.

O calculo da economia de energia é exposto pelas eq. (2), eq. (3) e eq. (4).

Custo por dia na ponta = Horas na ponta x Demanda horária de energia x Tarifa na ponta (2)

$$\text{Custo por dia na ponta} = 4 \text{ horas} \times 24,80 \text{ kwh/hora} \times 0,91 \text{ R\$/kWh}$$

$$\text{Custo por dia na ponta} = \mathbf{90,27 \text{ R\$/kWh}}$$

Custo por dia fora da ponta = Horas fora da ponta x Demanda horária de energia x Tarifa fora ponta (3)

$$\text{Custo por dia fora da ponta} = 20 \text{ horas} \times 24,80 \text{ kWh} \times 0,18 \text{ R\$/kWh}$$

$$\text{Custo por dia fora da ponta} = \mathbf{89,28 \text{ R\$/kWh}}$$

Economia anual de energia = (Custo por dia na ponta + Custo por dia fora da ponta) x Dias em operação (4)

$$\text{Economia anual de energia} = (90,27 \text{ R\$/kWh} + 89,28 \text{ R\$/kWh}) \times 353 \text{ dias}$$

$$\text{Economia anual de energia} = \mathbf{63.381,86 \text{ R\$/ano}}$$

O valor de R\$ 63.381,86 anuais é a receita bruta do empreendimento, sem considerar os investimentos, impostos e operação. Estes custos serão descritos a seguir.

Além dos investimentos iniciais com a compra dos equipamentos como gerador, caldeira e sua instalação que somam **R\$ 185.805,00**, os custos com a compra dos combustíveis são colocados a seguir.

Considerando que a glicerina necessita de um combustível auxiliar para que a queima não emita a acroleína, foi utilizada uma proporção de 10% de gás natural com 90% de glicerina no processo.

A quantidade de glicerina demandada foi calculada com seu poder calorífico em kWh/kg e a energia gerada pelo sistema em kWh. A mesma lógica foi utilizada para calcular a demanda de gás natural. A eq. (5) apresenta o cálculo dos custos com a compra dos combustíveis.

O custo da glicerina utilizado é baseado no valor fornecido pela Indústria Cerâmica Trevo, localizada em Nova Alvorada, Mato Grosso do Sul. Segundo o VCS PD<sup>2</sup> da Cerâmica Trevo, ela utiliza glicerina para a queima em seus fornos no processo de cozimento de sua produção de Tijolos. A Cerâmica Trevo adquire a glicerina já tratada em um grau de pureza entre 95% à 99% proveniente de uma usina de biodiesel localizada no Tocantins a um preço de R\$ 0,25/kg entregue. Desta forma como a planta aqui considerada gera e purifica a própria glicerina, não possui o custo com o transporte e compra de considerou-se um valor de R\$ 0,20/kg para o tratamento da glicerina. É importante ressaltar que utilizando o resíduo gerado da produção do biodiesel, elimina-se o custo com a destinação da glicerina, aqui não considerado mantendo o caráter conservador.

$$\text{Custo total anual glicerina [R\$]} = \text{Energia gerada [kWh]} / \text{Poder calorífico glicerina [kWh/kg]} \times \text{Preço Glicerina [R\$/kg]} \times \text{Proporção de glicerina [\%]} \quad (5)$$

$$\text{Custo total anual glicerina} = 210.106 \text{ kWh} / 4,42 \text{ kWh/kg} \times 0,20 \text{ R\$/kg} \times 90\%$$

$$\text{Custo total anual glicerina} = \mathbf{R\$ 8.563,55}$$

A eq. (6), apresenta o cálculo do custo total da compra de gás natural.

---

<sup>2</sup>O VCS PD é um documento técnico que descreve todos os detalhes do projeto de reduções de emissão de gases de efeito estufa, incluindo a localização, data de início, período de crédito de carbono do projeto e de propriedade das reduções de emissões. O proponente do projeto também irá demonstrar a adicionalidade, identificar o cenário mais plausível, estimar as reduções de emissões na linha de base e cenários de projeto e definir os dados e parâmetros que serão monitorados ao longo do projeto. Mais informações em <http://v-c-s.org/develop-project/project-description-monitoring-report>

$$\text{Custo total anual gás natural [R\$]} = \text{Energia gerada [kWh]} / \text{Poder calorífico gás natural [kWh/L]} \times \text{Preço gás natural [R\$/L]} \times \text{Proporção de gás natural [\%]} \quad (6)$$

$$\text{Custo total anual gás natural} = 210.106 \text{ kWh} / 10,093 \text{ kWh/m}^3 \times \text{R\$ } 3,08 \text{ R\$/m}^3 \times 10\%$$

$$\text{Custo total anual gás natural} = \text{R\$ } 5.925,01$$

Finalmente, considerou-se um custo de Operação e Manutenção (O&M) de forma conservadora, em 10% do valor do equipamento adquirido e instalado (Caldeira e Gerador). A Tabela 6 apresenta o resumo das variáveis descritas acima, bem como suas referências.

TABELA 6. VARIÁVEIS DO FLUXO DE CAIXA DO PROJETO.

FONTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA

Descrição		unidade	Referencia
Poder calorífico glicerina	3.798	kcal/kg	1
1kwh = 860kcal	4,42	kWh/kg	2
Potencia gerador	124	kW	3
Rendimento sistema termelétrico	0,20		3a
Energia gerada	210.106	kwh/ano	Calculado
Custo do tratamento da glicerina	200	R\$/ton	4
	0,2	R\$/kg	Calculado
Glicerina demandada	42.817,73	kg	Calculado
Custo total glicerina	8.563,55	R\$/ano	Calculado
Aquisição do gerador	73.805,00	R\$	3
O&M	10.380,50	R\$	5
Instalação do sistema	82.000,00	R\$	6
Aquisição da Caldeira	30.000,00	R\$	7
Preço combustível auxiliar (GN)	3,08	R\$/m <sup>3</sup>	8
Poder calorífico GN	9.400	kcal/m <sup>3</sup>	9
	10,93	kWh/m <sup>3</sup>	9
GN demandado	1.921,93	M <sup>3</sup>	Calculado
Custo total de GN anual	5.925,01	R\$	Calculado
Preço energia	0,3017	R\$/kwh	Calculado
Receita energia	63.381,86	R\$/ano	10 - Calculado
ICMS	12%		11

Referências:

1. [pt.scribd.com/doc/96703944/glicerina-urificacao](https://pt.scribd.com/doc/96703944/glicerina-urificacao)

2. primeiro princípio da termodinâmica
3. <http://agraupe.com/produtos-pagina-16-produto-Grupo+gerador.htm>
- 3a. Rendimento de sistemas térmicos: EDP - Energias do Brasil S.A.
4. PDD - Ceramica Trevo
5. 10% do valor do equipamento/ano
6. R\$500/kW - considerando custo de inserção na rede, medidor NANSEN, 2013; Cluster para fasear o sistema.  
[http://www.nansen.com.br/produtos\\_medidores\\_eletronicos\\_polifasicos\\_s.php](http://www.nansen.com.br/produtos_medidores_eletronicos_polifasicos_s.php)
7. <http://comprar-vender.mfrural.com.br/detalhe/caldeira-ata-62397.aspx>
8. ANP [http://www.anp.gov.br/preco/prc/Resumo\\_Mensal\\_Combustiveis.asp](http://www.anp.gov.br/preco/prc/Resumo_Mensal_Combustiveis.asp)
9. <http://www.comgas.com.br/tarifas.asp>
10. Resolução Homologatória Aneel 1.507 de 05/04/2013
11. [www.boletimcontabil.com.br/tabelas/icms\\_orig.pdf](http://www.boletimcontabil.com.br/tabelas/icms_orig.pdf)

Com os valores da Tabela 6, é possível montar um fluxo de caixa que oferece uma boa aproximação de custos e receita para fins de análise inicial de tomada de decisão referente ao projeto descrito.

TABELA 7. FLUXO DE CAIXA INICIAL DO PROJETO DE APROVEITAMENTO DA GLICERINA PARA A QUEIMA E GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.

FONTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA

Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Receita												
Receita energia	R\$0	R\$63.382	R\$63.382	R\$63.382	R\$63.382	R\$63.382	R\$63.382	R\$63.382	R\$63.382	R\$63.382	R\$63.382	
	R\$0	R\$63.382	R\$63.382	R\$63.382	R\$63.382	R\$63.382	R\$63.382	R\$63.382	R\$63.382	R\$63.382	R\$63.382	
Despesas												
Aquisição da Caldeira	-R\$	30.000,00										
Aquisição do gerador	-R\$	73.805,00										
Instalação do sistema	-R\$	82.000,00										
O&M		-R\$	10.380,50	-R\$	10.380,50	-R\$	10.380,50	-R\$	10.380,50	-R\$	10.380,50	
Custo total diesel		-R\$	5.925,01	-R\$	5.925,01	-R\$	5.925,01	-R\$	5.925,01	-R\$	5.925,01	
Custo total glicerina		-R\$	8.563,55	-R\$	8.563,55	-R\$	8.563,55	-R\$	8.563,55	-R\$	8.563,55	
	-R\$	185.805,00	-R\$	24.869,05	-R\$	24.869,05	-R\$	24.869,05	-R\$	24.869,05	-R\$	24.869,05
EBITDA												
	-R\$185.805		R\$38.513	R\$38.513	R\$38.513	R\$38.513	R\$38.513	R\$38.513	R\$38.513	R\$38.513	R\$38.513	
ICMS (12%)			-R\$7.606	-R\$7.606	-R\$7.606	-R\$7.606	-R\$7.606	-R\$7.606	-R\$7.606	-R\$7.606	-R\$7.606	
Fluxo de Caixa												
	-R\$185.805		R\$30.907	R\$30.907	R\$30.907	R\$30.907	R\$30.907	R\$30.907	R\$30.907	R\$30.907	R\$30.907	

TIR	11%
VPL (6,5%)	R\$ 129.243,09
Payback simples (anos)	6,012

A Taxa Interna de Retorno do projeto descrito foi de 11% em 10 anos, com o VPL de R\$129.243,09, também em 10 anos a uma taxa de 6,5%. Estes dados determinam a pré-viabilidade econômica positiva da utilização da glicerina no apontado projeto.

Este estudo pode ser complementado com a informação do potencial de geração de energia elétrica brasileiro pela queima de glicerina.

Como apresentado anteriormente neste trabalho, em 2012, o Brasil tem hoje a através das usinas de biodiesel, a capacidade anual de produzir 972.133 toneladas de glicerina, desta forma, o potencial assegurado de geração de energia através da queima da glicerina, hoje no país é de 858,79 GWh anuais ou 98,04 MW de potência, que é equivalente à aproximadamente 4 usinas médias de geração por bagaço de cana ou ainda equivalente à uma Hidrelétrica de pequeno porte como a Usina Hidrelétrica de Paraibuna, no Rio Paraibuna em São Paulo, de 85 MW de potência. (CESP, 2009)

Este potencial se de fato aproveitado por completo seria equivalente a 0,067% da matriz elétrica nacional e 0,85% da matriz elétrica proveniente da biomassa. Com este aproveitamento, o Brasil não teria mais a necessidade de importar energia do Uruguai, equivalente a 70 MW.

O excedente anual de glicerina de 972.133 toneladas é gerado por 61 usinas em operação no Brasil. Portanto, em média uma planta de biodiesel instalada gera aproximadamente 15mil toneladas de glicerina anualmente. Este montante é capaz de gerar 1,51MW de potência. Valor equivalente a uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH) como a PCH Maurício de 1,28MW de potência, localizada em Leopoldina, Minas Gerais. (ENERGISA, 2011).

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme apresentado neste trabalho, a geração de energia elétrica no Brasil provém fundamentalmente do aproveitamento do potencial hidrelétrico. Esse fato coloca o Brasil em uma posição privilegiada e confortável quando comparado a outros países dependentes prioritariamente do petróleo ou carvão mineral, fontes não renováveis de energia, pois se abre a oportunidade para investimento em fontes complementares alternativas, para garantir a segurança energética nacional.

O Brasil claramente dispõe de diversas alternativas para geração de energia elétrica, com destaque para a biomassa visto que há uma grande variedade de recursos energéticos, desde culturas nativas até aproveitamento de resíduos de diversos tipos que é o foco deste estudo que se julga necessário pois as informações do potencial energético de resíduos de biomassa é ainda limitada o que acaba restringindo o seu aproveitamento.

Dada as dimensões continentais do Brasil, cada região oferece em abundância algum recurso natural que pode ser transformado em energia e como a glicerina provém de um combustível versátil como biodiesel, ela é considerada em todo o país. A geração de energia elétrica a partir da biomassa já é uma realidade em importantes setores onde significativo percentual da demanda de energia elétrica das plantas industriais como no sucroalcooleiro e o de papel/celulose, com tecnologias já bem desenvolvidas, utilizando a combustão direta da biomassa. Isso leva a crer que a glicerina pode ter o mesmo destino.

A queima da glicerina para aquecimento processo compensaria os gastos de energia elétrica e tem a possibilidade de eliminar os custos de transporte já que plantas de biodiesel podem queimar seu próprio subproduto no local de sua geração, conforme exemplificado no fluxo de caixa apresentado por este estudo.

A dificuldade de queimar a glicerina, a princípio é ainda um desafio para a indústria. Entretanto, como o processo de queima já é realidade em outras indústrias como de cerâmica vermelha, apesar de ser um processo que requer mais cuidado, não pode

ser desconsiderado tanto pelas indústrias de biodiesel, como pelo Brasil de modo a expandir as fontes de energia alternativa e fomentar a microgeração.

O Brasil precisa de energia em larga escala, e o aproveitamento de pequenos polos com alto potencial no contexto geral, pode colaborar para desafogar a rede nacional. Muitas formas de energia são desperdiçadas por serem descartadas como rejeito, e tratadas como passivo pelas empresas geradoras, a exemplo de casca de coco, bambus, caroço de açaí na Amazônia, casca de arroz, etc. Uma vez que a tecnologia já é existente, a utilização de resíduos para geração de energia elétrica na forma de geração distribuída em maior escala traria diversas vantagens como uma redução na centralização do sistema de geração hoje dependente das usinas hidrelétricas de grande porte, além de colaborar com a solução do problema de logística de destinação do resíduo em um país que sofre com a falta de aterros sanitários ou locais para destinação adequada de rejeitos. Como o Brasil ainda depende de termelétricas de fontes não renováveis como carvão para atender a demanda atual, a adição de energia renovável na rede possui outro impacto ambiental positivo importante a ser considerado é a redução de emissão de gases de efeito estufa que ocasionam o aquecimento global.

O que falta para avançar de forma mais acelerada um crescimento com grande escala, são políticas públicas que garantam a competitividade dessas fontes em geração de pequena escala. A micro e mini geração distribuída, não são ainda consideradas como temas marginais nos planos decenais de energia da EPE. Esse estudo vem mostrar que deve haver certa dose de ousadia para que fosse possível garantir a buscada segurança energética no Brasil, que hoje mostra fragilidade no sistema e planejamento.



## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS<sup>3</sup>:

AALBORG – Aalborg Industries S. A. **Poder Calorífico Inferior**. Petrópolis, 2013. Disponível em <<http://www.aalborg-industries.com.br/downloads/poder-calorifico-inf.pdf>>, acesso em 24 abr. 2013.

AGRAUPE, 2013. Agraupe Distribuidora de Peças Ltda. **Grupo Gerador** - Grupo Gerador PRAMAC-LIFTER, Modelo: GBW110C, Marca: PRAMAC-LIFTER, País de origem: CHINA, Potência: 115KVA / 124KVA, Capacidade: 360L, Disponível em <<http://agraupe.com/produtos-pagina-16-produto-Grupo+gerador.htm>>, acesso em 21 mai. 2013.

ANEEL – Agencia Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**, 2. Ed. – Brasília, 2005. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa%282%29.pdf>>, acesso em: 15 Abr. 2013

ANEEL – Agencia Nacional de Energia Elétrica. **Matriz de Energia Elétrica**, Brasília, 2013. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/APLICACOES/CAPACIDADEBRASIL/OPERACAOCAPACIDADEBRASIL.ASP>>, acesso em: 20 Abr. 2013

ANEEL – Agencia Nacional de Energia Elétrica. **Panorama do Potencial de Biomassa no Brasil: Projeto BRA/00/029 – Capacitação Do Setor Elétrico Brasileiro Em Relação À Mudança Global Do Clima**, Brasília, Dez, 2002. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/panorama\\_biomassa.pdf](http://www.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/panorama_biomassa.pdf)>, acesso em: 21 mai. 2013.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). **Tarifas de fornecimento de energia elétrica /Agência Nacional de Energia Elétrica**. – Brasília, 2005 30 p. : il. - (Cadernos Temáticos ANEEL; 4)

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Produção Nacional de Biodiesel Puro - B100 (barris equivalentes de petróleo)**. Brasília, 2012. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?dw=8739>>. Acesso em 20 mai. 2013.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Sistema de Levantamento de Preços**. Brasília, 2013. Disponível em <[http://www.anp.gov.br/preco/prc/Resumo\\_Mensal\\_Index.asp](http://www.anp.gov.br/preco/prc/Resumo_Mensal_Index.asp)>, acesso em 15 mai. 2013.

BIOLATINA. **Matéria Prima para Produção de Biodiesel**. São Paulo, 2013. Disponível em:

<sup>3</sup> <http://biblioteca.franca.unesp.br/PubArquivos/Referencias.pdf>

<[http://www.biodieselatina.com.br/materia\\_prima\\_para\\_producao\\_de\\_biodiesel.html](http://www.biodieselatina.com.br/materia_prima_para_producao_de_biodiesel.html)>. Acesso em: 20 mai. 2013.

BOLETIM CONTÁBIL, 2013. **ICMS - Tabela de Alíquotas nas Operações Interestaduais com base na Resolução do Senado Federal n. 22/89**. Disponível em <[www.boletimcontabil.com.br/tabelas/icms\\_orig.pdf](http://www.boletimcontabil.com.br/tabelas/icms_orig.pdf)> acesso em 21 mai. 2013.

CENBIO - Centro Nacional de Referência em Biomassa. **Panorama do potencial de biomassa no Brasil**. Brasília, 2002. Dupligráfica.

CENBIO - Centro Nacional de Referência em Biomassa, 2009. **Saiba Mais Sobre Biomassa**. São Paulo, 2009. Disponível em <http://cenbio.iee.usp.br/saibamais.htm>. Acessado em 27 jun. 2013.

CERAMICA TREVO. **Trevo Ceramic - VCS Project Description**. 15 Nov. 2009, São Paulo. Relatório de desenvolvimento do projeto de redução de emissão de gases de efeito estufa – Verified Carbon Standard, elaborado pela Carbono Social Serviços Ambientais LTDA.

CERAMICA BOM JESUS. **Bom Jesus Ceramic - VCS Project Description**. 11 Nov. 2009, São Paulo. Relatório de desenvolvimento do projeto de redução de emissão de gases de efeito estufa – Verified Carbon Standard, elaborado pela Carbono Social Serviços Ambientais LTDA.

CESP, Companhia Energética de São Paulo, **Dados Característicos - UHE Paraibuna**, 2009, São Paulo. Unidades geradoras – geradores. Disponível em [http://www.cesp.com.br/portalCesp/portal.nsf/V03.02/Empresa\\_UsinaParaibuba\\_Dados?OpenDocument](http://www.cesp.com.br/portalCesp/portal.nsf/V03.02/Empresa_UsinaParaibuba_Dados?OpenDocument). Acessado em 27 jun. 2013. COPERNOR - Companhia Petroquímica do Nordeste, **Tecnologia a favor do desenvolvimento sustentável**. Camaçari, 2010. Disponível em: <<http://www.copenor.com.br/compos.php?m=site.item&item=42&idioma=br>>, Acesso em 22 abr. 2013

CUBAS, J. L. et al. **Neutralização da Glicerina Bruta Obtida pela Transesterificação dos Óleos de Crambe, Cártamo e Soja**. In: 7º Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel Out. 2008. Belo Horizonte. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/96703944/glicerina-urificacao>>, acesso em: 10 abr. 2013.

Dantas, M. A., **Análise de Desempenho de um Queimador Infravermelho Funcionando Com Gás Liquefeito de Petróleo e Glicerina**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, Natal, RN, 2010.

DANTAS, Djolse N. **Uso da biomassa da cana-de-açúcar para geração de energia elétrica: análise energética, exergética e ambiental de sistemas de cogeração em sucroalcooleiras do interior paulista**. 2010. 131p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos. São Paulo.

DIPPR – Projeto 801 “**Full Version Evaluated Standard Thermophysical Property Values**” Design Institute for Physical Properties, Department of Chemical

Engineering, Brigham Young University, Provo, Utah, Estados Unidos da América, 2005. Disponível em: <<http://catalogue.library.manchester.ac.uk/items/2881560>>, acesso em: 22 mai. 2005.

GUERATO, F. S. **Análise entre Tecnologias de Geração de Energia Elétrica em Usinas Sucroalcooleiras**. 2011. 28p. Trabalho de Graduação Interdisciplinar apresentado ao Curso de Engenharia de Elétrica da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo

ENERGISA, Grupo Energisa. **Portal Corporativo História**. 2011 Disponível em<[www.grupoenergisa.com.br/grupoenergisa/Grupo%20energisa/Historia.aspx](http://www.grupoenergisa.com.br/grupoenergisa/Grupo%20energisa/Historia.aspx)>. Acessado em: 27 jun. 2013.

EPA, "Toxicological Review of Acrolein," CAS No. 107-02-8, EPA/635/R-03/003, 2003.

EPE/MMA, 2011. Nota Técnica DEA 03/11 (Março/2011). **Projeção da Demanda de Energia Elétrica Para os Próximos 10 anos (2011-2020)**. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/default.aspx>. Acesso em 21/03/2103.

EXCELENCIA ENERGÉTICA **Microgeração Distribuída uma Nova Primavera para as Fontes Alternativas**. Brasília, 2011. Disponível em: <[http://www.excelenciaenergetica.com.br/pdf/arquivo\\_218.pdf](http://www.excelenciaenergetica.com.br/pdf/arquivo_218.pdf)>. Acesso em 21/04/2013.

FERREIRA, M. O. **Purificação da glicerina bruta obtida a partir da transesterificação do óleo de algodão**. 2009. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

FONSECA, Fernando M. Acesso de Usinas Sucroalcooleiras a Sistemas Elétricos de Potência: Cenários Tecnológicos. In: CONSIER 2007. Campinas – São Paulo. **Anais de Congressos**. 2007. 11p

GONÇALVES, et. al. Universidade Federal do Rio de Janeiro – Instituto de Química. **Biogásolina: Produção de Éteres e Ésteres da Glicerina**. Rio de Janeiro, 2006.

INDUKERN – Indukern do Brasil Quimica Ltda. **Ficha de Informações sobre Produtos Químico - Glicerina Bidestilada**. Osasco, Out., 2007. disponível em: [http://www.indukern.com.br/arquivosUP/387\\_Glicerina\\_Bidestilada.pdf](http://www.indukern.com.br/arquivosUP/387_Glicerina_Bidestilada.pdf), acessado em 21/04/2013

LÔBO, I. P., FERREIRA, S. L. C., CRUZ, R. S. BIODIESEL: Parâmetros de Qualidade e Métodos Analítico, 2009. Quim. Nova, Vol. 32, No. 6, 1596-1608. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v32n6/44.pdf>>, acesso em 24/04/2013.

MACEDO, I.C. e Nogueira, L.A.H., Biocombustíveis, **Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República**, Cadernos NAE, Brasília, Brasil, Jan. 2005, 235p.

MEDEIROS, R. Carvão, a nova aposta para o setor elétrico. **A Tribuna**, Criciúma, 11 Jan. 2013. Disponível em: <<http://www.atribunanet.com/noticia/carvao-a-nova-aposta-para-o-setor-eletrico-87884>>. Acesso em: 17 Mai. 2013.

MENDONÇA, L.. Consumo de energia deve crescer 4,8% até 2020. Fev. 2011. **Portal O Setor Elétrico**. Disponível em: <<http://www.osetoelettrico.com.br/web/component/content/article/57-artigos-e-materias/532-consumo-de-energia-deve-crescer-48-ate-2020.html>>. Acesso em 21 abr. 2013.

METZGER, B. **Glycerol Combustion**. Tese submetida para Graduate Faculty of North Carolina State University – Mechanical Engineering. Raleigh, 2007. Disponível em: <<http://www.lib.ncsu.edu/theses/available/etd-07312007-153859/unrestricted/etd.pdf>>. Acessado em 26 abr. 2013.

MDA, Ministério do Desenvolvimento Agrário. **O que é o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB)?**. Brasília, 2012. Disponível em: <http://www.mda.gov.br/portal/saf/programas/biodiesel/2286217>, acessado em 22 abr. 2013

MF RURAL, **Caldeira ATA 300 Kg/H**. Disponível em: <<http://comprar-vender.mfrural.com.br/detalhe/caldeira-ata-62397.aspx>> acesso em: 23 mai. 2013

MME, Ministério de Minas e Energia. **Programa Nacional de Produção e uso do Biodiesel**. Brasília, 2010. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/programas/biodiesel/menu/biodiesel/pnpb.html>>. Acesso em: 22 abr. 2013.

MOREIRA, P. F., MILIKAN, B. **O Setor elétrico Brasileiro e a Sustentabilidade no Século 21: Oportunidades e desafios**. 2ª edição, ed. International rivers network – Brasil, - Brasília: Brasil, 2012. Disponível em: <[http://www.internationalrivers.org/files/attached-files/setor\\_eletrico\\_desafios-oportunidades\\_2\\_edicao\\_nov2012.pdf](http://www.internationalrivers.org/files/attached-files/setor_eletrico_desafios-oportunidades_2_edicao_nov2012.pdf)> acesso em: 20 mai. 2013.

MOTA, C. J. A. Gliceroquímica: a petroquímica renovável. **Tchê Química**, v. 3, n.6, p. 26-31, 2006

MOURA, C. V. R., et. al. Biodiesel de babaçu (*Orbignya sp.*) obtido por via etanólica. **Revista Química Nova**, São Paulo, vol.30 no.3, Mai/Jun. 2007.

NASCIMENTO, U.M. et al., **Montagem e Implantação de Usina Piloto de Baixo Custo para Produção de Biodiesel**, 1º Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel, Brasília, Brasil, Ago. 2006, pp. 147-150.

OLIVEIRA, M. Petroquímica verde - Glicerina que sobra da produção de biodiesel será usada para produzir polipropileno. **Revista FAPESP**, São Paulo. Edição 149, Jul. 2008. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2008/07/01/petroquimica-verde/>>. Acesso em: 10 abr. 2013.

OLIVEIRA, F. C. C., et al. Biodiesel: Possibilidades e Desafios. **Revista Química e Sociedade**. N. 28. Curitiba, Mai 2008.

RODRIGUES, F. Risco de Afogamento. **Revista BiodieselBR**. Ano 3 N° 16. São Paulo. Abr/Mai. 2010.

VASCONCELOS, Y. **Glicerina: resíduos bem-vindos.** Revista Pesquisa FAPESP, São Paulo, v. 196, p. 58-63, Jun. 2012.

WOLFF. A. S., et. al. **Produção Enzimática de Biodiesel.** Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Departamento de Engenharia Química e de Alimentos - Engenharia Bioquímica. Santa Catarina, Out. 2008.