

Vantagens e Desvantagens das Rotas de Produção de Biodiesel para o Brasil

Donato Alexandre Gomes Aranda

Professor Doutor da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Pesquisador do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas / MCT e Coordenador do Programa Rio Biodiesel da Secretaria de Estado de Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro.

Nelson Cesar Chaves Pinto Furtado

Professor Doutor em Engenharia Metalúrgica e de Materiais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, Pesquisador do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas / MCT e Coordenador do Programa Rio Biodiesel da Secretária de Estado de Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro.

Yordanka Reyes Cruz

Doutora em Tecnologias de Processos Químicos e Bioquímicos pela Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Ana Paula Gama Encarnação

Mestre em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos pela Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Resumo

O artigo inicialmente descreve as características do biodiesel, como mais um combustível alternativo entre os demais utilizados no âmbito nacional e internacional, enfatizando as vantagens da sua utilização. Em seguida apresenta alguns dos projetos em andamento no território nacional. Finalmente, faz um resumo comparativo das tecnologias das três grandes empresas mundiais fornecedoras de plantas industriais para produção de biodiesel BALLESTRA (italiana), LURGI (alemã), CROWN IRON (americana).

Palavras-chave: Biodiesel. Rotas de Produção. Estado da Arte. Especificações. Processos. Tecnologias Disponíveis.

Abstract

The article first describes the characteristics of the biodiesel, as an alternative fuel used in among other national and international levels, emphasizing the advantages of its use. Then presents some of the projects underway in the country. Finally, do a comparative summary

of the technologies of three major companies worldwide supplier of industrial plants for biodiesel production: BALLESTRA (Italy), LURGI (German), CROWN IRON (USA).

Keywords: Biodiesel. Routes of production. State of Art. Specifications. Processes. Available Technologies. processos. Tecnologias Disponíveis.

1 - OBJETIVOS

1.1 - Levantamento do Estado da Arte da tecnologia disponível por meio de:

- Empresas fornecedoras de plantas industriais para a produção de biodiesel;
- Descrição dos processos;
- Pontos fortes e fracos e recomendações;
- Diferenciações entre rota metálica versus rota etílica; e
- Setores que investem na produção de biodiesel no Brasil.

2 - CARACTERÍSTICAS E ESPECIFICAÇÕES DO BIODIESEL

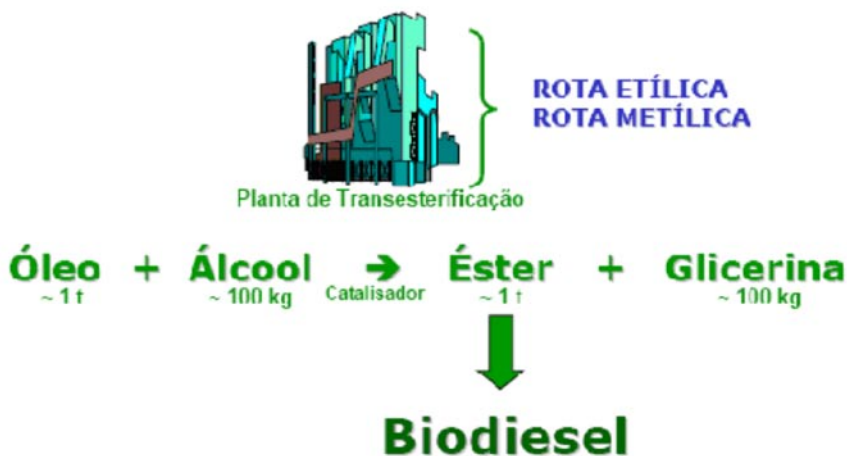
2.1 – Biodiesel

O biodiesel, composto de ésteres de ácidos graxos, é um combustível alternativo obtido a partir de fontes biológicas renováveis, como óleos vegetais e gorduras animais. Em relação ao diesel, proveniente do petróleo (petrodiesel), é considerado ambientalmente limpo, pois reduz as emissões de poluentes atmosféricos e materiais particulados, além de ser biodegradável e atóxico. Por apresentar propriedades físico-químicas semelhantes ao petrodiesel, pode ser usado diretamente no motor sem modificações mecânicas ou gastos em manutenção. O processo mais adotado, a transesterificação dos triglicerídios com um álcool, forma ésteres, que constituem o biodiesel e glicerol.

Nesse processo, são empregados alcoóis, especificamente metanol e etanol e, normalmente, o álcool é adicionado em excesso a fim de deslocar o equilíbrio para um máximo rendimento do éster. A reação pode ser catalisada por bases (NaOH, KOH, carbonatos ou alcóxidos), ácidos (HCl, H₂SO₄ e ácidos sulfônicos) ou enzimas (lipases). A catálise básica homogênea vem sendo a mais aplicada comercialmente.

Após a transesterificação, os produtos são uma mistura de ésteres, glicerol, álcool, catalisador e tri-, di- e monoglicerídios. O excesso de álcool é recuperado por destilação e o glicerol separado por decantação / centrifugação. O éster é purificado por lavagem, e resulta numa significativa redução da viscosidade, enquadrando-se dentro da especificação do óleo diesel, com elevado índice de cetano e excelentes propriedades lubrificantes.

PROCESSO CLÁSSICO DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL



2.2 - Características e Especificações

O biodiesel caracteriza-se por possuir propriedades semelhantes às do diesel, ou seja, densidade, viscosidade, teor de água, teor de cinzas, resíduo de carbono e destilação. E o substitui por apresentar maior número de cetano, ponto de fulgor, lubricidade e menor teor de enxofre. Além destas, existem outras específicas como teor de glicerídeos, índice de iodo e estabilidade à oxidação. O biodiesel é um sucedâneo do diesel, ambientalmente correto, por sua menor emissão de particulados e monóxido de carbono (CO).

Abaixo são apresentadas suas especificações de acordo com as normas da Agência Nacional de Petróleo (ANP) do Brasil resolução 42 da ANP - da União Européia - EN 14214, e dos Estados Unidos da América - ASTM 6751.

PRINCIPAIS ESPECIFICAÇÕES DE BIODIESEL NO MUNDO

| CARACTERÍSTICA | UNIDADE | ANP | prEN 14214 | ASTM 6751 |
|---|--------------------|---------|------------|-----------|
| ASPECTO | --- | Límpido | --- | --- |
| MASSA ESPECÍFICA A 20°C | kg/m ³ | ANOTAR | 0,86-0,90 | --- |
| VISCOSIDADE CINEMÁTICA A 40°C, | mm ² /s | ANOTAR | 3,5-5,0 | 1,9-6,0 |
| ÁGUA E SEDIMENTOS, MÁX. | % vol. | 0,050 | 0,050 | 0,050 |
| CONTAMINAÇÃO TOTAL | mg/kg | ANOTAR | 24,0 | --- |
| PONTO DE FULGOR, MIN. | °C | 100,0 | 120 | 130 |
| TEOR DE ÉSTER | % massa | ANOTAR | 96,5 | --- |
| DESTILAÇÃO; 90% VOL. RECUPERADOS, MÁX. | °C | 360 | | 360 |
| RESÍDUO DE CARBONO DOS 100% DEST. FINAL, MÁX. | % massa | 0,10 | 0,30 | 0,05 |
| CINZAS SULFATADAS, MÁX. | % massa | 0,020 | 0,020 | 0,020 |
| ENXOFRE TOTAL | % massa | ANOTAR | 0,001 | 0,05 |
| SÓDIO + POTÁSSIO, MÁX. | mg/kg | 10 | 5 | --- |
| CÁLCIO + MAGNÉSIO | mg/kg | ANOTAR | 5 | --- |
| FÓSFORO | mg/kg | ANOTAR | 10 | 10 |
| CORROSIVIDADE AO COBRE, 3 H A 50 °C, MÁX. | --- | 1 | 1 | 3 |
| NÚMERO DE CETANO | --- | ANOTAR | 51 | 47 |
| PONTO DE ENTUPIMENTO DE FILTRO A FRIO, MÁX. | °C | * | ** | --- |
| ÍNDICE DE ACIDEZ, MÁX. | mg KOH / g | 0,80 | 0,50 | 0,80 |
| GLICERINA LIVRE, MÁX. | % massa | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| GLICERINA TOTAL, MÁX. | % massa | 0,38 | 0,25 | 0,24 |
| MONOGLICERÍDEOS | % massa | ANOTAR | 0,8 | --- |
| DIGLICERÍDEOS | % massa | ANOTAR | 0,2 | --- |
| TRIGLICERÍDEOS | % massa | ANOTAR | 0,2 | --- |
| METANOL OU ETANOL, MÁX. | % massa | 0,5 | 0,20 | --- |
| ÍNDICE DE IODO | | ANOTAR | 120 | --- |
| ESTABILIDADE À OXIDAÇÃO A 110°C, MIN | h | 6 | 6 | --- |

Nota: observa-se que, ao contrário das normas americanas (ASTM 6751) e européias (EN 14214), a norma brasileira (resolução 42 da ANP) permite que vários parâmetros sejam apenas “anotados” sem exigências quanto a valores mínimos ou máximos.

2.3 - Descrição de Alguns Projetos de Biodiesel no Brasil

O Brasil tem, em sua geografia, vantagens agrônomas por se situar em uma região tropical, com altas taxas de luminosidade, temperaturas médias anuais e associadas à disponibilidade hídrica e regularidade de chuvas, ou seja, as condições ideais para produção de energia renovável. No entanto, no país é explorado menos de um terço da área agricultável, o que constitui a maior fronteira para expansão agrícola do mundo. O potencial é de cerca de 549 milhões de hectares, sendo 63 milhões referentes a novas fronteiras, e outros

486, a terras de pastagens, que podem ser convertidas em exploração agrícola em curto prazo. O programa nacional de produção e uso do biodiesel visa à utilização de terras inadequadas para o plantio de gêneros alimentícios.

| Pais | Área Potencial | Área Plantada (2002) | Área Disponível |
|---------------|----------------|----------------------|-----------------|
| Argentina | 91 | 33 | 58 |
| Austrália | 125 | 47 | 78 |
| Brasil | 549 | 63 | 486 |
| Canadá | 125 | 34 | 91 |
| China | 202 | 162 | 40 |
| EU - 15 | 179 | 80 | 99 |
| EU - 25 | 239 | 105 | 134 |
| EUA | 354 | 134 | 220 |
| Índia | 206 | 190 | 16 |
| Rússia | 283 | 80 | 203 |



ÁREA AGRICULTÁVEL (milhões de ha)

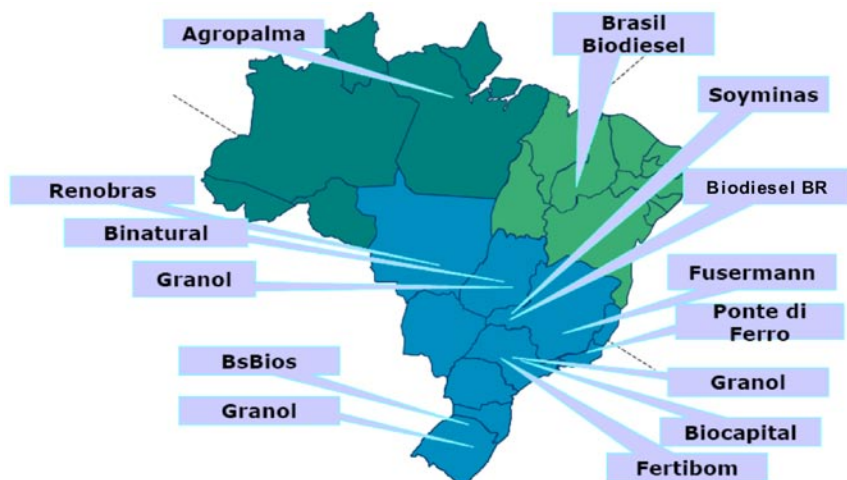
O Brasil tem uma diversidade de plantas oleaginosas para a geração de biodiesel, tais como a palma e o babaçu no norte, a soja, o girassol, o amendoim e o pinhão manso (*Jatropha Curcas* nas regiões norte, nordeste, sudeste e centro-oeste). A sinergia entre o complexo oleaginoso e o setor de álcool combustível traz a necessidade do aumento no consumo de álcool através da transesterificação por rota etílica estimulando o desenvolvimento do setor sucroalcooleiro.

A Agência Nacional de Petróleo e Biocombustíveis (ANP) estima a produção brasileira de biodiesel na ordem de 1,8 bilhões L/ano, constituindo um grande desafio para o cumprimento das metas estabelecidas no âmbito do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel, que necessita, de aproximadamente, 2,0 bilhões L/ano, ou seja, 90% da demanda, considerando a mistura atual de B4 (4% de biodiesel e 96% de petrodiesel). Porém, com a aprovação das usinas, cuja solicitação tramita na ANP, coincide com a demanda.

Para dimensionarmos uma perspectiva de expansão da produção, foi efetuado um mapeamento dos projetos:

| FÁBRICAS DE BODIESEL NO BRASIL | | | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------|----------------------------|
| Identificação | Nome | Identificação | Nome |
| 1 | Agropalma | 33 | Caramuru |
| 2 | Brasil Biodiesel 6 | 34 | Biodiesel triângulo |
| 3 | Nutec (usina-piloto) | 35 | Fertibom |
| 4 | Petrobras Quixadá | 36 | Biodiesel BR |
| 5 | Fazenda Normal-EM | 37 | Soyminas |
| 6 | DNOCS (usina piloto2) | 38 | Agrodiesel |
| 7 | Brasil Biodiesel 4 | 39 | Biominas |
| 8 | DNOCS (usina piloto 1) | 40 | Fusermann Biodiesel |
| 9 | Brasil Biodiesel Filial | 41 | Biodiesel triângulo 2 |
| 10 | Brasil Biodiesel - Matriz | 42 | Ponte di Ferro |
| 11 | Petrobras (planta piloto) | 43 | Petrocad |
| 12 | Brasil Biodiesel 7 | 44 | Granol 1 |
| 13 | Brasil Biodiesel 5 | 45 | Biocapital |
| 14 | Petrobras – candeias | 46 | Granol 4 |
| 15 | IBR – Indústria Brasileira de Resinas | 47 | Biolix |
| 16 | Grupo Fischer | 48 | Biopetro |
| 17 | Agrosoja | 49 | Biopetro |
| 18 | Fiagril | 50 | Cocamar |
| 19 | Binatural | 51 | Coamo (planta piloto) |
| 20 | Petrobras – Montes Claros | 52 | Tecpar (usina piloto) |
| 21 | Barrálcool | 53 | Expoglobe |
| 22 | Biobrasil | 54 | Biodiesel Sul |
| 23 | Ecomat | 55 | Coceagro |
| 24 | Coabra | 56 | Coperbio e Coperal |
| 25 | Renobras | 57 | Cooper Butiá (micro-usina) |
| 26 | Bio Brasil Italian Oil | 58 | Coasa |
| 27 | Granol 3 | 59 | Oleoplan |
| 28 | JR Biogerais | 60 | Bsbios |
| 29 | Projebio | 61 | Granol 2 |
| 30 | Biocar Biodiesel | 62 | Brasil Biodiesel 3 |
| 31 | Caramuru 2 | 63 | Grupo Bertim |
| 32 | Grand Valle- RJ | | |

LOCALIZAÇÃO DAS EMPRESAS DETENTORAS DO SELO COMBUSTÍVEL SOCIAL



3 - LEVANTAMENTO DO ESTADO DA ARTE DA TECNOLOGIA DISPONÍVEL

Existem três grandes empresas mundiais fornecedoras de plantas industriais para produção de biodiesel: DE SMET BALLESTRA / DEDINI -Indústrias de Base; LURGI; e CROWN IRON.

3.1 - De Smet Ballestra / Dedini - Indústrias de Base

A empresa italiana - De SMET BALLESTRA – empresa fundada em 1946, é líder mundial em tecnologia e fornecimento de instalações e equipamentos para a indústria de óleos e gorduras comestíveis, desde o tratamento de sementes, ou frutos oleaginosos, até o refino de óleos e gorduras e a sua modificação. Desde julho de 2004, associou-se à empresa brasileira DEDINI - Indústria de Base - líder nacional no fornecimento de usinas de açúcar e álcool. O acordo comercial foi formalizado para a venda de unidades industriais destinadas à produção de biodiesel em larga escala no país.

A engenharia de processo, que define como a produção será feita, está sob a responsabilidade da BALLESTRA. A engenharia básica, a fabricação e montagem ficarão a cargo da DEDINI. As usinas terão capacidade de 10, 20, 40, 60, 80 ou 100 mil ton/ano, e outras poderão ser projetadas com até 200 mil ton/ano, com tecnologia que permite um máximo de flexibilidade para “feedstocks” múltiplos e rota (etílica ou metílica).

Na Tabela 3.1 apresenta-se um resumo das características fundamentais das plantas de biodiesel, fornecidas por esta associação de empresas.

| Descrição | capacidade diária (ton) | capacidade anual (ton) | capacidade anual (1000 litros) | rotas e processos |
|-----------------|-------------------------|------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| Grandes plantas | 300 | 60.000 | 72.000 | etílico/metílico contínuo |
| | a 400 | a 100.000 | a 120.000 | |
| Plantas médias | 60 | 20.000 | 24.000 | etílico/metílico contínuo/batelada |
| | a 180 | a 60.000 | a 72.000 | |
| Mini-plantas | até 60 | Até 20.000 | até 24.000 | etanol/batelada |

Tabela 3.1 - Plantas de Biodiesel – Caracterização e Rotas

3.1.1 - Descrição do processo produtivo

3.1.1.1 - Qualidade das matérias-primas

As plantas de produção de biodiesel, fornecidas pela associação BALLESTRA/DEDINI, exigem as seguintes especificações de qualidade para as matérias-primas. Opcionalmente, pode-se pré-tratar o óleo ou gordura visando atingir as especificações descritas na Tabela 3.2.

| Especificação de óleos na entrada do reator | | |
|--|----------------|---------------|
| Características | unidade | limite |
| Acidez | % | 0,1 máx. |
| Umidade | % | 0,1 máx. |
| Impurezas | % | 0,1 máx. |
| Fósforo | Ppm | 20 máx. |
| Insaponificáveis | % | 1 máx. |
| Ceras | Ppm | 1000 máx. |
| especificação de etanol | | |
| Teor de etanol | % v/v | 99,80 mín. |
| especificação de metanol | | |
| Teor de Metanol | % v/v | 99,85 mín. |

Tabela 3.2 - Especificações de Qualidade das Matérias-Primas

3.1.1.2 - Qualidade dos Produtos

a) **Biodiesel:** O biodiesel produzido é de qualidade internacional, cumpre com as especificações estabelecidas nas normas da Tabela 2.1.

b) **Glicerina:** As unidades fornecem a possibilidade de escolher a qualidade da glicerina em correspondência com as especificações indicadas na Tabela 3.3.

| Características | Percentual (%) |
|---------------------------|-----------------------|
| Teor de Glicerol | 88 |
| Umidade | 6,0 |
| Metanol (*) | 0,1 |
| Extraíveis em éter | 0,8 |
| Teor de sabão | 0,1 |
| Cloreto de Sódio | 4,2 |
| Sulfatos | 0,2 |
| Citrato de Sódio | 0,6 |
| PH | NEUTRO |

Tabela 3.3 - Especificações de Qualidade da Glicerina

(*) Planta operando pela rota metílica

No caso de incluir no processo tecnológico a unidade refinadora de glicerina, a qualidade do produto final estará em correspondência com os padrões **DIN 51606, NBB**, considerada como uma glicerina classe farmacêutica de elevada qualidade.

3.1.1.3 - Consumo de utilidades e insumos

A Tabela 3.4 sumariza o consumo de utilidades e insumos para a operação industrial das unidades.

| Produção de Biodiesel | para 1000 kg de Biodiesel (produto final) |
|---|--|
| UTILIDADES | |
| Energia Elétrica | 20 kWh |
| Vapor a 15 bar | 340 kg |
| Água de resfriamento | 28 m ³ |
| METANOL E QUÍMICOS | |
| Metanol | 99 kg |
| Soda (50%) | 1,6 kg |
| Ácido Clorídrico | 8,0 kg |
| Catalisador | 5,5 kg |
| RECUPERAÇÃO DE ÁLCOOL | |
| para 100 kg de álcool recuperado | |
| Vapor | 150 kg |
| Energia Elétrica | 3kWh |
| Água de resfriamento | 10 m ³ |

Tabela 3.4 - Consumo de Utilidades e Insumos

3.1.1.4 - Custo operacional médio de uma planta de Biodiesel BALLESTRA/DEDINI

O custo operacional médio, estimado para as plantas de biodiesel, é apresentado na Tabela 3.5.

| Capacidade | ton/ano | 10.000 | 35.000 | 65.000 | 100.000 |
|-------------------|-----------|--------|--------|--------|---------|
| Químicos | R\$/litro | 0,11 | 0,10 | 0,10 | 0,10 |
| Energia | R\$/litro | 0,05 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Depreciação | R\$/litro | 0,08 | 0,08 | 0,05 | 0,04 |
| Mão de Obra | R\$/litro | 0,11 | 0,04 | 0,02 | 0,015 |
| Adm, Manut | R\$/litro | 0,05 | 0,04 | 0,03 | 0,03 |
| Custo Operacional | R\$/litro | 0,40 | 0,30 | 0,22 | 0,21 |
| Investimento | US\$ MM | 5 | 8 | 10 | 12 |

Tabela 3.5 - Custo Operacional de uma Planta de Biodiesel

3.1.1.5 - Previsão de investimentos

A Tabela 3.6 mostra uma previsão de investimentos para a instalação de uma unidade de produção de biodiesel com tecnologia BALLESTRA/DEDINI. O orçamento foi estimado para plantas com três capacidades.

| Planta de Biodiesel | Equipamentos | 100.000 ton/ano | 200.000 ton/ano | 300.000 ton/ano |
|---|------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Operando 313 dias/ano com rendimento operacional de 98% | neutralização | 2.500 | 4.000 | 6.000 |
| | planta de transesterificação | 19.000 | 25.000 | 40.000 |
| | tancagem + plataforma | 5.000 | 8.000 | 13.000 |
| | utilidades | 2.500 | 4.000 | 6.000 |
| | obras civis – anti-incêndio | 3.000 | 4.000 | 6.000 |
| SUBTOTAL (R\$) | | 32.000 | 45.000 | 71.000 |
| SUBTOTAL (U\$) | | 14.679 | 20.642 | 32.569 |
| Prazo de entrega | | 12 meses | 12 meses | 16 meses |
| Área p/ instalação | | | | |
| TOTAL (R\$) | | 92.900 | 128.900 | 171.500 |
| TOTAL (U\$) | | 42.615 | 59.128 | 78.670 |

Tabela 3.6 - Previsão de Investimentos (milhões de R\$)

O investimento estimado para a instalação de uma unidade de produção de biodiesel, com capacidade de 100.000 ton/ano e tecnologia BALLESTRA/DEDINI, está entre R\$ 30 milhões e R\$ 50 milhões, dependendo do nível de automação.

4 - SETORES QUE INVESTEM NA PRODUÇÃO DE BIODIESEL NO BRASIL

Os setores que investem na produção de biodiesel no Brasil estão inclusos no ciclo de integração agrícola e industrial, apresentados na Figura 4.1.

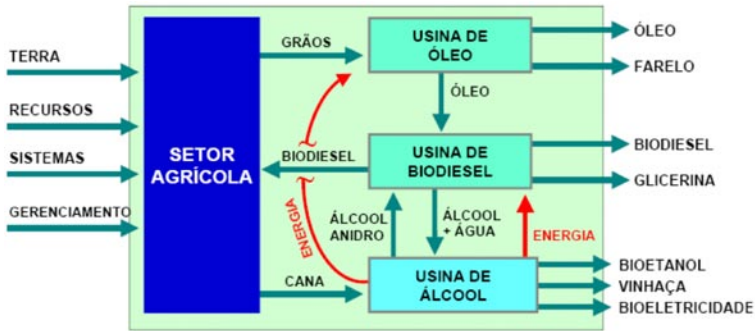


Figura 4.1- Integração Agrícola e Industrial

Algumas empresas, que decidiram investir na produção de biodiesel, seguem o esquema da Figura 4.2, baseado na integração da planta de biodiesel a indústrias de óleos vegetais.

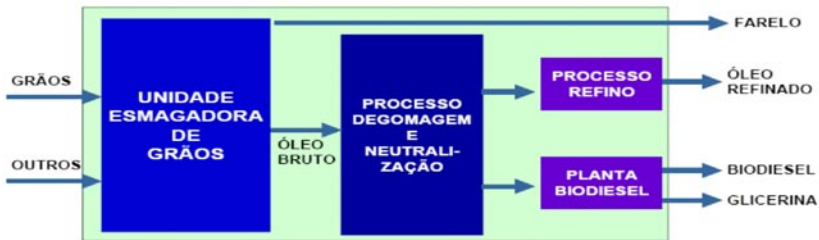


Figura 4.2 - Integração da Planta de Biodiesel em Indústrias de Óleos Vegetais

Outras, como na Figura 4.3, tentam adequar a legislação à natureza do negócio e consideram que as plantas de biodiesel e álcool possibilitem o uso do processo contínuo de transesterificação com rota etílica. Esta variante é a solução de menor custo, menor consumo de energia e utilidades, e a que melhor atende às grandes dimensões do Programa Nacional de Biodiesel, gerando maior número de empregos, inclusão social e adequação ao meio ambiente.

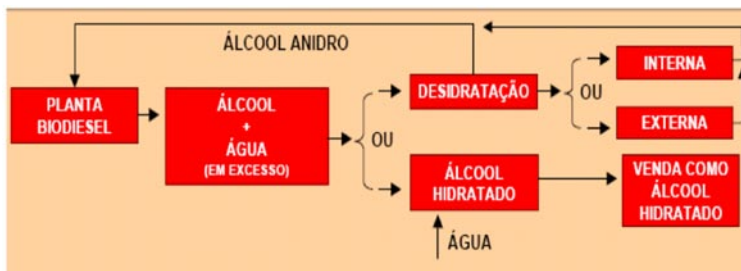


Figura 4.3 - Integração da Planta de Biodiesel em Usina de Alcool

4.1 - Características e desafios das plantas BALLESTRA/DEDINI

4.1.1 - Características principais:

• Processo contínuo de transesterificação / com decanter interno que possibilita a contínua remoção do glicerol formado;

- Permite utilizar multióleos e suas misturas;
- Alto rendimento de conversão óleo em biodiesel;
- Qualidade do produto final assegurada (ANP, EN, ASTM);
- Plantas flexíveis – rota etílica e/ou metílica;
- Baixa geração de efluentes (quase zero);
- Coprodutos com qualidade comercial;
- Completo controle de processo – automatizado;
- Equipamentos de mecânica simples, fácil manutenção e alta

eficiência;

- Pequena dimensão das unidades de processo e equipamentos;
- Baixo custo de mão de obra/manutenção/utilidades;
- Equipamentos credenciados na Agência Especial de

Financiamento Industrial do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (FINAME/BNDES);

- Projeto e implantação em 12 meses;
- Possibilidade de fornecer projeto *turn key* para planta de

biodiesel;

- Comissionamento assistido e treinamento; e
- Frete e pintura incluídos.

4.1.2 - Os fatores Chaves:

- Plantas flexíveis (óleos/rota);
- Processo robusto (automação);
- Escala economicamente viável;
- Baixo custo de transformação;
- Alta eficiência (> 98% de conversão);
- Baixa emissão de poluentes;
- Licenças ambientais;
- Produto nível mundial;
- Negócio autossustentável (preço competitivo); e
- Desenvolver cadeia própria (alimentar x energética).

4.1.3 - Plantas de produção de Biodiesel

Além das unidades, que serão apresentadas nos itens **4.1.3.1** e **4.1.3.2**, a associação BALLESTRA/DEDINI, elabora seis orçamentos de

plantas de biodiesel a partir de sebo bovino, com capacidade produtiva que varia de 12 milhões de litros/ano, **(12 mil ton/ano)**, a 110 milhões de litros/ano, **(100 mil ton/ano)**. Cerca de 60 novos projetos de fábricas de biodiesel de óleos vegetais estão em avaliação.

4.1.3.1 - Unidades no Brasil

Na Tabela 4.1 apresenta-se uma lista das plantas produtoras de biodiesel fornecidas no Brasil pela DE SMET BALLESTRA/ DEDINI, e nas Figuras 4.4, 4.5 e 4.6, as fotos das plantas industriais.

| Nome da Planta | Localidade | Capacidade ton/ano | Tecnologia | Serviços de Engenharia | Matérias-Primas | Rota | Processo | Data |
|----------------|---------------------|--------------------|------------|------------------------|--|-------------------------------|-----------------------------|---------------|
| AGROPALMA | Belém (PA) | 12.000 | UFRJ | DEDINI | coproduto da produção de óleo de palma | flexível (metilica / etilica) | batelada | março 2005 |
| 1Barrálcool | Barra do Bugre (MT) | 50.000 | BALLESTRA | DEDINI | óleo vegetal/ sebo animal | flexível (etilica/ metilica) | contínuo transesterificação | setembro 2006 |
| 2Granol | Anápolis (GO) | 100.000 | BALLESTRA | DEDINI | soja ⁵ | metilica | contínuo transesterificação | setembro 2006 |
| 3Bertin | Lins (SP) | 100.000 | BALLESTRA | DEDINI | sebo animal ⁴ | metilica | contínuo transesterificação | novembro 2006 |
| Caramurú | Itumbiara (GO) | 100.000 | BALLESTRA | DEDINI | soja ⁵ | metilica | contínuo transesterificação | janeiro 2007 |
| Confidencial | | 100.000 | BALLESTRA | DEDINI | soja ⁵ | metilica | contínuo transesterificação | junho 2007 |

¹ **Barrálcool**: Planta de biodiesel integrada à usina de álcool.

² **Granol**: Planta de biodiesel integrada à indústria de óleos vegetais.

³ **Bertin**: Planta de biodiesel vendida para o grupo de frigoríficos Bertin s/a, considerada a maior unidade do mundo de produção de biodiesel a partir de sebo. A metade da matéria-prima consumida nesta planta será da produção própria do grupo.

⁴ O custo de produção de biodiesel de sebo é 30% menor que o fabricado de óleos vegetais, mas o rendimento é, em média, 5% menor.

⁵ Considerando rendimento de 19% de óleo obtido a partir do grão de soja.

FIGURA 4.4
Planta Agropalma – Belém, PA (DEDINI/UFRJ)



FIGURA 4.5
Planta Barrálcool – Barra de Bugre, MT (DEDINI/BALLESTRA)



FIGURA 4.6
Planta Granol – Anápolis, GO (DEDINI/BALLESTRA)



4132 - Unidades em outros países

A Tabela 4.2 mostra alguns exemplos de plantas industriais de produção de biodiesel, com tecnologia e engenharia da De Smet BALLESTRA/DEDINI.

Na Tabela 4.3 apresenta-se uma lista mundial de plantas de biodiesel de referência que utilizam esta tecnologia.

A Figura 4.7 mostra a planta de biodiesel em LIVORNO – ITÁLIA.

Tabela 4.2
Plantas Industriais de Produção de Biodiesel

| Nome da Planta | Localidade | Capacidade ton/ano | Tecnologia | Serviços de Engenharia | Matérias-Primas | Rota | Processo | Data de Funcionamento |
|------------------------|----------------|--------------------|------------|------------------------|--|-----------------------------|---|-----------------------|
| Novaol Livorno factory | LIVORNO ITÁLIA | 100.000 | BALLESTRA | Novaol | múltiplas | flexível (metilica/etilica) | contínuo transesterificação + esterificação | 2004 |
| Tracopol | PORTUGAL | 60.000 | BALLESTRA | DEDINI | coproduto da produção de óleo de palma | flexível (metilica/etilica) | contínuo | abril 2005 |
| Thessaloniki | GRÉCIA | 30.000 | BALLESTRA | DEDINI | óleo vegetal/sebo animal | flexível (etilica/metilica) | contínuo transesterificação | abril 2005 |

Tabela 4.3
Lista Mundial de Referência com Tecnologia de Smet Ballestra

| País | Quantidade de plantas | Quantidade de plantas por capacidade (mil t/ano) | | | | | |
|-------------|-----------------------|--|----|----|----|-----|-----|
| | | 20 | 30 | 50 | 60 | 100 | 150 |
| Bulgária | 1 | | | | | 1 | |
| Grécia | 1 | | | 1 | | | |
| Itália | 2 | | 1 | | | 1 | |
| Índia | 2 | | | | | 2 | |
| Malásia | 2 | | | | | 2 | |
| Polónia | 2 | | | | | 1 | 1 |
| Portugal | 1 | | | 1 | | | |
| Romênia | 2 | | | | 1 | 1 | |
| Espanha | 1 | | 1 | | | | |
| Singapura | 1 | | | | | 1 | |
| Reino Unido | 1 | | | | | 1 | |
| EUA | 2 | 1 | 1 | | | | |
| Total | 21 | 1 | 3 | 3 | 1 | 12 | 1 |

Capacidade total das plantas: 1.670.000 t/ano = 1,9 bi l/ano

Matérias-primas: óleo vegetal: palma, soja, girassol, canola, amendoim, caroço de algodão, gordura animal e sebo bovino.

Resíduos: óleo de fritura, ácidos graxos, oleína.

Figura 4.7
Planta em Livorno, Itália (BALLESTRA)



5 - BIODIESEL LURGI

5.1 - Perfil da empresa alemã LURGI:

- Líder em tecnologia.
- Empresa de engenharia estabelecida em 1897.
- Empresa do Grupo MG Technologies.

Desde a primeira patente da LURGI, em 1897, a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico representam a base de atuação da LURGI: Na Figura 5.1, destaca-se o foco industrial da empresa que objetiva os recursos renováveis, e na Figura 5.2, observa-se que, a cada processo produtivo, um produto de base tecnológica é desenvolvido em suas instalações, que contam com:

- Centro tecnológico com mais de 50.000 m²;
- Unidades piloto e 100 unidades para ensaios tecnológicos;
- Mais de 80 processos tecnológicos inovadores próprios;
- Desenvolvimento e otimização contínua de novos processos; e
- Modulação sistemática e desenvolvimento padrão de produtos.

Figura 5.1
Foco industrial / Recursos renováveis (LURGI)



Figura 5.2
Processos / Produtos tecnológicos (LURGI)

Óleo Comestível

- Extração
- Solventes
- Desodorização
- Refino
- Laminação de sementes
- Degomagem

Amidos

- Moagem de Milho (*wet-milling*)
- Amidos Modificados
- Edulcorantes
- Etanol (*corn dry-milling*)
- Fermentação / Cervejaria

Oleoquímica

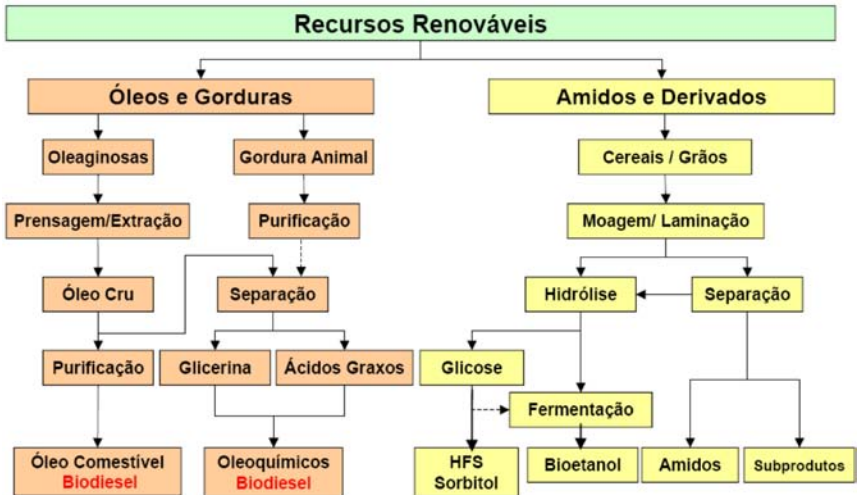
- Destilação / Fracionamento
- Ácidos Graxos / Álcoois Graxos
- Esterificação
- Transesterificação (**Biodiesel**)
- Extração/Destilação de Glicerina
- Hidrogenação

Derivados

- Processamento de Açúcares
- Álcoois de Açúcar (Sorbitol)
- Vitaminas
- Tocoferol
- Ácidos Orgânicos e Inorgânicos

A Figura 5.3 mostra, em uma apresentação esquemática, os produtos tecnológicos da LURGI.

Figura 5.3
Apresentação Esquemática



5.1.1 - Conceito de implementação de projetos aplicados pela LURGI

Atendimento direcionado a projetos:

- Estudos de viabilidade.
- Definição técnica de processos.
- Desenvolvimento de processos.
- Engenharia de processos.
- Engenharia de desenho.
- Automatização de processos.
- Engenharia de licenciamento.

5.1.2 - Fases de Engenharia de processos tecnológicos

Serviços únicos e direcionados:

- Engenheiros registrados.
- Gerência de projetos.

- Definição de processos tecnológicos.
- Engenharia mecânica.
- Engenharia civil e estrutural.
- Engenharia elétrica.
- Engenharia de automatização e controle.

5.1.3 - Fase de construção e implementação

Atendimento completo durante a totalidade do projeto:

- Empreiteiro geral.
- Gerenciamento da construção.
- Compras e equipamentos.
- Fabricação especial.
- Controle de obras.

As plantas industriais que a LURGI passa a disponibilizar ao mercado terão capacidade entre 40.000 e 250.000 ton/ano de produção de biodiesel. Esta empresa projeta e fornece plantas para *feedstocks* múltiplos.

Na Tabela 5.1 apresenta-se um resumo das características fundamentais das plantas de biodiesel fornecidas pela LURGI e as empresas BALLESTRA /DEDINI.

Tabela 5.1
Plantas de Biodiesel – Caracterização e Rotas

| Descrição | Capacidade diária (ton) | Capacidade anual (ton) | Rotas e Processos |
|-----------------|-------------------------|------------------------|---------------------------|
| Grandes Plantas | 400 | 120.000 | metanol contínuo |
| Plantas Médias | 200 | 60.000 | metanol contínuo/batelada |
| Mini-Plantas | Até 25 | Até 7.500 | metanol/batelada |

5.1.4 - Qualidade das matérias-primas

As plantas de produção de biodiesel, fornecidas pela LURGI, exigem as seguintes especificações de qualidade para as matérias-primas (Tabela 5.2).

Tabela 5.2
Especificações de Qualidade das Matérias- Primas

| Especificação de óleos | | |
|--|---------|------------|
| Características | Unidade | limite |
| Ácido graxo livre | % | 0,1 máx. |
| Umidade | % | 0,1 máx. |
| Impurezas | % | 0,1 máx. |
| Fósforo | PPM | 20 máx. |
| Insaponificáveis | % | 0,8 máx. |
| Ceras | PPM | 1000 máx. |
| especificação de metanol | | |
| Teor de Metanol | % v/v | 99,85 mín. |
| especificação do catalisador | | |
| O catalisador deve estar livre de água | | |

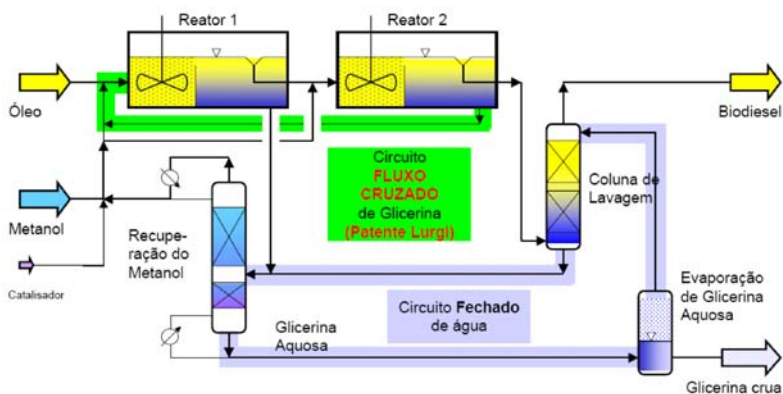
O cumprimento destas especificações garante ao processo:

- Alta eficiência; e
- Baixo consumo de catalisador.

5.1.5 - Fluxograma e *Lay-Out* do Processo

As Figuras 5.4 e 5.5 mostram, respectivamente, o fluxograma do processo e o *lay-out* geral da planta de produção de biodiesel.

Figura 5.4
Fluxograma Simplificado do Processo Lurgi



5.1.6 - Qualidade dos produtos

- a) **Biodiesel:** O biodiesel produzido nas unidades LURGI é de qualidade internacional, cumpre com as especificações estabelecidas nas normas relacionadas na Tabela 2.1 ,e, adicionalmente, as especificações de qualidade estabelecidas na norma Alemanha (E DIN 51606), Tabela 5.3.

Figura 5.5
Lay-Out da Planta de Produção de Biodiesel

Layout Geral

Sistema de Usina Modular

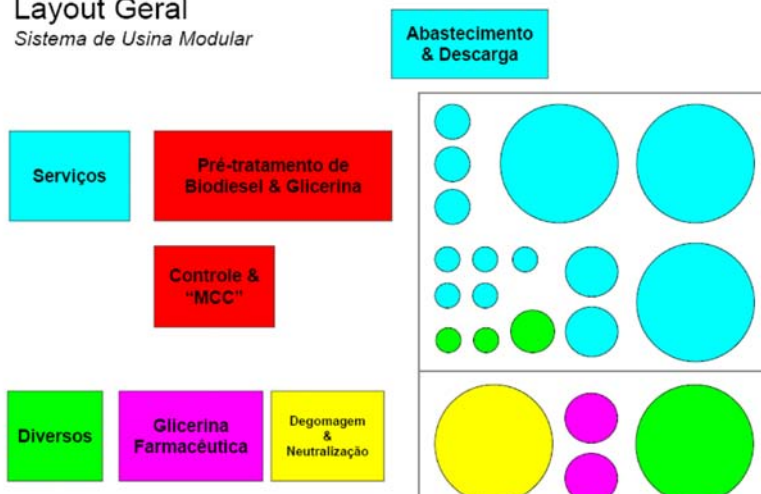


Tabela 5.3
Especificação do Biodiesel da Alemanha (E DIN 51606)

| CARACTERÍSTICA | UNIDADE | ANP | prEN 14214 | ASTM 6751 |
|---|--------------------|---------|---------------|--------------|
| ASPECTO | --- | Límpido | --- | --- |
| MASSA ESPECÍFICA A 20°C | kg/m ³ | ANOTAR | 0,86-0,90 | --- |
| VISCOSIDADE CINEMÁTICA A 40°C, | mm ² /s | ANOTAR | 3,5-5,0 | 1,9-6,0 |
| ÁGUA E SEDIMENTOS, MÁX. | % vol. | 0,050 | 0,050 | 0,050 |
| CONTAMINAÇÃO TOTAL | mg/kg | ANOTAR | 24,0 | --- |
| PONTO DE FULGOR, MIN. | °C | 100,0 | 120 | 130 |
| TEOR DE ÉSTER | % massa | ANOTAR | 96,5 | --- |
| DESTILAÇÃO; 90% VOL. RECUPERADOS, MÁX. | °C | 360 | | 360 |
| RESÍDUO DE CARBONO DOS 100% DEST. FINAL, MÁX. | % massa | 0,10 | 0,30 | 0,05 |
| CINZAS SULFATADAS, MÁX. | % massa | 0,020 | 0,020 | 0,020 |
| ENXOFRE TOTAL | % massa | ANOTAR | 0,001 | 0,05 |
| SÓDIO + POTÁSSIO, MÁX. | mg/kg | 10 | 5 | --- |
| CÁLCIO + MAGNÉSIO | mg/kg | ANOTAR | 5 | --- |
| FÓSFORO | mg/kg | ANOTAR | 10 | 10 |
| CORROSIVIDADE AO COBRE, 3 H A 50 °C, MÁX. | --- | 1 | 1 | 3 |
| NÚMERO DE CETANO | --- | ANOTAR | 51 | 47 |
| PONTO DE ENTUPIMENTO DE FILTRO A FRIO, MÁX. | °C | * | ** | --- |
| ÍNDICE DE ACIDEZ, MÁX. | mg KOH / g | 0,80 | 0,50 | 0,80 |
| GLICERINA LIVRE, MÁX. | % massa | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| GLICERINA TOTAL, MÁX. | % massa | 0,38 | 0,25 | 0,24 |
| MONOGLICERÍDEOS | % massa | ANOTAR | 0,8 | --- |
| DIGLICERÍDEOS | % massa | ANOTAR | 0,2 | --- |
| TRIGLICERÍDEOS | % massa | ANOTAR | 0,2 | --- |
| METANOL OU ETANOL, MÁX. | % massa | 0,5 | 0,20 | --- |
| ÍNDICE DE IODO | | ANOTAR | 120 | --- |
| ESTABILIDADE À OXIDAÇÃO A 110°C, MIN | h | 6 | 6 | --- |

- b) **Glicerina:** A qualidade da glicerina obtida no processo tecnológico da LURGI está em correspondência com a especificação **padrão britânico 2621**.

No caso de incluir no processo tecnológico a unidade refinadora de glicerina, a qualidade do produto final estará em correspondência com os padrões da **Farmacopéia Européia 99.5**, considerada como uma glicerina classe farmacêutica.

5.1. 7 - Consumo de utilidades e insumos

A Tabela 5.4 sumariza o consumo de utilidades e insumos necessários para a operação industrial das unidades LURGI.

Tabela 5.4
Consumo de Utilidades e Insumos

| Produção de Biodiesel | Para 1000 kg de Biodiesel (produto final) |
|-----------------------|--|
| UTILIDADES | |
| Energia Elétrica | 12 kWh |
| Vapor a 15 bar | 375 kg |
| Água de resfriamento | - |
| METANOL E QUÍMICOS | |
| Metanol | 96 kg |
| Soda (50%) | 2,0 kg |
| Ácido Clorídrico | 3,6 kg |
| Catalisador | 5,1 kg |

5.2 - Custo operacional médio de uma planta de Biodiesel LURGI

Os custos operacionais de uma planta de biodiesel LURGI coincidem com os das plantas da associação BALLESTRA/DEDINI e foram apresentados na Tabela 3.5.

5.2.1 - Características das plantas LURGI

A seguir, relacionam-se as características principais das plantas fornecidas pela LURGI:

- A LURGI é líder mundial em tecnologias de óleo-química;
- Experiência LURGI: mais de 1 milhão de toneladas de capacidade instalada;
- Tecnologia comprovada com amplas referências em operação comercial;
- Tecnologia capacitada para quase todas as matérias-primas (oleaginosos);
- Processamento contínuo sob pressão atmosférica a 60°C aprox.;

- Alta eficiência de processamento;
- Baixo custo de manutenção e operação;
- Processamento com compatibilidade ambiental;
- Processamento com 100% de eficiência, baixo consumo de catalisadores e de energia;
- Processo contínuo de transesterificação / decantação por gravidade; e
- Possibilidade de fornecer projeto *turn key* para planta de biodiesel.

5.2.2 - Plantas de produção de Biodiesel com tecnologia LURGI

Na Tabela 5.5 listam-se as plantas de produção de biodiesel de referência com tecnologia da empresa.

Nas Figuras 5.6, 5.7, 5.8 e 5.9 apresentam-se algumas fotos destas plantas Industriais.

Tabela 5.5
Plantas Industriais de Produção de Biodiesel

| Nome da Planta | Localidade | Capacidade ton/ano | Tecnologia | Serviços de Engenharia | Matérias Primas | Rota | Processo | Data de Funcionamento |
|---------------------------|-------------------------|--------------------|------------|------------------------|-----------------|----------|-----------------------------|-----------------------|
| Rapsveredelung Vorpommern | MALCHIN ALEMANHA | 50.000 | LURGI | LURGI | múltiplas | metilica | contínuo transesterificação | janeiro 2004 |
| Southern states power Co. | RIVERSIDE EUA | 100.000 | LURGI | LURGI | múltiplas | metilica | contínuo transesterificação | abril 2003 |
| Natural Energy West | MARL ALEMANHA | 100.000 | LURGI | LURGI | múltiplas | metilica | contínuo transesterificação | março 2002 |
| Batamas Megah | ILHA DE BATAM INDONÉSIA | 85.000 | LURGI | LURGI | múltiplas | metilica | contínuo transesterificação | setembro 1994 |

Figura 5.6

Planta Natural Energy West, Alemanha

| | |
|---|---|
| Cliente: | Natural Energy West GmbH (NEW) |
| Usina: | Biodiesel e Glicerina Farmacéutica |
| Localidade: | Marl, Alemanha |
| Capacidade: | 300 ton/dia (100.00 ton/a) |
| Serviços prestados por Lurgi: | |
| | <ul style="list-style-type: none">• Engenharia Básica• Engenharia de Detalhamento• Gerenciamento de Compras e Construção completa• Gerenciamento de Obras• Testes e Início de Funcionamento |
| Tipo de Contrato do Projeto: | |
| Chaves na Mão (LSTK) - Responsabilidade Completa | |
| Início da Engenharia: | Março de 2001 |
| Início de Funcionamento: | Marco de 2002 |



Especialidades

- ◆ Processamento de Transesterificação Contínuo
- ◆ Alta Qualidade de Biodiesel e Glicerina
- ◆ Metilato de Sódio como Catalisador

Figura 5.7

Planta Rve Malchin, Alemanha

| | |
|---------------------------------|---|
| Cliente: | RVE Malchin |
| Usina: | Extração, Biodiesel e Glicerina |
| Localidade: | Malchin, Alemanha |
| Matéria-Prima: | Canola (rapeseed) |
| Capacidade: | 84.000 tons/ano de Extração 50.000 tons/ano de Biodiesel 4.450 tons/ano de Glicerina |
| Serviços Lurgi: | "Contrato com Preço Fechado" Responsabilidade Completa Engenharia/Compras/Construção Início de Funcionamento |
| Início da Engenharia: | Dezembro de 2002 |
| Início de Funcionamento: | Janeiro de 2004 |



Especialidades:

- ◆ Processamento de Transesterificação Contínuo
- ◆ Alta Qualidade de Biodiesel e Glicerina
- ◆ Projeto Total, inc. Infra-estrutura

Figura 5.8
Planta Batamas Megah, Indonesia

| | |
|---|---|
| <p>Cliente: Ecogreen Oleochemicals / Batamas Megah, Indonésia</p> <p>Usina: Transesterificação de Óleos Vegetais para Éster Metílico e Subseqüente Hidrogenação para Álcoois Graxos</p> <p>Localidade: Ilha de Batam / Indonésia</p> <p>Capacidade: 250 ton/dia (85.000 t/a)</p> <p>Serviços Lurgi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Gestão de Projeto (PM) <input checked="" type="checkbox"/> Engenharia Básica <input checked="" type="checkbox"/> Engenharia de Detalhamento <input checked="" type="checkbox"/> Compras <input checked="" type="checkbox"/> Supervisão da Construção <input checked="" type="checkbox"/> Testes e Início de Funcionamento <input checked="" type="checkbox"/> Capacitação de Pessoal Técnico <p>Início da Engenharia: Julho de 1991</p> <p>Início de Funcionamento: Setembro de 1994</p> |  |
| <p>Caixa de texto: Cliente: Ecogreen Oleochemicals / Batamas Megah, Indo Usina: Transesterificação de Óleos Vegetais par</p> | |
| <ul style="list-style-type: none"> ◆ Processamento de Transesterificação Contínuo ◆ Destilação e Fracionamento de Éster Metílico ◆ Produção de Glicerina | |

Figura 5.9
Planta Southern States Power Company Inc., Ontário-Eua

| | |
|---|---|
| <p>Cliente: Southern States Power Company, Inc. Ontário, CA / USA</p> <p>Usina: Biodiesel e Glicerina Matéria-Prima: Óleo de Soja</p> <p>Localidade: Riverside, CA / EUA</p> <p>Capacidade: 300 ton/dia (100.000 ton/a)</p> <p>Serviços Lurgi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Projeto Conceitual <input checked="" type="checkbox"/> Engenharia Básica e de Detalhamento <input checked="" type="checkbox"/> Compras <input checked="" type="checkbox"/> Construção Completa, inc. Supervisão <input checked="" type="checkbox"/> Testes e Colocação em Funcionamento <input checked="" type="checkbox"/> Capacitação de Pessoal Técnico <p>=> Projeto Chave na Mão: "Preço Fechado" Responsabilidade Completa</p> <p>Início da Engenharia: Abril de 2002</p> <p>Em Funcionamento desde: Abril de 2003</p> |  |
| <p>Especialidades</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Processo de Transesterificação Contínuo ◆ Alta Qualidade de Biodiesel e Glicerina ◆ Metilato de Sódio como Catalisador ◆ Capacidade para várias Matérias-Primas | |

6 - CROWN IRON Works Co

A empresa, fundada em 1878, é líder mundial em tecnologias de extração de óleos vegetais. Vende tecnologia para processos de óleo-química desde 1920, incluindo destilação, fracionamento, processamento de ésteres metílicos e produção de glicerina.

Em 1996, a CROWN IRON vendeu a primeira planta de produção de biodiesel, em batelada. Em 2002, apareceu como a empresa pioneira fornecendo plantas de produção de biodiesel com fluxo contínuo, usando soja como matéria-prima. A planta foi instalada em Ralston, Iowa nos EUA. Oferece também uma linha de equipamentos para recuperação de glicerina com 99,7% de pureza.

A Tabela 6.1 apresenta um resumo das usinas de biodiesel da CROWN IRON de plantas *feedstocks* com capacidade de até 330 mil ton/ano.

Tabela 6.1
Plantas de Biodiesel – Caracterização e Rotas

| Descrição | Capacidade diária (ton) | Capacidade anual (ton) | Rotas e Processos |
|-----------------|-------------------------|------------------------|--------------------------------|
| Grandes plantas | 300 | 100.000 | metílica contínuo |
| | a 1000 | a 330.000 | |
| Plantas médias | 120 | 40.000 | metílica contínuo/ batelada |

6.1 - Descrição do Processo produtivo

6.1.1 - Qualidade das matérias-primas

A CROWN IRON exige as seguintes especificações de qualidade para as matérias- primas (Tabela 6.2).

Tabela 6.2
Especificações de Qualidade das Matérias-Primas

| ESPECIFICAÇÃO DE ÓLEOS | | |
|--------------------------|---------|-----------|
| CARACTERÍSTICAS | UNIDADE | LIMITE |
| ACIDEZ | % | 0,5 MÁX. |
| UMIDADE | % | 0,05 MÁX. |
| FÓSFORO | PPM | 20 MÁX. |
| INSAPONIFICÁVEIS | % | 1,0 MÁX. |
| SABÃO | PPM | 50 MÁX. |
| ESPECIFICAÇÃO DE METANOL | | |
| TEOR DE METANOL | % v/v | 99,9 MÍN. |

6.1.2 - Qualidade dos produtos

a) **Biodiesel:** O biodiesel produzido nas unidades é de qualidade internacional, cumpre com as especificações estabelecidas nas normas da Tabela 2.1.

b) **Glicerina:** A qualidade da glicerina loira está em correspondência com a especificação **padrão britânico 2621**.

No caso de incluir no processo tecnológico a unidade refinadora de glicerina, a qualidade do produto final estará em correspondência com os padrões **(DIN 51606, NBB)**, considerada como uma glicerina classe farmacêutica de elevada qualidade (99,7% de pureza).

6.1.3 - Consumo de utilidades e insumos

A Tabela 6.3 sumariza o consumo de utilidades e insumos necessários para a operação industrial das unidades CROWN IRON.

Tabela 6.3
Consumo de Utilidades e Insumos

| Produção de Biodiesel | para 1000 kg de Biodiesel (produto final) |
|-----------------------|--|
| UTILIDADES | |
| Energia Elétrica | 17 kWh |
| Vapor a 15 bar | 320 kg |
| Água de resfriamento | 50 kg |
| METANOL E QUÍMICOS | |
| Metanol | 89 kg |
| Soda (50%) | 2,5 kg |
| Ácido Clorídrico | 5,0 kg |
| Catalisador | 6,5 kg |

6.1.4 - Características das plantas da CROWN IRON

- Processo contínuo de transesterificação / decantação por gravidade;
- Permite utilizar multióleos e suas misturas;
- Alto rendimento de conversão;
- Qualidade do produto final assegurada (ASTM, prEN);
- Baixa geração de efluentes (quase zero);
- Baixo custo de mão de obra/manutenção/utilidades;
- Possibilidade de fornecer projeto *turn key* para planta de biodiesel;
- Recuperação e reutilização do metanol;
- Reciclagem da água do processo;
- Documentação e assistência, incluindo certificação BQ-9000 (Programa Nacional de Certificação);
- Equipamentos com baixo custo operacional;
- Sistema de controle automático; e
- Treinamento.

6.1.5 - Plantas de produção de Biodiesel com tecnologia CROWN IRON no Brasil e em outros países

O Brasil contará com uma nova planta de produção de biodiesel na região de Passo Fundo no Rio Grande do Sul. A empresa que comanda o projeto é BS Bios (Indústria e comércio de Biodiesel Sul Brasil Ltda.).

A Tabela 6.4 apresenta algumas características desta planta.

Tabela 6.4
Características da Planta de Produção de Biodiesel (Bs Bios)

| Características | |
|------------------------|--|
| Nome da Planta | BSBios |
| Localidade | Passo Fundo, Rio Grande do Sul. Brasil |
| Capacidade, (ton/ano) | 100.000 |
| Tecnologia | CROWN IRON |
| Serviços de engenharia | CROWN IRON |
| Matérias-primas | soja, girassol e canola |
| Rota | metélica |
| Processo | contínuo de transesterificação |
| Data de funcionamento | janeiro 2007 |

O Banco do Brasil e a Caixa Econômica Federal são os agentes financeiros da operação, em que serão investidos R\$ 40,9 milhões, sendo R\$ 28,1 milhões do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). Trata-se da primeira indústria de biodiesel do país a ter financiamento aprovado pelo BNDES, no âmbito do “Programa de Apoio Financeiro a Investimentos em Biodiesel”.

A Figura 6.1 mostra a foto com a localização da usina de Passo Fundo - RS.

FIGURA 6.1
Localização: BR 285 km 173, Passo Fundo-RS



A Tabela 6.5 apresenta uma lista das plantas de produção de biodiesel de referência com tecnologia da CROWN IRON.

A Figura 6.2 mostra uma foto da planta de Ralstom-Iowa nos Estados Unidos.

Tabela 6.5
Plantas Industriais de Biodiesel Crown Iron

| Nome da Planta | Localidade | Capacidade ton/ano | Tecnologia | Serviços de Engenharia | Matérias Primas | Rota | Processo | Data de Funcionamento |
|---------------------------------|-------------------------|--------------------|------------|------------------------|----------------------|----------|-----------------------------|-----------------------|
| BSBios | Passo Fundo (RS) Brasil | 100.000 | CROWN IRON | CROWN IRON | soja girassol canola | metilica | contínuo transesterificação | janeiro 2007 |
| Freedom Fuels | Mason City, IA EUA | 100.000 | CROWN IRON | CROWN IRON | soja | metilica | contínuo transesterificação | 2006 |
| Cetral Iowa Energy | Newton, IA EUA | 100.000 | CROWN IRON | CROWN IRON | soja, sebo animal | metilica | contínuo transesterificação | 2006 |
| Iowa Renewable Energy | Washington, IA EUA | 100.000 | CROWN IRON | CROWN IRON | soja, sebo animal | metilica | contínuo transesterificação | 2006 |
| - | Indiana EUA | 250.000 | CROWN IRON | CROWN IRON | soja | metilica | contínuo transesterificação | 2006 |
| Mid. Biofuels / ADM | Merida, MO EUA | 100.000 | CROWN IRON | CROWN IRON | soja | metilica | contínuo transesterificação | 2006 |
| Western Energy | Wall Lake, IA EUA | 100.000 | CROWN IRON | CROWN IRON | soja, sebo animal | metilica | contínuo transesterificação | 2005 |
| Minnesota Soy Processors | Brewster, MN EUA | 100.000 | CROWN IRON | CROWN IRON | soja | metilica | contínuo transesterificação | 2005 |
| Soy Mor | Albert Lea, MN EUA | 100.000 | CROWN IRON | CROWN IRON | soja | metilica | contínuo transesterificação | 2005 |
| West Central Inc. | Ralston, IA EUA | 120.000 | CROWN IRON | CROWN IRON | soja | metilica | contínuo transesterificação | 2003 |
| - | Tegucigalpa Honduras | 120.000 | CROWN IRON | CROWN IRON | palma | metilica | contínuo transesterificação | 1999 |

FIGURA 6.2
PLANTA EM RALSTON-IOWA, EUA (CROW IRON)



7 - A Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro (EQ/UFRJ), o Centro Brasileiro de Pesquisas do Ministério de Ciência e Tecnologia (CBPF/MCT) e a Coordenação do Programa Rio Biodiesel da Secretaria de Estado de Ciência e Tecnologia do Estado do Rio de Janeiro (SECT/RJ) têm em seus quadros cientistas, pioneiros nos estudos em biodiesel no Brasil que detêm patentes em processos industriais, catalisadores, novos materiais, mais de uma centena de publicações em revistas indexadas internacionais, trabalhos premiados pelo Governo Federal e pelo Programa de Nacional de Biocombustíveis por inovações tecnológicas em biodiesel.

Na Tabela 7.1 apresenta-se um resumo comparativo das tecnologias BALLESTRA/DEDINI (italiana), LURGI (alemã) e CROWN IRON (americana). O item 7.1 mostra as diferenças entre a rota metílica e a rota etílica.

Na Tabela 7.2 estão as vantagens e desvantagens das rotas de produção de biodiesel para o Brasil.

Tabela 7.1
RESUMO COMPARATIVO DAS TECNOLOGIAS APRESENTADAS

| Características principais | BALLESTRA/DEDINI | LURGI | CROWN IRON |
|---|--|---|--|
| Matérias- primas | múltiplas | Múltiplas | múltiplas |
| Acidez, % | 0,1 | 0,1 | 0,5 |
| Rota: | metilica / etilica | Metilica | metilica |
| Qualidade do Biodiesel assegurada pelas normas | res. 42 ANP/ pr EN 14214 / ASTM D 6751 | norma alemã EDIN 51606 / pr EN 14214 / ASTM DE 6751 | pr EN 14214 / ASTM DE 6751 |
| Qualidade da glicerina loira assegurada pelas normas | tabela 3.3 | padrão britânico 2621 | padrão britânico 2621 |
| Qualidade da glicerina refinada assegurada pelas normas | DIN 51606, NBB | farmacopeia europeia | DIN 51606, NBB |
| Processo tecnológico | contínuo; transesterificação | contínuo; transesterificação | contínuo; transesterificação |
| Recuperação do álcool | contemplam | Contemplam | contemplam |
| Tipo de projeto | projeto "turn key" | projeto "turn key" | projeto "turn key" |
| Eficiência | > 98% de conversão | > 98% de conversão | > 98% de conversão |
| Esterificação de ácido graxo | operam com esterificadores (pré e pós); o sabão formado no processo é desdobrado em ácido graxo, que é esterificado. | operam com esterificadores (pré e pós); o sabão formado no processo é desdobrado em ácido graxo, que é esterificado.. | não contemplam esterificadores. |
| Pré-separação de glicerol do Biodiesel | segregação interna da glicerina; remoção através de dispositivo interno nos reatores. | remoção através de decantadores entre os reatores, com uso de filtros de coalescência. | remoção através de decantadores entre os reatores. |
| Processo de lavagem | após o 3º reator, o Biodiesel é lavado. O Biodiesel é separado da água por centrifugação, | após o 3º reator, o Biodiesel é lavado. O Biodiesel é separado da água por centrifugação. | após o 3º reator (quando houver), o Biodiesel é lavado. O Biodiesel é separado da água por centrifugação. |
| Produto usado para desdobrar o sabão | HCl Ácido Cítrico | HCl | HCl |

7.1 - Diferenças entre a rota metílica e a rota etílica

A reação de transesterificação etílica é mais lenta que a metílica. Entretanto, os estudos cinéticos publicados não levam em conta a diferença no teor de água entre o metanol e o etanol. No Brasil, o etanol é considerado anidro a partir de 99,3% (7.000 ppm de água), e o metanol, anidro tipicamente com 99,9% (1.000 ppm de água), podendo atingir 50 ppm de água

A umidade promove a saponificação, tornando sensível à separação de fases **biodiesel/glicerina**. A densidade típica do biodiesel (fase apolar) é 0,87 g/cm³ contra 1,25 g/cm³ da glicerina (fase polar). A presença de sabão age como um tenso ativo, criando micro emulsões que evitam a separação de fases. Esse aspecto é crítico para um processo contínuo que, normalmente, opera com vários reatores em série e com a retirada, da fase glicerínica, entre cada um dos reatores.

O azeotropismo é um problema observado no sistema etanol-água. Mesmo com a pré-secagem do óleo e utilizando-se catalisadores anidros como os metóxidos ou etóxidos de sódio, a recuperação cíclica do álcool, em excesso, gera absorção de água o que dificulta a sua reutilização. Os custos dos processos de destilação azeotrópica, extrativa ou peneira molecular, são considerados hoje proibitivos para serem implementados em uma planta de biodiesel.

As plantas de grande porte, que trabalham com etanol, deverão utilizar um teor alcoólico de pelo menos 99,7%, o que representa um maior custo no processo. As empresas experientes do setor alcooleiro não cogitam a possibilidade de uma unidade de desidratação de álcool dedicada a uma planta de biodiesel.

Portanto, o maior custo de uma planta de etanol deve-se a presença de água no álcool, o que gera saponificação, reação lenta e maior consumo de catalisador, uma vez que uma parte do catalisador transforma-se em sabão. Os sabões sequestram triglicerídeos para sua fase, baixando assim o rendimento do processo em, pelo menos, 1 a 2% inferior ao processo metílico.

Em condições ideais (óleo seco, de baixa acidez, com etanol 99,7%), a reação etílica é cerca de 25% mais lenta que a metílica, tornando o custo um pouco maior nos tamanhos dos reatores para uma mesma produção, entretanto, na instrumentação é praticamente o mesmo. A diferença no custo operacional é maior devido aos problemas de recuperação de etanol, descritos anteriormente, e um consumo de aproximadamente 50% a mais de catalisador. Finalmente, a formação de sabão acarreta uma maior quantidade de oleína, como subproduto.

A rota etílica ainda não é competitiva com a rota metílica para a produção de biodiesel, excetuando aqueles casos em que a planta está integrada a usinas produtoras de álcool.

A Tabela 7.2 apresenta as vantagens e desvantagens das rotas tecnológicas de produção de biodiesel.

Tabela 7.2
Vantagens e Desvantagens das Rotas de Produção de Biodiesel

| BIODIESEL METÍLICO | | Desvantagens |
|--|--|--|
| Uso do Metanol | | importada |
| Tecnologia | conhecida | não renovável, ôxido, venenoso, origem fóssil (petróleo). |
| Matérias-primas | fácil separação da glicerina durante o processo. | - |
| Reação de transesterificação | 25% mais rápida que a etílica; maior rendimento. | - |
| Separação de fases Biodiesel/glicerina | mais fácil | - |
| Custos de investimento, recuperação do álcool | menor | - |
| Impacto econômico e na agricultura | nenhum | importado (remessa de divisas); não gera emprego; não incrementa a área agrícola. |
| BIODIESEL ETÍLICO | | |
| Tecnologia | 100% nacional. | - |
| Matéria- prima | alta disponibilidade, 100% renovável (origem vegetal). | - |
| Reação de transesterificação | - | 25% mais lenta que a metílica; maior promotor de saponificação com menor rendimento. |
| Separação de fases Biodiesel/glicerina | mais difícil | - |
| Custos de investimento, recuperação do álcool | maior (destilação azeotrópica) | - |
| Impacto econômico e na agricultura | retenção de recursos econômicos no país; maior investimento interno; geração de empregos; incremento da área agrícola; desenvolvimento e aplicação de tecnologia nacional. | - |

Nos itens 7.1.1, 7.1.2 e 7.1.3 mostram-se algumas semelhanças e diferenças dos processos químicos industriais das três maiores empresas mundiais de produção de biodiesel com vistas ao mercado brasileiro.

7.1.1 - Descrição do Processo de produção de Biodiesel DE SMET BALLESTRA/DEDINI

Após a neutralização, a mistura óleo/álcool/catalisador é submetida ao primeiro dos três reatores, onde ocorre agitação através de uma bomba de recirculação. Internamente, nos dois primeiros reatores, há um decanter, possibilitando a contínua remoção de parte da glicerina formada. No segundo e no terceiro reator ocorrem novas introduções de álcool e catalisador para complementar a reação. Todas as etapas de reação correm a 60° C sob pressão atmosférica. Após o terceiro reator, parte do metanol é evaporado a vácuo e o biodiesel submetido à lavagem, com solução de ácido cítrico, seguido de centrifugação e secagem, para eliminação completa da água. O ácido cítrico completa a remoção do catalisador do biodiesel.

Num reator à parte, recebe-se a fase glicerínica e adiciona-se ácido clorídrico com a finalidade de neutralizar o catalisador dessa fase, bem como o sabão gerado. Desse modo, elimina-se a oleína, (ácidos graxos), do contato com a fase glicerínica, livre de sabão. A fase glicerínica é submetida à evaporação para recuperação de metanol e eliminação de parte da água. A oleína é enviada a um reator de esterificação transformando-a em óleo esterificado, que será misturado ao óleo usado como matéria-prima, no processo de transesterificação. O excedente de álcool é recuperado e re-enviado ao processo.

7.1.2 - Descrição do Processo de produção de Biodiesel: LURGI

No processo LURGI, a reação de transesterificação acontece em três etapas. Seguido de cada reator, há um decantador que possibilita a remoção de parte da glicerina formada. A LURGI utiliza filtros de coalescência, nesta fase, de pré-separação do glicerol do biodiesel.

No segundo e no terceiro reator, há nova introdução de álcool e catalisador para complementar a reação. Todas as etapas de reação acontecem a 60° C, sob pressão atmosférica. Após o terceiro reator, parte do metanol é evaporada a vácuo e o biodiesel submetido à lavagem,

seguido de secagem, para eliminação completa da água. O biodiesel é filtrado e removidas as impurezas.

A glicerina, gerada nas três etapas de transesterificação, é recuperada e neutralizada. A fase glicerínica, submetida à evaporação para recuperação de metanol e eliminação de parte da água. As unidades de fabricação de biodiesel da LURGI fornecem a possibilidade de escolha quanto à qualidade da glicerina.

7.1.3 - Descrição do processo de produção de Biodiesel CROWN IRON

A empresa dispõe de tecnologia de produção de biodiesel, baseada em equipamentos para operação contínua, com máxima eficiência e segurança.

No processo CROWN IRON, a reação de transesterificação ocorre em três etapas: seguido de cada reator, há um decantador que possibilita a remoção de parte da glicerina formada. No segundo e no terceiro reator, ocorre nova introdução de álcool e catalisador, a 60°C, sob pressão atmosférica. Após o terceiro reator, parte do metanol é evaporado a vácuo e o biodiesel lavado, seguido de secagem, e, posteriormente, filtrado para remoção de possíveis impurezas.

A glicerina gerada, nas três etapas de transesterificação, é recuperada e neutralizada. A fase glicerínica evaporada, com recuperação do metanol.

A glicerina é considerada como glicerina loira, dado que contém sais e menos de 99% de pureza. Estes sais podem ser removidos quando a glicerina é destilada ou refinada. As unidades fornecidas, pela CROWN IRON, estão no padrão desejado, de qualidade da glicerina, em sua planta de biodiesel.

O excedente de álcool (quase 100%) é recuperado através de uma coluna de destilação e reenviado ao processo.