



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO  
SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA  
ENG07053 - TRABALHO DE DIPLOMAÇÃO EM  
ENGENHARIA QUÍMICA



# OTIMIZAÇÃO DO CUSTO NA CADEIA PRODUTIVA DO BIODIESEL NO BRASIL

---

*TRABALHO DE CONCLUSÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA*

*Autor: João Artur Sulzbach Peixoto*

*Orientador: Prof. Dr. Marcelo Farenzena*

Porto Alegre, Novembro de 2014

## Sumário

Sumário .....	II
Agradecimentos .....	III
Resumo.....	IV
Lista de Figuras.....	V
Lista de Tabelas .....	VI
Lista de Símbolos.....	VII
1. Introdução .....	1
2. Revisão Bibliográfica .....	2
2.1 Cenário brasileiro do biodiesel.....	2
2.2 Produção de biodiesel.....	4
2.2.1 Matérias-primas para o biodiesel .....	4
2.2.2 Rotas químicas para a síntese do biodiesel.....	6
2.3 O biodiesel e suas características.....	6
2.4 Elos da cadeia produtiva do biodiesel.....	7
2.4.1 Produtor rural e cooperativas .....	7
2.4.2 Gordura animal .....	7
2.4.3 Usinas de biodiesel.....	7
2.5 Modelagem da cadeia produtiva de biocombustíveis .....	8
2.6 Custos relacionados à cadeia produtiva do biodiesel no Brasil .....	10
3. Metodologia .....	12
3.1 Solução numérica:.....	14
3.2 Microrregiões de matéria-prima:.....	14
3.3 Usinas de biodiesel:.....	16
3.4 Bases de distribuição de combustível: .....	19
3.5 Custo de transporte: .....	20
4. Resultados e Discussão .....	23
5. Conclusões e trabalhos futuros.....	29
6. Referências bibliográficas .....	30
ANEXO A – Resultados numéricos da otimização .....	32

## **Agradecimentos**

Gostaria de agradecer este trabalho a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, que me possibilitou o estudo da engenharia química, através de excelentes professores e currículo muito bem estruturado.

Dedico este trabalho aos meus pais, que me sustentaram através dos anos e acreditaram em mim, me ajudando no dia a dia a realizar o curso de engenharia química e este trabalho de conclusão de curso.

Dedico ao meu orientador Prof. Dr. Marcelo Farenzena, que foi peça fundamental para a realização deste trabalho, me incentivando e discutindo como melhor fazê-lo.

## Resumo

Entende-se como cadeia básica do biodiesel toda a estrutura necessária para a produção deste biocombustível. Desde a obtenção das matérias-primas, passando pelas usinas até os centros de distribuição. Buscar a otimização do custo desta cadeia exige a obtenção dos custos da matéria-prima, dos custos das usinas e da demanda dos centros de distribuição. Para então simular o melhor uso das usinas, a fim de reduzir o custo final do produto.

A fim de modelar o custo final do biodiesel foi projetado, ano a ano, cada um dos seis custos definidos neste estudo para o período de 2014 a 2025. Foi definindo: o custo da soja como matéria-prima única, produzida em 255 microrregiões do país; o custo fixo, o custo variável e o custo de produção para 62 usinas de biodiesel; o custo de transporte da soja para as usinas; e o custo de transporte do biodiesel para os 133 centros de distribuição. Como fator principal para definir a quantidade de combustível produzido nas usinas, a demanda de diesel e o fator de mistura do biodiesel foram também projetados para todo o Brasil. E para a disponibilidade de matéria-prima, a quantidade de soja disponível para a produção do combustível também foi projetada.

Utilizando o modelo de custo baseado no trabalho de Chen, Fan e Huang (2010), junto com os dados projetados, foi realizada a simulação em Python para reduzir ao mínimo o custo total, ano a ano, do biodiesel.

A otimização mostrou a maior influência do custo do insumo para a produção do biodiesel, representando 75,8% do custo total no período analisado. O custo de produção das usinas foi de 6,9%, o custo variável das usinas foi de 5,7%, o custo de transporte do biodiesel das usinas para os centros de distribuição foi de 5,3%, o custo de transporte da soja do campo para as usinas foi de 3,5% e o custo fixo das usinas foi de 2,7%. Assim, temos que o maior fator para o custo do biodiesel atualmente é o seu insumo principal, devendo haver buscas para a diversificação das matérias-primas com custos inferiores ao da soja.

## Lista de Figuras

Figura 1 - Produção de biodiesel no Brasil .....	3
Figura 2 - Valores dos leilões de biodiesel .....	3
Figura 3 - Preço do biodiesel comparado com o petro-diesel .....	6
Figura 4 - Usinas de biodiesel no Brasil .....	8
Figura 5 – Custos relacionados à cadeia produtiva .....	11
Figura 6 - Produção de soja .....	14
Figura 7 - Produtividade de soja por UF .....	15
Figura 8 - Evolução do preço da soja no Brasil .....	16
Figura 9 - Custo fixo das usinas .....	17
Figura 10 - Custo variável e custo de produção das usinas.....	18
Figura 11 - Classificação das usinas de biodiesel.....	18
Figura 12 - Demanda Brasil de diesel .....	19
Figura 13 - Custo de transporte da matéria-prima .....	21
Figura 14 - Custo de transporte do biodiesel .....	21
Figura 15 - Evolução dos custos do biodiesel.....	24
Figura 16 - Participação dos custos do biodiesel.....	25
Figura 17 - Disposição das usinas ativas em 2014.....	26
Figura 18- Disposição das usinas ativas em 2019.....	26
Figura 19- Disposição das usinas ativas em 2025.....	27

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Valores dos leilões de biodiesel.....	3
Tabela 2 - Matérias-primas para o biodiesel.....	5
Tabela 3 - Composição das matérias-primas na produção de biodiesel.....	5
Tabela 4 - Preço da soja no Brasil.....	15
Tabela 5 - Taxa de conversão das usinas.....	18
Tabela 6 - Mistura obrigatória de biodiesel.....	20
Tabela 7 - Custo da cadeia produtiva do biodiesel.....	23
Tabela 8 - Custo da cadeia produtiva do biodiesel se $soj = 1$ .....	23
Tabela 9 - Classificação das usinas de biodiesel.....	27
Tabela 10 - Capacidade utilizada das usinas - 2014 a 2025 (parte 1).....	32
Tabela 12 - Capacidade utilizada das usinas - 2014 a 2025 (parte 2).....	33
Tabela 12 - Resultado da otimização para a rede de usinas.....	34
Tabela 13 - Evolução dos custos da cadeia produtiva do biodiesel.....	34
Tabela 14 - Fração dos custos da cadeia produtiva do biodiesel.....	34
Tabela 15 - Estratificação dos custos para usinas (parte 1).....	35
Tabela 16 - Estratificação dos custos para usinas (parte 2).....	36
Tabela 17 - Média das distâncias do campo para a usina.....	36
Tabela 18 - Média das distâncias da usina para os centros de distribuição.....	37

## Lista de Símbolos

$T$	Conjunto de tempo - ano
$I$	Conjunto de terras produtoras de matéria-prima - microrregião
$J$	Conjunto de usinas de biodiesel
$M$	Conjunto de centros de distribuição de combustível
$p_i$	Custo da matéria prima – R\$ / quilo
$\tau_i$	Fração da produção da terra que pode ser destinada ao biodiesel – %
$c_j$	Custo de produção do biodiesel – R\$ / litro
$f_j^F$	Custo fixo anual de funcionamento da usina de biodiesel – R\$
$f_j^V$	Custo variável anual de funcionamento da usina de biodiesel – R\$ / litro
$d_{ij}$	Distância entre os lugares $i$ e $j$ – km
$t_b^d$	Custo do transporte da matéria-prima – R\$ / km / carregamento
$t_{lq}^d$	Custo do transporte do biodiesel – R\$ / km / carregamento
$lu_b$	Custo de carga e descarga do caminhão com matéria-prima– R\$ / quilos
$lu_{lq}$	Custo de carga e descarga do caminhão com biodiesel - R\$ / quilos
$cap_b$	Capacidade de carregamento do caminhão com matéria-prima – quilos / carregamento
$cap_{lq}$	Capacidade de carregamento do caminhão com biodiesel – litros / carregamento
$\eta_j$	Taxa de conversão da usina de biodiesel – litros / quilos
$capr_j$	Capacidade máxima de produção da usina de biodiesel – litros
$yield_i^t$	Capacidade máxima de produção de matéria-prima na terra $i$ e na fase $t$ – quilos
$\tau_i$	Fator máximo de soja que pode ser direcionada para a produção de biodiesel de uma certa microrregião - %
$D_m^t$	Demanda do centro de distribuição $m$ na fase $t$ – litros
$soj$	Fração do preço da soja que influencia no custo do biodiesel - %
$z_j^t$	Binário que informa se a usina está funcionando ou não – igual a 0 está fechada, igual a 1 está funcionando
$X_i^t$	Quantidade de matéria-prima procurada na terra $i$ na fase $t$ – quilos
$x_{ij}^t$	Quantidade de matéria-prima transportada da terra $i$ para a usina $j$ na fase $t$ – quilos
$y_{jm}^t$	Quantidade de biodiesel transportado da usina $j$ para o centro de distribuição $m$ na fase $t$ – litros
$cap_j^t$	Capacidade utilizada da usina $j$ para a fase $t$ – litros
$pr_j^t$	Produção de biodiesel na usina $j$ na fase $t$ - litros

## 1. Introdução

Energia sempre foi uma preocupação do ser humano. Seja para plantar o alimento antigamente, ou utilizar a irrigação, passando pela construção das pirâmides, pelo período das grandes navegações, pela revolução industrial e até os conflitos no Oriente Médio, a fonte de energia foi o fator decisivo de ações.

No início dos anos dois mil, surgiram muitas preocupações com o uso de combustíveis fósseis e o impacto deles na poluição, visto que não há um ciclo fechado para o carbono (depois de transformado em CO<sub>2</sub> na queima, o carbono não vai se transformar em combustível novamente). Juntamente com o fato de que as reservas são finitas deste combustível, é preciso encontrar outras fontes de energia que sejam sustentáveis.

O biodiesel é conhecido desde o início do século XX (Bergmann et al., 2013). Entretanto, sua importância cresceu muito na última década no cenário mundial. Países aprovaram leis que obrigam a mistura do biodiesel com o diesel oriundo do petróleo, a fim de motivar a produção deste combustível.

Queimar o biodiesel junto com o petro-diesel parece uma atitude louvável pelo meio-ambiente. Porém existem fatores que depõe contra o uso deste combustível atualmente. O uso da terra arável para produção de matéria-prima para o biodiesel em competição com os alimentos é um exemplo. O aumento na manutenção dos equipamentos movidos a Diesel também ocorreu.

Vive-se numa sociedade onde o custo do diesel influencia o preço de milhares de outros produtos, visto custo de frete, produção de energia, etc. O governo ao definir obrigatória a mistura do biodiesel, gera o aumento do preço final do diesel consumido. Visto que o biodiesel é atualmente mais caro que o petro-diesel.

A fim de estudar o custo deste “combustível verde”, neste trabalho será feito a análise da formação do custo do biodiesel. Começando com a análise das fontes de óleo para a produção e a formação do custo total. Passaremos pela definição de cálculo do método para o custo total de produção e analisaremos o resultado para o caso da produção no Brasil. Assim como será apresentado a melhor operação das atuais plantas de biodiesel no Brasil, visando minimizar o custo da cadeia produtiva para este combustível, ano a ano, conforme cenário projetado de 2014 até 2025.

## **2. Revisão Bibliográfica**

Será mostrado neste capítulo o cenário necessário para o entendimento do combustível biodiesel no Brasil, a fim de desenvolver o estudo do custo da cadeia produtiva. Falando sobre as políticas públicas, matérias-primas, usinas instaladas e os custos associados, serão apresentados todos os fatores necessários para montar o modelo matemático que permite a simulação da cadeia básica do biodiesel no Brasil.

### **2.1 Cenário brasileiro do biodiesel**

Desde os anos de 1920, o Brasil tem estudado o biodiesel, quando ainda eram misturados óleos naturais com petro-diesel para testar a eficácia do combustível nos motores a ciclo Diesel. Nos anos oitenta, o programa governamental Proóleo desejava implementar uma mistura de 30% de biodiesel no petro-diesel (B30). Porém, devido ao elevado custo do biodiesel frente ao petro-diesel, o programa foi deixado de lado (Bergmann et al., 2013).

Em 2002, o governo criou o programa Probi biodiesel, visando diminuir a importação deste produto, visto elevado custo. Também era preciso diminuir as emissões de gases do efeito estufa, visto protocolo de Kyoto. Assim o biodiesel se mostrava uma boa alternativa.

Marco do biodiesel no Brasil, o Plano Nacional de Produção de Biodiesel (PNPB) foi lançado em 2004, sendo homologado em forma de lei sob número 11.097 / 2005, sob resolução onde definiu a introdução do biodiesel na matriz energética do país. Nele era determinado uma mistura de 2% de biodiesel (B2) obrigatória a partir de 01 de Janeiro de 2008. Com sucessivos aumentos da mistura, em Janeiro de 2010 tornou-se obrigatória a mistura de 5% do biodiesel, passando para 6% em Julho de 2014 e previsto para 7% a partir de Novembro de 2014.

Com uma demanda imposta, era necessária a produção deste produto em larga escala. Hoje o Brasil encontra-se entre os maiores produtores de biodiesel do mundo. Houve, por outro lado, problemas em tal período: na fase inicial houve falhas de fornecimento, e visto ao custo sempre superior ao petro-diesel, a insatisfação dos clientes finais ao pagar por um diesel mais caro, comparado ao caso de não haver a mistura do biodiesel.

O governo federal visava, ao criar o mercado do biodiesel, a geração de um milhão de empregos no campo, visto que o projeto foi estruturado para que as usinas de biodiesel utilizem em parte a matéria-prima originária de plantações familiares. Fato que se concluiu em parte, como noticiado pelo Portal do Ministério do Desenvolvimento Agrário que 105 mil famílias estavam sendo beneficiadas pelo programa em 2012.

No ano de 2012 foram produzidos 2,7 bilhões de litros, colocando o nome do Brasil como um dos maiores produtores mundiais de biodiesel no mundo (Bergmann et al., 2013). Podendo se ver na Figura 1 a evolução da produção nacional de biodiesel.

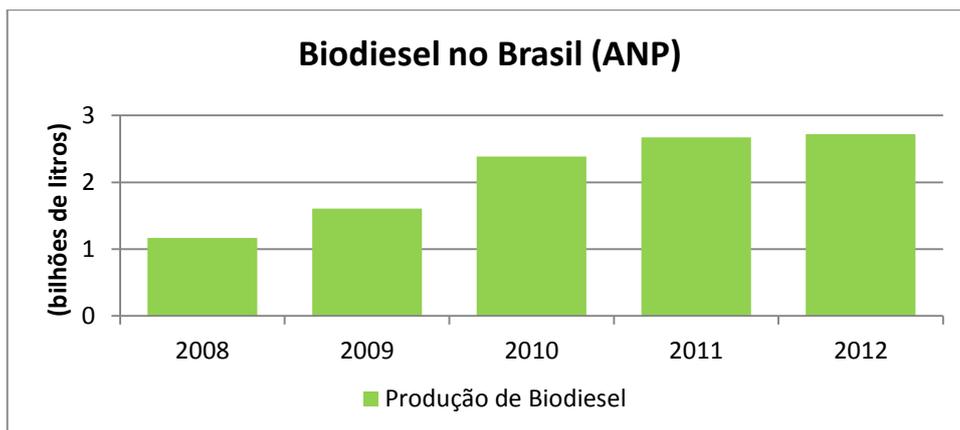


Figura 1 - Produção de biodiesel no Brasil – FONTE: ANP/2013

Na Tabela 1 e Figura 2 estão os valores referentes aos últimos leilões de biodiesel.

Tabela 1 - Valores dos leilões de biodiesel – FONTE: ANP/2013

Leilão	Data de referencia	Preço médio (R\$/litro)	Valor comercializado
24	Jan-Fev-Mar/12	2,40	R\$ 1.550.334.930
25	Abr-Mai-Jun/12	2,11	R\$ 1.430.306.850
26	Jul-Ago-Set/12	2,49	R\$ 1.915.708.145
27	Out-Nov-Dez/12	2,67	R\$ 2.068.122.525
	<b>TOTAL 2012</b>	<b>2,43</b>	<b>R\$ 6.964.472.450</b>
28	Jan-Fev-Mar/13	2,55	R\$ 1.267.301.774
29	Abr-Mai-Jun/13	2,21	R\$ 1.145.204.540
30	Jul-Ago-Set/13	1,98	R\$ 967.890.431
31	Out-Nov-Dez/13	1,94	R\$ 998.901.068
	<b>TOTAL 2013</b>	<b>2,17</b>	<b>R\$ 4.379.297.813</b>

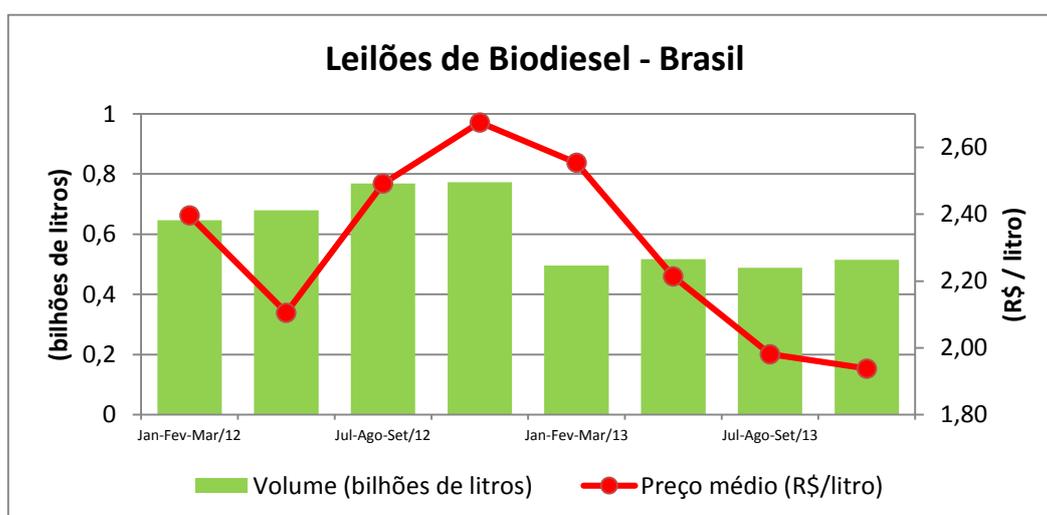


Figura 2 - Valores dos leilões de biodiesel – FONTE: ANP/2013

No Brasil, a agência reguladora do mercado de combustíveis é a Agência Nacional do Petróleo (ANP). Através do PNPB, ficou estabelecido que esta agência seria responsável pela organização dos leilões de compra do biodiesel junto às usinas produtoras e a compradora seria a empresa estatal Petrobrás, que depois faria a revenda às distribuidoras de combustível. Houve algumas mudanças ao longo dos anos na legislação que parametriza esta ação de compra e venda até os dias atuais.

A compra e venda de biodiesel atualmente ocorre através de leilões trimestrais, com regulação da ANP, mas operacionalizado pela Petrobrás. As usinas de biodiesel que são cadastradas, e que podem comercializar biodiesel, disponibilizam uma quantidade de produto no leilão, assim como o preço por litro. Há uma estimativa total do volume a ser comercializado no leilão, entretanto, as distribuidoras de combustível (BR Distribuidora, Ipiranga, Raízen, etc.) são responsáveis pela aquisição dos seus volumes trimestrais, assim como a busca do produto nas usinas produtoras.

O leilão ocorre com as usinas de biodiesel indicando seus preços às distribuidoras de combustível, que por sua vez escolhem por preço, qualidade e custo logístico as empresas que querem comprar, sendo que em certas etapas, as usinas de biodiesel, em livre concorrência, podem reduzir o preço do seu produto a fim de conquistar um volume maior de venda. Assim como as distribuidoras atribuem preço ao biodiesel, que se for inferior ao ofertado por uma empresa concorrente, esta terá que procurar o produto em outra usina.

Depois de ocorrido o leilão de biodiesel, sempre realizado três meses antes das primeiras entregas, a empresa Petrobrás centraliza os contratos de compra e venda entre as usinas e as distribuidoras, contendo uma margem fixa de quarenta reais por metro cúbico comercializado. O braço de distribuição desta companhia nacional (BR Distribuidora) participa da seleção das usinas de biodiesel somente após todas as outras distribuidoras realizarem suas compras.

## **2.2 Produção de biodiesel**

### **2.2.1 Matérias-primas para o biodiesel**

Conforme apresentado por J. C. Bergmann (2013), têm-se várias fontes de matéria-prima para a produção do biodiesel. Desde o babaçu ao óleo de palma, passando pelo óleo de soja, de girassol, de algodão, entre outros. Cada matéria-prima tem seu mercado, área de plantio e produtividade diferentes. No referido trabalho, ele apresenta dez fontes óleos e gorduras para produção do biodiesel, mostrando como estão desenvolvidas cada atividade dentro do nosso país. Vale destacar a produção de palma, de pinhão-mansão e de coco, com maiores rendimentos de massa de óleo por hectare de produção, como vistos na Tabela 2.

Tabela 2 - Matérias-primas para o biodiesel – FONTE: J.C. Bergmann / 2013.

Matéria-prima	Óleo presente (%)	Cultura	Rendimento em óleo (kg/ha)
Óleo de Palma	22	Permanente	2000-8000
Pinhão-Manso	38	Permanente	1200-1500
Coco	58-65	Permanente	1481
Babaçu	60	Permanente	120
Mamona	39.6-59.5	Anual	470-810
Amendoim	40-60	Anual	788
Girassol	40-47	Anual	774
Soja	18-21	Anual	560
Canola	34-40	Anual	570
Algodão	18-20	Anual	361

Como foi estudado por Batalha e César (2013), o cultivo do óleo de palma no Brasil não conseguiu evoluir nos últimos anos como se era esperado. Adaptado para ser cultivado no norte do país, a produção de palma foi incentivada por usinas de biodiesel nesta região. Devido à baixa instrução dos agricultores e uma infraestrutura deficiente para armazenamento e transporte, este tipo de cultivo não obteve tanto sucesso, apesar de seu elevado rendimento de óleo por área de cultivo.

O mesmo ocorreu com o cultivo da mamona, conforme estudado por Bijman, Slingerland e Watanabe (2012). Eles analisaram as estruturas da cadeia produtiva do óleo de mamona e óleo de soja no norte do estado de Minas Gerais. Devido ao pouco empenho dos agricultores familiares, histórico de dificuldades financeiras com este tipo de cultivo e falta de união entre eles em associações para melhor desenvolver a cultura, este cultivo não tem alcançado o volume esperado para fornecimento a uma usina da Petrobrás em Montes Claros (MG).

Sendo assim, o principal agente na fabricação do biodiesel brasileiro tornou-se a soja. Por ser uma cultura já estabelecida há tempos, com mercado internacional bem desenvolvido e com grandes volumes de produção, ela representa cerca de oitenta por cento da matéria-prima utilizada, em relação aos óleos e gorduras.

No Brasil, a gordura animal entra como segunda matéria-prima mais utilizada, com cerca de quinze por cento em média, restando uma pequena fatia para o óleo de algodão, e uma parte menor ainda para as outras matérias-primas.

Tabela 3 - Composição das matérias-primas na produção de biodiesel – FONTE: ANP/2013

Matéria-prima	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Óleo de soja	31%	95%	87%	82%	77%	83%	81%	77%
Óleo de algodão	0%	0%	0%	2%	4%	2%	4%	4%
Gordura animal	0%	1%	8%	13%	16%	13%	13%	17%
Outros materiais graxos	69%	4%	5%	3%	2%	2%	2%	1%

## 2.2.2 Rotas químicas para a síntese do biodiesel

A produção de biodiesel é realizada através do processo químico de transesterificação do óleo vegetal, na presença de um álcool, originando o biodiesel e glicerina como subproduto. O álcool mais utilizado no processo é o metanol, visto maior velocidade de reação quando comparado a outros álcoois, mas também pode se encontrar o uso do etanol. Também há a presença de catalisadores no processo.

A glicerina pode ser utilizada na indústria farmacêutica, na indústria alimentícia, em cosméticos, detergentes, entre outros fins, melhorando o resultado financeiro da usina, ou então permitindo a maior competitividade no preço do biodiesel nos leilões.

## 2.3 O biodiesel e suas características

O biodiesel apresenta preço superior ao preço do petro-diesel, encarecendo o preço final do diesel comercializado no país, como mostrado na Figura 3.

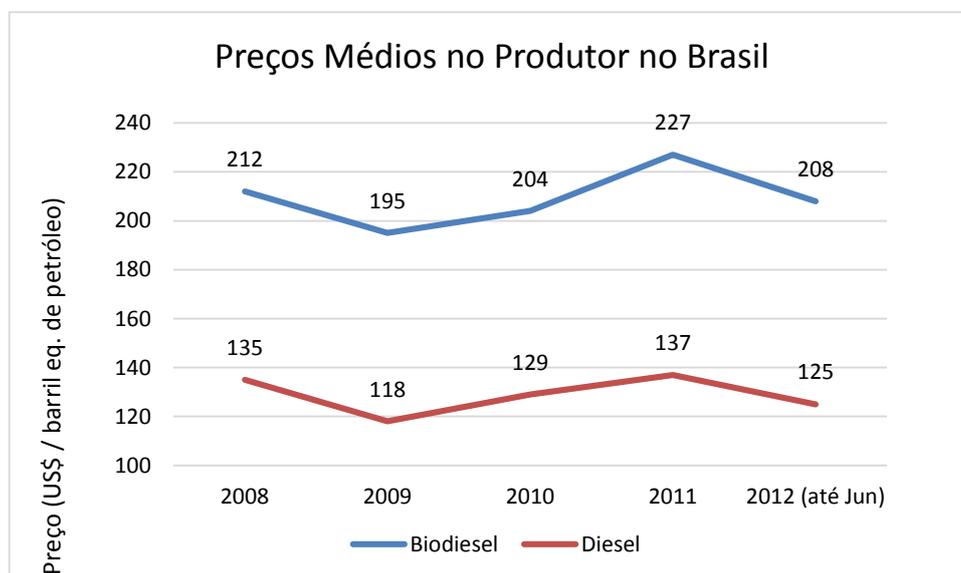


Figura 3 - Preço do biodiesel comparado com o petro-diesel – FONTE: Dornelles/2012

Um estudo da FGV Projetos (ABIOVE, 2013), realizado para a Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (ABIOVE), mostra o impacto na inflação do aumento da mistura de biodiesel de 5% para 20%. Ele diz que haveria um impacto de 0,01% no índice nacional de preços ao consumidor amplo (IPCA) caso o aumento fosse gradual, aumentando 1% na mistura a cada ano. Caso fosse realizado um aumento imediato de 5% para 20% na mistura de biodiesel, o impacto seria inferior a 0,18% no IPCA.

O uso do biodiesel atribuiu um problema extra na cadeia do diesel: a formação maior de borras e maior manutenção dos equipamentos. Este combustível, como foi dito, tem origem em óleo vegetal ou gordura animal. Assim, observou-se a precipitação de um gel, formado por monoglicerídeos, diglicerídeos e triglicerídeos e sabão. Sendo o biodiesel um combustível higroscópico (absorve água), o seu armazenamento deve ser por curto prazo, visto que também os microrganismos, na presença de água, podem formar um lodo. (BIODIESELBR, 2010). Em comparação ao tempo do uso puro do petro-diesel, ocorreu um gasto maior com manutenção de filtros e equipamentos.

## 2.4 Elos da cadeia produtiva do biodiesel

### 2.4.1 Produtor rural e cooperativas

Na criação do Plano Nacional de Produção de Biodiesel (PNPB), o governo federal tinha como foco o desenvolvimento do produtor rural familiar, visto que 80% do volume é ofertado somente para as usinas com o Selo de Combustível Social. Para obter este selo, a usina necessita comprar um percentual mínimo, relação entre valor de compra dos insumos de origem da agricultura familiar (R\$) e o valor total de insumos (R\$). Para insumos provenientes das regiões Norte e Centro-Oeste, o mínimo é de 15%, caso seja de origem das regiões Sudeste, Nordeste e Semiárido, o mínimo é de 30%, ou então para os insumos de origem da região Sul, o mínimo é 40%. A usina pode adquirir de diferentes regiões do país, desde que a seguinte regra seja obedecida:

$$\left(\frac{A}{15\%}\right) + \left(\frac{B}{30\%}\right) + \left(\frac{C}{40\%}\right) > D$$

Em que:  $A$  é o custo anual, em reais, das aquisições da agricultura familiar das regiões Norte e Centro-Oeste,  $B$  é o custo anual, em reais, das aquisições da agricultura familiar das regiões Sudeste, Nordeste e Semiárido,  $C$  é o custo anual, em reais, das aquisições da agricultura familiar da região Sul; e  $D$  é o valor total, em reais, das aquisições totais de matérias primas utilizadas no período para a produção de biodiesel.

Para o produtor rural familiar, faz-se necessário a obtenção da Declaração de Aptidão do Pronaf (DAP), para que ele seja caracterizado como produtor rural. Assim, o produtor familiar viu as usinas o procurarem a fim de estreitar as relações de compra e venda, pois essas dependem dele para participar da maioria do volume ofertado nos leilões. Com esta aproximação, uma parte dos produtores rurais se uniu em associações ou cooperativas para melhor desenvolver as culturas e com garantias de venda para as usinas. Garantindo que parte da riqueza gerada pelo biodiesel chegasse ao campo, e principalmente aos produtores familiares.

### 2.4.2 Gordura animal

O segundo principal insumo na produção do biodiesel é a gordura animal. Ela é obtida dos produtores de carne (abatedouros), e segue para a produção de biodiesel. Não há nenhuma regra que determine o mínimo de gordura animal de origem familiar (não entra no cálculo mostrado anteriormente), fazendo com que usinas, como a JBS, que produz grande parte de seu biodiesel de gordura animal, também compre outras matérias-primas para obter o Selo de Combustível Social.

### 2.4.3 Usinas de biodiesel

Atualmente, o Brasil possui 62 usinas de biodiesel autorizadas para a produção de biodiesel. Elas encontram-se distribuídas por todo o país. Desde o início do PNPB em 2006, novas usinas abrem ano após ano, sendo que também há usinas que fecham suas portas. No ano de 2013, somente 46 usinas produziram biodiesel, e no ano de 2012 foram 50 usinas.

Com uma capacidade instalada de 7,5 milhões de m<sup>3</sup> / ano (20,6 mil m<sup>3</sup> / dia) em 2012, as usinas utilizaram somente 36,1% de sua capacidade instalada, produzindo 2,7 milhões de m<sup>3</sup> de biodiesel. Atualmente, a capacidade instalada é de 21,8 mil m<sup>3</sup> / dia (Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2014), mostrando que há um grande espaço para o crescimento na produção deste combustível no Brasil.

Na Figura 4, está indicado como estão distribuídas pelo país as usinas autorizadas a produzir biodiesel pela ANP no ano de 2012.

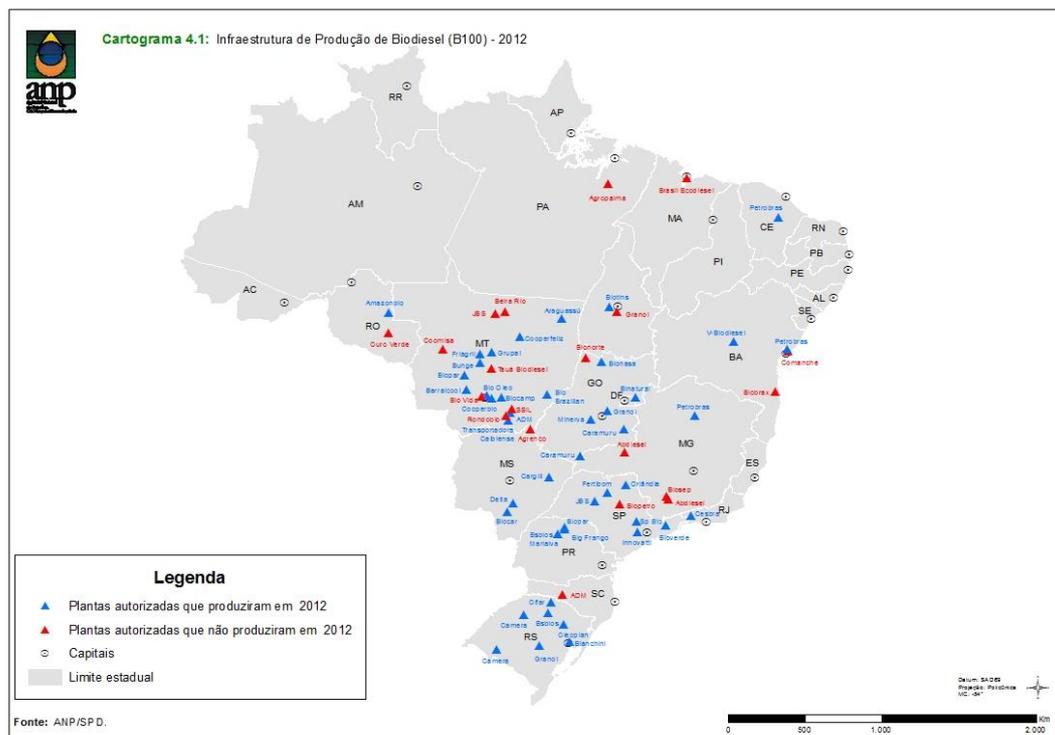


Figura 4 - Usinas de biodiesel no Brasil – FONTE: ANP/2013

## 2.5 Modelagem da cadeia produtiva de biocombustíveis

Otimizar o custo da cadeia produtiva do biodiesel para o estado do Rio Grande do Sul, buscando a melhor localização para uma nova usina, foi o objetivo de Zot (2006). Analisando a estrutura de consumo e distribuição de diesel neste estado, foi determinado um modelo para otimizar a localização de uma nova usina de biodiesel. Considerando que o estudo foi publicado em 2006, nos primórdios do biodiesel no Brasil, foi considerado que o estado somente produziria o que fosse consumir de biodiesel, desconsiderando que haveria exportação do produto para outros estados e / ou países.

Zot (2006) modelou a produção de biodiesel levando em conta os fatores de fornecimento de óleo pelas esmagadoras de soja, fornecimento de álcool e o consumo dos centros de distribuição de combustível para o estado do Rio Grande do Sul. Assim, ele buscou minimizar o custo total de instalação de uma nova usina e o custo de transporte dos insumos e do biodiesel. Seu resultado foi que a melhor localização seria o município de Canoas, localizado junto ao maior centro consumidor de diesel do estado, e com a presença de duas esmagadoras de soja para o fornecimento de óleo. Excluindo

este município como resultado, visto que o óleo de soja poderia ter outros destinos, seu modelo indicou a cidade de Veranópolis como local de instalação, em três cenários diferentes. Esta cidade possui esmagadora de soja e fica a 150 km de Canoas, onde está o maior centro de distribuição de combustíveis do estado.

Hamacher, Leão e Oliveira (2011), cientes do problema da grande distância entre o fornecimento do óleo de soja e a usina Petrobrás de Montes Claros, estudaram onde melhor instalar unidades de extração de óleo na região da usina. Levando em conta os custos da cadeia produtiva, eles verificaram que ao longo do tempo, as áreas de produção tendem a ficar próximas das unidades esmagadoras. Assim como em todos os cenários avaliados, há a presença de esmagadoras na mesma cidade da usina (Montes Claros – MG), e que elas são instaladas no início do período da simulação.

O estado de Illinois nos Estados Unidos foi responsável pela produção de 40% do milho utilizado na produção de etanol no ano de 2008, conforme Bai, Ouyang e Pang (2012). Sendo um dos principais produtores desta matéria-prima, eles utilizaram este dado para simular a melhor localização para instalação de usinas de etanol no estado. Considerando um modelo onde a venda de milho ocorre para os mercados locais e para as usinas, eles simularam quatro cenários diferentes, considerando como fator decisivo o maior lucro do produtor rural e da usina. Diferentemente de outros estudos, eles utilizaram do fato que o preço do milho varia conforme a oferta e demanda nos mercados locais, mostrando a competição entre alimentos e energia pelo cultivo da terra. Eles criaram um cenário onde havia cooperação entre produtor rural e usina e outro que não havia cooperação, em ambos, foi conclusivo que a instalação de usina de etanol na região impactaria com o preço do milho localmente. Sendo que em um cenário cooperativo, o fator predominante foi economizar com custo de transporte para maximizar os lucros.

Para produzir energia elétrica com madeira seca residual de florestas no norte da Espanha, Gnansounou e Panichelli (2008) estudaram a melhor localização para a implantação de duas centrais que transformam madeira em carvão, e uma central que transforma o carvão em energia elétrica e a disponibiliza na rede nacional. Para tal, utilizando um sistema de informação geográfico (SIG) para auxiliar com os dados e representação dos resultados, eles modelaram o menor custo de transporte da matéria-prima para este tipo de produção de energia. Considerando a coleta da madeira de diferentes tipos, em diferentes municípios, transportando para as centrais de transformação, eles encontraram duas cidades que reduziam o custo total. Vale destacar que o menor custo de transporte foi encontrado com duas cidades na região central do mapa, sendo que uma das cidades receberia uma unidade de transformação de madeira para carvão e também a unidade de transformação do carvão em energia elétrica. Com o uso do SIG, a representação dos dados e da solução é mostrada de forma clara.

Visando minimizar o custo da cadeia produtiva do etanol para o estado da Califórnia, nos Estados Unidos, Chen, Fan e Huang (2010) desenvolveram um modelo cujas variáveis eram a localização / preço da matéria-prima, transporte de insumos e produto, demanda do mercado consumidor, custo de instalação de usinas, custos fixos e variáveis de operação delas e o custo dos estoques de etanol nas usinas, em um horizonte de dez anos. Neste estudo foi considerado como fonte de matéria-prima oito diferentes fontes para a produção de etanol, e seus respectivos custos dentro deste estado. Para o custo de instalação das usinas foi considerado três níveis, visto custo da

terra e da mão de obra local. Em relação ao custo de produção, foi considerado um custo constante, referente à enzima utilizada, visto que o modelo aceita que as matérias-primas sejam processadas conjuntamente nas unidades. Sendo premissa que no futuro haverá tecnologia para tal, devendo haver nas usinas um pré-processamento do insumo, porém isto não foi levado em conta no cálculo dos custos. O modelo desenvolvido pelos pesquisadores é capaz de fornecer o custo total do etanol, sendo apresentado um caso com dados reais, e também podemos identificar a formação do custo deste produto. Vale destacar que o custo com o capital na usina é o mais representativo na formação do custo, representando cerca de 40% do custo total.

## **2.6 Custos relacionados à cadeia produtiva do biodiesel no Brasil**

Buscar a competitividade no mercado, muitas vezes implica ter um preço mais baixo do que se gostaria de ter no mercado. Para não comprometer as margens de lucro dos produtos, as empresas devem medir e buscar uma redução dos custos da cadeia produtiva. Entretanto, se faz necessário a medida correta destes custos. Conforme o artigo de Pettersson e Segerstedt (2013), para medir os custos da cadeia produtiva de um produto, deve-se levar em conta a seguinte estrutura mostrada na Figura 5.



Figura 5 – Custos relacionados à cadeia produtiva – FONTE: Pettersson e Segerstedt/2013

No design dos biocombustíveis, têm-se geralmente a mesma estrutura de custos da cadeia produtiva, visto que a matéria-prima vem do plantio no campo, depois é processada em usinas e segue para os centros de distribuição de combustíveis. O melhor dos casos para um biocombustível seria a matéria-prima, a usina e o centro de distribuição de combustível pertencer à mesma zona geográfica, facilitando questões de transporte e estoque de armazenamento.

### 3. Metodologia

Para realizar o estudo, foram consideradas no Brasil duzentas e cinquenta e cinco microrregiões produtoras de soja, sessenta e duas usinas de biodiesel e centro e trinta e três municípios com bases de distribuição de combustível, sendo o período analisado de 2014 até 2025, anualmente. O óleo de soja é o único insumo considerado para a produção, considerando que em todas as usinas ele é obtido pelo processamento do grão de soja na mesma localização da usina.

Com o objetivo final de reduzir o custo da cadeia produtiva do biodiesel, o modelo informa às usinas que deveriam ser construídas para funcionar neste período e a partir de que ano isto deveria ocorrer. Considerando que não há nenhuma usina construída antes de 2014, e que a demanda de produção será somente motivada pelo consumo do mercado interno, ano a ano, a rede de usinas brasileiras é otimizada.

A fim de calcular o custo total da cadeia do biodiesel no Brasil, foi utilizado como base o modelo utilizado por Chen, Fan e Huang (2010), com pequenas adaptações. Neste modelo, busca-se minimizar a equação de custos totais para a cadeia produtiva do biodiesel, determinando cada uma das seis variáveis.

$$\begin{aligned} & \frac{\text{Minimizar}}{\text{variando } z_j^t, cap_j^t, pr_j^t, X_i^t, x_{ij}^t, y_{jm}^t} \sum_{t \in T} \left\{ \sum_{j \in J} \left( (f_j^F [R\$] \times z_j^t [0,1]) \right. \right. \\ & \quad \left. \left. + \left( f_j^V \left[ \frac{R\$}{l} \right] \times cap_j^t [l] \right) + \left( c_j \left[ \frac{R\$}{l} \right] \times pr_j^t [l] \right) \right) \right. \\ & \quad \left. + \sum_{i \in I} \left( p_i \left[ \frac{R\$}{kg} \right] \times soj [\%] \times X_i^t [kg] \right) + TC_1 + TC_2 \right\} \end{aligned}$$

Onde:

$$TC_1 = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \left( \frac{t_b^d \left[ \frac{R\$}{km. carg} \right] \times d_{ij} [km]}{cap_b \left[ \frac{kg}{carg} \right]} + lu_b \left[ \frac{R\$}{kg} \right] \right) \times soj [\%] \times x_{ij}^t [kg]$$

$$TC_2 = \sum_{j \in J} \sum_{m \in M} \left( \frac{t_{lq}^d \left[ \frac{R\$}{km. carg} \right] \times d_{jm} [km]}{cap_{lq} \left[ \frac{l}{carg} \right]} + lu_{lq} \left[ \frac{R\$}{l} \right] \right) \times y_{jm}^t [l]$$

Para o cálculo do custo da cadeia produtiva, foram respeitadas as seguintes condições:

Usina de biodiesel:

A produção de biodiesel na usina deve ser igual à quantidade de soja

transportada do campo para a usina, multiplicado pelo fator de conversão.

$$\sum_{i \in I} x_{ij}^t [kg] \times \eta_j \left[ \frac{l}{kg} \right] = pr_j^t [l] \quad \forall j \in J, t \in T$$

A produção de biodiesel na usina deve ser igual à quantidade de biodiesel transportada da usina até as bases de distribuição.

$$\sum_{m \in M} y_{jm}^t [l] = pr_j^t [l] \quad \forall j \in J, t \in T$$

A capacidade utilizada da usina deve ser sempre igual ou menor que a capacidade máxima de produção multiplicado pelo binário que indica o funcionamento ou não da usina.

$$cap_j^t [l] \leq capr_j [l] z_j^t [0,1] \quad \forall j \in J, t \in T$$

Uma vez que a usina foi acionada para produzir biodiesel, ela não será desligada, mantendo os custos fixos ao longo do período restante.

$$z_j^{t-1} [0,1] \leq z_j^t [0,1] \quad \forall j \in J, t = 2 \dots T$$

A capacidade utilizada da usina sempre será igual ou maior que a quantidade produzida de biodiesel pela usina, pois certos custos independem da produção, como gastos com funcionários.

$$pr_j^t [l] \leq cap_j^t [l] \quad \forall j \in J, t \in T$$

A capacidade utilizada da usina não diminui com o passar do tempo, visto que será admitido somente que a usina cresça, assim, não havendo diminuição nestes custos associados à capacidade utilizada.

$$cap_j^{t-1} [l] \leq cap_j^t [l] \quad \forall j \in J, t = 2 \dots T$$

#### Fontes de matéria-prima:

A quantidade total transportada de uma microrregião é igual ao somatório de todas as quantidades transportadas a partir daquelas terras.

$$X_i^t [kg] = \sum_{j \in J} x_{ij}^t [kg] \quad \forall i \in I, t \in T$$

A quantidade total transportada de uma microrregião não pode ultrapassar o limite máximo de produção daquela microrregião multiplicado por um fator limitante.

$$X_i^t [kg] \leq yield_i^t [kg] \times \tau_i [\%] \quad \forall i \in I, t \in T$$

#### Centros de distribuição de combustível:

A demanda de biodiesel de uma base de distribuição deve ser igual ao somatório da quantidade transportada das usinas até esta base.

$$\sum_{j \in J} y_{jm}^t [l] = D_m^t [l] \quad \forall m \in M, t \in T$$

#### As variáveis devem respeitar as seguintes condições:

$$z_j^t = \{0,1\} \quad \forall j \in J, t \in T$$

$$X_i^t \geq 0 \quad \forall i \in I, l \in L, t \in T$$

$$x_{ij}^t \geq 0 \quad \forall i \in I, l \in L, j \in J, t \in T$$

$$y_{jm}^t \geq 0 \quad \forall j \in J, m \in M, t \in T$$

$$cap_j^t \geq 0 \quad \forall j \in J, t \in T$$

$$pr_j^t \geq 0 \quad \forall j \in J, t \in T$$

### 3.1 Solução numérica:

Este modelo foi implementado na linguagem de programação Python, utilizando o solver GLPK (Gnu Linear Programming Kit) através da extensão Pulp, que torna possível o uso deste solver com a linguagem Python. Sendo a versão 2.6 do Python, num sistema operacional Windows 7 (32 Bits), com processador Inter<sup>®</sup> Core<sup>™</sup> i3, 2.27 GHz, 2,00 GB de memória RAM. O sistema demorou aproximadamente treze minutos para realizar o processo de otimização, convergindo para o mínimo da função principal a cada ano da simulação.

### 3.2 Microrregiões de matéria-prima:

Para obter os dados de produção de soja de cada município brasileiro, foi utilizado o relatório de Produção Agrícola Municipal (PAM), divulgado pelo IBGE anualmente. A produção de soja de 2008 a 2012 (último ano disponível) foi reunida em microrregiões. Foi também calculado o município com maior produção durante este período, sendo ele considerado o centro daquela microrregião para questões de transporte da soja até as usinas.

Com o auxílio das séries históricas fornecidas pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) e o relatório Projeções do Agronegócio – Brasil 2012/13 a 2022/23 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, foi projetado a quantidade de soja que o país deve produzir para o período deste estudo, através de uma extrapolação linear da série histórica, vide Figura 6.

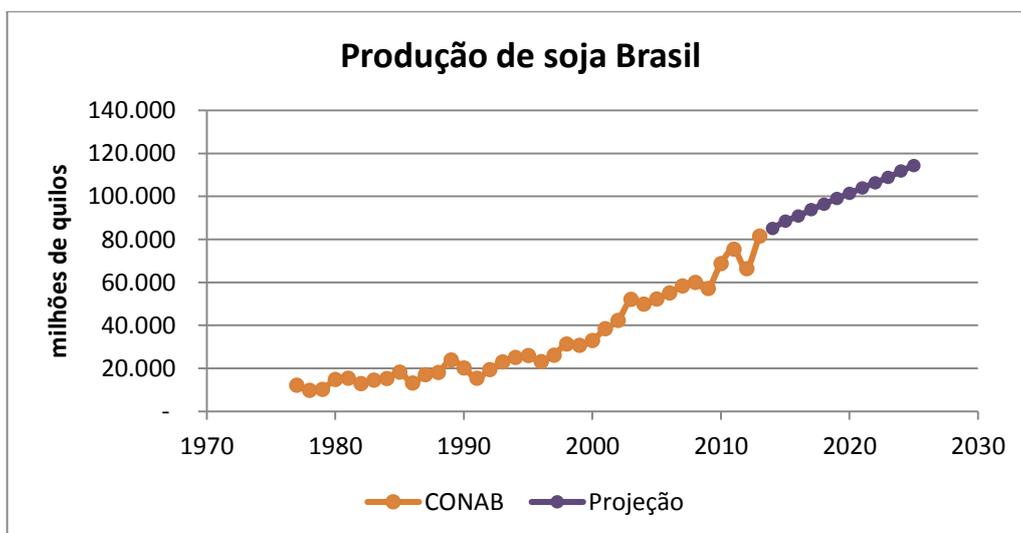


Figura 6 - Produção de soja

Inicialmente foi calculada a produção total do país, levando em consideração os dois fatores de produção agrícola: produtividade e área plantada. Depois, foram projetados cada um destes dois fatores para cada unidade da federação, levando em conta as séries históricas, aleatoriedades temporais de produtividade e o contínuo aumento da área plantada deste tipo de cultura. Na Figura 7 é mostrada a produtividade de alguns estados brasileiros, sendo o período de 2004 a 2013 correspondente aos dados do CONAB e de 2014 a 2025 a projeção deste estudo, onde é possível notar que a produtividade não se mantém constante ao longo do tempo devido ao clima.

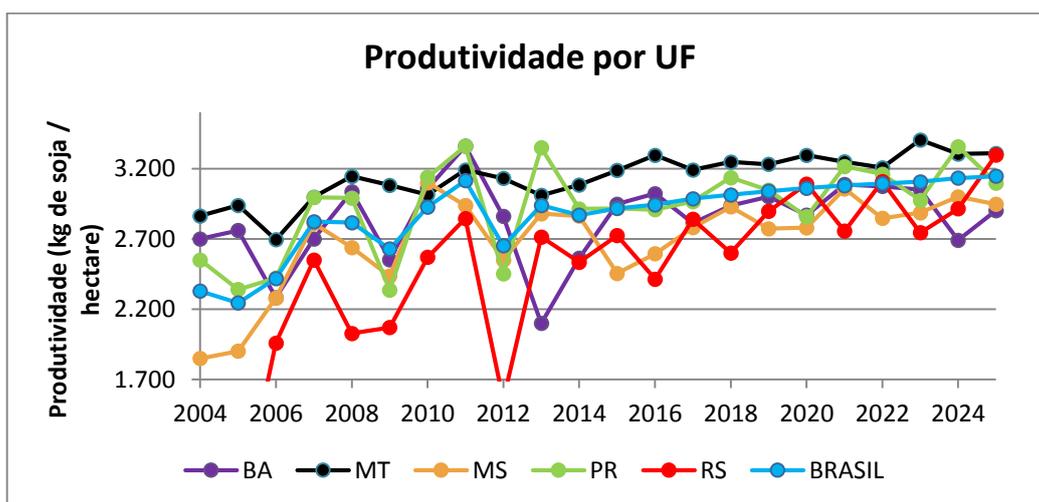


Figura 7 - Produtividade de soja por UF

Posteriormente, cada microrregião teve seu histórico de área e produtividade de soja considerada, a fim de projetar suas respectivas produções de soja até 2025.

Fez-se necessário também a projeção do custo da soja para cada microrregião, sendo primariamente considerados os dados históricos de preço no porto de Paranaguá – PR. Com base no histórico do preço da soja, foi elaborado um modelo pelo autor deste trabalho para o preço anual para o período do estudo. Para o Brasil, a inflação total associada ao período foi de 3,8%.

Tabela 4 - Preço da soja no Brasil

Ano	Preço da Soja (R\$ / kg)	Ano	Preço da Soja (R\$ / kg)	Ano	Preço da Soja (R\$ / kg)
1998	0,25	2008	0,76	2018	1,21
1999	0,28	2009	0,80	2019	1,29
2000	0,32	2010	0,61	2020	1,19
2001	0,33	2011	0,78	2021	1,27
2002	0,42	2012	0,92	2022	1,50
2003	0,67	2013	1,01	2023	1,54
2004	0,80	2014	1,12	2024	1,59
2005	0,54	2015	0,93	2025	1,57
2006	0,45	2016	0,99		
2007	0,53	2017	1,10		



Figura 8 - Evolução do preço da soja no Brasil

Utilizando a mesma sistemática que foi descrita anteriormente, foi calculado o preço por UF e posteriormente para as microrregiões.

Por último, cada microrregião foi dividida por quartis, classificando o quanto cada uma poderia entregar de soja para a produção de biodiesel. O limite inferior foi de 50% para as menores produções, e 80% para as regiões com maior produção, obedecendo a um aumento de 10% para cada quartil superior.

A constante  $soj(\%)$  foi muito importante na modelagem, visto que ela representa a parcela que o óleo de soja tem nos produtos finais da soja, em relação ao seu valor financeiro. Isto é, foi considerado o valor de 1,823 [R\$/kg] (APROSOJA 1, 2014) multiplicado pela fração de óleo na soja, 19,26 [%] (ABIOVE, 2014). Isto foi dividido pela soma deste valor com a parcela referente ao farelo de soja, com valor de 0,962 [R\$/kg] (APROSOJA 2, 2014) multiplicado pela fração de farelo na soja, 80,74 [%], resultando na constante  $soj(\%)$  de 0,3114.

### 3.3 Usinas de biodiesel:

Existem atualmente sessenta e duas usinas construídas e autorizadas a produzir biodiesel no país. Juntas, elas possuem capacidades de produção muito superior à atual demanda nacional de biodiesel. Algumas comercializam com consumidores diretamente (frotistas) e também com o mercado externo, a fim de manter um nível de operação maior. Entretanto, o volume mais expressivo é dependente da mistura obrigatória no petro-diesel, como já foi descrito anteriormente.

Para este estudo, cada usina teve sua capacidade de produção fixada, sem que possa haver aumento dela ao longo deste período. Também foi considerado que elas funcionem trezentos e cinquenta dias ao ano, a fim de se obter a capacidade máxima anual de cada planta. Os seguintes dados para cada planta são necessários para solução do problema de otimização:

Custo fixo: custo de construção da planta.

Custo variável: custo de manutenção, reparos, pessoal, escritório, etc.

Custo de produção: custo de insumos secundários, eletricidade, vapor, etc.

Taxa de conversão: razão entre litro de biodiesel por quilo de soja.

Para o custo fixo, foi pesquisado o investimento realizado para a construção das plantas brasileiras, através de notas em jornais digitais, sites das empresas e relatório do BNDES. Também foi utilizado os dados disponíveis para os investimentos realizados na construção de plantas na Europa (Charles et al, 2013). Assim, chegou-se a duas curvas para determinar o custo-fixo de cada usina, conforme capacidade diária de produção (Figura 9):

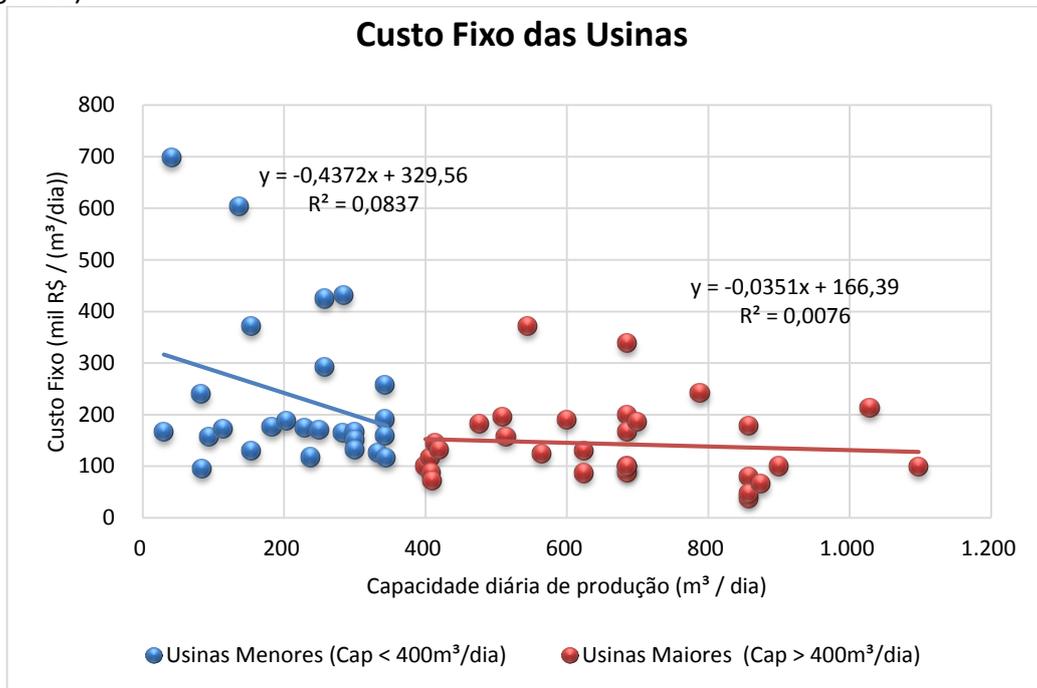


Figura 9 - Custo fixo das usinas

Para o modelo, foi considerado que a usina seria construída com 20% de capital próprio e 80% financiado com o BNDES em oito anos (juros de TJLP + 1% ou 2%, sendo a TJLP = 5% para o período). Este montante financiado foi dividido em oito vezes, sendo a primeira parcela somada junto com a entrada de 20% para o primeiro ano. Para efeito de cálculo, foi considerada uma inflação de 1,5% a.a.

Para o custo variável e para o custo de produção, a tese de doutorado de Amigun (2008), forneceu os valores de referência. Neste estudo, ele apresenta os custos de operação de uma planta, variando as capacidades de produção, na África do Sul. Utilizando a soma dos custos anualizados de utilidades, resíduos, manutenção, seguro, administrativo, supervisão e custos com pessoal, formou-se o custo variável. Utilizando a soma dos custos anualizados de produtos químicos, acondicionamento, armazenamento e custos com despesas gerais, formou-se o custo de produção. Assim, foi possível montar os gráficos e as equações dos dois custos mostrados na Figura 10, onde os dois custos são dependentes das variáveis  $cap_j^t$  e  $pr_j^t$ , respectivamente. Para o custo variável, foi considerada uma inflação de 4,0% a.a. e para o custo de produção ela foi de 3,5% a.a.

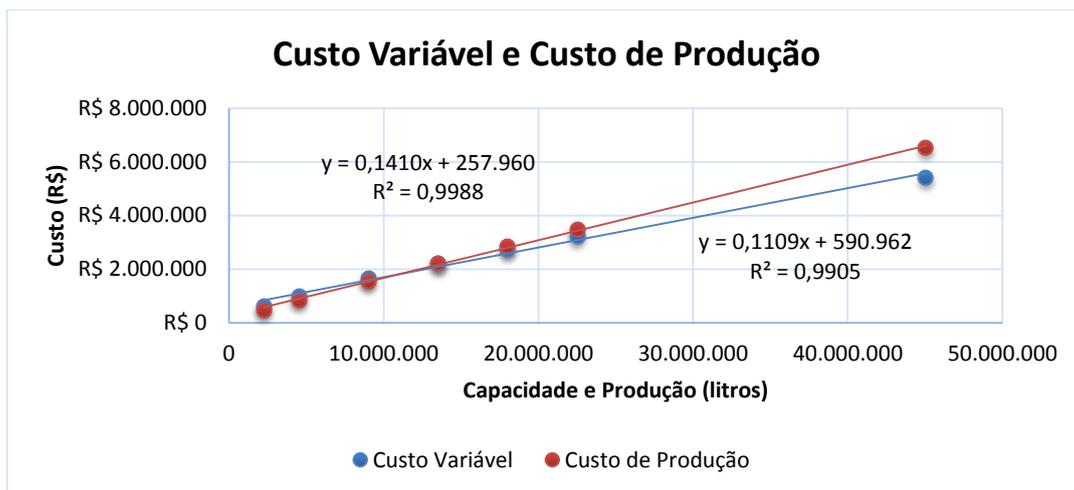


Figura 10 - Custo variável e custo de produção das usinas

As usinas foram classificadas em seis faixas de tamanho, como é mostrado a seguir:

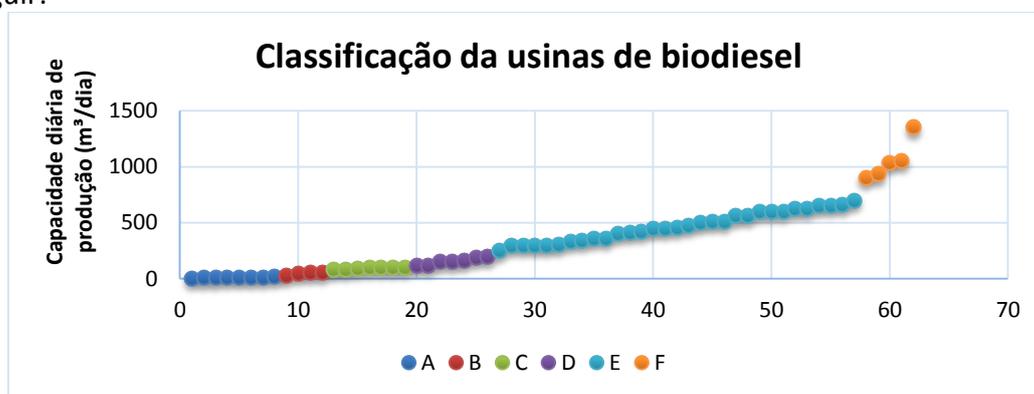


Figura 11 - Classificação das usinas de biodiesel

Para o fator de conversão, fez-se a média da indústria na conversão de kg de soja por kg de óleo de soja, através de dados da Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (ABIOVE, 2014). A seguir, considerou-se uma taxa de 95% na reação de transesterificação, transformando kg de óleo em kg de biodiesel. Com o uso da densidade à 25°C do biodiesel de 0,88 kg/l, o valor de 0,208 (litro de biodiesel por quilo de soja) foi obtido. A fim de ter diferença nos valores para cada usina, foi associado este valor às usinas de maior capacidade de produção (grupo F). Conforme a capacidade diminui, também diminui a taxa de conversão, conforme Tabela 5:

Tabela 5 - Taxa de conversão das usinas

Grupo	Taxa de conversão (l / kg)
A	0,195
B	0,198
C	0,200
D	0,202
E	0,204
F	0,208

### 3.4 Bases de distribuição de combustível:

Com base nos dados de consumo, foi projetado o consumo de diesel para o período deste estudo, como mostrado na Figura 12.

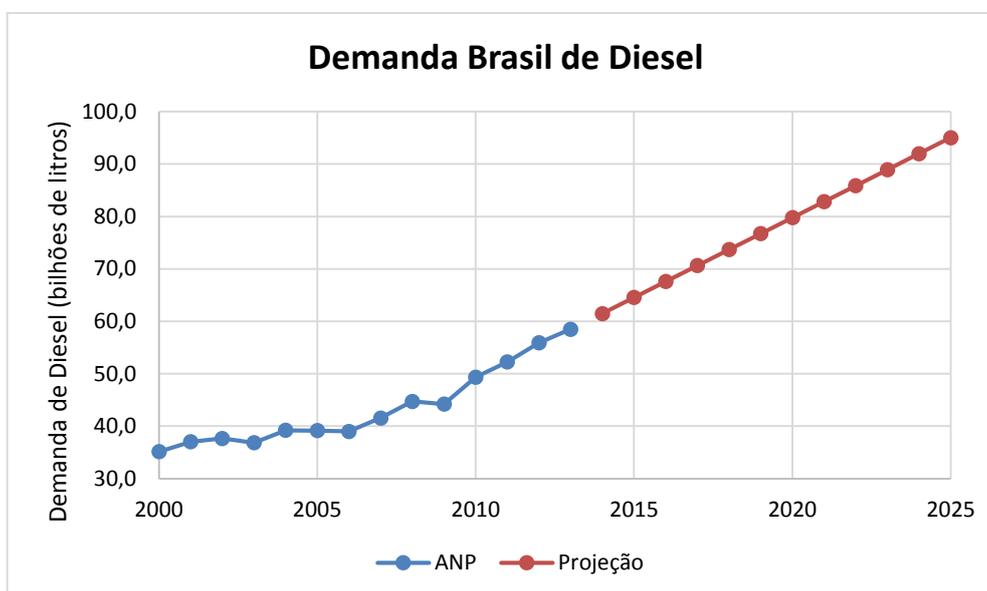


Figura 12 - Demanda Brasil de diesel

Conforme o Plano de Negócios e Gestão 2013-2017 da Petrobrás, a demanda por derivados do petróleo cresce 4,2% a.a. entre 2012 e 2020. Neste estudo a taxa de crescimento anual foi de 4,13% para o diesel. Neste documento da estatal brasileira, também está prevista a construção de duas novas refinarias no país e em estudo mais outras duas, a fim de diminuir a importação de diesel.

A Agência Nacional de Petróleo forneceu os dados referentes ao consumo de diesel por município para o período de 2008 a 2013, sendo possível a projeção de demanda de cada município brasileiro.

Conforme a ANP, atualmente temos 134 municípios com bases de distribuição autorizadas a funcionar. Entretanto, neste estudo considera-se que os municípios de Juriti e Oximiná, no estado do Pará, foram associados ao município de Santarém, no mesmo estado, e que o município de Almerim – PA foi associado ao município de Santana no Amapá. Também foi considerada a inclusão de dois municípios (Bacabeira – MA e Itaboraí – RJ), devido aos projetos da Petrobrás de novas refinarias, resultando em 133 municípios com bases de distribuição.

O último passo foi associar o volume de diesel de cada município brasileiro com as bases de distribuição. Para tal o seguinte algoritmo foi utilizado:

- Dividir o volume de armazenagem do município, oriundo das tabelas disponíveis no site da ANP, pelo volume de armazenagem total do país (fração A);
- Dividir o volume de armazenagem de derivados do petróleo (exceto GLP) de cada estado, oriundo do Anuário Estatístico Brasileiro de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis da ANP, pelo volume de armazenagem total do país (fração B);
- Criar o fator máximo de distribuição (igual 2);
- Multiplicar a fração A pelo fator máximo de distribuição e pelo volume anual de

- diesel do país, criando o limite superior de cada base de distribuição (máximo A);
- Multiplicar a fração B pelo fator máximo de distribuição e pelo volume anual de diesel do país, criando o limite superior de cada estado (máximo B);
  - Calcular a distância entre cada município e cada base de distribuição, utilizando as coordenadas geográficas de cada município, fornecido pelo IBGE;
  - Ordenar da menor a maior distância entre os 5.466 municípios brasileiros com consumo de diesel e os 133 municípios com bases de distribuição;
  - Alocar o volume de diesel projetado para cada município, respeitando a ordem da menor a maior distância, com a base de distribuição mais próxima, levando em conta sempre os limites máximos (máximo A e máximo B).

Neste modelo, o autor deste estudo estipulou a mistura obrigatória de biodiesel para o período analisado, em fração volumétrica, como mostrado na Tabela 6.

*Tabela 6 - Mistura obrigatória de biodiesel*

Ano	Percentual de mistura do biodiesel (%)
2014	5,5
2015	7,0
2016	7,0
2017	7,0
2018	7,0
2019	7,0
2020	8,0
2021	8,0
2022	8,0
2023	8,0
2024	8,0
2025	8,0

### **3.5 Custo de transporte:**

Neste estudo há o transporte da soja da microrregião para a usina e o transporte do biodiesel da usina para a base de distribuição. Logo, se fez necessário o cálculo das distâncias entre estes pontos, onde foram utilizadas as distâncias rodoviárias disponíveis pelo Serviço da Web da API do Google Maps (Google, 2014).

No transporte da soja, considerou-se que a carga de transporte é de 35.000 quilos de soja no caminhão e o custo de carga e descarga foi de R\$ 50,00. Juntamente com os dados de custo de frete do site do Sistema de Informação de Fretes da Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz” (SIFRECA – ESALQ), foi possível o cálculo do parâmetro  $t_b^d$  em função da distância. Posteriormente, este valor é multiplicado pela constante  $soj$ , visto que corresponde somente a parte do custo de transporte da soja relacionado à produção de biodiesel, e não de todos os produtos da soja (Figura 13).

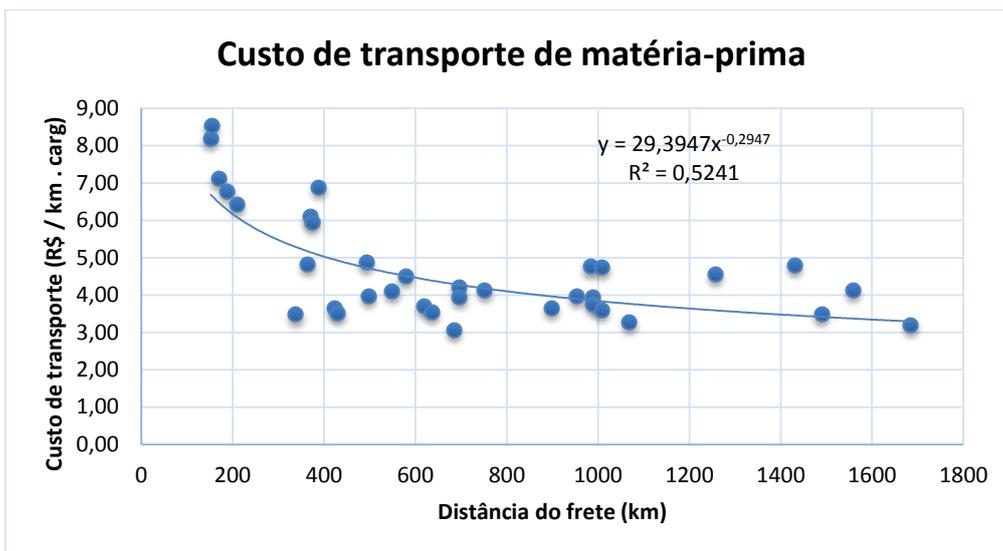


Figura 13 - Custo de transporte da matéria-prima

Visto que pode haver usinas no mesmo município do centro da microrregião, foi estabelecido que para distâncias menores que 20 km a distância utilizada no cálculo será a de 20 km. Também ficou estabelecido neste estudo, que para distâncias inferiores a 150 km, o fator  $t_b^d$  é igual a 6,71, respeitando a equação potencial para distâncias superiores.

O mesmo método foi utilizado para o cálculo do custo de transporte do biodiesel, porém a carga de transporte considerada foi de 60.000 litros e custo de carga e descarga de R\$ 50,00. Utilizando os dados do SIFRECA-ESALQ para o etanol, foi possível o cálculo do parâmetro  $t_{lq}^d$  em função da distância (Figura 14).

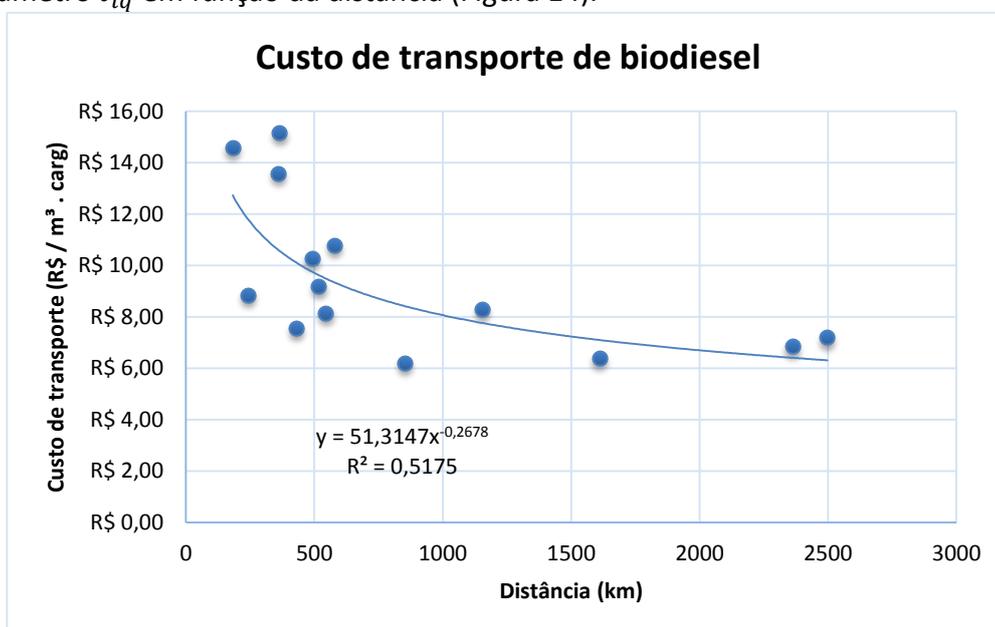


Figura 14 - Custo de transporte do biodiesel

Visto que também pode haver usinas no mesmo município das bases de distribuição, foi estabelecido que para distâncias menores que 20 km a distância utilizada no cálculo será a de 20 km. Também ficou estabelecido neste estudo, que para distâncias

inferiores a 200 km, o fator  $t_{iq}^d$  é igual a 12,42, respeitando a equação potencial para distâncias superiores.

Para efeito de cálculo no modelo, foi considerada uma inflação de 4,2% a.a. para os dois custos de transporte.

## 4. Resultados e Discussão

Com os parâmetros necessários para a simulação e com o código implementado em Python, obteve-se o menor custo para o biodiesel ano por ano, acionando as usinas de biodiesel ao longo do período analisado. A soma dos valores referentes a cada custo ao longo do período de 2014 a 2025, resultou na Tabela 7.

Tabela 7 - Custo da cadeia produtiva do biodiesel

	Valor (R\$)	Participação (%)	R\$ / litro
Custo Fixo	R\$ 4.897.013.580,36	2,72%	R\$ 0,07
Custo Variável	R\$ 10.323.250.001,79	5,74%	R\$ 0,15
Custo Produção	R\$ 12.457.051.360,39	6,93%	R\$ 0,18
Custo Insumo	R\$ 136.392.206.739,73	75,83%	R\$ 1,95
Custo Transporte1	R\$ 6.233.428.613,52	3,47%	R\$ 0,09
Custo Transporte2	R\$ 9.571.443.221,87	5,32%	R\$ 0,14
<b>Total</b>	<b>R\$ 179.874.393.517,65</b>	-	<b>R\$ 2,57</b>

Como esperado, a participação do custo do insumo (neste estudo a soja) no custo total é superior a três quartos do custo total (75,83%). Em porção menor, encontram-se os custos de produção (6,93%), seguido do custo variável (5,74%). Em quarto está o custo de transporte do biodiesel para os centros de distribuição (5,32%), depois o custo de transporte dos insumos do campo para as usinas (3,47%). Por último, está o custo fixo associado ao valor de construção das usinas de biodiesel (2,72%).

Para estes doze anos, a quantidade de biodiesel produzida foi de 70,061 bilhões de litros, gerando assim um custo médio de 2,57 por litro de biodiesel. É importante salientar a participação da constante *soj*(%) no valor final da otimização. Caso fosse considerada igual a 1, o resultado seria o mostrado na Tabela 8.

Tabela 8 - Custo da cadeia produtiva do biodiesel se *soj* = 1

	Valor (R\$)	Participação (%)	R\$ / litro
Custo Fixo	R\$ 4.952.904.583,92	1,00%	R\$ 0,07
Custo Variável	R\$ 10.383.489.707,53	2,10%	R\$ 0,15
Custo Produção	R\$ 12.461.642.019,48	2,52%	R\$ 0,18
Custo Insumo	R\$ 437.101.901.855,61	88,34%	R\$ 6,24
Custo Transporte1	R\$ 18.921.030.618,38	3,82%	R\$ 0,27
Custo Transporte2	R\$ 10.999.625.160,13	2,22%	R\$ 0,16
<b>Total</b>	<b>R\$ 494.820.593.945,04</b>	-	<b>R\$ 7,06</b>

Como se vê na Tabela 8, o custo por litro seria de sete reais em média, algo completamente inviável economicamente considerando a realidade atual.

As primeiras usinas a serem utilizadas para produção de biodiesel são as mais próximas aos centros de produção do insumo principal (soja), visto que este representa a maior participação nos custos. Isto pode ser dito, pois o maior mercado consumidor de biodiesel encontra-se no estado de São Paulo, e a primeira usina lá presente, somente é ativada no segundo ano. As primeiras usinas também são as que possuem a maior capacidade de produção, visto que seus custos variável e de produção são menores que as usinas com menor capacidade de produção. Outro ponto importante é que a capacidade utilizada é sempre próxima à capacidade máxima disponível.

Na análise temporal, o número de usinas ativas começa em 15 unidades, chegando a 56 das 62 existentes no ano de 2025. Isto mostra quanto ociosa é a capacidade de transformação de biodiesel já instalada no país. As distâncias percorridas pelo insumo, do campo à usina, são sempre menores que as distâncias percorridas pelo biodiesel, da usina aos centros de distribuição. Dado evidente, pois as usinas estão próximas as zonas de produção do insumo e distante dos centros de distribuição, que encontram-se espalhados por todo território nacional.

Para o ano de 2014, temos previsto uma produção de 3,4 bilhões de litros de biodiesel, chegando a 7,6 bilhões de litros em 2025, o que indica um crescimento médio anual de 7,6%. Já o custo da cadeia produtiva do biodiesel saiu de 2,23 reais por litro em 2014, para o custo de 3,01 reais por litro em 2025. Na Figura 15 é possível ver a evolução dos custos ao longo dos anos.

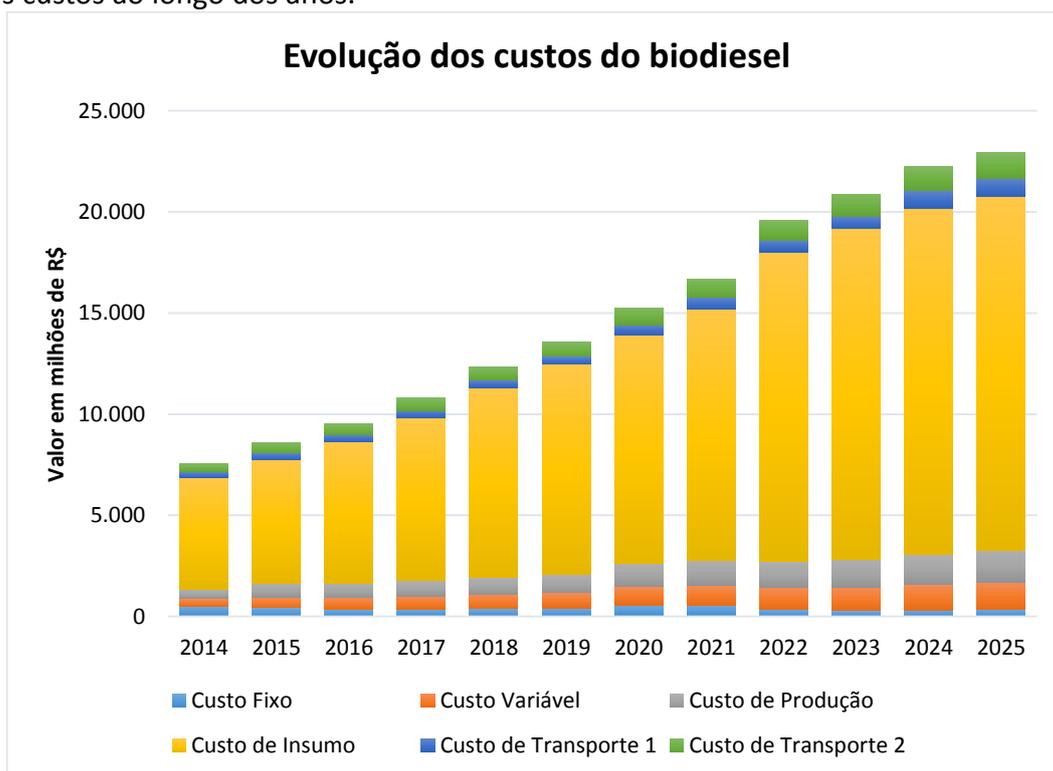
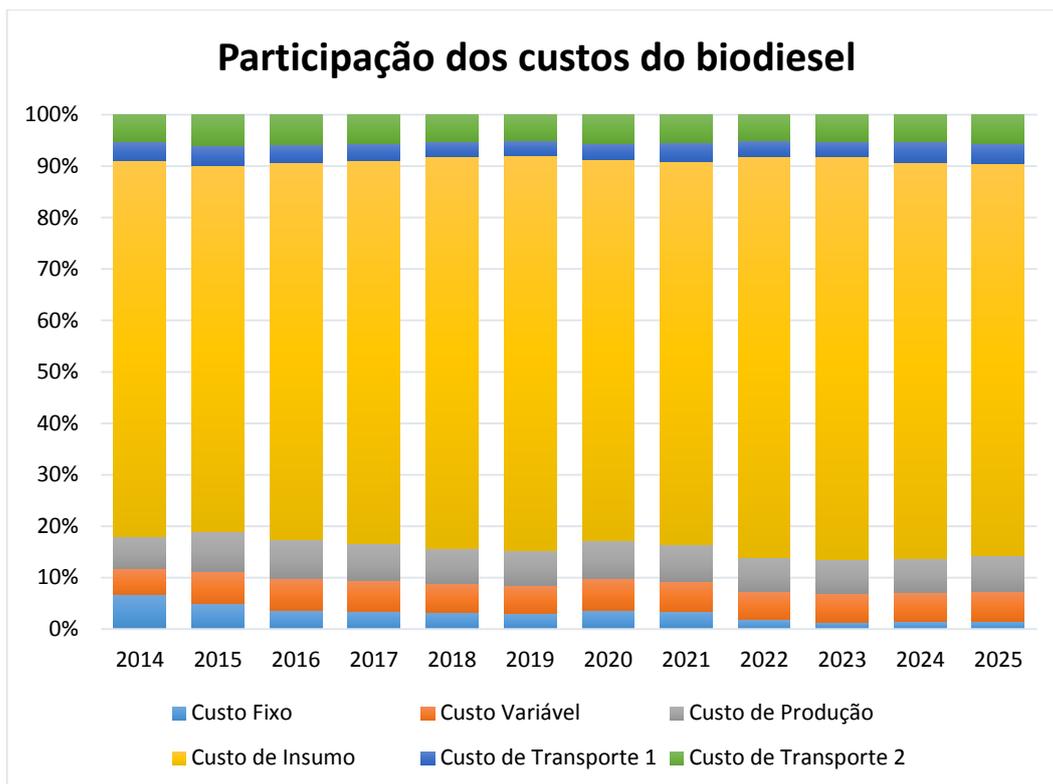


Figura 15 - Evolução dos custos do biodiesel

Tem-se a representação gráfica da participação de cada custo ao longo dos anos na Figura 16.



*Figura 16 - Participação dos custos do biodiesel*

Os resultados mostram que a capacidade de produção das usinas ativas sempre se aproxima da demanda de biodiesel para cada ano. A menor taxa de utilização das usinas (volume produzido / capacidade máxima disponível) encontra-se no ano de 2018, com o valor de 99,55%.

Pode-se ver que no cálculo do custo da cadeia produtiva do biodiesel, conforme há a necessidade de novas usinas para atender a demanda de biodiesel, as usinas antigas são direcionadas a fornecer para os mercados mais distantes ou então buscar mais longe o insumo, podendo ocorrer ambos ao mesmo tempo. Assim, as novas usinas, geralmente com capacidades de produção menores, mas com custos de operação (variável e produção) maior, coletam insumo nas microrregiões mais próximas e também fornecem para os centros de distribuição mais próximos.

Nas Figuras 17, 18 e 19, é apresentado a localização das usinas estão ativas produzindo biodiesel nos anos de 2014, 2019 e 2025, respectivamente.

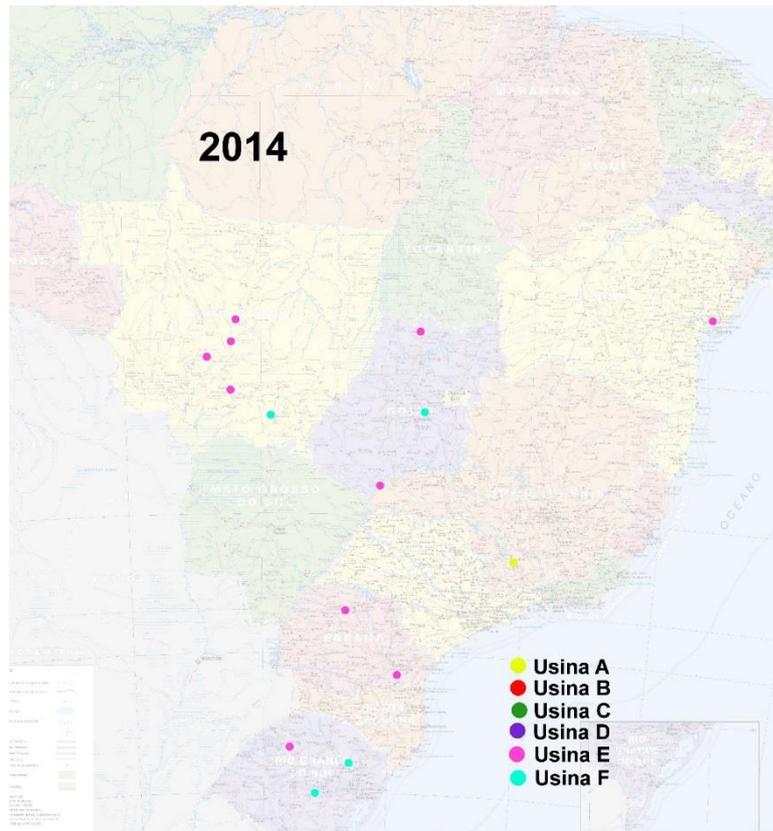


Figura 17 - Disposição das usinas ativas em 2014

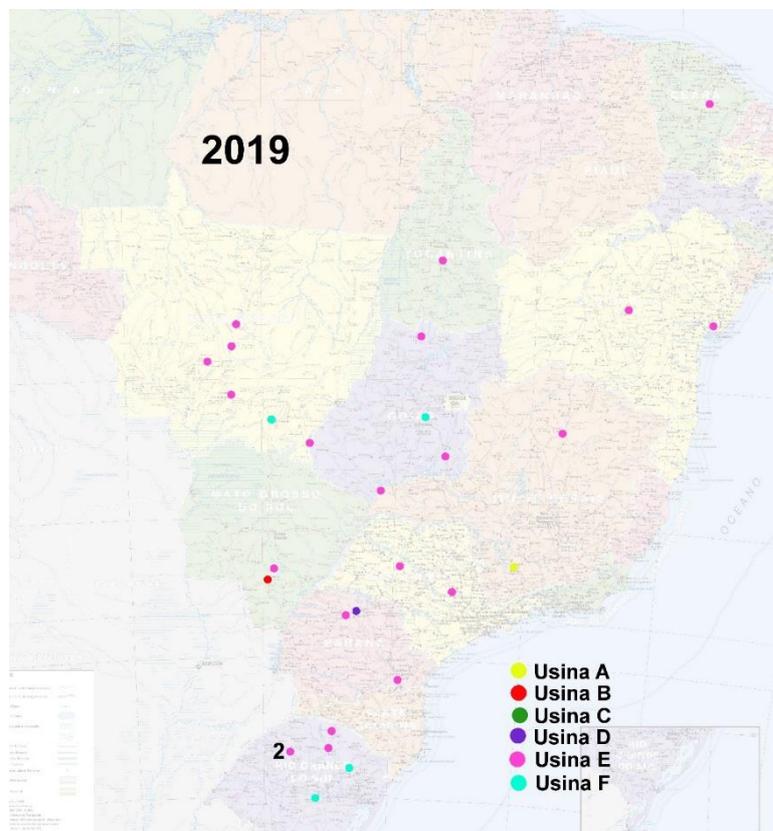


Figura 18- Disposição das usinas ativas em 2019

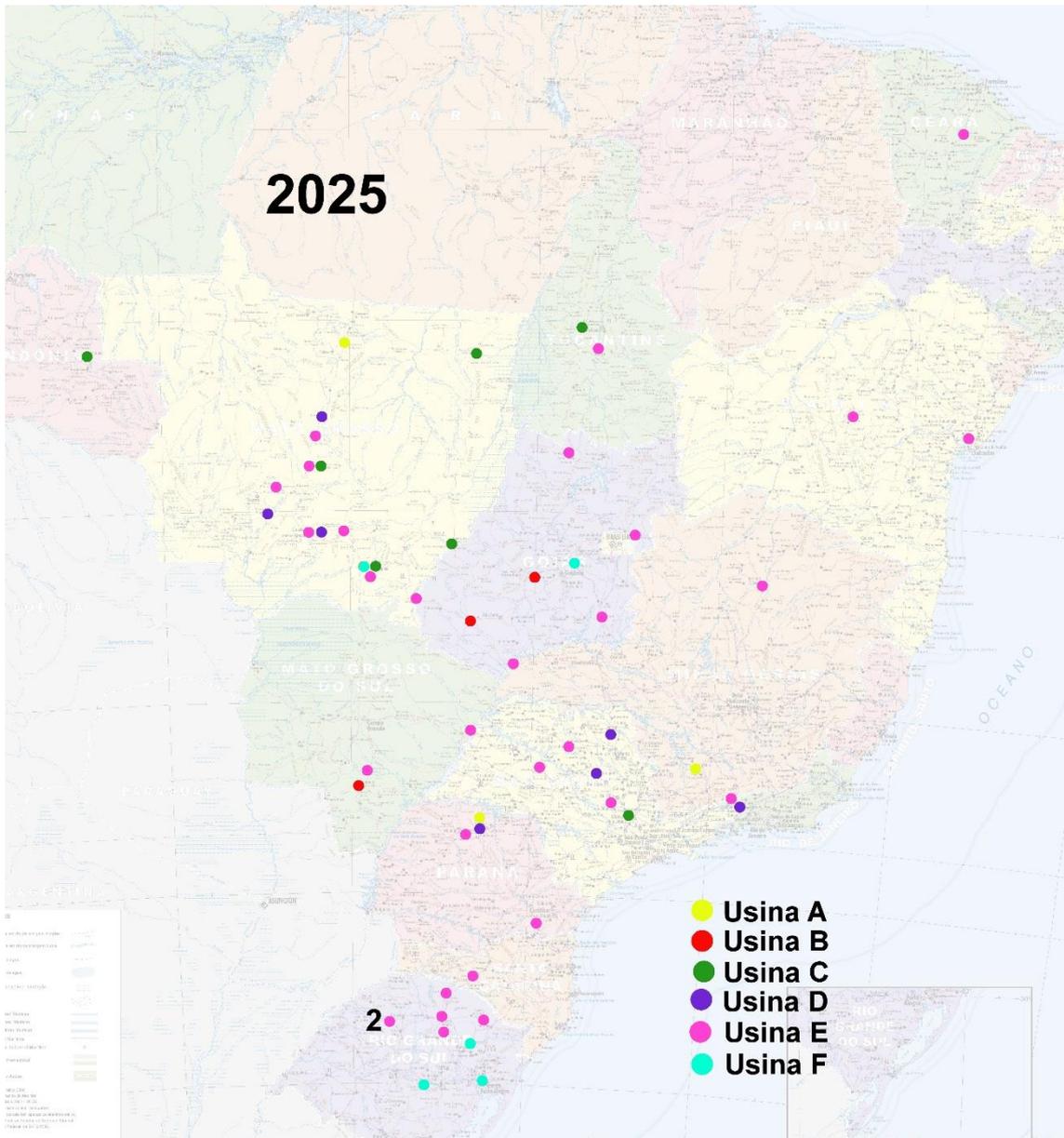


Figura 19- Disposição das usinas ativas em 2025

Sendo que a classificação das usinas é mostrada na Tabela 9.

Tabela 9 - Classificação das usinas de biodiesel

Classificação	Faixa de Capacidade de Produção (m <sup>3</sup> /dia)
Usina A	0 a 20
Usina B	30 a 50
Usina C	80 a 100
Usina D	120 a 194,4
Usina E	247 a 700
Usina F	900 a 1.352

No anexo, pode-se encontrar os valores numéricos para a capacidade utilizada na produção de biodiesel das usinas ao longo do período da otimização, assim como os valores correspondentes aos custos da cadeia produtiva do biodiesel ano a ano. Também é mostrado a estratificação de preço do biodiesel fornecido por seis usinas ao longo dos anos.

## 5. Conclusões e trabalhos futuros

No presente trabalho foi realizada a otimização do custo da cadeia produtiva para o biodiesel no Brasil, considerando como matéria-prima a soja e para os anos de 2014 até 2025, acionando as atuais usinas para suprir a demanda de biodiesel do mercado.

Primeiramente, pode-se dizer que o principal fator do custo da cadeia produtiva do biodiesel é o valor da matéria-prima que o constitui. Neste estudo, ele representou cerca de três quartos do valor total. Entretanto, pode-se dizer que as usinas atuaram com praticamente toda a sua capacidade de produção ao longo do período analisado. O que não ocorre atualmente, visto que temos um nível de operação abaixo da metade da capacidade instalada.

A otimização mostrou que as usinas maiores e mais próximas às microrregiões produtoras de soja são as primeiras a serem acionadas, gerando um custo menor para a cadeia produtiva do biodiesel.

Se a inflação prevista para o insumo principal da produção de biodiesel seguir em 3,8% a.a., como previsto neste estudo, o custo da cadeia produtiva do biodiesel deve continuar acima do preço do petro-diesel. Sendo responsabilidade do governo de buscar alternativas de reduzir o preço da soja ou buscar outra fonte de matéria-prima com custo inferior à soja.

Para trabalhos futuros, recomenda-se utilizar outras formas de transporte, como ferroviário e hidroviário dentro do modelo de simulação, assim como admitir crescimento da capacidade das plantas já instaladas. Também é recomendado simular novas usinas, fora as 62 utilizadas neste estudo, para serem ativadas ao longo do período estudado, aumentando as opções para produção de biodiesel.

## 6. Referências bibliográficas

ABIOVE. Análise do Impacto na Inflação do Aumento da Mistura de Biodiesel no Diesel. Disponível em: < [http://www.abiove.org.br/site/\\_FILES/Portugues/04032013-100153-2013.03.04\\_-\\_fgv\\_-\\_impactos\\_inflacionarios\\_biodiesel.pdf](http://www.abiove.org.br/site/_FILES/Portugues/04032013-100153-2013.03.04_-_fgv_-_impactos_inflacionarios_biodiesel.pdf)>. Acesso em: nov. 2013.

ABIOVE. Estatística Mensal do Complexo Soja. Disponível em: < <http://www.abiove.org.br/site/index.php?page=estatistica&area=NC0yLTE=>>. Acesso em: ab. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Boletim Mensal do Biodiesel – Maio 2014. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?pg=71251&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1405737170021>>. Acesso em: 19 de jun., 2014.

AMIGUN, B. Processing Cost Analysis of the African Biofuels Industry with Special Reference to Capital Cost Estimation Techniques. 2008. 282 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Department of Chemical Engineering, University of Cape Town, Cape Town, 2008.

APROSOJA 1. Preço Óleo de Soja. Disponível em: <<http://www.aprosoja.com.br/historico/preco-oleo-de-soja/>>. Acesso em: 24 de jun., 2014.

APROSOJA 2. Preço Farelo de Soja. Disponível em: < <http://www.aprosoja.com.br/historico/preco-farelo-de-soja/>>. Acesso em: 24 de jun., 2014.

BIODIESELBR. O que causa a formação de depósitos de sólidos no biodiesel e no B5? Disponível em: < <http://www.biodieselbr.com/revista/019/coluna-paulo-suarez.htm>>. Acesso em: nov., 2014.

BAI, Y., OUYANG, Y., PANG, J.S. Biofuel supply chain design under competitive agricultural land use and feedstock market equilibrium. *Energy Economics*, v. 34, p. 1623-1633, 2012.

BERGMANN, J.C. et al. Biodiesel production in Brazil and alternative biomass feedstocks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 21, p. 411-420, 2013.

CÉSAR, A.S., BATALHA, M.O. Biodiesel production from castor oil in Brazil: A difficult reality. *Energy Policy*, v. 38, p. 4031-4039, 2010.

CHARLES, C. et al. Biofuel – At What Cost? A review of costs and benefits of EU biofuel policies. Technical Annex. Disponível em: < [http://www.iisd.org/gsi/sites/default/files/biofuels\\_subsidies\\_eu\\_annex.pdf](http://www.iisd.org/gsi/sites/default/files/biofuels_subsidies_eu_annex.pdf)>. Acesso em: jun., 2014.

DORNELLES, R. G. Resultados dos Leilões de Biodiesel. Ministério de Minas e Energia. 2012

GOOGLE. A API da Matriz de distâncias do Google. Disponível em: <<https://developers.google.com/maps/documentation/distancematrix/>>. Acesso em:

out., 2013.

HUANG, Y., CHEN, C.W., FAN, Y. Multistage optimization of the supply chains of biofuels. *Transportation Research Part E*, v. 46, p. 820-830, 2010.

LEÃO, R.R.C.C., HAMACHER, S., OLIVEIRA F. Optimization of biodiesel supply chains based on small farmers: A case study in Brazil. *Bioresource Technology*, v. 102, p. 8958-8963, 2011.

PANICHELLI, L., GNANSOUNOU, E. GIS-based approach for defining bioenergy facilities location: A case study in Northern Spain based on marginal delivery costs and resources competition between facilities. *Biomass and Bioenergy*, v. 32, p. 289 – 300, 2008.

PETTERSSON, A.I., SEGERSTEDT, A. Measuring supply chain cost. *Int. J. Production Economics*, v. 143, p. 357-363, 2013.

WATANABE, K., BIJMAN, J., SLINGERLAND, M. Institutional arrangements in the emerging biodiesel industry: Case studies from Minas Gerais - Brazil. *Energy Policy*, v. 40, p. 381-389, 2012.

ZOT, F. D. Biodiesel no Rio Grande do Sul: Um Modelo para sua Distribuição e Localização de Usinas. 2006. 121 f. Tese (Mestrado em Administração) – Escola de Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

## ANEXO A – Resultados numéricos da otimização

Na Tabela 10 e 11 é mostrada a lista das 62 usinas do estudo e sua capacidade utilizada na produção de biodiesel ao longo do período do estudo.

Tabela 10 - Capacidade utilizada das usinas - 2014 a 2025 (parte 1)

Empresa	Município	UF	Capacidade (m <sup>3</sup> / ano)	Capacidade utilizada (%)											
				2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
BUNGE	Nova Mutum	MT	144.827	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
GRANOL	Cachoeira do Sul	RS	326.666	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
ADM	Rondonópolis	MT	473.200	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
OLEOPLAN	Veranópolis	RS	367.500	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
GRANOL	Anápolis	GO	361.550	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
BIONASA	Porangatu	GO	228.550	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
CAMERA	Ijuí	RS	227.500	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
CARAMURU	São Simão	GO	218.750	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
PETROBRAS	Candeias	BA	211.197	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
FIAGRIL	Lucas do Rio Verde	MT	197.050	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
BSBIOS	Marialva	PR	178.500	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
POTENCIAL	Lapa	PR	166.950	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
COOPERBIO	Cuiabá	MT	161.000	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
BIOPAR	Nova Marilândia	MT	118.300	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
ABDIESEL	Varginha	MG	840	91%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
PETROBRAS	Quixadá	CE	105.599	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
OLFAR	Erechim	RS	210.000	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
TRES TENTOS	Ijuí	RS	175.000	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
BSBIOS	Passo Fundo	RS	155.400	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
BIOCAPITAL	Charqueada	SP	140.000	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
V-BIODIESEL	Iraquara	BA	126.000	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
AGRENCO	Alto Araguaia	MT	231.000	0%	97%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
JBS	Lins	SP	196.081	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
BIOCAR	Dourados	MS	10.500	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
CARAMURU	Ipameri	GO	218.750	0%	0%	0%	98%	98%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
DELTA	Rio Brilhante	MS	105.000	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
GRANOL	Porto Nacional	TO	126.000	0%	0%	0%	0%	86%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
PETROBRAS	Montes Claros	MG	147.956	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
BIOPAR	Rolândia	PR	42.000	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
CARGILL	Três Lagoas	MS	245.000	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
ADM	Joaçaba	SC	178.500	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
BINATURAL	Formosa	GO	157.500	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
FERTIBOM	Catanduva	SP	116.655	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
BIANCHINI	Canoas	RS	315.000	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
GRAN-VALLE	Porto Real	RJ	86.450	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%

Tabela 11 - Capacidade utilizada das usinas - 2014 a 2025 (parte 2)

Empresa	Município	UF	Capacidade (m <sup>3</sup> / ano)	Capacidade utilizada (%)											
				2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
BIO PETRO	Araraquara	SP	68.054	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%
ORLANDIA	Orlândia	SP	52.500	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%
AMAZONBIO	Ji-Paraná	RO	31.500	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%
BEIRA RIO	Terra Nova do Norte	MT	4.200	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	92%	92%	100%	100%	100%
FUGA COUROS	Camargo	RS	105.000	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%
BOCCHI	Muitos Capões	RS	105.000	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%
ARAGUASSU	Porto Alegre do Norte	MT	35.000	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	97%	100%	100%	100%
GRUPAL	Sorriso	MT	42.000	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%
NOBLE	Rondonópolis	MT	210.000	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	95%	100%	100%
CESBRA	Volta Redonda	RJ	58.345	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%
SPBIO	Sumaré	SP	29.148	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%
BIOTINS	Paraíso do Tocantins	TO	28.350	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%
MINERVA	Palmeiras de Goiás	GO	15.750	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%
BIOCAMP	Campo Verde	MT	105.000	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	98%	100%
BARRALCOOL	Barra do Bugres	MT	66.661	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
BIO ÓLEO	Cuiabá	MT	52.500	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
TAUÁ	Nova Mutum	MT	35.000	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
BIO BRAZILIAN	Barra do Garças	MT	34.300	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
JATAÍ	Jataí	GO	17.500	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
BIG FRANGO	Rolândia	PR	2.100	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
T. CAIBIENSE	Rondonópolis	MT	35.000	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	95%
SSIL	Rondonópolis	MT	17.500	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
BIO VIDA	Várzea Grande	MT	6.300	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
COOPERFELIZ	Feliz Natal	MT	3.500	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
RONDOBIO	Rondonópolis	MT	3.500	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
OURO VERDE	Rolim de Moura	RO	3.150	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
ABDIESEL	Araguari	MG	2.100	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Na Tabela 12 são mostrados os dados gerais sobre as usinas ao longo dos anos. Na Tabela 13 temos os valores totais para cada custo da cadeia produtiva de biodiesel, cujas frações em relação ao custo total são mostradas na Tabela 14.

Tabela 12 - Resultado da otimização para a rede de usinas

Ano	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Usinas ativas (unidades)	15	22	24	25	27	29	34	39	42	44	49	56
Distância média Insumo (km/usinas)	431	311	269	287	249	250	240	296	264	249	377	355
Distância média Biodiesel (km/usinas)	925	807	754	739	724	697	682	630	667	703	683	790
Capac.(Custo Variável - milhões litros)	3.382	4.518	4.731	4.945	5.158	5.372	6.383	6.627	6.871	7.114	7.358	7.602
Produção (milhões litros)	3.382	4.518	4.731	4.945	5.158	5.372	6.383	6.627	6.871	7.114	7.358	7.602
Capacidade utilizada (%)	100,00%	99,84%	99,99%	99,88%	99,55%	100,00%	99,98%	99,99%	99,98%	99,86%	99,97%	99,98%
Custo por litro (R\$/l)	2,23	1,90	2,01	2,18	2,39	2,52	2,39	2,52	2,85	2,93	3,02	3,01

Tabela 13 - Evolução dos custos da cadeia produtiva do biodiesel

Ano	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Custo Fixo	500	422	357	373	403	417	571	557	352	284	315	347
Custo Variável	384	535	583	633	688	746	921	997	1.077	1.160	1.251	1.349
Custo de Produção	481	665	721	780	843	908	1.117	1.202	1.290	1.383	1.481	1.586
Custo de Insumo	5.505	6.120	6.981	8.036	9.379	10.395	11.313	12.410	15.305	16.340	17.126	17.483
Custo de Transporte 1	284	339	336	366	373	405	490	625	594	634	894	893
Custo de Transporte 2	395	509	548	592	639	678	844	888	983	1.078	1.156	1.263
<b>Total (milhões R\$)</b>	<b>7.548</b>	<b>8.589</b>	<b>9.526</b>	<b>10.780</b>	<b>12.324</b>	<b>13.549</b>	<b>15.256</b>	<b>16.679</b>	<b>19.601</b>	<b>20.879</b>	<b>22.223</b>	<b>22.920</b>

Tabela 14 - Fração dos custos da cadeia produtiva do biodiesel

Ano	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Custo Fixo	6,6%	4,9%	3,7%	3,5%	3,3%	3,1%	3,7%	3,3%	1,8%	1,4%	1,4%	1,5%
Custo Variável	5,1%	6,2%	6,1%	5,9%	5,6%	5,5%	6,0%	6,0%	5,5%	5,6%	5,6%	5,9%
Custo de Produção	6,4%	7,7%	7,6%	7,2%	6,8%	6,7%	7,3%	7,2%	6,6%	6,6%	6,7%	6,9%
Custo de Insumo	72,9%	71,2%	73,3%	74,5%	76,1%	76,7%	74,2%	74,4%	78,1%	78,3%	77,1%	76,3%
Custo de Transporte 1	3,8%	3,9%	3,5%	3,4%	3,0%	3,0%	3,2%	3,7%	3,0%	3,0%	4,0%	3,9%
Custo de Transporte 2	5,2%	5,9%	5,7%	5,5%	5,2%	5,0%	5,5%	5,3%	5,0%	5,2%	5,2%	5,5%

A seguir é mostrada a estratificação dos custos da cadeia produtiva do biodiesel para oito usinas deste estudo que produziram biodiesel na Tabela 15 e na Tabela 16.

Tabela 15 - Estratificação dos custos para usinas (parte 1)

Empresa	Município	UF	Capac. (m <sup>3</sup> /dia)	Preço do biodiesel (R\$/l)												
				2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	
<b>ADM</b>	<b>Rondonópolis</b>	<b>MT</b>	<b>1.352</b>	<b>2,19</b>	<b>1,90</b>	<b>2,09</b>	<b>2,30</b>	<b>2,49</b>	<b>2,64</b>	<b>2,55</b>	<b>2,64</b>	<b>3,08</b>	<b>3,13</b>	<b>3,24</b>	<b>3,23</b>	
		Custo Fixo	0,13	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
		Custo Variável	0,11	0,12	0,12	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,16	0,17	0,17	0,17
		Custo de Produção	0,14	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17	0,17	0,18	0,19	0,19	0,19	0,20	0,20	0,21
		Custo de Insumo	1,54	1,28	1,42	1,60	1,77	1,90	1,73	1,77	2,22	2,25	2,19	2,25	2,25	2,25
		Custo de Transp. 1	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,13	0,14	0,14	0,14	0,16	0,27	0,24	0,24
		Custo de Transp. 2	0,14	0,17	0,21	0,24	0,25	0,25	0,33	0,35	0,39	0,36	0,42	0,37	0,37	0,37
<b>OLEOPLAN</b>	<b>Veranópolis</b>	<b>RS</b>	<b>1.050</b>	<b>2,25</b>	<b>1,87</b>	<b>2,01</b>	<b>2,11</b>	<b>2,39</b>	<b>2,51</b>	<b>2,37</b>	<b>2,53</b>	<b>2,73</b>	<b>2,87</b>	<b>2,93</b>	<b>2,81</b>	
		Custo Fixo	0,14	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	
		Custo Variável	0,11	0,12	0,12	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15	0,15	0,16	0,17	0,17	0,17	
		Custo de Produção	0,14	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17	0,17	0,18	0,19	0,19	0,20	0,20	0,21	
		Custo de Insumo	1,66	1,35	1,47	1,55	1,82	1,92	1,74	1,83	2,12	2,23	2,26	2,14	2,14	
		Custo de Transp. 1	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,13	0,08	0,09	0,10	0,08	0,08	
		Custo de Transp. 2	0,14	0,14	0,14	0,15	0,16	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,20	0,21	0,21	
<b>CAMERA</b>	<b>Ijuí</b>	<b>RS</b>	<b>650</b>	<b>2,22</b>	<b>1,87</b>	<b>2,00</b>	<b>2,12</b>	<b>2,43</b>	<b>2,51</b>	<b>2,32</b>	<b>2,59</b>	<b>2,71</b>	<b>2,82</b>	<b>2,96</b>	<b>2,75</b>	
		Custo Fixo	0,15	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	
		Custo Variável	0,11	0,12	0,12	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15	0,16	0,16	0,17	0,17	0,17	
		Custo de Produção	0,14	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17	0,17	0,18	0,19	0,19	0,20	0,20	0,21	
		Custo de Insumo	1,68	1,36	1,48	1,57	1,83	1,92	1,74	1,94	2,13	2,24	2,29	2,13	2,13	
		Custo de Transp. 1	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	
		Custo de Transp. 2	0,11	0,15	0,15	0,17	0,20	0,18	0,16	0,21	0,21	0,19	0,26	0,20	0,20	
<b>BUNGE</b>	<b>Nova Mutum</b>	<b>MT</b>	<b>414</b>	<b>2,34</b>	<b>1,96</b>	<b>2,12</b>	<b>2,31</b>	<b>2,50</b>	<b>2,65</b>	<b>2,53</b>	<b>2,74</b>	<b>2,99</b>	<b>3,04</b>	<b>3,24</b>	<b>3,30</b>	
		Custo Fixo	0,16	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	
		Custo Variável	0,11	0,12	0,12	0,13	0,13	0,14	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17	0,17	0,18	
		Custo de Produção	0,14	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17	0,18	0,18	0,19	0,19	0,20	0,20	0,21	
		Custo de Insumo	1,59	1,31	1,46	1,63	1,80	1,93	1,80	1,96	2,27	2,30	2,47	2,45	2,45	
		Custo de Transp. 1	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	
		Custo de Transp. 2	0,28	0,25	0,25	0,26	0,27	0,28	0,27	0,30	0,30	0,31	0,32	0,39	0,39	
<b>BIOPAR</b>	<b>Nova Marilândia</b>	<b>MT</b>	<b>338</b>	<b>2,25</b>	<b>1,87</b>	<b>2,03</b>	<b>2,23</b>	<b>2,42</b>	<b>2,57</b>	<b>2,46</b>	<b>2,63</b>	<b>2,88</b>	<b>2,93</b>	<b>3,13</b>	<b>3,16</b>	
		Custo Fixo	0,19	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	
		Custo Variável	0,12	0,12	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17	0,17	0,18	
		Custo de Produção	0,14	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17	0,18	0,18	0,19	0,20	0,20	0,20	0,21	
		Custo de Insumo	1,58	1,30	1,45	1,62	1,80	1,92	1,79	1,92	2,26	2,28	2,45	2,43	2,43	
		Custo de Transp. 1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,08	0,06	0,06	0,06	0,06	0,09	
		Custo de Transp. 2	0,17	0,16	0,17	0,18	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,23	0,23	0,26	

Tabela 16 - Estratificação dos custos para usinas (parte 2)

Empresa	Município	UF	Capac. (m <sup>3</sup> /dia)	Preço do biodiesel (R\$/l)												
				2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	
BIOCAR	Dourados	MS	<b>30</b>			<b>2,37</b>	<b>2,31</b>	<b>2,48</b>	<b>2,66</b>	<b>2,46</b>	<b>2,53</b>	<b>3,03</b>	<b>3,12</b>	<b>2,90</b>	<b>3,02</b>	
			Custo Fixo			0,42	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,00	0,00
			Custo Variável			0,18	0,19	0,20	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	
			Custo de Produção			0,18	0,18	0,19	0,20	0,20	0,21	0,22	0,23	0,23	0,24	
			Custo de Insumo			1,55	1,71	1,87	2,03	1,82	1,86	2,34	2,42	2,30	2,39	
			Custo de Transp. 1			0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,12	0,12	
			Custo de Transp. 2			0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
DELTA	Rio Brilhante	MS	<b>300</b>					<b>2,42</b>	<b>2,48</b>	<b>2,27</b>	<b>2,33</b>	<b>2,81</b>	<b>2,90</b>	<b>2,90</b>	<b>2,99</b>	
			Custo Fixo					0,22	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	
			Custo Variável					0,14	0,14	0,15	0,15	0,16	0,17	0,17	0,18	
			Custo de Produção					0,16	0,17	0,18	0,18	0,19	0,20	0,20	0,21	
			Custo de Insumo					1,81	1,97	1,76	1,81	2,27	2,34	2,23	2,40	
			Custo de Transp. 1					0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,13	0,04	
			Custo de Transp. 2					0,05	0,06	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	
BIOPAR	Rolândia	PR	<b>120</b>						<b>2,60</b>	<b>2,38</b>	<b>2,39</b>	<b>2,81</b>	<b>2,94</b>	<b>2,80</b>	<b>2,92</b>	
			Custo Fixo						0,32	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	
			Custo Variável						0,15	0,16	0,16	0,17	0,18	0,18	0,19	
			Custo de Produção						0,17	0,18	0,19	0,19	0,20	0,21	0,21	
			Custo de Insumo						1,94	1,85	1,86	2,27	2,38	2,22	2,32	
			Custo de Transp. 1						0,01	0,03	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	
			Custo de Transp. 2						0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	

Na Tabela 17 é mostrada a média das distâncias entre as microrregiões produtoras de soja e a usina para cana ano.

Tabela 17 - Média das distâncias do campo para a usina

Empresa	Município	UF	Capac. (m <sup>3</sup> /dia)	Média de distâncias do campo para a usina (km)												
				2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	
ADM	Rondonópolis	MT	1.352	683	638	620	500	493	495	486	520	491	574	1.099	922	
OLEOPLAN	Veranópolis	RS	1.050	236	201	202	191	196	177	206	485	221	229	277	191	
CAMERA	Ijuí	RS	650	79	81	81	77	80	98	81	79	77	78	94	77	
BUNGE	Nova Mutum	MT	414	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	
BIOPAR	Nova Marilândia	MT	338	185	180	175	177	173	172	169	268	168	159	161	227	
BIOCAR	Dourados	MS	30			94	94	94	94	94	94	94	94	313	313	
DELTA	Rio Brilhante	MS	300					79	79	79	79	79	79	397	79	
BIOPAR	Rolândia	PR	120							25	67	25	25	32	25	43

Na Tabela 18 é mostrada a média das distâncias entre a usina e os centros de

distribuição para cana ano.

*Tabela 18 - Média das distâncias da usina para os centros de distribuição*

Empresa	Município	UF	Capac. (m <sup>3</sup> /dia)	Média de distâncias da usina para os centros de distribuição (km)												
				2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	
ADM	Rondonópolis	MT	1.352	1.089	1.360	1.669	1.908	1.878	1.750	2.409	2.494	2.715	2.346	2.679	2.184	
OLEOPLAN	Veranópolis	RS	1.050	1.006	952	957	977	971	967	1.009	980	1.010	1.001	992	989	
CAMERA	Ijuí	RS	650	863	1.198	1.110	1.248	1.426	1.181	978	1.274	1.215	1.072	1.394	1.038	
BUNGE	Nova Mutum	MT	414	2.741	2.209	2.136	2.101	2.065	2.028	1.849	2.001	1.952	1.910	1.867	2.257	
BIOPAR	Nova Marilândia	MT	338	1.392	1.225	1.225	1.224	1.223	1.222	1.217	1.215	1.216	1.215	1.214	1.286	
BIOCAR	Dourados	MS	30			20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
DELTA	Rio Brilhante	MS	300					239	241	157	156	157	156	156	156	
BIOPAR	Rolândia	PR	120							24	24	37	44	24	24	35