



Instituto de Energia e Ambiente - IEE  
Universidade de São Paulo - USP  
Prof. Célio Bermann

**Instituto de Energia e Ambiente da USP**

**Curso de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica da USP**

## **IEE 0005 - Produção e Consumo de Combustíveis e o Meio Ambiente**

7a. aula: Biodiesel: produção a partir de óleos vegetais - principais fontes matérias primas, processos de produção, qualidade dos óleos vegetais, propriedades, principais usos

- Características básicas
- Aspectos ambientais

## Processos biológicos:

- digestão anaeróbica com a produção de gás metano
- fermentação de açúcares (cana-de-açúcar) para produção de etanol
- hidrólise (sacarificação) da madeira e resíduos vegetais seguida de fermentação dos açúcares para produção de etanol

### **Biomassas com alto conteúdo de óleo vegetal:**

para produção de biodiesel:

- babaçu
- dendê (palm oil)
- soja
- mamona

**Biodiesel é uma denominação genérica para combustíveis produzidos a partir de óleos vegetais e gorduras animais para serem usados em motores de ignição por compressão, conhecidos como motores diesel. Além disso, o biodiesel pode ser usado em usinas termelétricas para geração de energia elétrica, em substituição do diesel e do óleo combustível. Atualmente, apenas o diesel vegetal obtido pelo processo de transesterificação tem recebido o nome de “biodiesel”, pois esse processo garante que o produto resultante mantenha características de combustão similares das do diesel mineral, o que não ocorre com os outros processos.**

**O combustível é composto de mono-alquil-ésteres de ácidos graxos de cadeia longa obtidos a partir do processo de transesterificação de óleos vegetais ou gordura animal com um álcool de cadeia curta, metanol ou etanol.**

## Características de alguns vegetais com potencial para produção de biodiesel

| Espécie                                  | Origem do óleo | Conteúdo de óleo (%) | Rendimento em óleo (t/ha) |
|--|----------------|----------------------|---------------------------|
| Dendê ( <i>Elaeis guineensis</i> N.)     | Amêndoa        | 26                   | 3,0-6,0                   |
| Babaçu ( <i>Attalea speciosa</i> M.)     | Amêndoa        | 66                   | 0,4-0,8                   |
| Girassol ( <i>Helianthus annuus</i> )    | Grão           | 38-48                | 0,5-1,5                   |
| Canola ( <i>Brassica campestris</i> )    | Grão           | 40-48                | 0,5-0,9                   |
| Mamona ( <i>Ricinus communis</i> )       | Grão           | 43-45                | 0,5-1,0                   |
| Amendoim ( <i>Arachis ipogaea</i> )      | Grão           | 40-50                | 0,6-0,8                   |
| Soja ( <i>Glycine max</i> )              | Grão           | 17                   | 0,2-0,6                   |
| Pinhão manso ( <i>Jatropha curca</i> L.) | Amêndoa        | 52-62                | 2,0-4,0                   |

Fonte: Adaptado de Macedo, Nogueira (2005) ; Arruda *et al.* (2004)

\* Essa variação em relação aos meses de colheita deve-se à origem das plantas, pois aquelas oriundas de sementes atingem idade produtiva após quatro anos; já as provenientes de estacas começam a produzir no segundo ano.

Obs: No Brasil, as alternativas para a produção de óleos vegetais são diversas, e incluem o nabo forrageiro, o pequi, o buriti, a macaúba além de uma grande variedade de oleaginosas a serem exploradas.



**PLANTAÇÃO DE DENDÊ (PALMA AFRICANA / OIL PALM)**



**CACHOS DE DENDÊ**



## Semente do Óleo de Palma

Disponível em: <http://www.saflora.lt/images/cms/images/Close-up-palm-oil-fruit.jpg>



A fruta da Palma contém dois tipos de óleo: óleo de palma (combustível), obtido do mesocarp ou da polpa da fruta, e o óleo de palmiste (produtos cosméticos), obtido da semente da fruta. O óleo de palmiste tem um alto valor comercial.



**PLANTAÇÃO DE SOJA**





**SEMENTES DE SOJA**

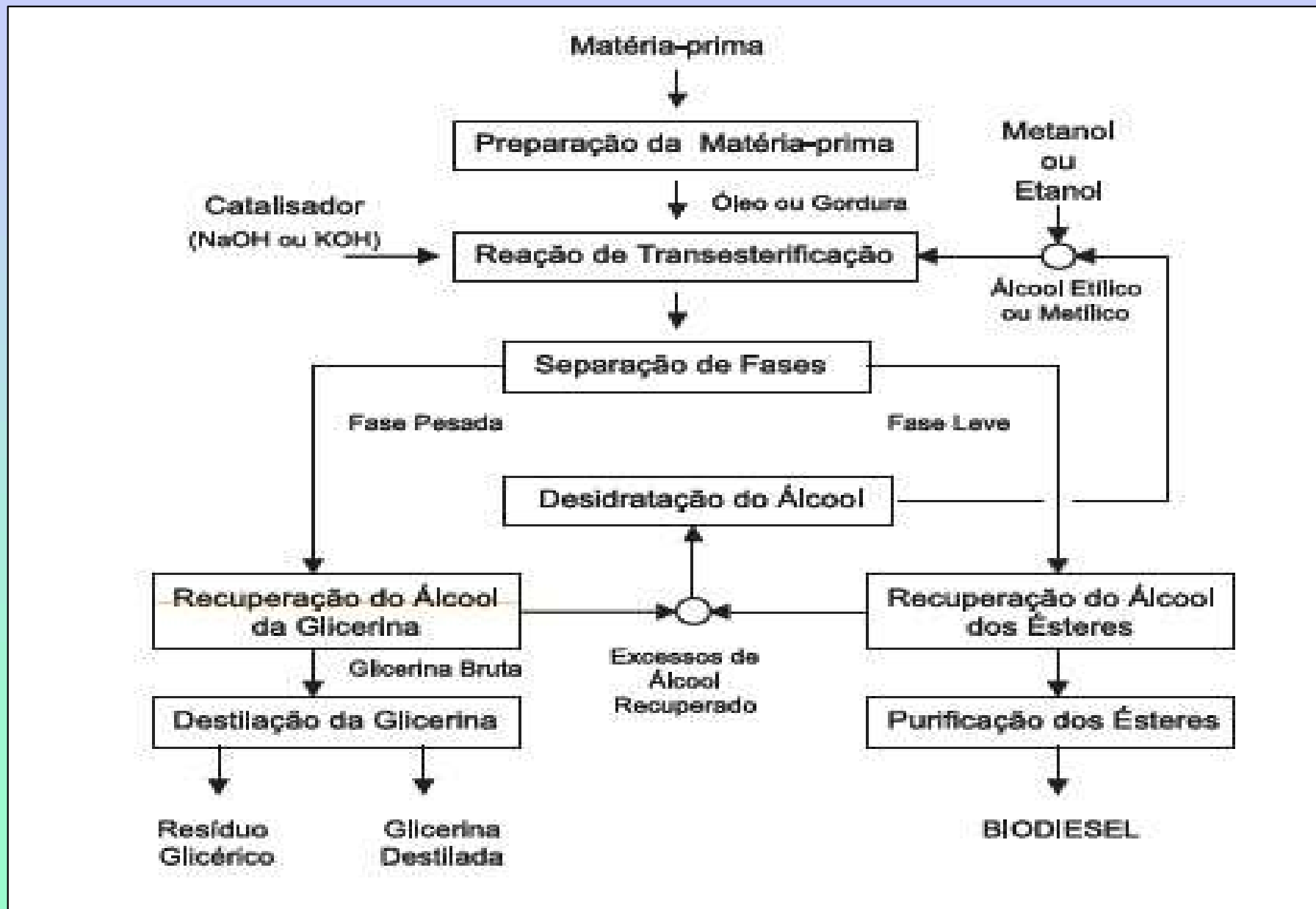


**JATROPHA OU PINHÃO MANSO**

**A conversão de óleos vegetais e gorduras vegetais ou animais em combustíveis pode ser feita por meio dos processos de transesterificação ou craqueamento. Porém, a literatura mundial tem definido biodiesel somente como o biocombustível obtido a partir da reação de transesterificação.**

**A transesterificação consiste na reação química de triglicerídeos (óleos e gorduras vegetais ou animais) em que os ácidos graxos formam ésteres com o glicerol a partir de álcoois (metanol ou etanol), na presença de um catalisador (ácido, base ou enzimático), resultando na substituição do grupo éster do glicerol pelo grupo do etanol ou metanol. O glicerol é um subproduto da reação.**

# Processo de obtenção de biodiesel a partir da transesterificação



Os catalisadores básicos mais empregados são o hidróxido de potássio (KOH) e o hidróxido de sódio (NaOH). O metóxido de sódio (MeONa) também é empregado, e é considerado o melhor catalisador, porém é mais caro. As grandes plantas de produção de biodiesel da Europa e dos Estados Unidos utilizam esse tipo de catalisador. Porém, os catalisadores básicos de um modo geral, devido à formação de sabões, são associados à presença de emulsões no final da reação, tornando mais difícil a etapa de purificação do biodiesel.

Os catalisadores ácidos, como o ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), evitam a formação de sabões, mas estão associados à corrosão e apresentam atividades catalíticas muito inferiores às aquelas verificadas nos sistemas básicos. São cerca de 100 vezes mais lentos.

Os catalisadores enzimáticos oferecem vantagens frente aos catalisadores ácidos e básicos, pois não estão associados à corrosão, além de possibilitarem uma melhor recuperação do catalisador e melhor separação do biodiesel, por não produzirem emulsões. Porém, o alto custo desses catalisadores aliado à sua rápida desativação na presença de álcoois tem inviabilizado seu uso em escala comercial.

Um dos desafios tecnológicos para a indústria de biodiesel é a busca de sistemas catalíticos alternativos que evitem a formação de emulsões e apresentem alta atividade, permitindo uma redução do tempo do processo.

Um dos rejeitos do processo de produção do biodiesel é a glicerina. Ela possui um valor de mercado que pode tornar o biocombustível ainda mais atraente do ponto de vista econômico. Entretanto, há grande incerteza quanto ao que ocorrerá com uma oferta excessiva no mercado de glicerina. Em média, para cada 90 m<sup>3</sup> de biodiesel são produzidos 10 m<sup>3</sup> de glicerina. É utilizada notadamente na produção de cosméticos, fármacos, sabões e sabonetes.

O processo de obtenção do biodiesel a partir da reação de transesterificação pode ser realizado por duas rotas tecnológicas diferentes: a rota etílica (que utiliza o etanol como reagente) e a metílica (que utiliza o metanol).

No mundo (na Europa e nos Estados Unidos, inclusive), há predominância de transesterificação pela rota metílica, pois a reação via metanol é mais econômica que a via etanol por conta da disponibilidade daquele álcool.

No entanto, além de ser tóxico, o metanol é produzido a partir de gás natural (combustível de origem fóssil) ou, em menores quantidades, por destilação seca da madeira. No caso do Brasil, em particular, o metanol teria de ser importado.

O etanol apresenta a vantagem de não ser tóxico, ser biodegradável e ser produzido a partir de fontes renováveis (cana-de-açúcar).



## Comparação entre as rotas metílica e etílica

| <b>Quantidade e condições usuais<br/>médias aproximadas</b>                    | <b>Rotas de Processo</b> |                |
|--|--------------------------|----------------|
|  | <b>Metílica</b>          | <b>Etílica</b> |
| Quantidade consumida de álcool (Kg)<br>por de biodiesel                        | 90                       | 130            |
| Preço médio do álcool (US\$/m <sup>3</sup> )                                   | 190                      | 360            |
| Excesso recomendado de álcool<br>recuperável, por destilação, após a<br>reação | 100%                     | 650%           |
| Temperatura recomendada da reação  | 60°C                     | 85°C           |
| Tempo de reação (minutos)  | 45                       | 60             |

Fonte: PARENTE, E.J.S. Uma aventura tecnológica num país engraçado, Ceará, 2003.

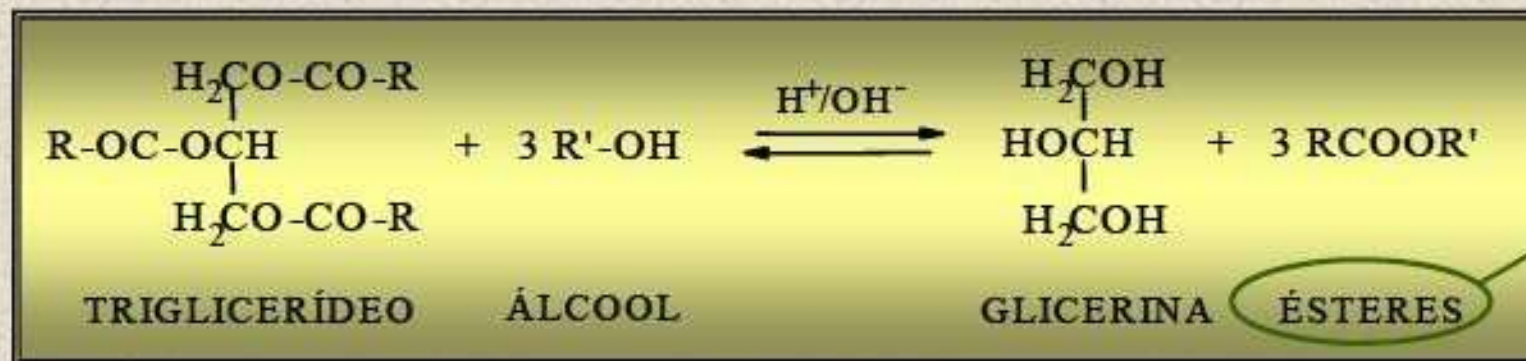
Disponível em: <http://www.tecbio.com.br>

Nota: A primeira patente mundial de biodiesel foi obtida no Brasil, em 1980, pelo professor doutor Expedito Parente, da Universidade Federal do Ceará. No entanto, o processo de industrialização do biodiesel foi iniciado apenas na Europa nos anos 1990, sendo este hoje o principal mercado produtor e consumidor de biodiesel puro ou misturado com óleo diesel.

Na produção de biodiesel pela tecnologia da reação de transesterificação, óleos vegetais e/ou gorduras animais são inicialmente convertidos a ácidos graxos, na presença de um álcool (metanol ou etanol) e de um catalisador alcalino (NaOH ou KOH), e finalmente transformados em outros ésteres, tendo como sub-produto o glicerol (glicerina), segundo os esquemas reacionais abaixo.



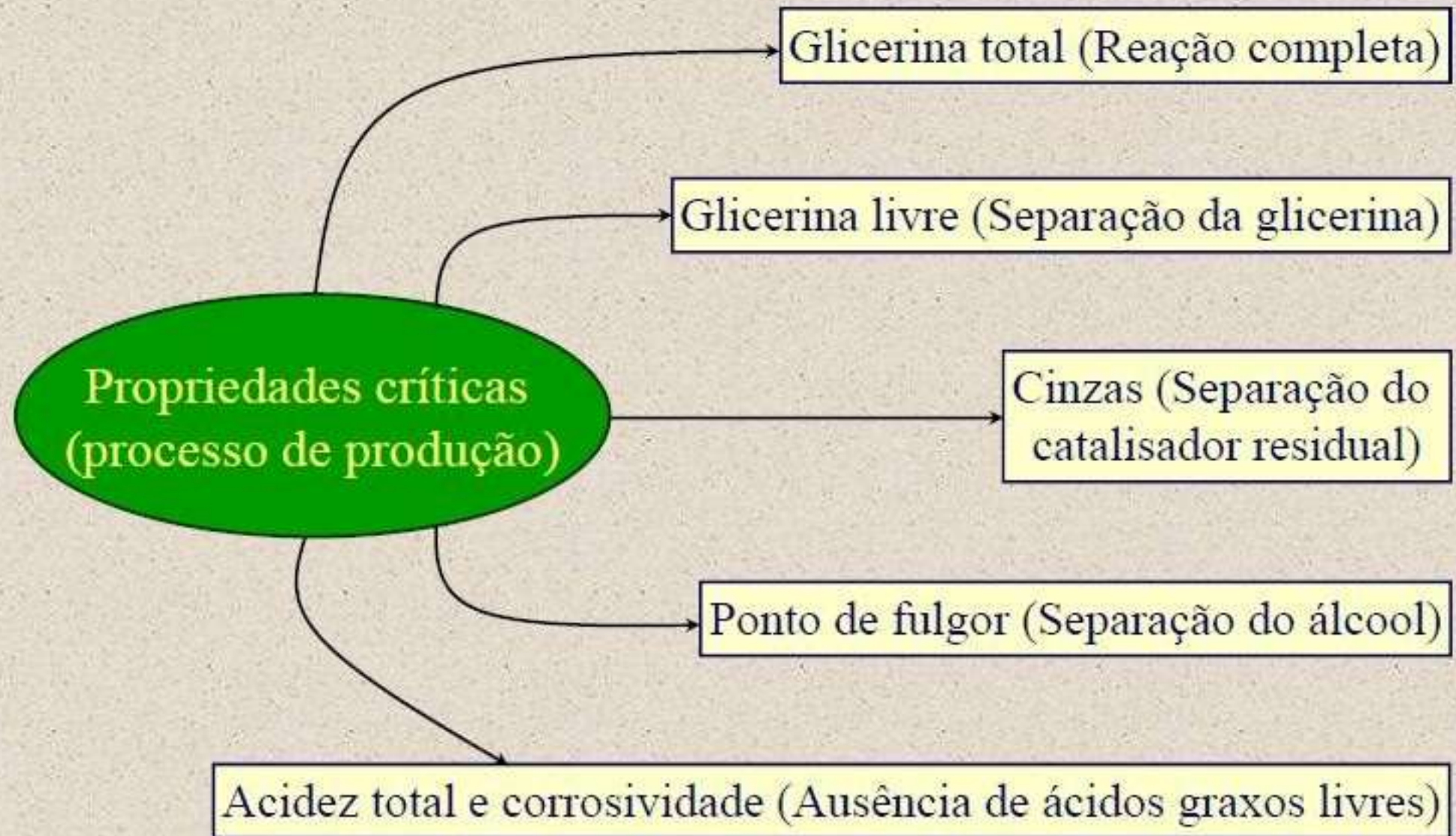
**Biodiesel**



- ★ A reação deve prosseguir até mono-alquilação completa do éster, com formação de glicerina total (livre ou ligada);
- ★ A glicerina livre deve ser efetivamente removida;
- ★ O catalisador residual deve ser eliminado, e seu teor pode ser determinado através de testes de cinzas sulfatadas e de teores de sódio e potássio;
- ★ O excesso de álcool deve também ser removido, e seu teor pode ser avaliado através de ensaios de ponto de fulgor e teor de álcool;
- ★ Ácidos graxos livres devem estar ausentes no produto final. Sua presença é indicada por testes de índice de acidez e corrosividade ao cobre.

- ★ O teor de glicerina livre ou ligada estimula a ocorrência de reações de desidratação durante a combustão, gerando acroleína, que, através de reações de condensação, proporciona aumento de depósitos de carbono no motor;
- ★ Sabões e ácidos graxos livres acarretam a degradação de componentes do motor;
- ★ A umidade interfere na acidez do éster e provoca sua hidrólise sob condições inadequadas de estocagem;
- ★ Resíduos de carbono aumentam a tendência do combustível em formar depósitos e relacionam-se à presença de ácidos graxos livres, glicerídeos, sabões, polímeros, ácidos graxos altamente insaturados e impurezas inorgânicas.

- ★ A qualidade de ignição do biodiesel é semelhante à do óleo diesel, pois apresenta altos valores de número de cetano, devido a sua composição de substâncias com longas cadeias lineares e saturadas, provenientes das moléculas de ácidos graxos;
- ★ O alto teor de ácidos graxos saturados afeta a tendência do biodiesel em solidificar-se (definindo o ponto de entupimento de filtro a frio). A temperatura de utilização deve ser a mais alta possível, sem afetar sua qualidade, a fim de evitar aumento da viscosidade e cristalização dos ésteres;
- ★ O alto teor de ácidos graxos insaturados pode resultar na formação de depósitos pela degradação oxidativa do biodiesel, resultando menor desempenho, aumento da susceptibilidade à corrosão e diminuição da vida útil dos motores.
- ★ A otimização da produção depende de fatores como a razão molar álcool:óleo, a concentração e o tipo do catalisador, a acidez da matéria-prima e a temperatura e agitação do meio reacional.



## ***Craqueamento Catalítico ou Térmico***

O processo de craqueamento catalítico ou térmico consiste na quebra de moléculas do óleo vegetal ou animal levando à formação de uma mistura de compostos químicos com propriedades muito semelhantes às do diesel de petróleo. Esse composto pode ser usado diretamente em motores convencionais.

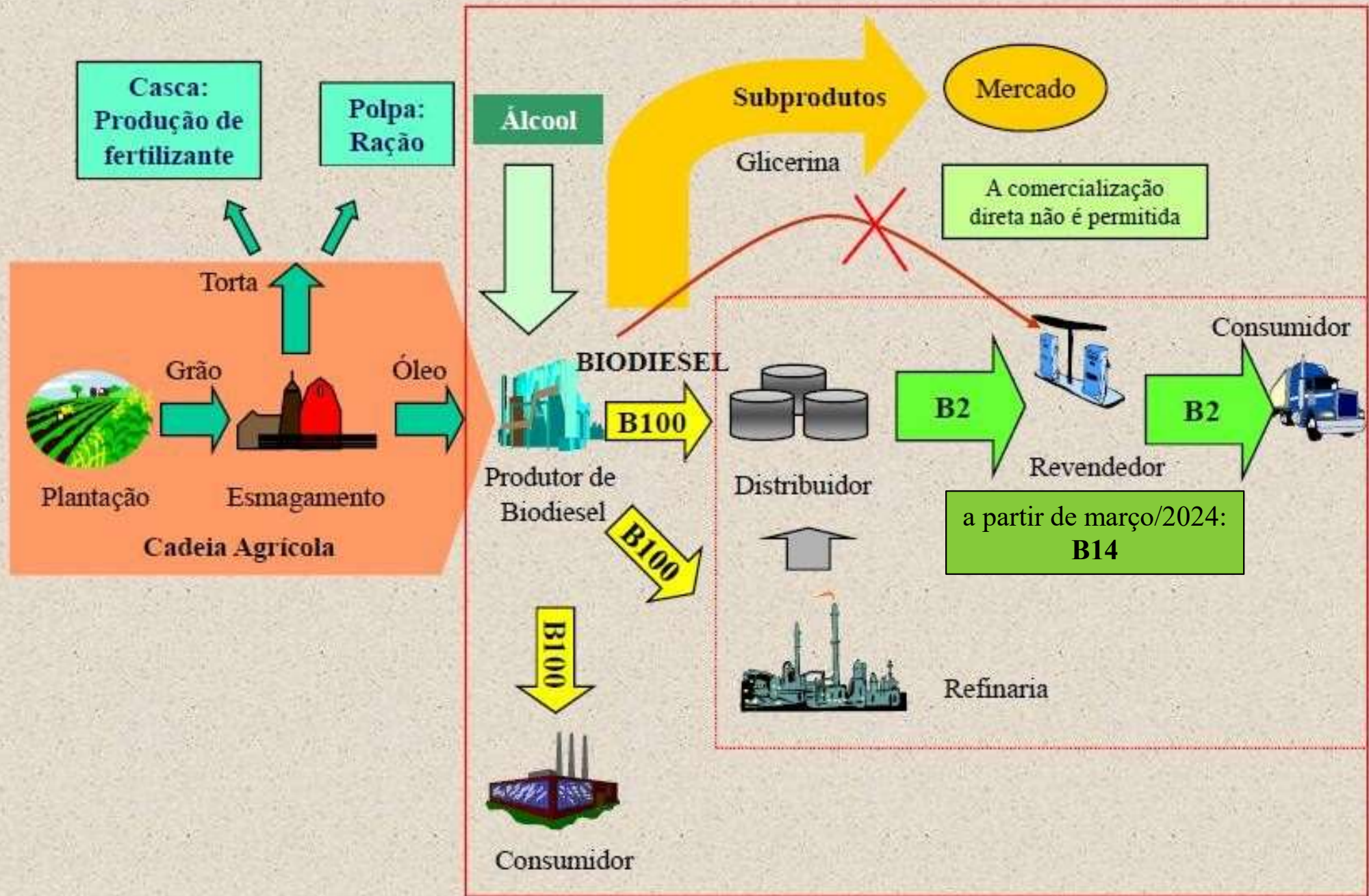
A reação de conversão do óleo em outro composto é realizada pelo aquecimento da substância na ausência de ar ou oxigênio a temperaturas que podem chegar a 450 °C. Esse processo de pirólise pode ser auxiliado por um catalisador, para a quebra das ligações químicas, de modo a dar origem a moléculas menores. Catalisadores típicos para serem empregados na pirólise são o óxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) e o óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

## ***Craqueamento Catalítico ou Térmico***

O craqueamento tem sido investigado há mais de 100 anos, sobretudo em países com pequenas reservas de petróleo. Durante as grandes guerras mundiais foi pesquisado como uma alternativa ao petróleo.

No Brasil, pesquisadores do Instituto de Química da Universidade de Brasília (IQ/UnB) desenvolveram uma unidade de craqueamento térmico para a produção em pequena escala de diesel vegetal. O desenvolvimento desse projeto, financiado pela Embrapa, tem como objetivo construir um equipamento de baixo custo para que comunidades isoladas tenham a capacidade de produzir seu próprio combustível.





## Evolução do percentual de teor de biodiesel presente no diesel fóssil no Brasil:

- Nov/2005 a Fev/2007 - Facultativo
- Nov/2007 - 2%
- Jul/2008 - 3%
- Jul/2009 - 4%
- Jan/2010 - 5%
- Ago/2014 - 6%
- Nov/2014 - 7%
- Mar/2017 - 8%
- Mar/2018 - 10%
- Mar/2019 - 11%
- Mar/2020 - 12%
- Mar/2021 - 13%
- Mar/2022 - 10%
- Abr/2023 - 12%
- Mar/2024 - 14%

**Misturas de diesel de petróleo com biodiesel adequadamente especificado, em teores de até 20%, podem ser empregadas em motores convencionais sem qualquer ajuste ou modificação, não acarretando problemas operacionais ou de desempenho.**

**Todos os fabricantes de motores mantêm a garantia de seus equipamentos quando estes operam com B20 (mistura de diesel com 20% de biodiesel). Porém, tais condições pressupõem o atendimento das especificações definidas pela ANP.**

**A especificação do biodiesel para o uso comercial é feita pela ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis que é também a instituição responsável pela fiscalização.**

**RESOLUÇÃO ANP Nº 7, DE 19.3.2008**

Estabelece a especificação do biodiesel a ser comercializado pelos diversos agentes econômicos autorizados em todo o território nacional.

Parágrafo único. O biodiesel deverá ser adicionado ao óleo diesel na proporção de 5%, em volume, a partir de 1º de janeiro de 2010.

| <b>CARACTERÍSTICA</b>                      | <b>UNIDADE</b>     | <b>LIMITE</b> |
|--|--------------------|---------------|
| Aspecto                                    | -                  | LII (1)       |
| Massa específica a 20° C                   | kg/m <sup>3</sup>  | 850-900       |
| Viscosidade Cinemática a 40°C              | Mm <sup>2</sup> /s | 3,0-6,0       |
| Teor de Água, máx. (2)                     | mg/kg              | 500           |
| Contaminação Total, máx.                   | mg/kg              | 24            |
| Ponto de fulgor, mín. (3)                  | °C                 | 100,0         |
| Teor de éster, mín                         | % massa            | 96,5          |
| Resíduo de carbono (4)                     | % massa            | 0,050         |
| Cinzas sulfatadas, máx.                    | % massa            | 0,020         |
| Enxofre total, máx.                        | mg/kg              | 50            |
| Sódio + Potássio, máx.                     | mg/kg              | 5             |
| Cálcio + Magnésio, máx.                    | mg/kg              | 5             |
| Fósforo, máx.                              | mg/kg              | 10            |
| Corrosividade ao cobre, 3h a 50 °C, máx.   | -                  | 1             |
| Número de Cetano (5)                       | -                  | Anotar        |
| Ponto de entupimento de filtro a frio,máx. | °C                 | 19 (7)        |
| Índice de acidez, máx.                     | mg KOH/g           | 0,50          |
| Glicerol livre, máx.                       | % massa            | 0,02          |
| Glicerol total, máx.                       | % massa            | 0,25          |
| Mono, di, triacilglicerol (5)              | % massa            | Anotar        |
| Metanol ou Etanol, máx                     | % massa            | 0,20          |
| Índice de lodo (5)                         | g/100g             | Anotar        |
| Estabilidade à oxidação a 110°C, mín.(2)   | h                  | 6             |

Nota:

- (1) Límpido e isento de impurezas com anotação da temperatura de ensaio.
- (2) O limite indicado deve ser atendido na certificação do biodiesel pelo produtor ou importador.
- (3) Quando a análise de ponto de fulgor resultar em valor superior a 130°C, fica dispensada a análise de teor de metanol ou etanol.
- (4) O resíduo deve ser avaliado em 100% da amostra.
- (5) Estas características devem ser analisadas em conjunto com as demais constantes da tabela de especificação a cada trimestre civil.
- (6) Poderá ser utilizado como método alternativo o método ASTM D6890 para número de cetano.
- (7) O limite máximo de 19°C é válido para as regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Bahia, devendo ser anotado para as demais regiões. O biodiesel poderá ser entregue com temperaturas superiores ao limite supramencionado, caso haja acordo entre as partes envolvidas. Os métodos de análise indicados não podem ser empregados para biodiesel oriundo apenas de mamona.
- (8) Os métodos referenciados demandam validação para as matérias-primas não previstas no método e rota de produção etílica.

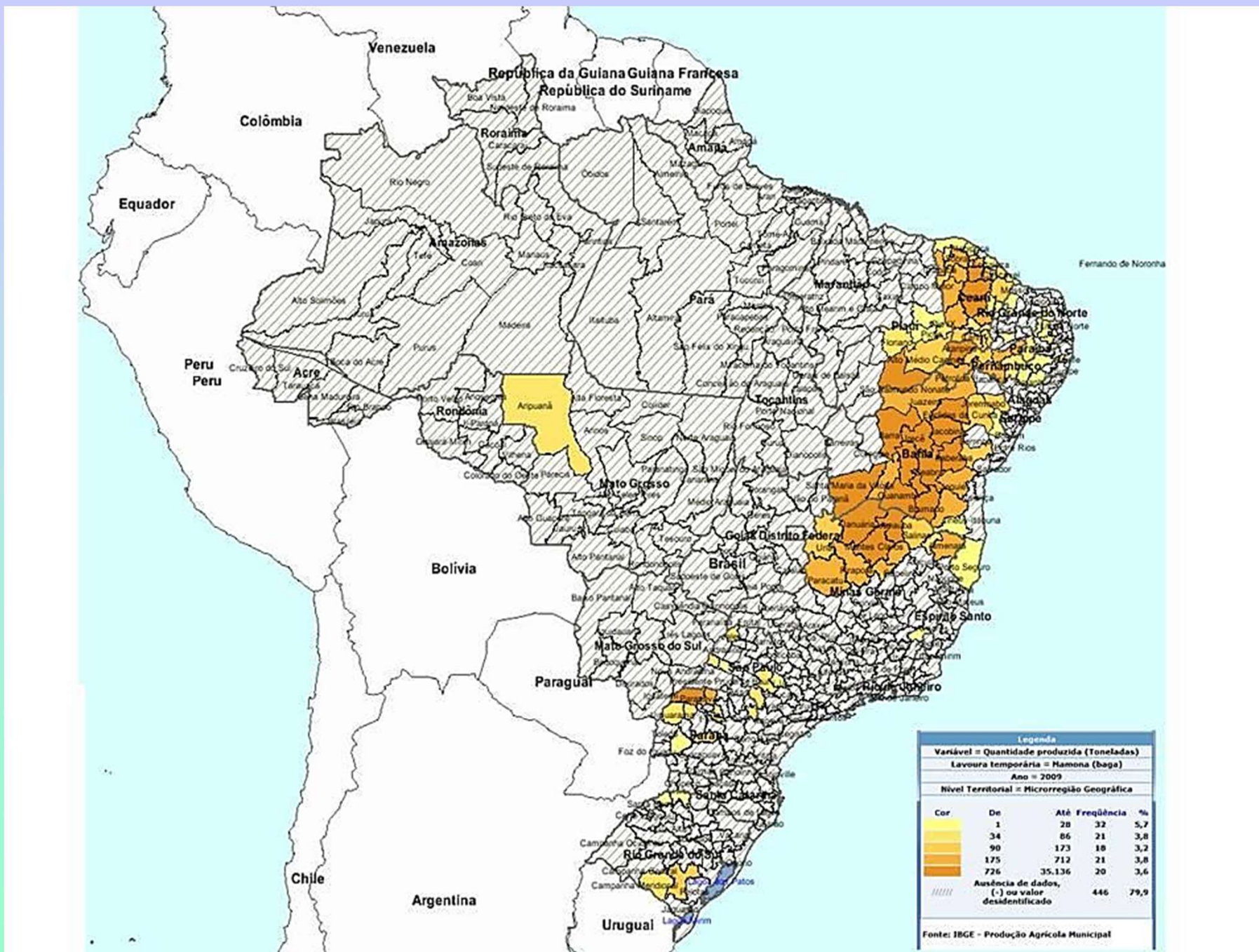
**Tabela 99 – Série histórica de produção, área plantada e produtividade de mamona no Brasil****Table 99 – Castorbean production, planted area and productivity in Brazil**

| <b>Safra<br/>Harvest</b> | <b>Produção (mil toneladas)<br/>Production (thousand tons)</b> | <b>Área (mil hectares)<br/>Planted area (thousand ha)</b> | <b>Produtividade (kg/ha)<br/>Productivity (kg/ha)</b> |
|--------------------------|--|---|---|
| 2004/05                  | 210  | 215   | 975   |
| 2005/06                  | 104  | 148   | 703   |
| 2006/07                  | 94   | 156   | 602   |
| 2007/08                  | 123  | 163   | 758   |
| 2008/09                  | 93   | 158   | 587   |
| 2009/10                  | 101  | 158   | 637   |
| 2010/11                  | 141  | 219   | 644   |
| 2011/12                  | 25   | 128   | 193   |
| 2012/13                  | 16   | 87  | 180   |
| 2013/14                  | 61   | 103   | 588   |

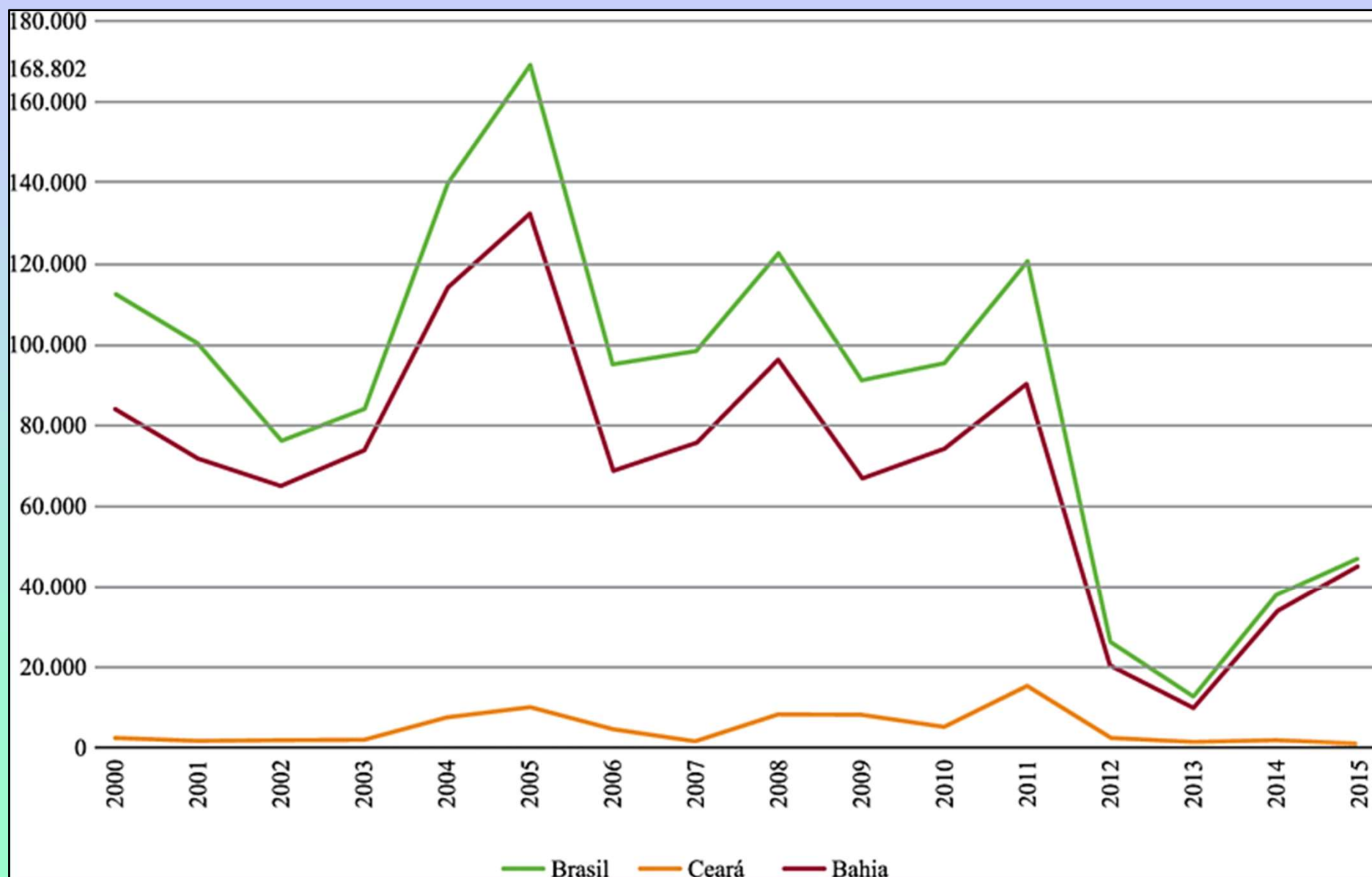
Fonte (source): Mapa/Conab

Fonte: MAPA/SPA-Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/Secretaria de Produção e Agroenergia.  
Anuário Estatístico da Agroenergia: 2014, 2015.

Figura: Distribuição da produção de mamona no Brasil em 2009.



**Figura: Produção de Mamona no Brasil, na Bahia e no Ceará, no período de 2000 a 2015**



Fonte: Borba, M. M.; Ferreira, M. D. P. Variação da renda dos agricultores familiares e a competição por área agrícola no contexto do PNPB na Bahia e no Ceará. Revista econômica do Nordeste 50(2), p. 163-181, agosto/2019.





**RESOLUÇÃO ANP Nº 7, DE 19.3.2008**

Estabelece a especificação do biodiesel a ser comercializado pelos diversos agentes econômicos autorizados em todo o território nacional.

Parágrafo único. O biodiesel deverá ser adicionado ao óleo diesel na proporção de 5%, em volume, a partir de 1º de janeiro de 2010.

| CARACTERÍSTICA                              | UNIDADE            | LIMITE  |
|---|--------------------|---------|
| Aspecto                                     | -                  | LII (1) |
| Massa específica a 20° C                    | kg/m <sup>3</sup>  | 850-900 |
| Viscosidade Cinemática a 40°C               | Mm <sup>2</sup> /s | 3,0-6,0 |
| Teor de Água, máx. (2)                      | mg/kg              | 500     |
| Contaminação Total, máx.                    | mg/kg              | 24      |
| Ponto de fulgor, mín. (3)                   | °C                 | 100,0   |
| Teor de éster, mín                          | % massa            | 96,5    |
| Resíduo de carbono (4)                      | % massa            | 0,050   |
| Cinzas sulfatadas, máx.                     | % massa            | 0,020   |
| Enxofre total, máx.                         | mg/kg              | 50      |
| Sódio + Potássio, máx.                      | mg/kg              | 5       |
| Cálcio + Magnésio, máx.                     | mg/kg              | 5       |
| Fósforo, máx.                               | mg/kg              | 10      |
| Corrosividade ao cobre, 3h a 50 °C, máx.    | -                  | 1       |
| Número de Cetano (5)                        | -                  | Anotar  |
| Ponto de entupimento de filtro a frio, máx. | °C                 | 19 (7)  |
| Índice de acidez, máx.                      | mg KOH/g           | 0,50    |
| Glicerol livre, máx.                        | % massa            | 0,02    |
| Glicerol total, máx.                        | % massa            | 0,25    |
| Mono, di, triacilglicerol (5)               | % massa            | Anotar  |
| Metanol ou Etanol, máx                      | % massa            | 0,20    |
| Índice de Iodo (5)                          | g/100g             | Anotar  |
| Estabilidade à oxidação a 110°C, mín.(2)    | h                  | 12      |

Nota:

- (1) Límpido e isento de impurezas com anotação da temperatura de ensaio.  
 (2) O limite indicado deve ser atendido na certificação do biodiesel pelo produtor ou importador.  
 (3) Quando a análise de ponto de fulgor resultar em valor superior a 130°C, fica dispensada a análise de teor de metanol ou etanol.  
 (4) O resíduo deve ser avaliado em 100% da amostra.  
 (5) Estas características devem ser analisadas em conjunto com as demais constantes da tabela de especificação a cada trimestre civil.  
 (6) Poderá ser utilizado como método alternativo o método ASTM D6890 para número de cetano.  
 (7) O limite máximo de 19°C é válido para as regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Bahia, devendo ser anotado para as demais regiões. O biodiesel poderá ser entregue com temperaturas superiores ao limite supramencionado, caso haja acordo entre as partes envolvidas. Os métodos de análise indicados não podem ser empregados para biodiesel oriundo apenas de mamona.  
 (8) Os métodos referenciados demandam validação para as matérias-primas não previstas no método e rota de produção etílica.

O número de cetano e a estabilidade à oxidação são parâmetros que merecem destaque, sobretudo em climas quentes, na medida em que é relevante assegurar que, mesmo depois de algumas semanas armazenado em condições normais, o biodiesel mantenha sua adequada especificação.

**Estabilidade à oxidação:** O biodiesel é suscetível à oxidação quando exposto ao ar e o processo de oxidação deteriora a qualidade do combustível, podendo resultar em elevada acidez e viscosidade, formação de gomas e sedimentos, e conseqüentemente entupimento dos filtros. A composição do óleo vegetal utilizado como matéria-prima em termos de ácidos graxos é um fator importante na determinação da estabilidade à oxidação. O índice à oxidação é conhecido como PI. Trata-se de um parâmetro comparativo muito utilizado para controle de qualidade de matérias-primas e de processo para se avaliar diferentes tipos de óleo, alterações na composição de ácidos graxos, eficiência na adição de antioxidantes, entre outros.

**Número de cetano:** O número de cetano mede a qualidade de ignição de um combustível para máquina diesel e tem influência direta na partida do motor e no seu funcionamento sob carga. Baixos valores de índice de cetano acarretam dificuldades de partida a frio, depósito nos pistões e mau funcionamento do motor. Valores altos de índice de cetano apresentam as seguintes influências: facilita a partida a frio do motor; permite aquecimento mais rápido do motor; reduz a possibilidade de erosão dos pistões; impede a ocorrência de pós-ignição; possibilita funcionamento do motor com baixo nível de ruído; minimiza a emissão de poluentes como hidrocarbonetos, monóxido de carbono e material particulado.

**A relação entre a eficiência dos motores e o uso de biodiesel parece ainda não estar bem definida no meio científico-tecnológico. Entretanto, estudos preliminares feitos na Europa indicam que a mistura de até 20% do biodiesel não representa perdas de eficiência no rendimento dos motores de combustão interna.**

**Knothe *et al.* (2003) e Korus *et al.* (2002) realizaram testes com uma mistura de 20% de biodiesel no diesel usado em ônibus e outros veículos pesados. Verificaram uma pequena diminuição da performance dos motores, indicada por um pequeno aumento no consumo de combustível e pela diminuição de 2% a 5% no rendimento do motor.**

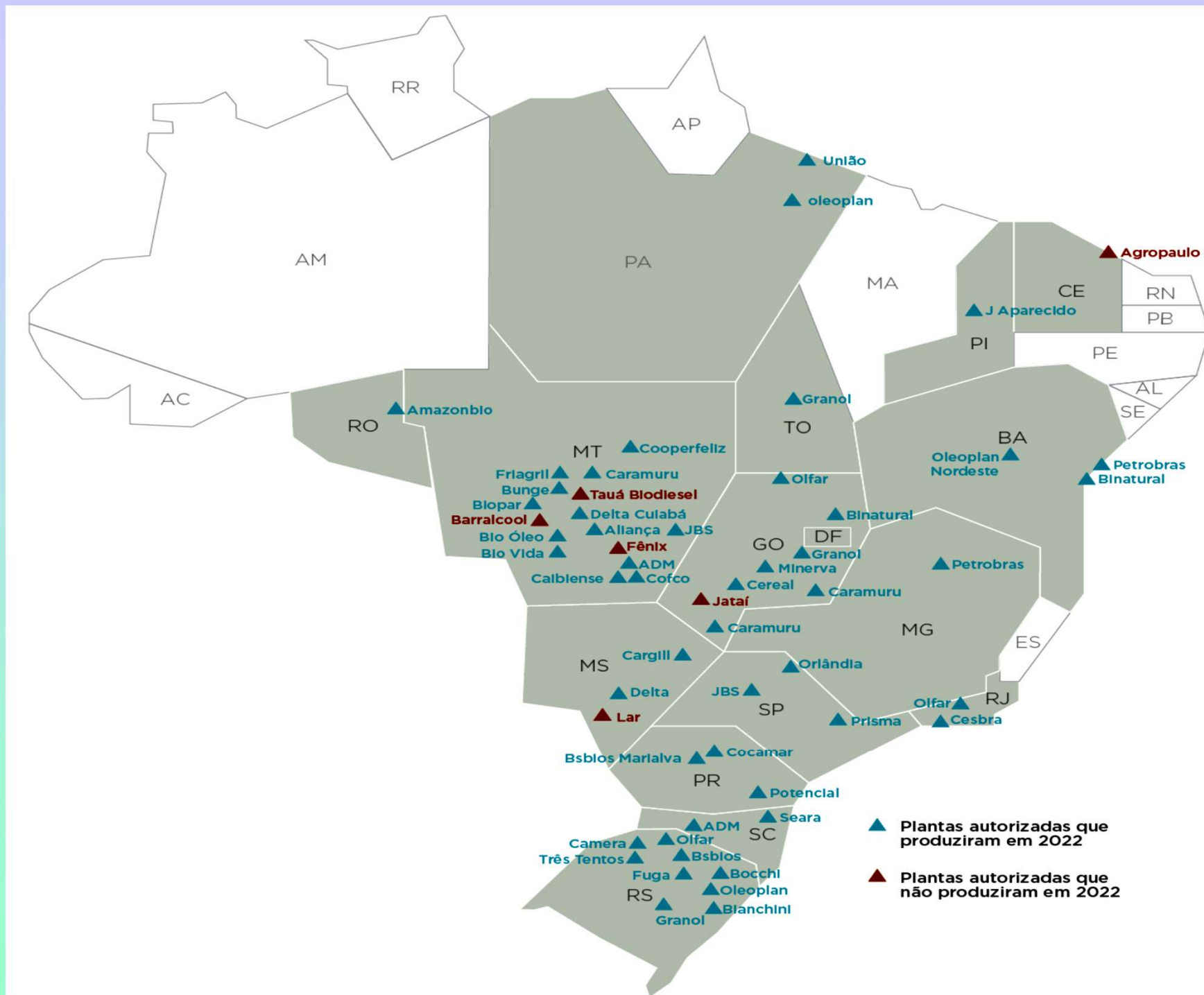
KNOTHE, G.; DUNN, R. O.; BAGBY, M.O. Biodiesel:the use of vegetable oils and their derivatives as alternative diesel fuel. National Center for Agricultural Utilization Reaserch, Peoria, 2003.

KORUS, R.A.; HOFFMAN D.S.; BAN, N.; PETERSON, S.L. Transterification process to manufacture ethyl ester of rape oil. Department of Chemical Engineering, Universidade of Idaho, Moskow, 2002.

Nota: Com relação ao poder calorífico do biodiesel a equivalência é de 0,919 comparado com o diesel mineral.

Cf. ENERS (2010), biodiesel possui uma média de 0,792 tep/1.000 litros, enquanto que o diesel mineral possui uma média de 0,862 tep/1.000 litros.

# Infraestrutura da produção de biodiesel no Brasil - 2022



## Produção brasileira de Biodiesel: 2014-2023

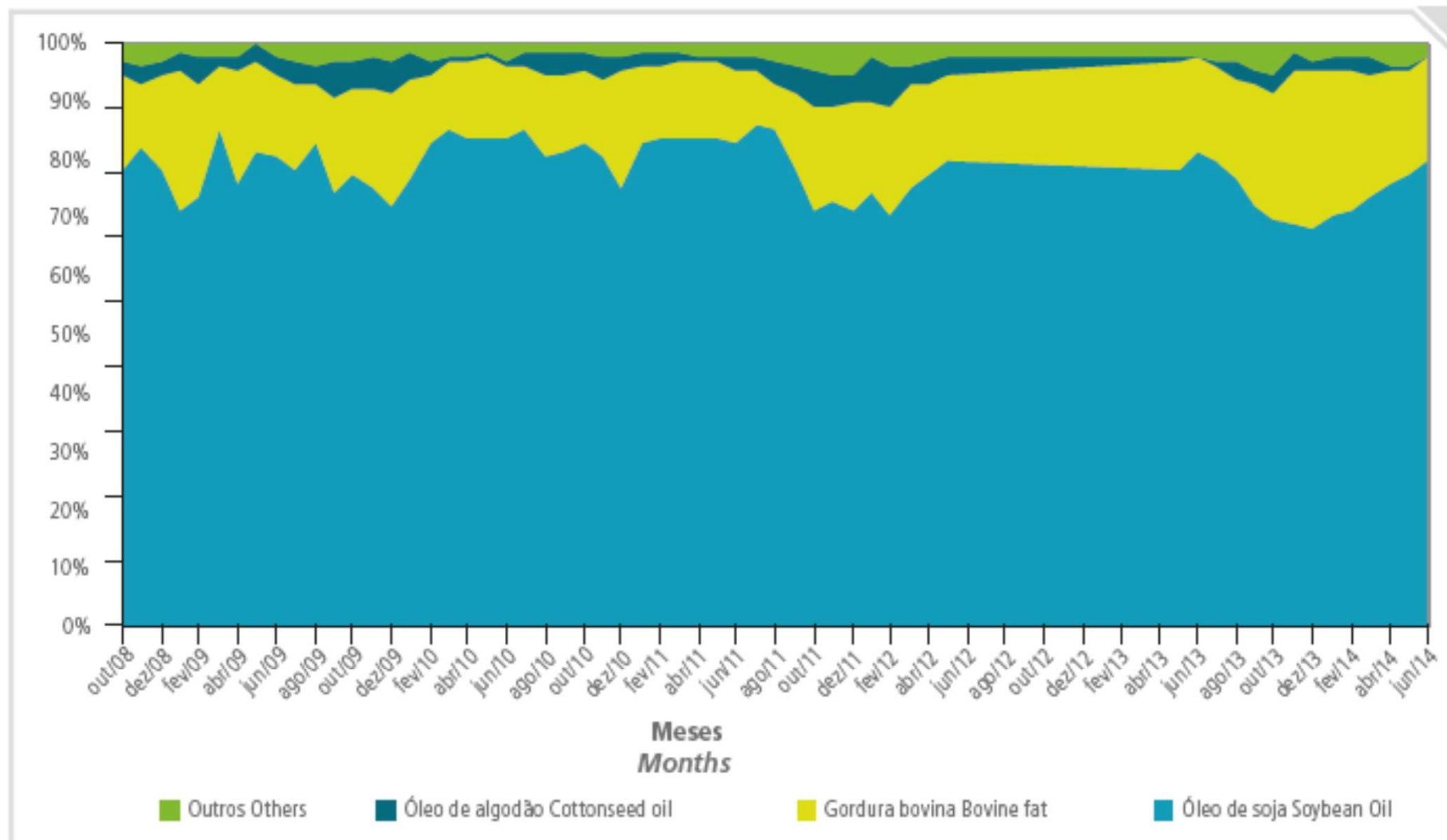
| FLUXO                                  | 2014  | 2015  | 2016  | 2017  | 2018  | 2019  | 2020  | 2021  | 2022  | 2023  | <i>FLOW</i>                                     |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|
| PRODUÇÃO                               | 3.420 | 3.937 | 3.801 | 4.291 | 5.350 | 5.924 | 6.432 | 6.766 | 6.259 | 7.528 | <i>PRODUCTION</i>                               |
| VARIAÇÃO DE ESTOQUES, PERDAS E AJUSTES | -29   | 8     | -7    | -42   | 33    | -18   | -2    | 35    | 41    | -9    | <i>STOCK VARIATIONS, LOSSES AND ADJUSTMENTS</i> |
| CONSUMO TOTAL                          | 3.391 | 3.946 | 3.794 | 4.250 | 5.383 | 5.906 | 6.430 | 6.801 | 6.300 | 7.518 | <i>TOTAL CONSUMPTION</i>                        |
| TRANSFORMAÇÃO <sup>1</sup>             | 202   | 177   | 76    | 66    | 112   | 143   | 150   | 186   | 109   | 97    | <i>TRANSFORMATION<sup>1</sup></i>               |
| CONSUMO FINAL <sup>2</sup>             | 3.189 | 3.769 | 3.719 | 4.183 | 5.270 | 5.762 | 6.280 | 6.615 | 6.191 | 7.421 | <i>FINAL CONSUMPTION<sup>2</sup></i>            |
| CONSUMO FINAL ENERGÉTICO <sup>3</sup>  | 3.189 | 3.769 | 3.719 | 4.183 | 5.270 | 5.762 | 6.280 | 6.615 | 6.191 | 7.421 | <i>FINAL ENERGY CONSUMPTION<sup>3</sup></i>     |
| COMERCIAL                              | 0     | 0     | 1     | 1     | 3     | 4     | 4     | 5     | 6     | 6     | <i>COMMERCIAL</i>                               |
| PÚBLICO                                | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 1     | <i>PUBLIC</i>                                   |
| AGROPECUÁRIO                           | 413   | 522   | 510   | 611   | 763   | 834   | 929   | 912   | 847   | 1.056 | <i>AGRICULTURE AND LIVESTOCK</i>                |
| TRANSPORTES <sup>4</sup>               | 2.694 | 3.154 | 3.120 | 3.477 | 4.386 | 4.796 | 5.200 | 5.544 | 5.182 | 6.176 | <i>TRANSPORTATION<sup>4</sup></i>               |
| RODOVIÁRIO                             | 2.627 | 3.074 | 3.041 | 3.382 | 4.254 | 4.664 | 5.060 | 5.408 | 5.057 | 6.024 | <i>HIGHWAYS</i>                                 |
| FERROVIÁRIO                            | 67    | 80    | 79    | 95    | 132   | 132   | 140   | 136   | 125   | 153   | <i>RAILROADS</i>                                |
| INDUSTRIAL                             | 81    | 92    | 88    | 94    | 118   | 128   | 147   | 154   | 156   | 182   | <i>INDUSTRIAL</i>                               |

<sup>1</sup> Geração de eletricidade.

<sup>2</sup> A partir de 2008 a mistura de biodiesel puro (B100) ao óleo diesel passou a ser obrigatória. Entre janeiro e junho de 2008 a mistura foi de 2%, entre julho de 2008 e junho de 2009 foi de 3% e entre julho e dezembro de 2009 foi de 4%. Mais recentemente, a partir de março de 2021 passou a 13%.

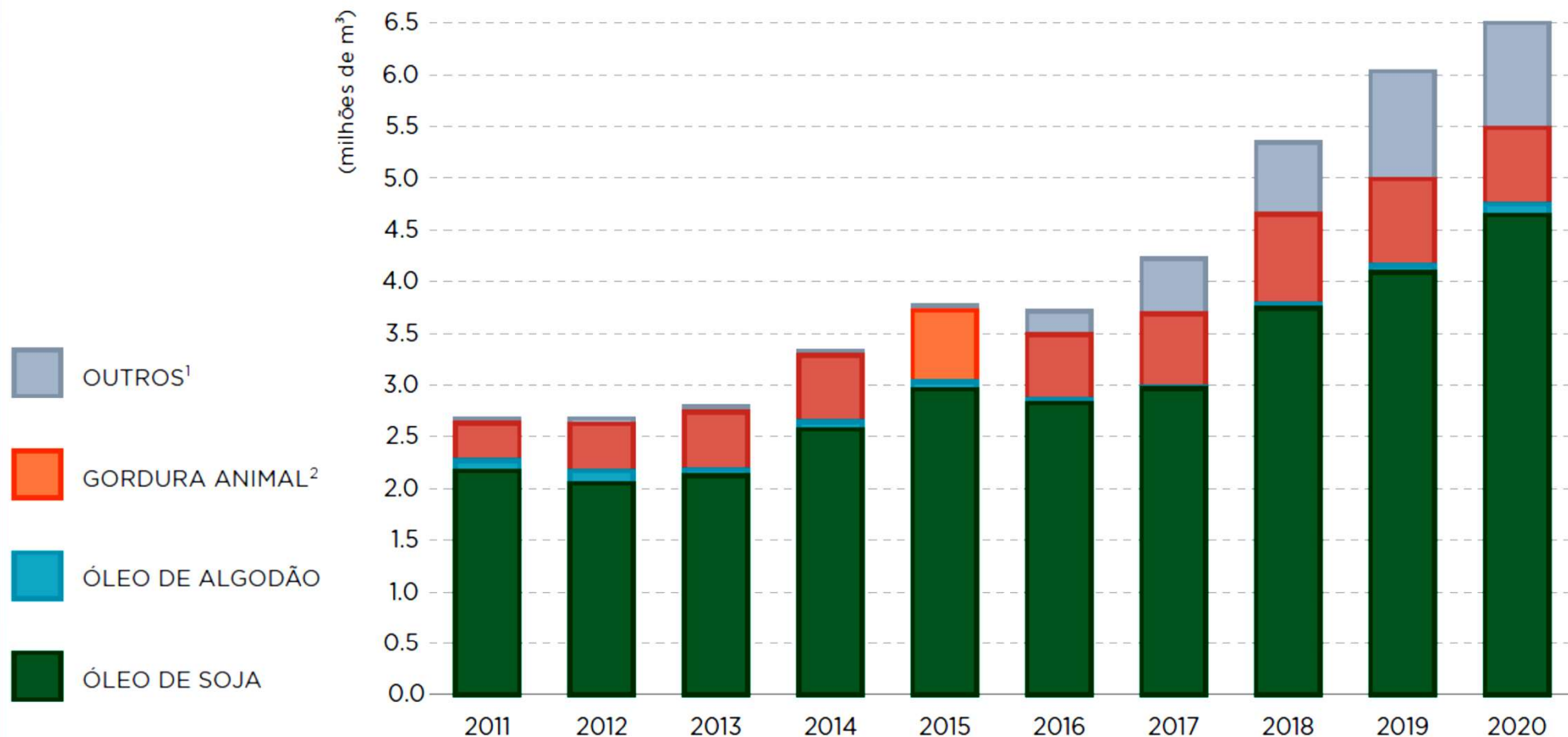
### Gráfico 130 – Participação das matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel no Brasil, em porcentagem

Chart 130 – Share of raw materials used in biodiesel production in Brazil, in percentage



Fonte: MAPA/SPA-Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/Secretaria de Produção e Agroenergia. Anuário Estatístico da Agroenergia: 2014, 2015.

**GRÁFICO 4.14. MATÉRIAS-PRIMAS UTILIZADAS NA PRODUÇÃO DE BIODIESEL (B100) - 2011-2020**



**FONTE:** ANP/SPC (Tabela 4.13).

<sup>1</sup>Inclui óleo de palma, óleo de amendoim, óleo de nabo-forrageiro, óleo de girassol, óleo de canola, óleo de milho, óleo de palmiste, óleo de fritura usado e outros materiais graxos. <sup>2</sup>Inclui gordura bovina, gordura de frango e gordura de porco.

Capacidade Instalada em 2020: 10,2 milhões de m<sup>3</sup>

Produção total em 2018: 6,4 milhões de m<sup>3</sup> (62,9%)

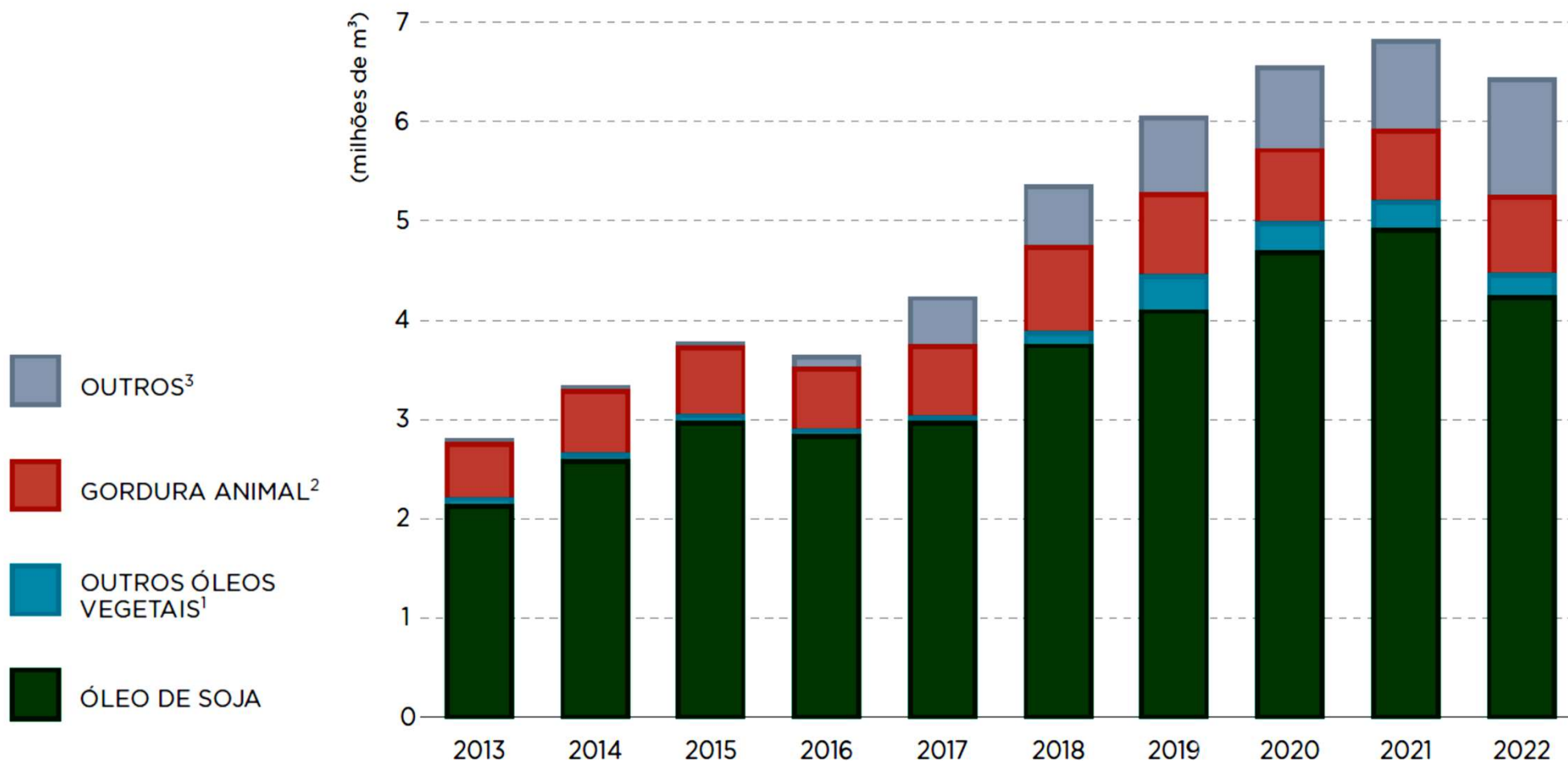
Óleo de soja: 71,4%      Óleo de algodão: 1,7%

Gordura animal: 11,3%      Outros: 15,6%

Fonte: ANP. Anuário estatístico brasileiro do Petróleo, Gás natural e Biocombustíveis 2021, 2022.



**GRÁFICO 4.14. MATÉRIAS-PRIMAS UTILIZADAS NA PRODUÇÃO DE BIODIESEL (B100) - 2013-2022**



**FONTE:** ANP/SPC (Tabela 4.13).

<sup>1</sup>Inclui óleo de algodão, canola, girassol, macaúba, milho, palma e palmiste. <sup>2</sup>Inclui gordura bovina, de frango e de porco. <sup>3</sup>Inclui óleo de fritura usado e outros materiais graxos.

Capacidade Instalada em 2022: 13,7 milhões de m<sup>3</sup> (37,4 mil m<sup>3</sup>/dia)

Produção total em 2022: 6,2 milhões de m<sup>3</sup> (46,4%)

Óleo de soja: 65,8%      Outros óleos vegetais: 3,6%

Gordura animal: 12,1%      Outros: 18,5%

Fonte: ANP. Anuário estatístico brasileiro do Petróleo, Gás natural e Biocombustíveis 2022, 2023.

**TABELA 4.13. MATÉRIAS-PRIMAS UTILIZADAS NA PRODUÇÃO DE BIODIESEL (B100) NO BRASIL - 2013-2022**

| MATÉRIAS-PRIMAS                    | MATÉRIAS-PRIMAS UTILIZADAS NA PRODUÇÃO DE BIODIESEL (B100) (M³) |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  | 22/21<br>%   |
|------------------------------------|---|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|--------------|
|                                    | 2013  | 2014             | 2015             | 2016             | 2017             | 2018             | 2019             | 2020             | 2021             | 2022             |              |
| <b>TOTAL</b>                       | <b>2.788.963</b>  | <b>3.324.009</b> | <b>3.767.987</b> | <b>3.625.224</b> | <b>4.221.271</b> | <b>5.346.755</b> | <b>6.035.806</b> | <b>6.542.333</b> | <b>6.806.324</b> | <b>6.425.131</b> | <b>-5,60</b> |
| Óleo de soja                       | 2.123.488   | 2.573.331        | 2.960.687        | 2.828.765        | 2.964.246        | 3.743.316        | 4.087.804        | 4.677.523        | 4.907.873        | 4.225.399        | -13,91       |
| Outros óleos vegetais <sup>1</sup> | 72.780  | 72.196           | 76.411           | 60.753           | 54.371           | 128.858          | 350.193          | 297.144          | 280.711          | 231.471          | -17,54       |
| Gordura animal <sup>2</sup>        | 549.850   | 640.454          | 687.992          | 620.181          | 715.273          | 862.505          | 831.632          | 737.834          | 714.242          | 778.170          | 8,95         |
| Outros <sup>3</sup>                | 42.845  | 38.028           | 42.898           | 115.525          | 487.381          | 612.076          | 766.178          | 829.832          | 903.499          | 1.190.091        | 31,72        |

**FONTE:** ANP/SPC, conforme a Resolução ANP nº 729/2018.

<sup>1</sup>Inclui óleo de algodão, canola, girassol, macaúba, milho, palma e palmiste. <sup>2</sup>Inclui gordura bovina, de frango e de porco. <sup>3</sup>Inclui óleo de fritura usado e outros materiais graxos.

A soja é a principal matéria-prima utilizada na produção de biodiesel (B100). Em 2022, 65,8% do total de matéria prima utilizada correspondeu à soja. As demais matérias-primas utilizadas podem ser conferidas na tabela 4.13.

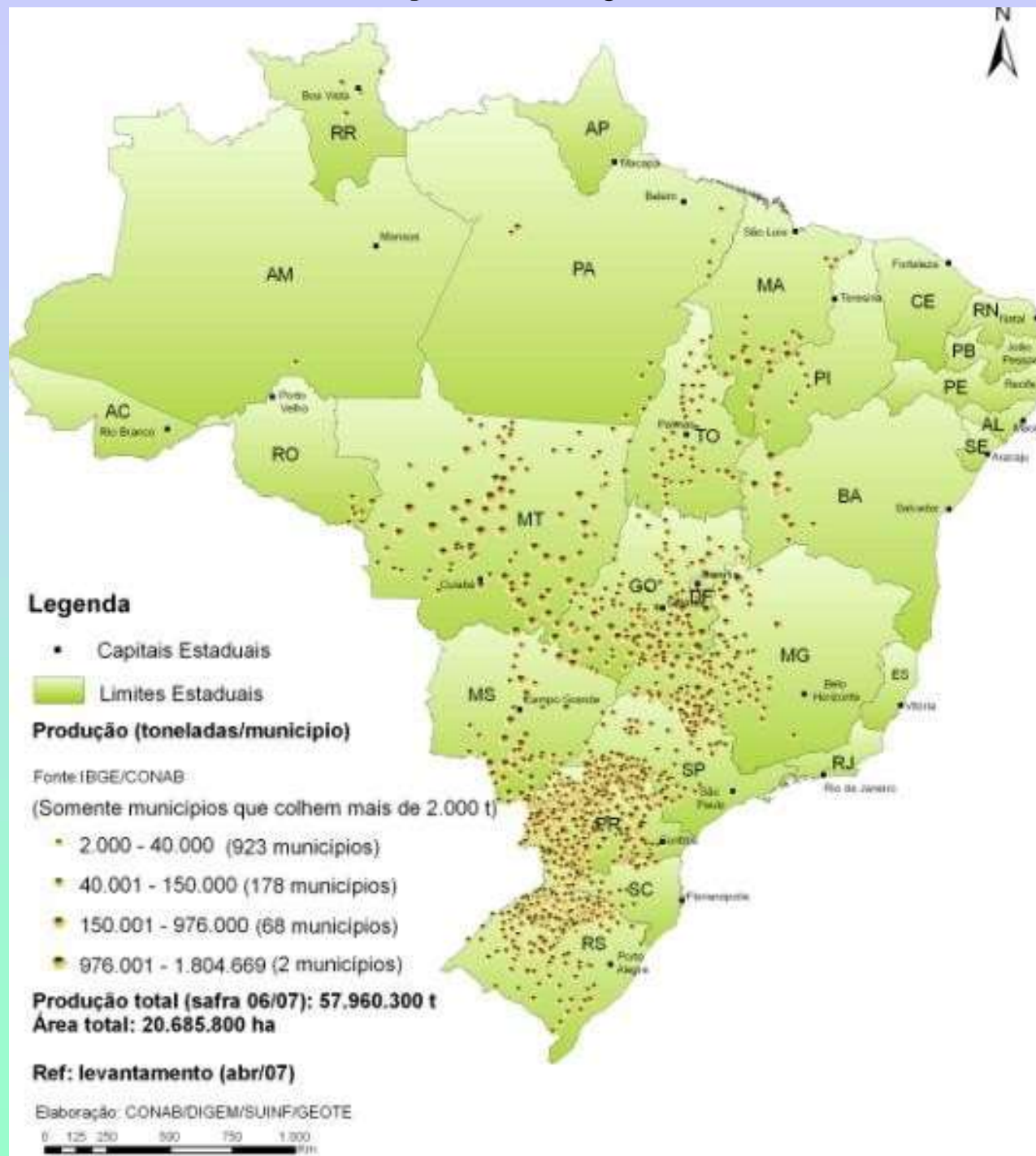
**Evolução da produção, área plantada e produtividade da soja no Brasil – 1990 a 2014**

| <b>Safra</b> | <b>Produção<br/>(milhões t)</b> | <b>Área Plantada<br/>(milhões ha)</b> | <b>Produtividade<br/>(kg/ha)</b> |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| 1990/91      | 15,39                           | 9,7                                   | 1.580                            |
| 1995/96      | 23,19                           | 10,7                                  | 2.175                            |
| 2000/01      | 38,43                           | 14,0                                  | 2.751                            |
| 2003/04      | 49,79                           | 21,4                                  | 2.329                            |
| 2005/06      | 55,03                           | 22,7                                  | 2.419                            |
| 2007/08      | 60,02                           | 21,3                                  | 2.816                            |
| 2008/09      | 57,63                           | 21,56                                 | 2.674                            |
| 2009/10      | 68,69                           | 23,47                                 | 2.927                            |
| 2010/11      | 75,32                           | 24,18                                 | 3.115                            |
| 2011/12      | 66,38                           | 25,04                                 | 2.651                            |
| 2012/13      | 81,50                           | 27,74                                 | 2.938                            |
| 2013/14      | 86,27                           | 30,11                                 | 2.865                            |

| <b>Safra</b>           | <b>Produção<br/>(milhões t)</b> | <b>Área Plantada<br/>(milhões ha)</b> | <b>Produtividade<br/>(kg/ha)</b> |
|------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| 2013/2014              | 86,27                           | 30,11                                 | 2.865                            |
| 2020/2021 <sup>1</sup> | 135,41                          | 38,50                                 | 3.517                            |
| 2021/2022 <sup>2</sup> | 142,79                          | 40,35                                 | 3.359                            |

Fonte: <sup>1</sup> EMBRAPA, Soja em números (safra 2020/21), com base em CONAB, 05/2021.

<sup>2</sup> CONAB, Acompanhamento: safra brasileira de grãos, v.9, 12/2021.





Fonte: <http://www.socioambiental.org/esp/soja.br>

**Figura 1: Soja na Floresta Amazônica**



Ricardo Barreto/ISA

Fonte: <http://www.socioambiental.org/esp/soja.br>

**Figura 2: Trator encoberto pela poeira preparando o plantio, com floresta remanescente ao fundo em Canarana – MT.**



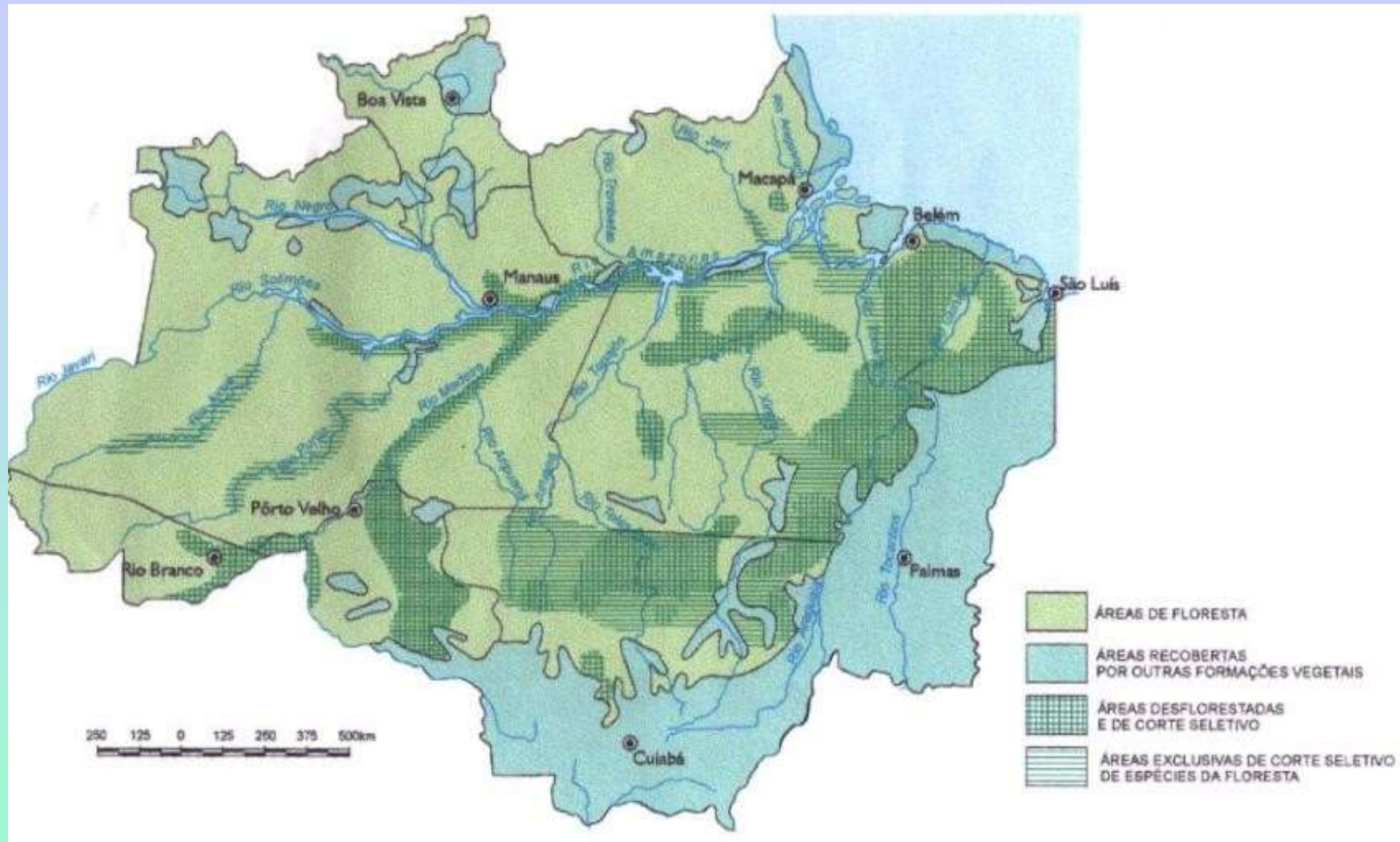
Fonte: Pesquisa de campo, 26/09/2009.

**Figura 3: Interface entre área de preparo de solo para Plantio de soja e Floresta Amazônica.**



Fonte: <http://www.socioambiental.org/esp/soja.br>

**Figura 4: Plantação de soja na floresta.**



Fonte: IBGE, 2000

**Figura – Arco de deflorestamento da Amazônia**



**Problemas ambientais da cultura da soja (Mueller, 1995):**

- a) compactação e impermeabilização dos solos pelo uso intensivo de máquinas agrícolas;
- b) erosão;
- c) contaminação por agrotóxicos nas águas, alimentos e animais;
- d) impactos danosos da retirada da vegetação nativa de áreas contínuas extensas;
- e) assoreamento de rios e reservatórios;
- f) aparecimento de novas pragas ou aumento das já conhecidas;
- g) risco à sobrevivência de espécies vegetais e animais com a perda de habitat natural devido a expansão agrícola (Cunha, 1994).

Bibliografia:

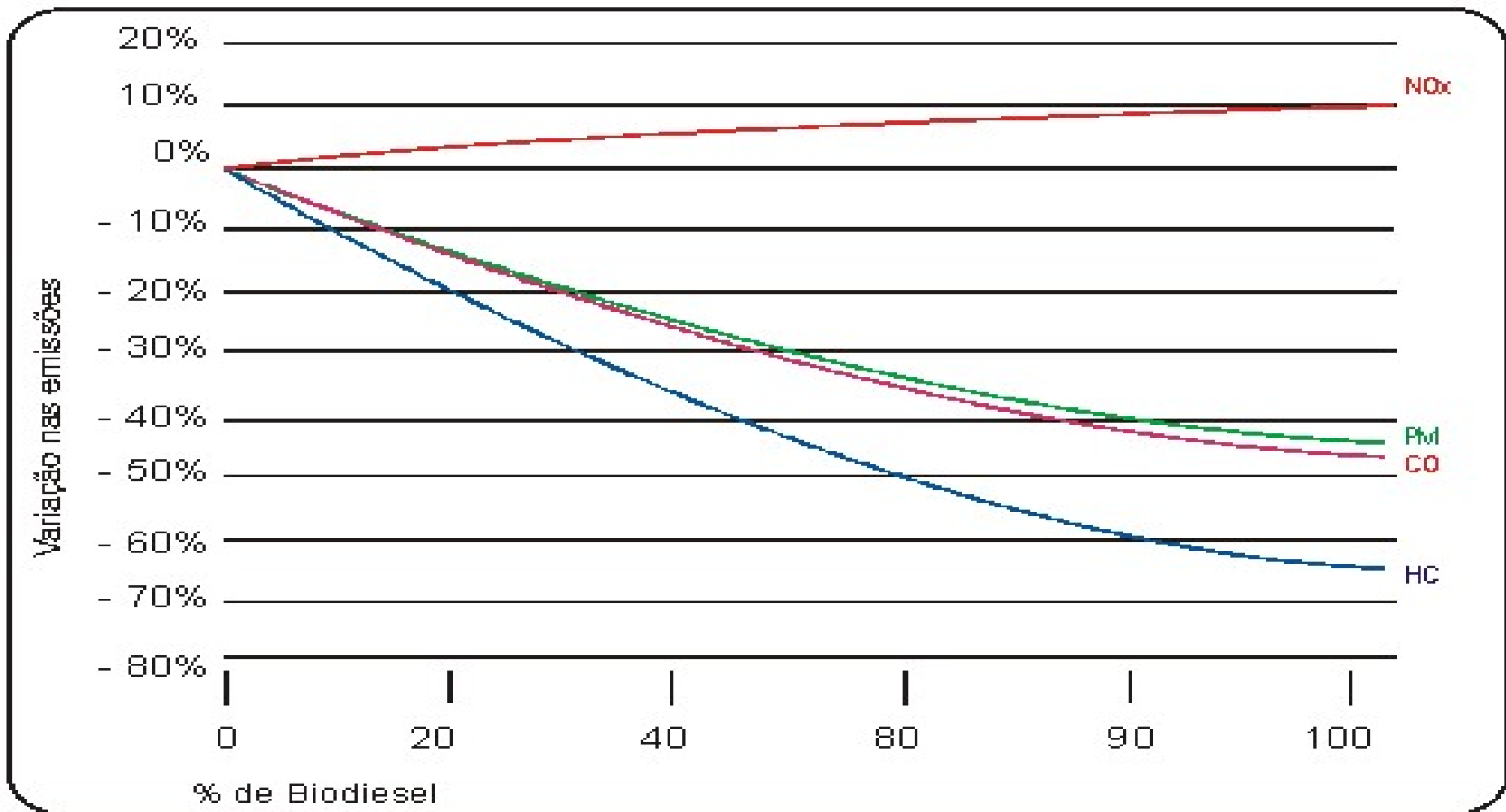
CUNHA, A. S. (coord.) *Uma avaliação da sustentabilidade da agricultura nos cerrados*. Brasília: IPEA, 1994.

MUELLER, C. *A sustentabilidade da expansão agrícola nos cerrados*. Instituto Sociedade, População e Natureza. Documento de Trabalho n.36, 1995. (mimeo).

## Emissões de poluentes das diversas composições de Biodiesel

| <b>Poluente</b>                         | <b>B100</b><br>(100% de biodiesel) | <b>B20</b> (20%<br>de biodiesel) | <b>B10</b> (10%<br>de biodiesel) | <b>B5</b><br>(5% de biodiesel) |
|---|------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| Gases de Efeito Estufa                  | -78                                | -15                              | -7,5                             | -3,75                          |
| Óxidos de Enxofre (SO <sub>x</sub> )    | -98                                | -19                              | -9,5                             | -4,95                          |
| Material Particulado                    | -50                                | -10                              | -5                               | -2,5                           |
| Óxidos de Nitrogênio (NO <sub>x</sub> ) | +13                                | +2,5                             | +1,3                             | +0,65                          |

Fonte: BERMAN, C. (org.). As novas energias no Brasil: Dilemas da inclusão social e programas de Governo. Rio de Janeiro,: FASE, 2007.



Fonte: Meirelles, 2005.

### Gráfico – Efeito do biodiesel sobre as emissões associadas ao diesel

MEIRELLES, Fabio de Salles. *O Biodiesel no Brasil e seus impactos sobre agricultura*. São Paulo: Federação da Agricultura do Estado de São Paulo, 2005.