

# Programa de Pós-Graduação em Bioenergia



## “Tecnologias de Produção de Biodiesel”

Prof. Helton José Alves

Palotina, 11/05/16



# TÓPICOS

---

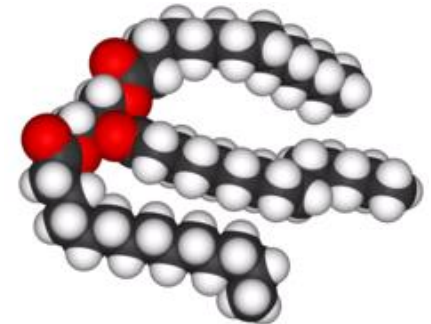
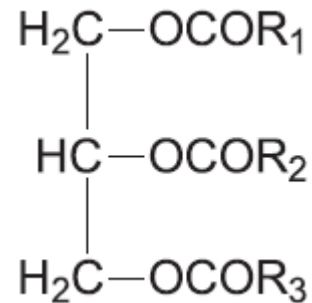
- 1) Conceitos gerais**
  - 2) Cenário nacional e internacional**
  - 3) Matérias primas e insumos**
  - 4) Métodos de produção**
  - 5) Pesquisas/projetos na área**
-

# BIODIESEL - CONCEITOS GERAIS

**Biodiesel – B100:** combustível composto de alquil ésteres de ácidos graxos de cadeia longa, derivados de óleos vegetais ou de gorduras animais.



**Óleos vegetais e gordura animal:** os maiores componentes são os triacilgliceróis (TAG) / triglicerídeos.



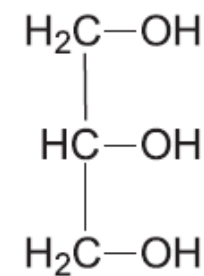
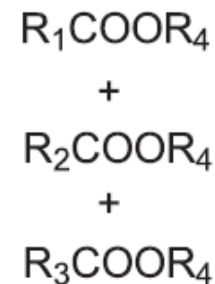
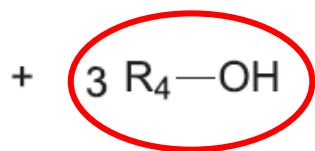
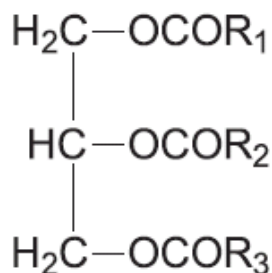
# BIODIESEL - VANTAGENS

---

- 1) Combustível renovável;**
- 2) Rendimento equivalente ao diesel;**
- 3) Pode misturar-se ao diesel em proporções variadas (B2, B5, B20);**
- 4) Reduz a corrosão no motor e aumenta a lubricidade;**
- 5) Menor emissão de particulados;**

# BIODIESEL - INTRODUÇÃO

## REAÇÃO DE TRANSESTERIFICAÇÃO



Óleos vegetais ou  
gorduras animais

Monoálcoois

Triacilgliceróis

+

Ácidos graxos  
livres

Mistura de  
ésteres  
alquílicos  
BIODIESEL

+

Mono, di e  
triacilgliceróis  
residuais

1,2,3-propanotriol



**Especificação / ANP:** teor mínimo de éster  $\longrightarrow$  **96,5%** (em massa)

# EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIODIESEL

## PNPB

Lei 11.097/2005: Determina percentuais mínimos de mistura de biodiesel ao diesel e o monitoramento da inserção do novo combustível no mercado.



Inserção na matriz energética brasileira pelo Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB)



2% autorizativo

Mercado Potencial:  
800 milhões  
de litros/ano



2% obrigatório

Mercado Firme:  
1 bilhão  
de litros/ano



5% obrigatório

Mercado Firme:  
2,4 bilhões  
de litros/ano

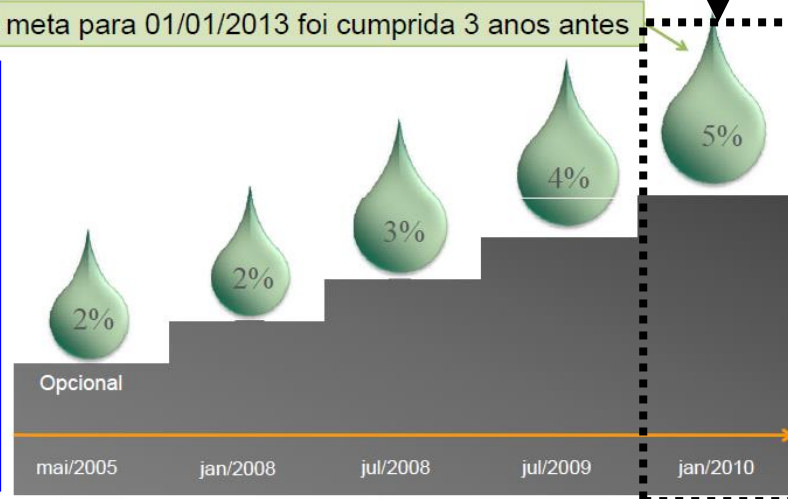
2,4 bilhões de litros/ano

Fonte: Estimativa de mercado de biodiesel elaborada pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).

A meta para 01/01/2013 foi cumprida 3 anos antes

## Lei 13.263 (23/03/16) / Mistura Obrigatória:

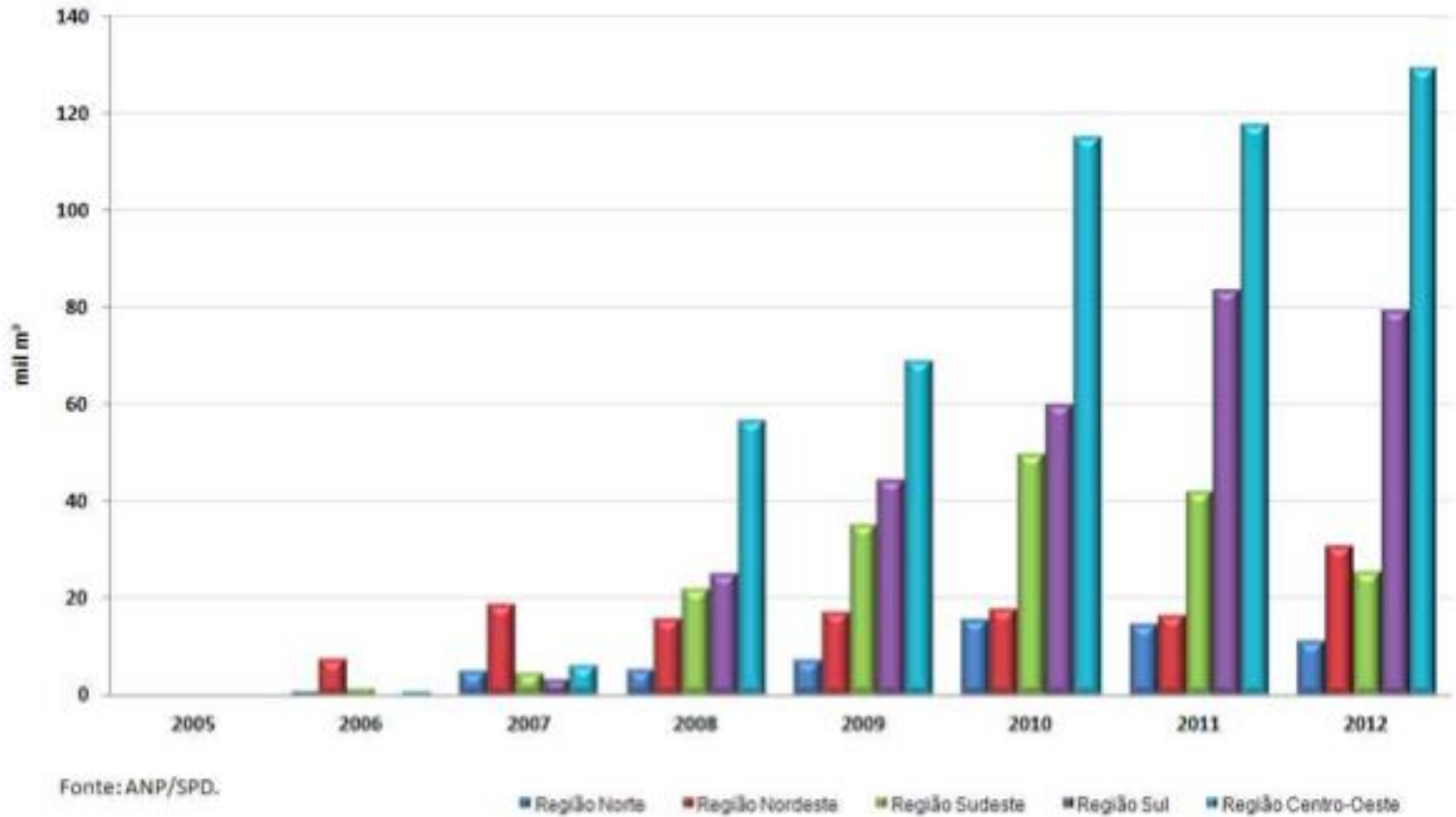
- B8 em até 12 meses;
- B9 em até 24 meses;
- B10 em até 36 meses;
- Perspectiva de B15 na sequência.



# MATÉRIA - BIODIESEL

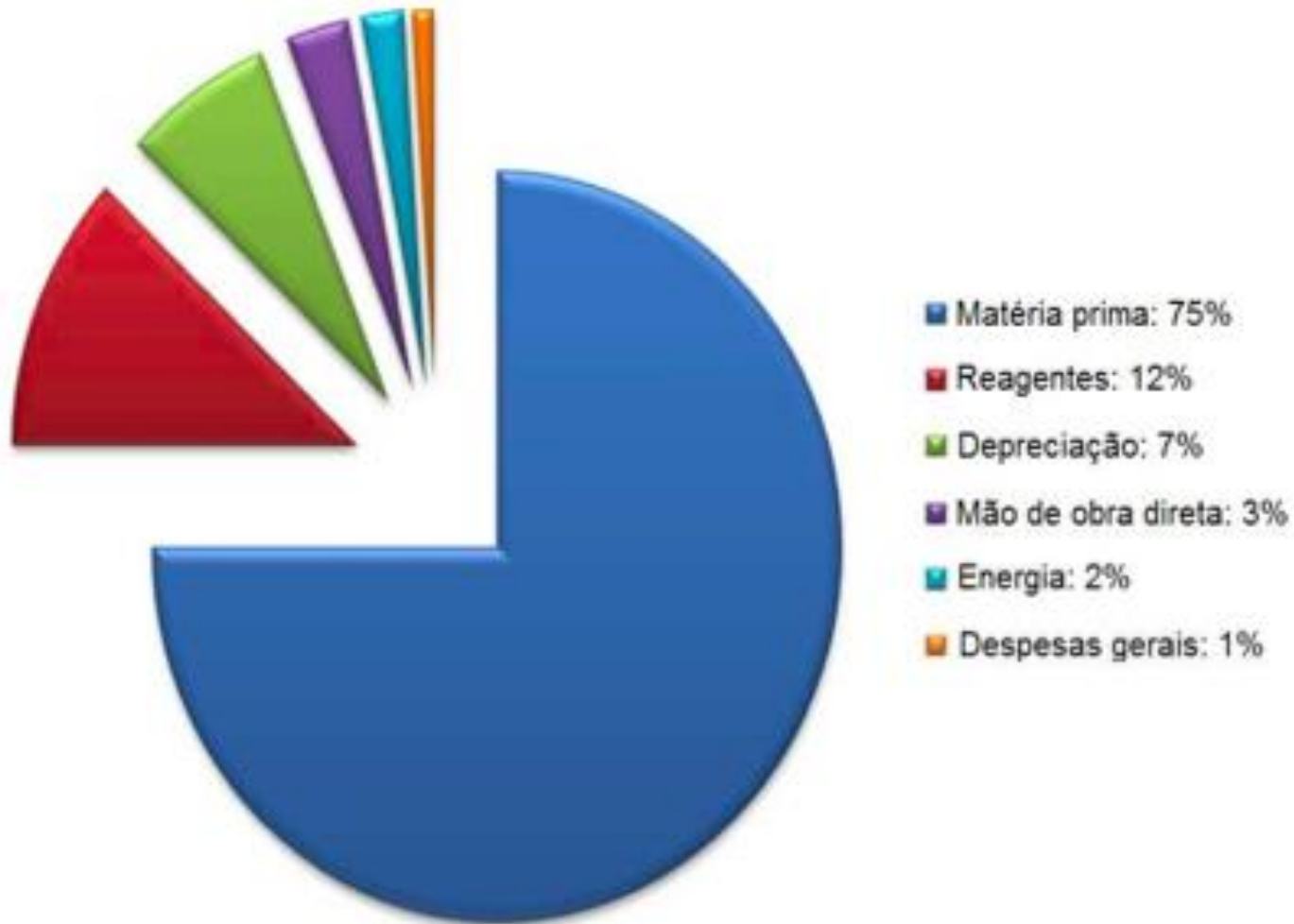


# GLICERINA DA PRODUÇÃO DE BIODIESEL



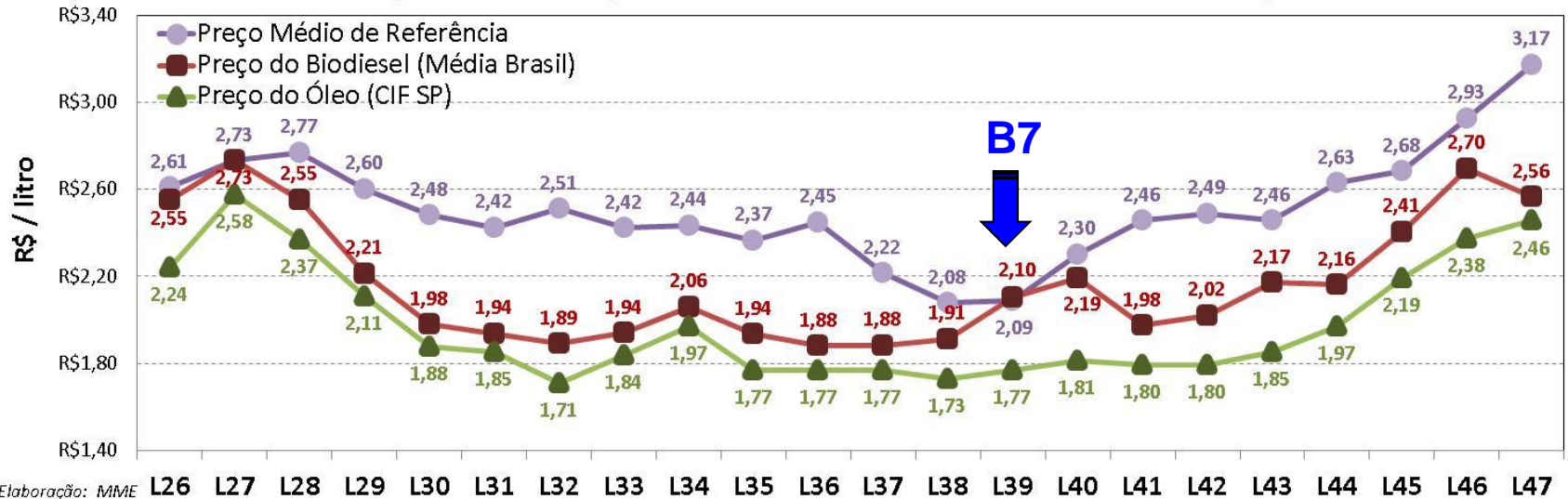


# CUSTOS DO BIODIESEL



# CUSTOS: MPs X BIODIESEL

## Evolução de Preços do Biodiesel e do Óleo de Soja

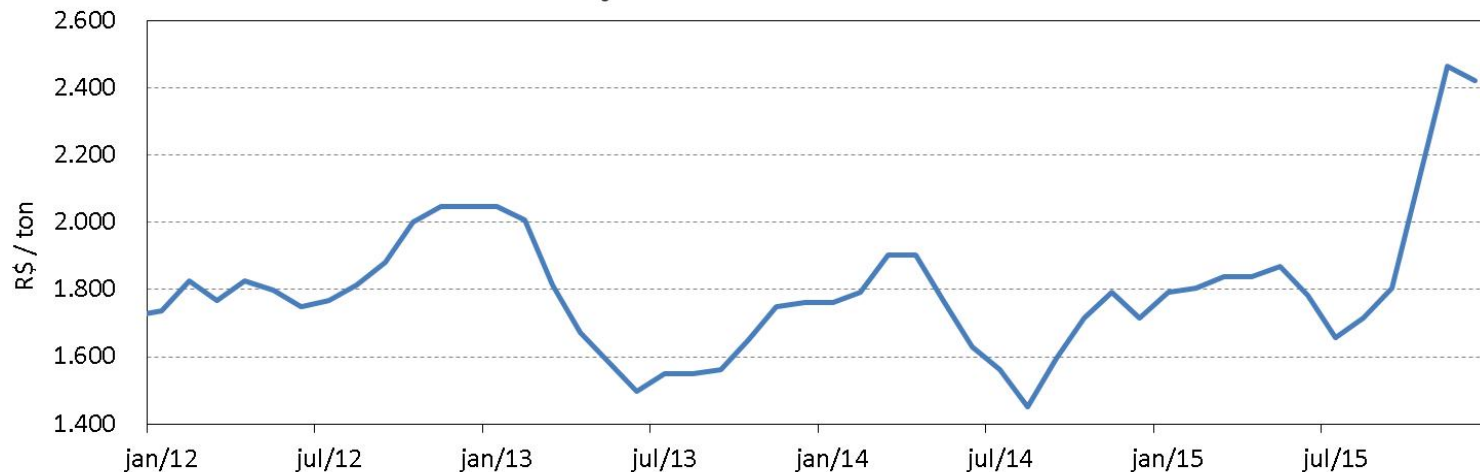


Elaboração: MME

Fonte: Preços do biodiesel e de referência (ANP); óleo (Abiove)

OBS.: Preço do Biodiesel descontada a margem do adquirente; Preços com PIS/COFINS e CIDE, sem ICMS.

## Preço do Sebo Bovino no Brasil



Elaboração: MME

Fonte: ABOISSA. CIF-SP, pagamento em 30 dias, sem ICMS

# DESAFIOS

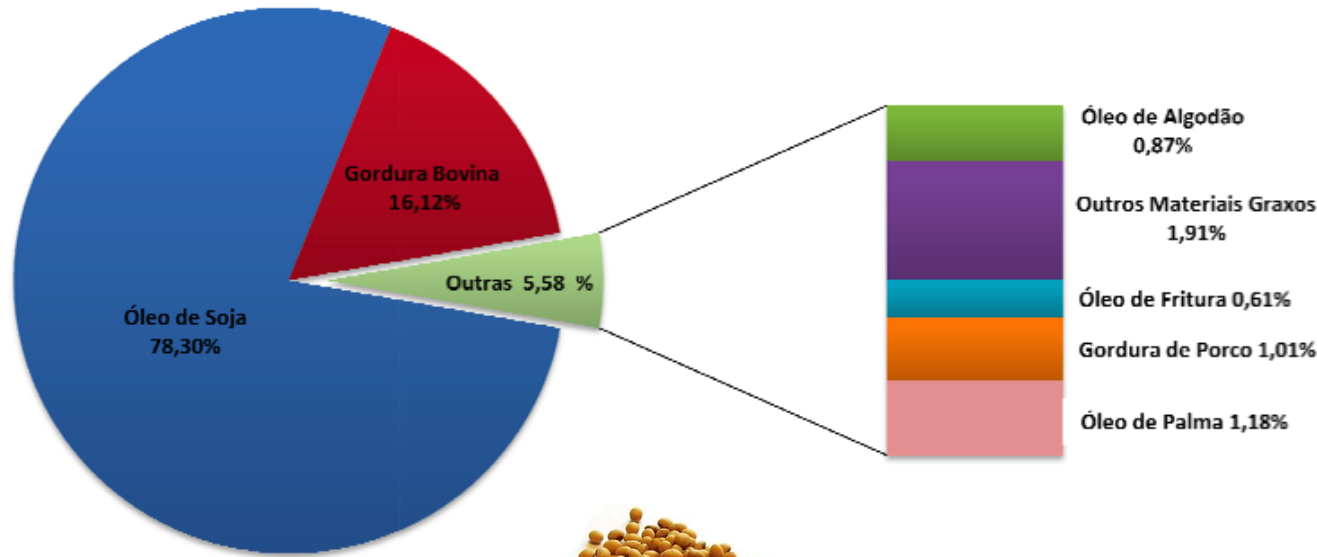
---

- ✓ **Matérias primas alternativas que possuam baixo custo e não sejam comestíveis;**
- ✓ **Métodos de produção (catalisadores, qualidade do glicerol, menor custo energético, menor volume de resíduos gerados, adaptação para matérias primas alternativas).**

# BIODIESEL - MATÉRIAS PRIMAS

## MATÉRIAS PRIMAS

março/ 2016



- |          |                        |
|----------|------------------------|
| ALGODÃO  | NABO FORRAGEIRO        |
| AMENDOIM | ÓLEOS DE FRITURA       |
| BABAÇU   | PALMISTE               |
| BURITI   | PEQUI                  |
| CANOLA   | PINHÃO-MANSO           |
| DENDÊ    | SOJA                   |
| GERGELIM | TUCUMÃ                 |
| GIRASSOL | RESÍDUO INDUSTRIAL     |
| JOJOBA   | SEBO OU GORDURA ANIMAL |
| LINHAÇA  |                        |
| MAMONA   |                        |



Algodão



Girassol



Palma



Mamona



Soja



Babaçu

Amendoim



Canola



Gordura Animal



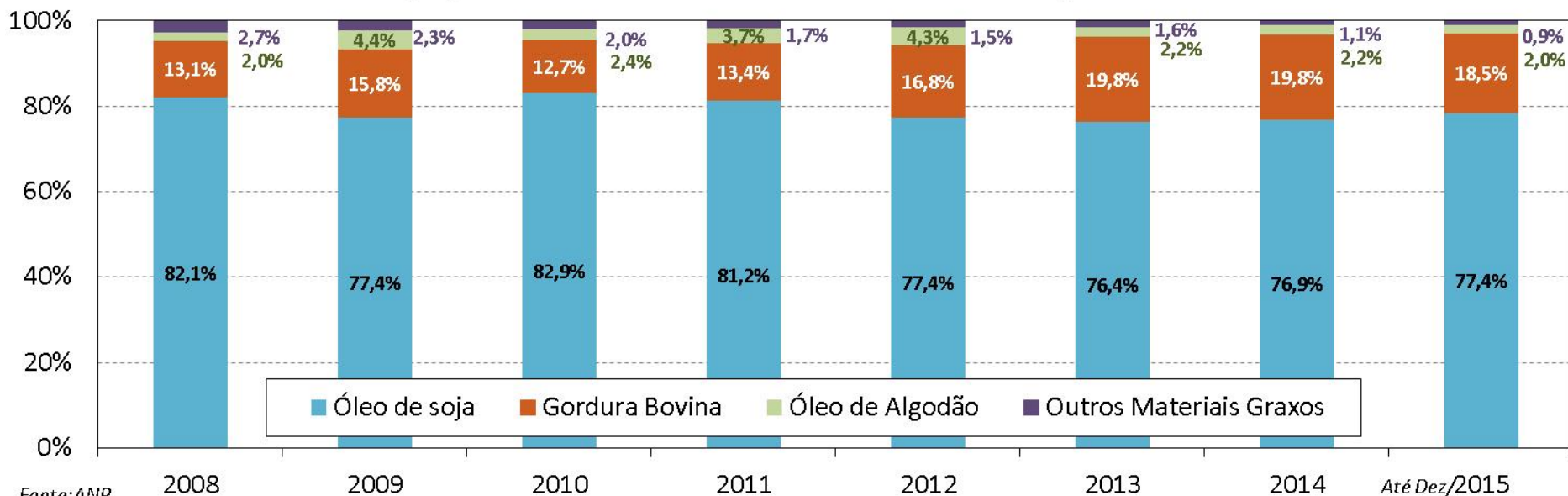
Residuais



Nabo Forrajero

# PRODUÇÃO DE BIODIESEL POR MATÉRIA PRIMA

## Participação das Matérias-Primas Usadas na Produção do Biodiesel



Fonte: ANP  
Elaboração: MME OBS.: Até 2014 considera-se os dados consolidados do Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.

# BIODIESEL - MATÉRIAS PRIMAS

## MATÉRIAS PRIMAS POR REGIÃO

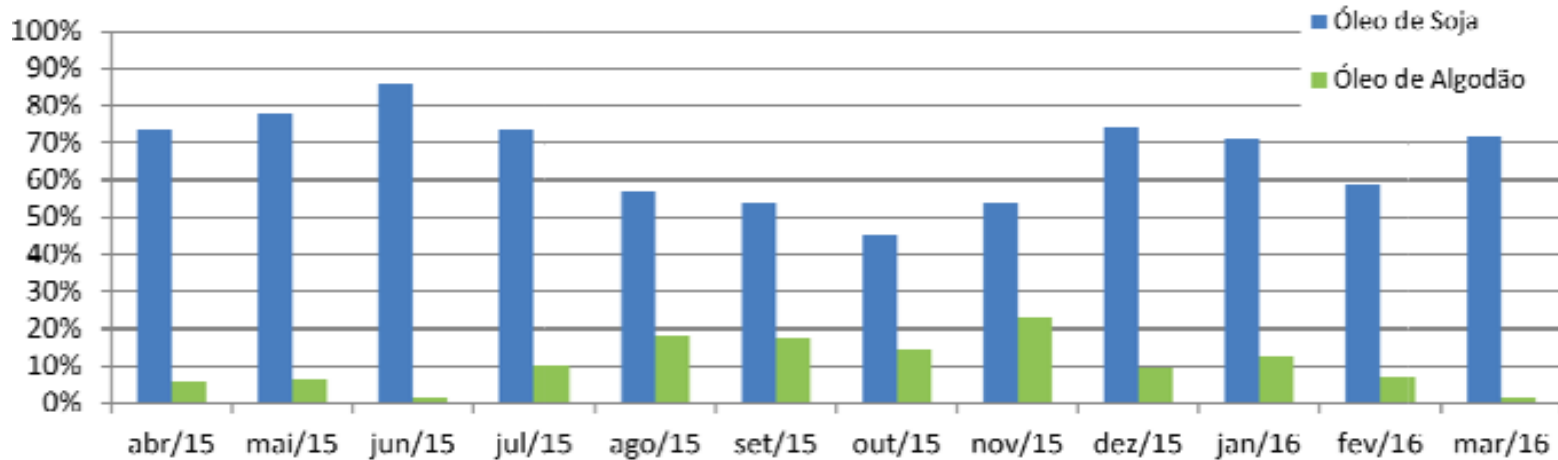
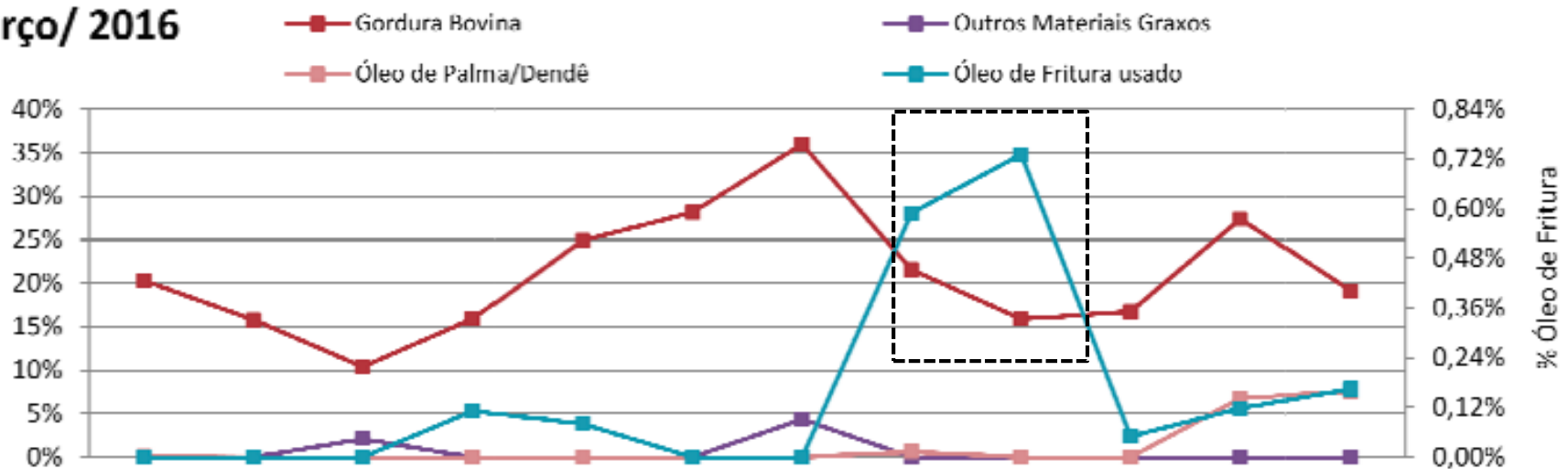
MARÇO DE 2016.

Matéria-Prima	Região				
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
Óleo de Soja	92,12%	71,72%	88,04%	31,29%	74,78%
Gordura Bovina		19,12%	7,12%	58,46%	20,48%
Óleo de Algodão		1,42%	1,62%	0,59%	
Outros Materiais Graxos	7,87%		1,76%	1,19%	2,02%
Óleo de Fritura usado	0,01%	0,16%	0,03%	8,22%	0,12%
Gordura de Porco			0,08%		2,59%
Gordura de Frango					
Óleo de Palma / Dendê		7,58%	1,34%	0,26%	

# BIODIESEL - MATÉRIAS PRIMAS

## Região Nordeste

março/ 2016



# MATÉRIAS PRIMAS - BIODIESEL

## SOJA

- ↪ Apresenta maior percentual da produção brasileira de óleos vegetais (ABIOVE);
- ↪ Brasil: Entre os maiores produtores Mundiais (CONAB).
- ↪ Competição direta com o setor alimentício;



- ❖ Arranjos produtivos muito bem estudados e implantados em boa parte do território brasileiro.
- ❖ Capaz de suprir a demanda Brasileira.



# MATÉRIAS PRIMAS - BIODIESEL

## GORDURA ANIMAL

- ❖ Brasil é um grande produtor e a oferta de tais matérias primas é substancial;
- ❖ ↓ custos.

➤ 2,5 milhões de toneladas de gordura provenientes do abate industrial de aves, bovinos e suínos (EMBRAPA).



# MATÉRIAS PRIMAS - BIODIESEL

## MICROALGAS

Microalga	Conteúdo oleaginoso [% peso seco]
<i>Botryococcus braunii</i>	25-75
<i>Chlorella sp.</i>	28-32
<i>Cryptocodinium cohnii</i>	20
<i>Cylindrotheca sp.</i>	16-37
<i>Dunaliella primolecta</i>	23
<i>Isochrysis sp.</i>	25-33
<i>Monallanthus salina</i>	>20
<i>Nannochloris sp.</i>	20-35
<i>Nannochloropsis sp.</i>	31-68
<i>Neochloris oleoabundans</i>	35-54
<i>Nitzschia sp.</i>	45-47
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	20-30
<i>Schizochytrium sp.</i>	50-77
<i>Tetraselmis sueica</i>	15-23

➤ Elevador teor de óleo e necessita de baixa área cultivável.

❑ Produção de óleos com eficiência superior a obtida em plantações de oleaginosas.



❖ A produtividade de óleo, por unidade de área empregada para o processo, pode ser até 100 vezes superior do que aquela obtida com oleaginosas.

# MATÉRIAS PRIMAS - BIODIESEL

**VANTAGENS:** ↓ **custos** para colheita e transporte, **fácil tratamento químico** em função de suas pequenas dimensões, podem ser cultivadas sob **condições impróprias** para produção agrícola convencional.



- DESAFIOS:** (a) complexidade da logística de produção em larga escala;
- (b) alto custo na formulação dos meios de cultivo (micronutrientes);
- (c) ↑ demanda energética para secagem e extração;
- (d) ↑ acidez do material lipídico isolado (método de extração).

# MATÉRIAS PRIMAS - BIODIESEL

TABELA 2. Produtividade da cultura ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), teor de óleo (%) e produção de óleo ( $\text{l}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) das espécies potencialmente produtoras de óleo.

Espécie	Produtividade ( $\text{kg}/\text{ha}$ )	Óleo (%)	Produtividade óleo ( $\text{l}/\text{ha}$ )
Algodão	1400	15	263
Amendoim	2000	43	1075
Canola	2200	48	1320
Crambe	1500	40	750
Dendê	25000	20	6250
Girassol	2000	50	1250
Mamona	1500	45	844
Pinhão Manso	12000	52	7800
Soja	3000	20	750

## PRODUTIVIDADE

**Macaúba** - 4.500 litros de óleo por hectares ano;

**Nabo Forrageiro** – 150 a 450 litros de óleo por hectare;

**Microalgas** – 58.700 litros de óleo por hectare (variável).

# MATÉRIAS PRIMAS - BIODIESEL

## COMPOSIÇÃO QUÍMICA

↑AGS - problemas de solidificação em baixas temperaturas.

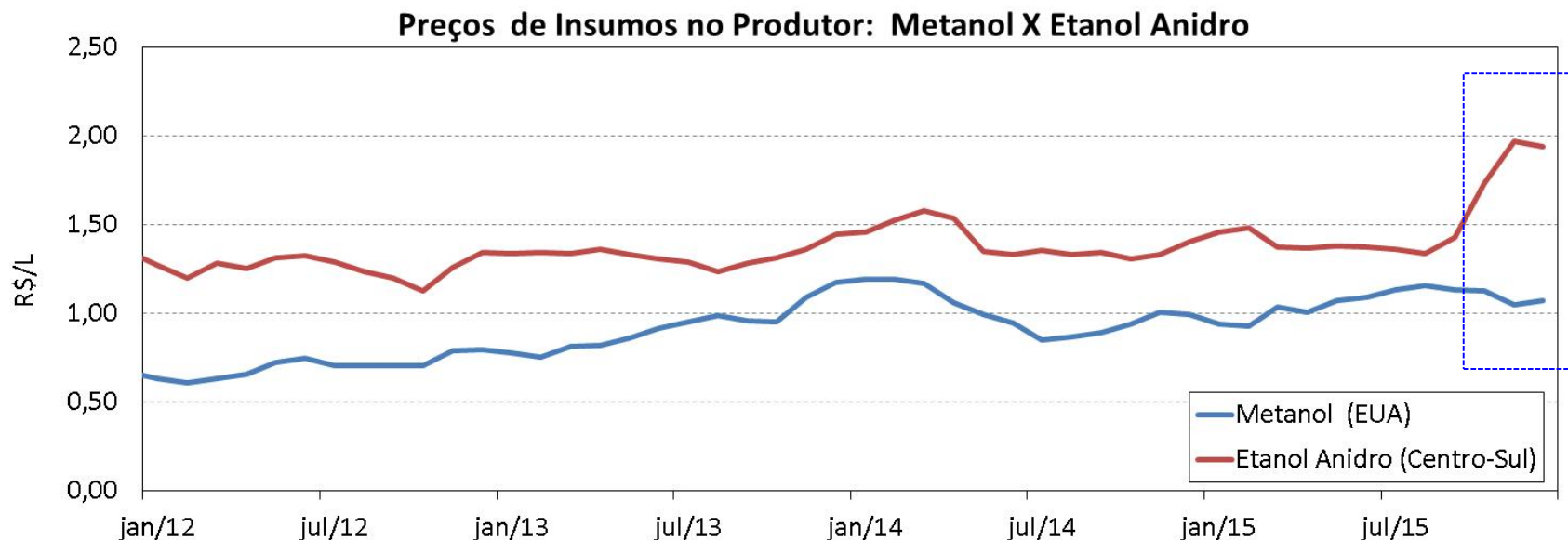
↑ viscosidade – entupimento dos filtros de óleo e do sistema de injeção.

Tabela 1. Composição química em ácidos graxos de diversos tipos de óleos vegetais.

Ácido graxo		Óleo vegetal								
		Soja	Milho	Algodão	Uva	Oliva	Amendoim	Palma	Cacau	Girassol
C12:0	Láurico	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-
C14:0	Mirístico	0,2	0,2	0,8	0,0	0,0	0,0	0,9	0,1	0,1
C16:0	Palmitico	11,0	19,0	27,9	7,0	10,2	12,5	49,7	0,1	5,5
C16:1	Palmitoléico	0,2	0,0	0,8	0,1	0,7	0,0	0,1	0,3	0,1
C17:0	Heptadecanóico	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
C18:0	Estéarico	4,2	2,5	2,0	3,0	2,5	2,5	4,5	44,6	4,7
C18:1	Oléico	21,9	30,5	19,3	22,1	79,1	37,9	39,9	49,1	19,5
C18:2	Linoléico	53,3	52,1	50,5	67,2	7,1	41,3	10,5	4,9	68,5
C18:3	Linolênico	7,5	1,0	0,0	0,5	0,6	0,3	0,3	0,1	0,1
C20:0	Araquídico	0,3	0,5	0,3	0,1	0,5	0,5	0,2	1,5	0,3
C20:1	Gadoléico	0,2	0,2	0,0	0,0	0,3	0,7	0,0	0,1	0,1
C22:0	Behênico	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,1	0,9
C22:1	Erúico	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
C24:0	Lignocérico	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,2

# BIODIESEL - ÁLCOOIS REAGENTES

## Preços – Metanol x Etanol



Elaboração: MME

Fonte: Metanol - Methanex Non-Discounted Reference Price; Etanol Anidro - CEPEA/ESALQ (sem PIS/COFINS, sem ICMS no Centro-Sul).

## ETANOL

**Vantagens:** produto nacional, proveniente de fonte renovável, toxicidade reduzida, mais miscível no óleo.

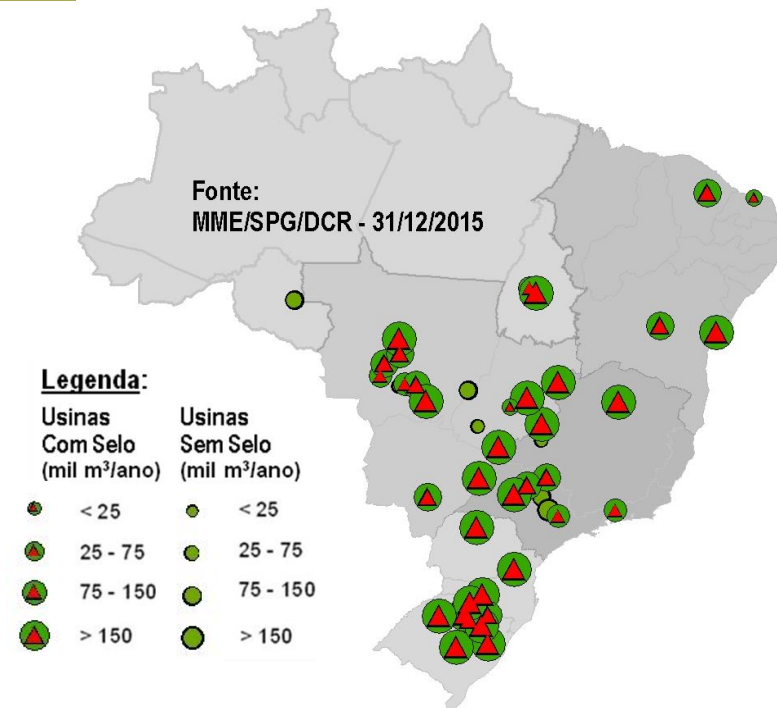
**Desvantagens:** preço, cinética desfavorecida, dificulta a separação dos produtos.

# BIODIESEL - INTRODUÇÃO

## SETOR INDUSTRIAL

### Setor industrial em Abr/2016:

- 50 plantas produtoras autorizadas
- 2 nova planta autorizada para construção
- 1 autorizadas para ampliação de capacidade

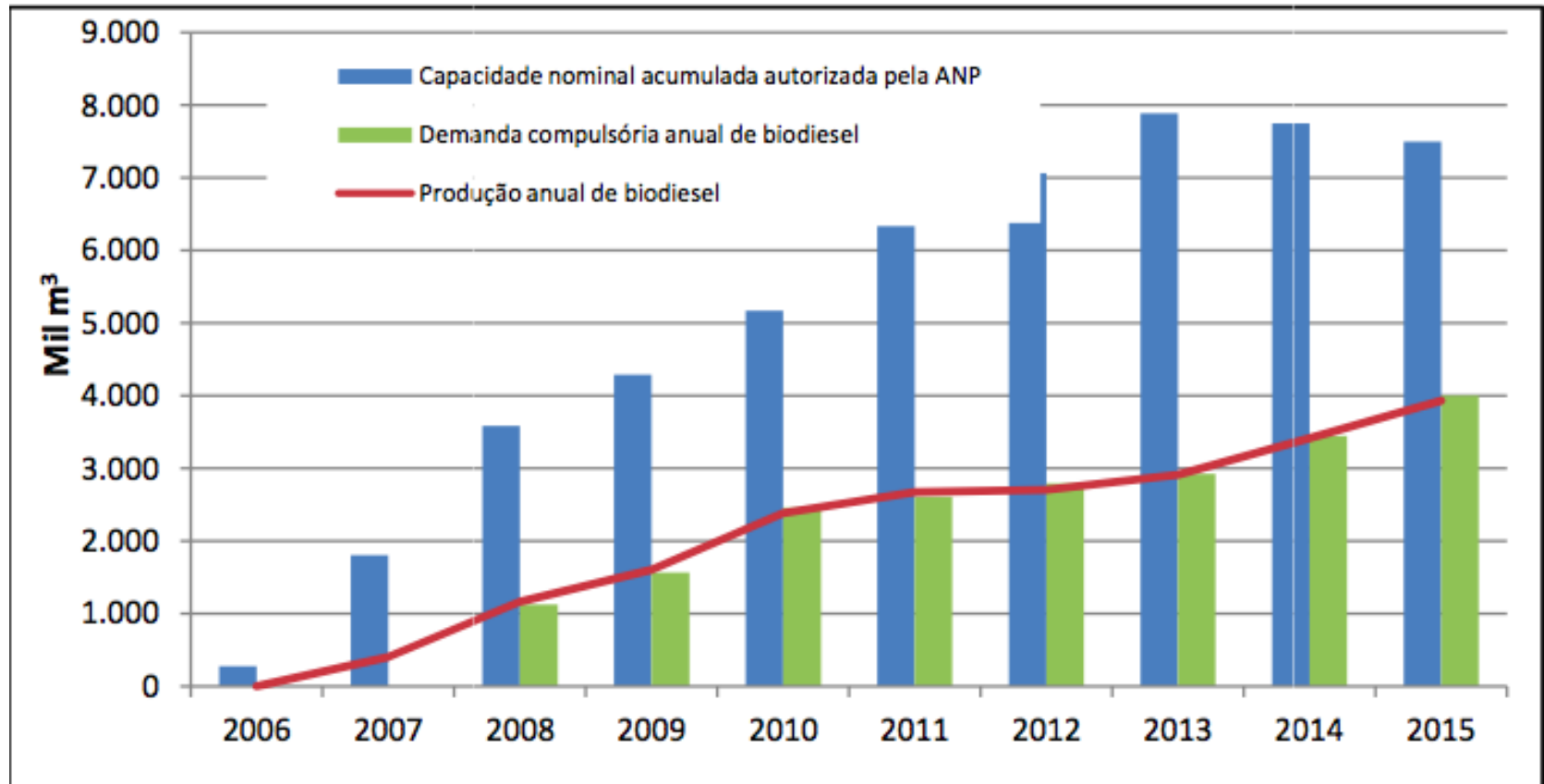


Região	nº usinas	Capacidade Instalada	
		mil m <sup>3</sup> /ano	%
N	3	241	3%
NE	4	476	7%
CO	21	2.857	39%
SE	9	954	13%
S	13	2.735	38%
<b>Total</b>	<b>50</b>	<b>7.263</b>	<b>100%</b>

OBS: contempla apenas usinas com Autorização de Comercialização na ANP e Registro Especial na RFB/MF. Posição em 31/12/2015.

# CENÁRIOS - BIODIESEL

## PRODUÇÃO DE BIODIESEL



**SEGUNDO MAIOR PRODUTOR MUNDIAL  
(1º EUA)**

**Em 2016:**

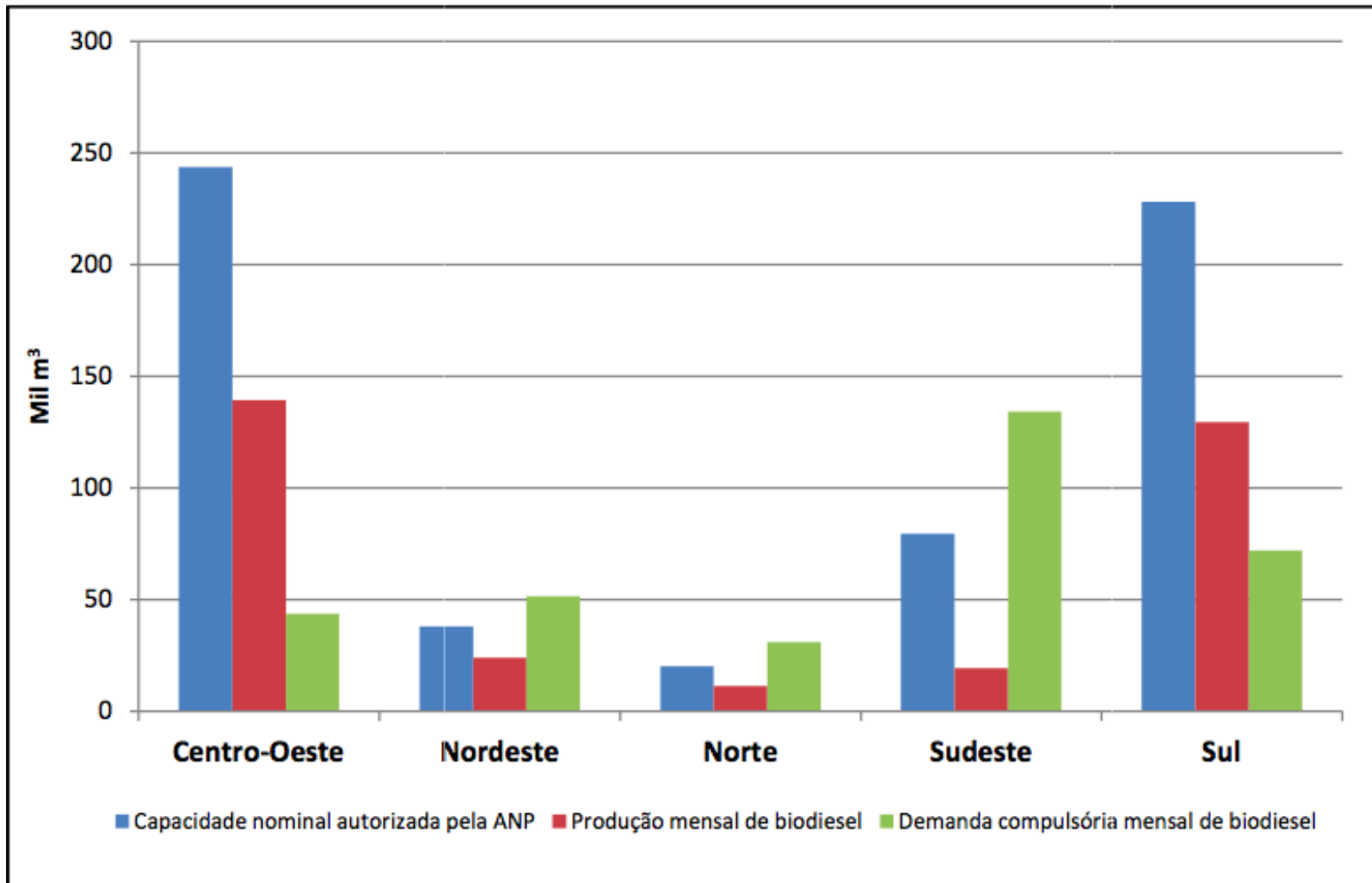
**> 4 bilhões de litros**

[http://www.aprobio.com.br/noticia\\_new.aspx](http://www.aprobio.com.br/noticia_new.aspx)



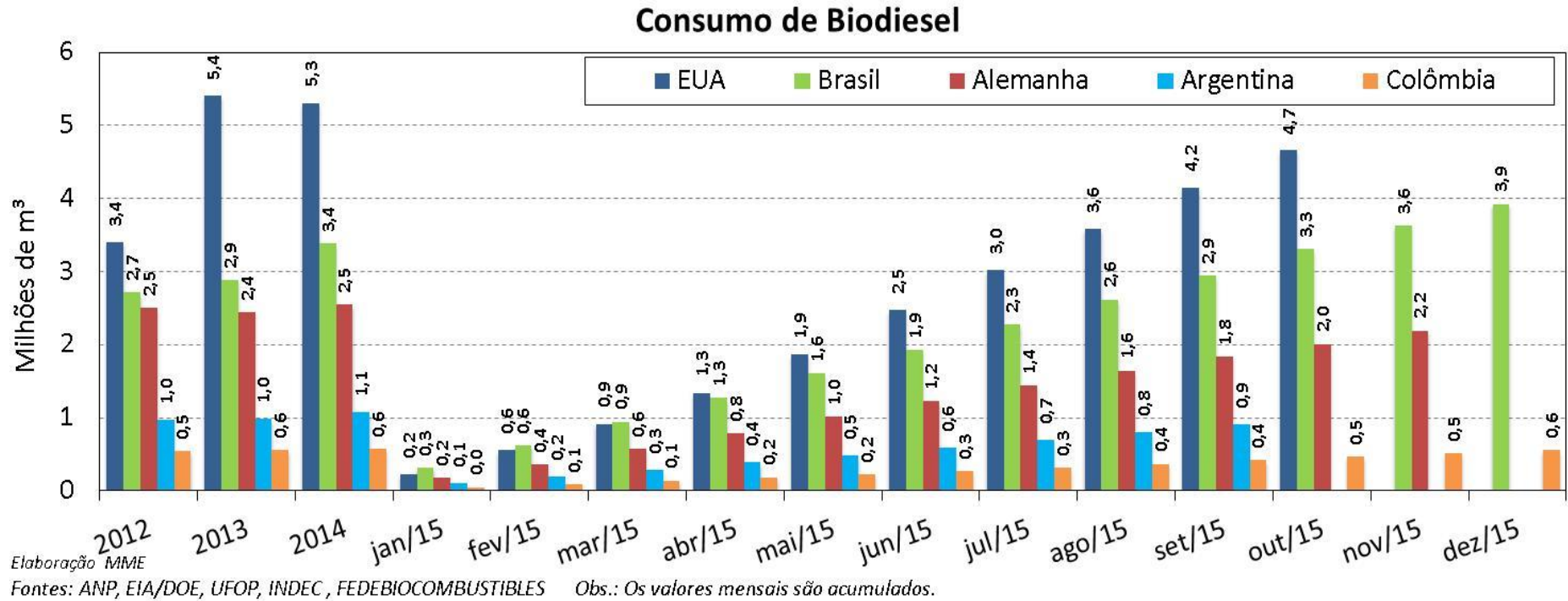
# CENÁRIOS - BIODIESEL

## PRODUÇÃO DE BIODIESEL POR REGIÃO



# CENÁRIOS - BIODIESEL

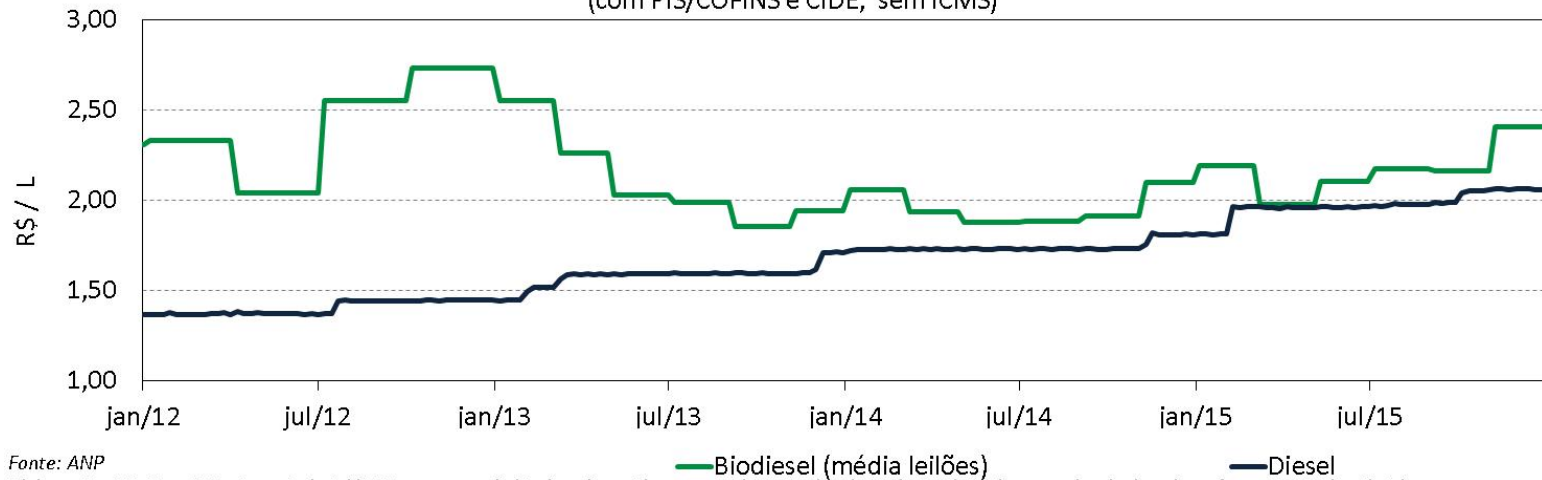
## CONSUMO DE BIODIESEL NO MUNDO



Desde 2012 o Brasil foi é o **SEGUNDO MAIOR** consumidor de biodiesel do mundo.

# BIODIESEL - REFLEXÕES

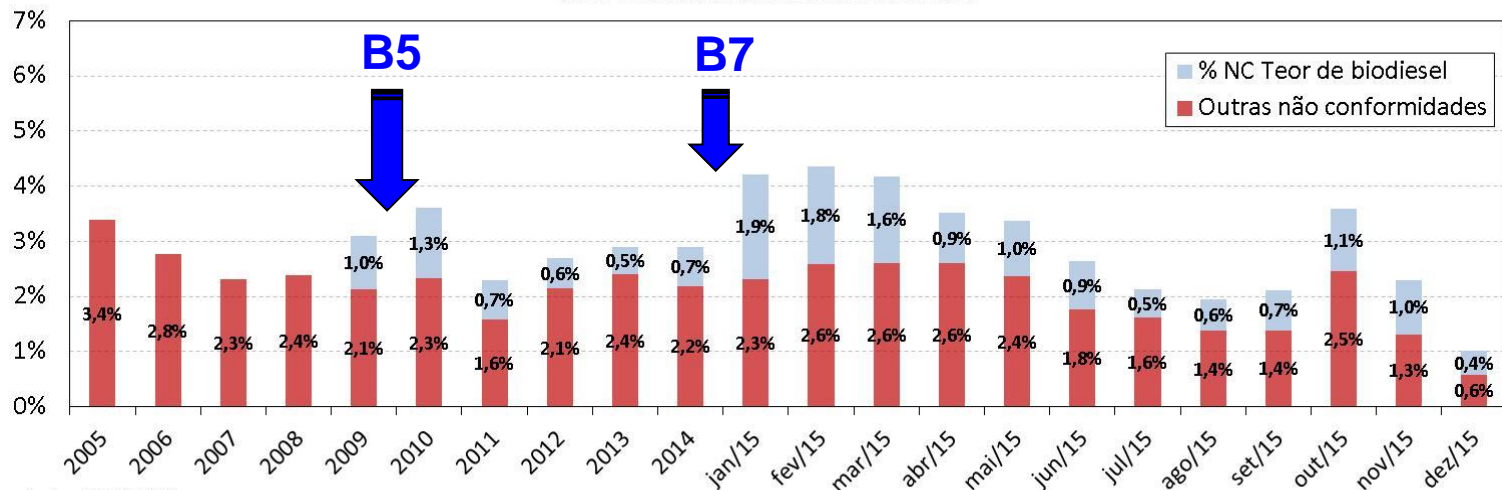
**Preço de Venda no Produtor**  
(com PIS/COFINS e CIDE, sem ICMS)



Fonte: ANP

Elaboração: MME OBS: A partir de jul/2012 os preços de biodiesel consideram os valores realizados pelo produtor/importador de diesel na oferta para a distribuidora.

**Não Conformidades de Diesel B**



Fonte: ANP/PMQC

Elaboração: MME. OBS: A análise do teor de biodiesel iniciou-se somente em 2009. Antes disso, não havia análises para essa natureza.

# BIODIESEL - NORMA

## Controle de qualidade do biodiesel comercializado no Brasil

### ANEXO

#### REGULAMENTO TÉCNICO ANP Nº 3/2014

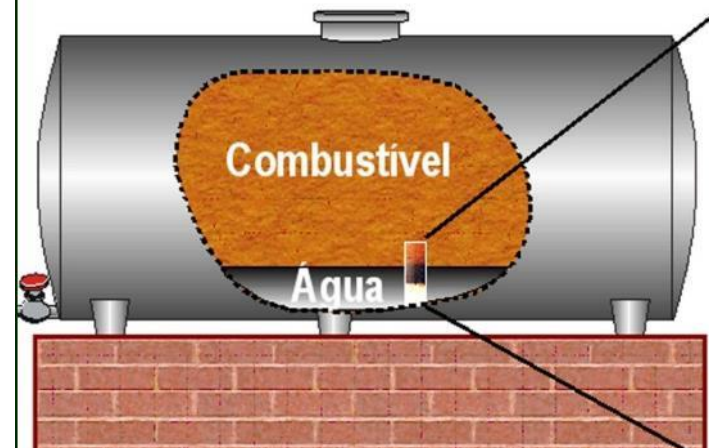
Tabela I - Especificação do Biodiesel

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE	MÉTODO		
			ABNT NBR	ASTM D	EN/ISO
Aspecto	-	LII (1) (2)	-	-	-
Massa específica a 20° C	kg/m <sup>3</sup>	850 a 900	7148 14065	1298 4052	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Viscosidade Cinemática a 40°C	mm <sup>2</sup> /s	3,0 a 6,0	10441	445	EN ISO 3104
Teor de água, máx.	mg/kg	<u>200,0 (3)</u>	-	6304	EN ISO 12937

# BIODIESEL - PROBLEMAS

## Teor de água

- Diretamente relacionado ao processo de purificação e também ao armazenamento do biodiesel
- Característica higroscópica: absorver água do ambiente.
- Um dos parâmetros que mais críticos para má qualidade.
- Problemas:
  - Indesejável hidrólise do biodiesel: originando ácidos graxos
  - Proliferação de microorganismos
  - Corrosão em tanques de estocagem



# BIODIESEL - PROBLEMAS

Problemas de qualidade no meio e fim da cadeia

## Borras em Postos

B5: já  
misturado ao  
diesel



Fotos cedidas pela Fecombustíveis)

Alísio Vaz. 8º Fórum de debates sobre a qualidade de combustíveis. Rio de Janeiro, 2012.

# BIODIESEL - PROBLEMAS

Ponto de entupimento de filtro a frio (PEFF)

**Não pode solidificar até...**

➤ Resolução ANP N° 45/2014

UNIDADES DA FEDERAÇÃO	LIMITE MÁXIMO, °C											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
SP - MG - MS	14	14	14	12	8	8	8	8	8	12	14	14
GO/DF - MT - ES - RJ	14	14	14	14	10	10	10	10	10	14	14	14
PR - SC - RS	14	14	14	10	5	5	5	5	5	10	14	14

Praticamente não é comercializado biodiesel de sebo nos meses de inverno.

Biodiesel de sebo: PEFF próximo a 14 °C

Biodiesel de soja: PEFF próximo a 0 °C

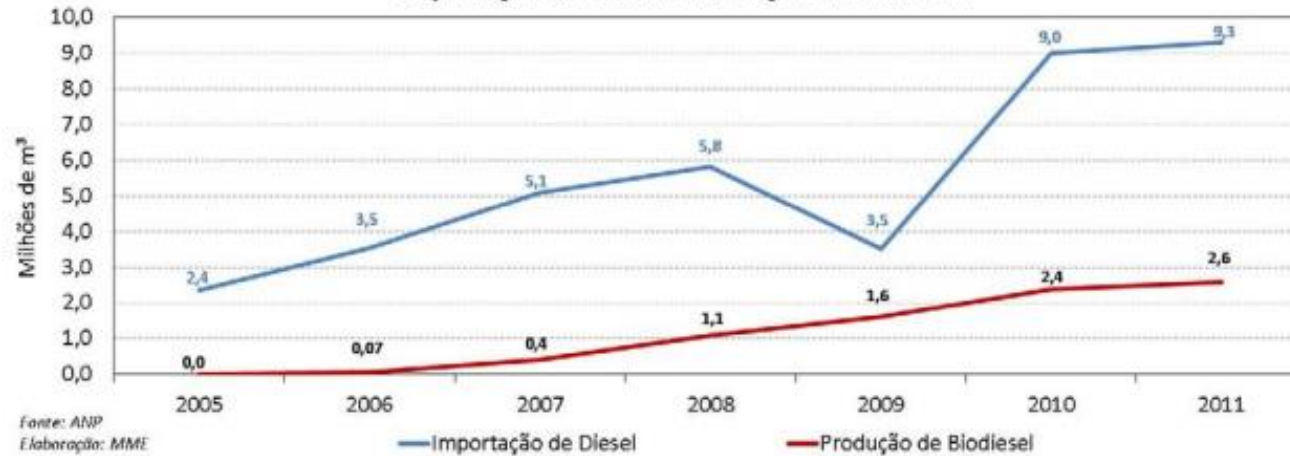
Alguns meses é feita mistura sebo/soja.



# BIODIESEL - REFLEXÕES

## SETOR INDUSTRIAL

### Importação de Diesel X Produção de Biodiesel



- Entre 2005 e 2011:
- (+) 8,2 milhões de m<sup>3</sup> de biodiesel produzidos no Brasil
  - (+) Economia de US\$ 5,3 bilhões nas importações de diesel
  - (-) 7,4 milhões de ton de óleo
  - (-) O Brasil deixou de exportar US\$ 8,5 bilhões

**(-) SALDO NEGATIVO**

**(+) Devem ser incluídos: crédito ambiental, social, econômico, saúde humana, etc.**

UBRABIO: Reduz CO<sub>2</sub>

+1% Biod. 45.000 empr. campo

BR 4.000 mortes/ano



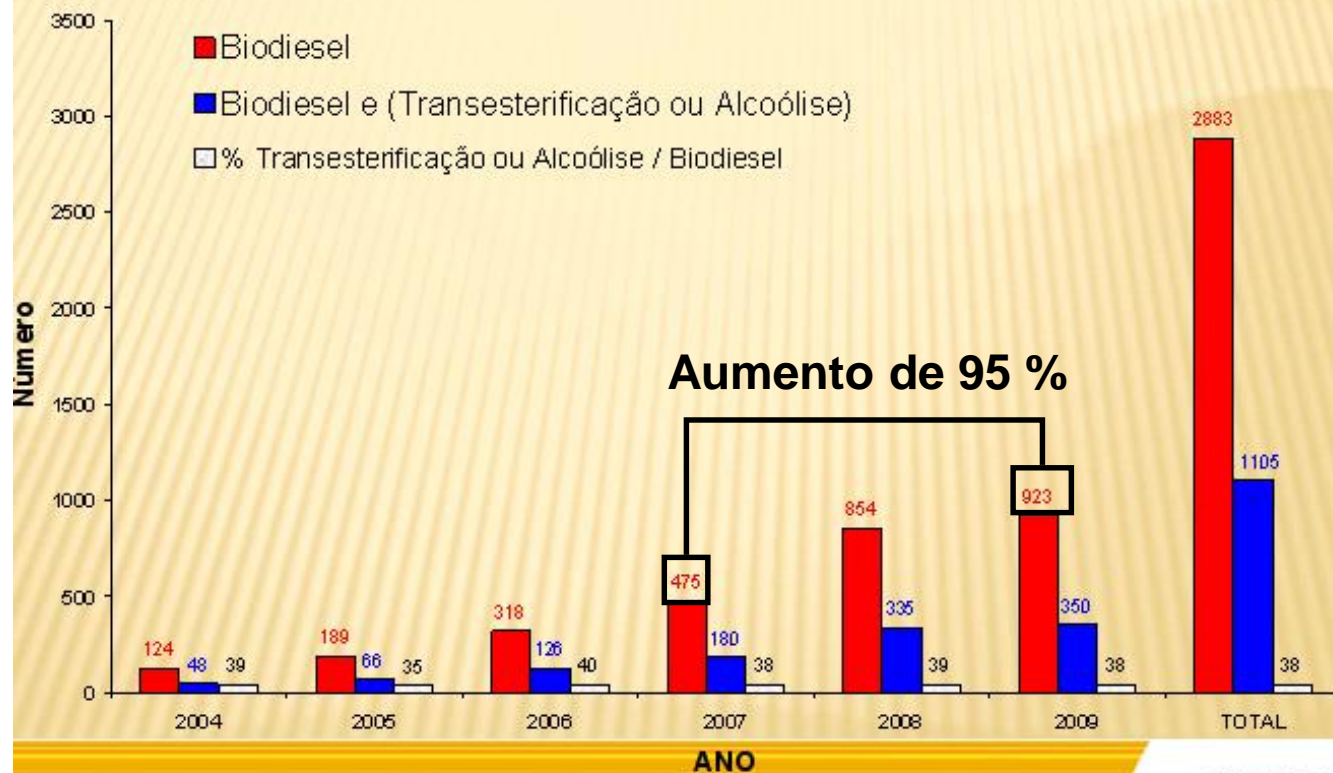
# CENÁRIOS - BIODIESEL

## PUBLICAÇÕES INTERNACIONAIS

### Transesterificação e Produção de Biodiesel

ARTIGOS INDEXADOS

Web of Science

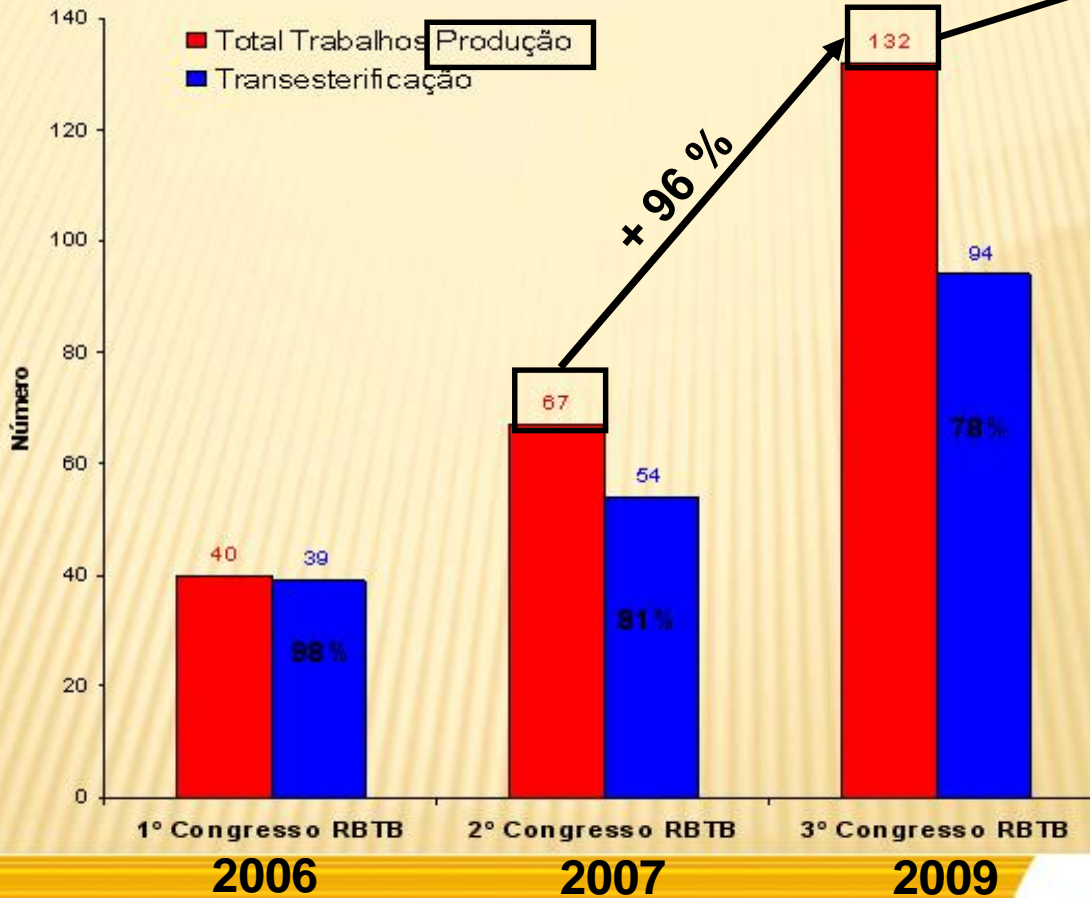


# CENÁRIOS - BIODIESEL

## PUBLICAÇÕES NACIONAIS



Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel



2010

**Produção de biodiesel:  
230 trabalhos**

2012

**880 trabalhos  
apresentados**

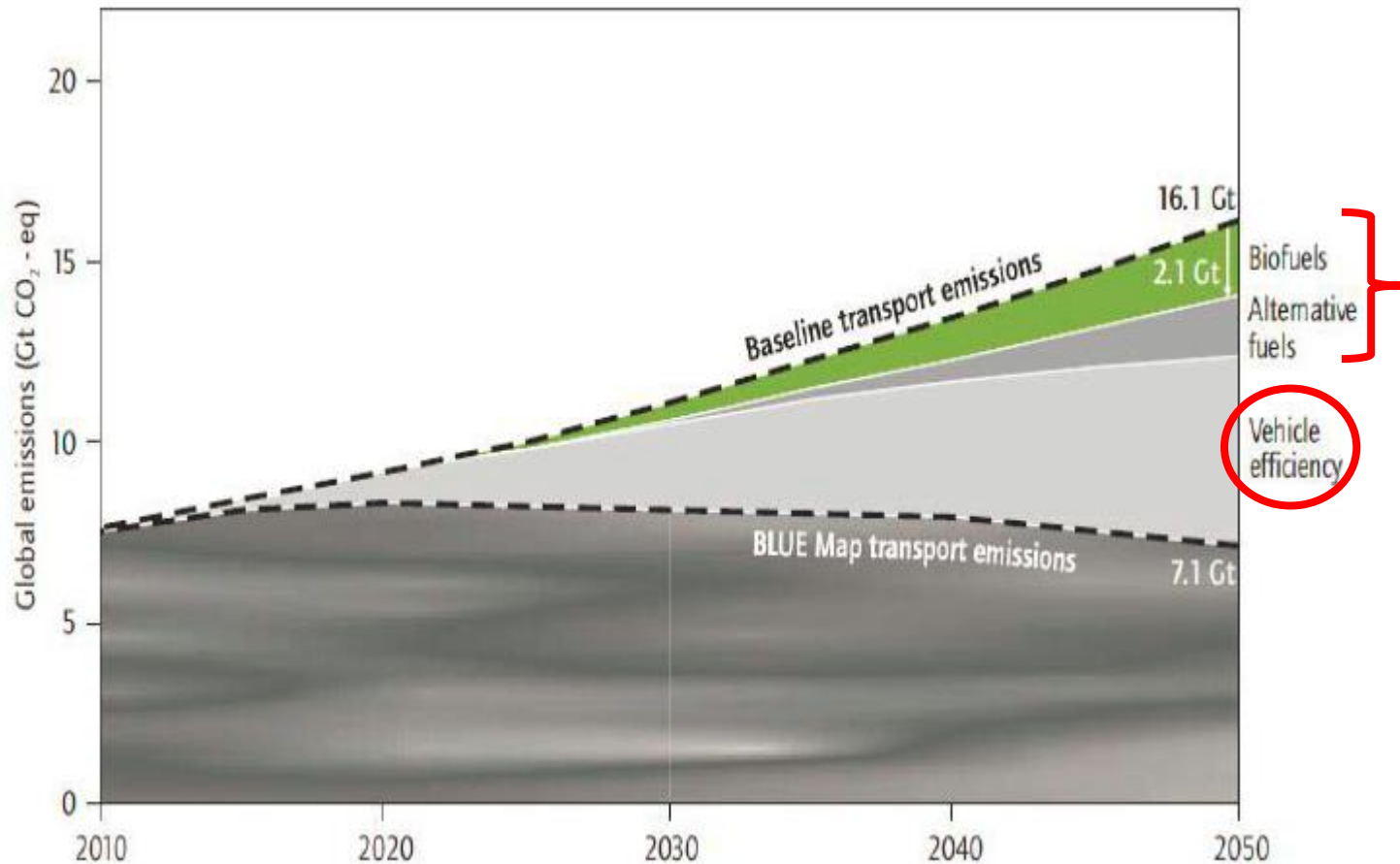


# CENÁRIOS - BIOCOMBUSTÍVEIS



www.iea.org

## Setor de Transporte (baixo C)

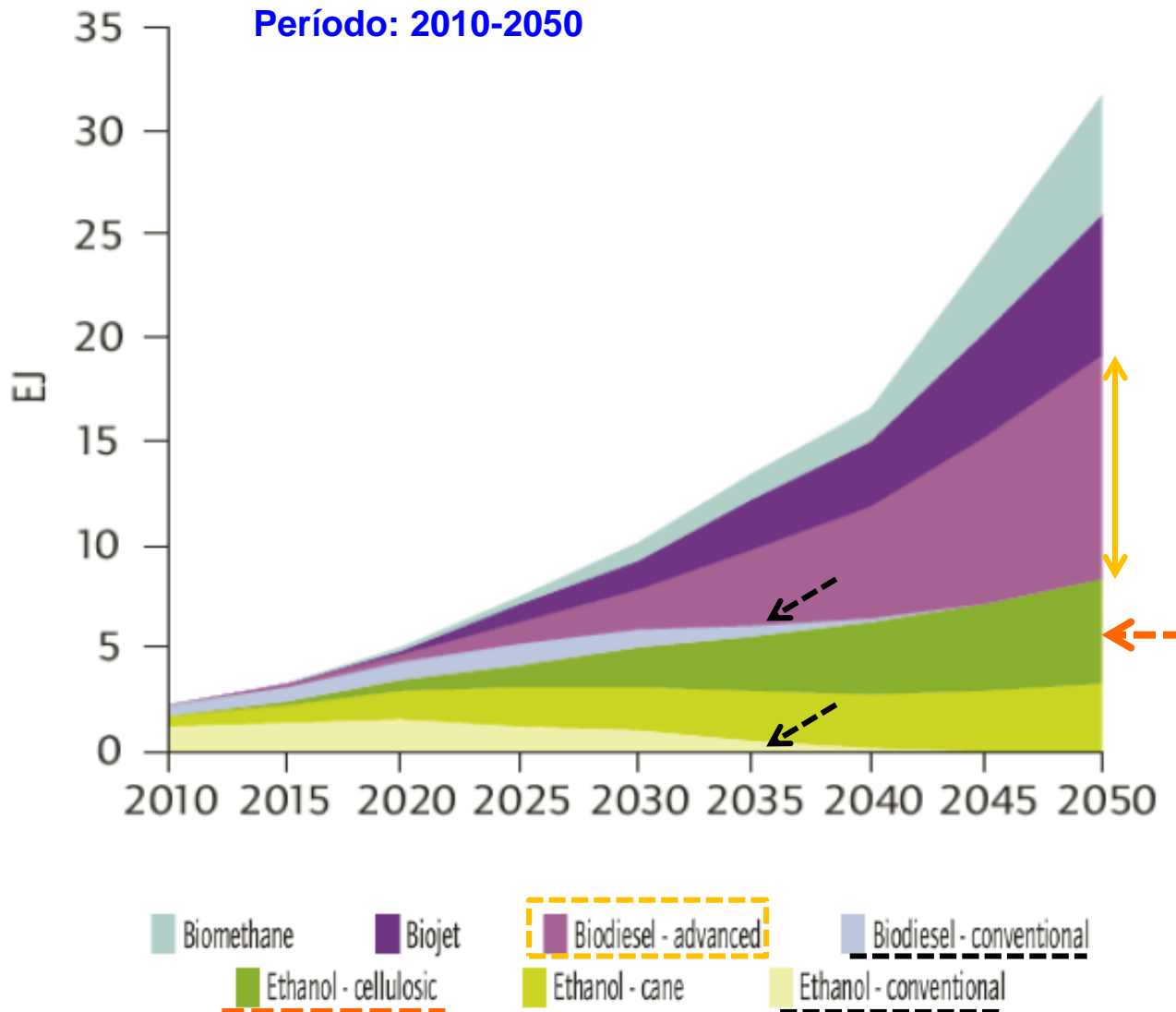


# CENÁRIOS - BIODIESEL

## Participação dos Biocombustíveis a Longo Prazo

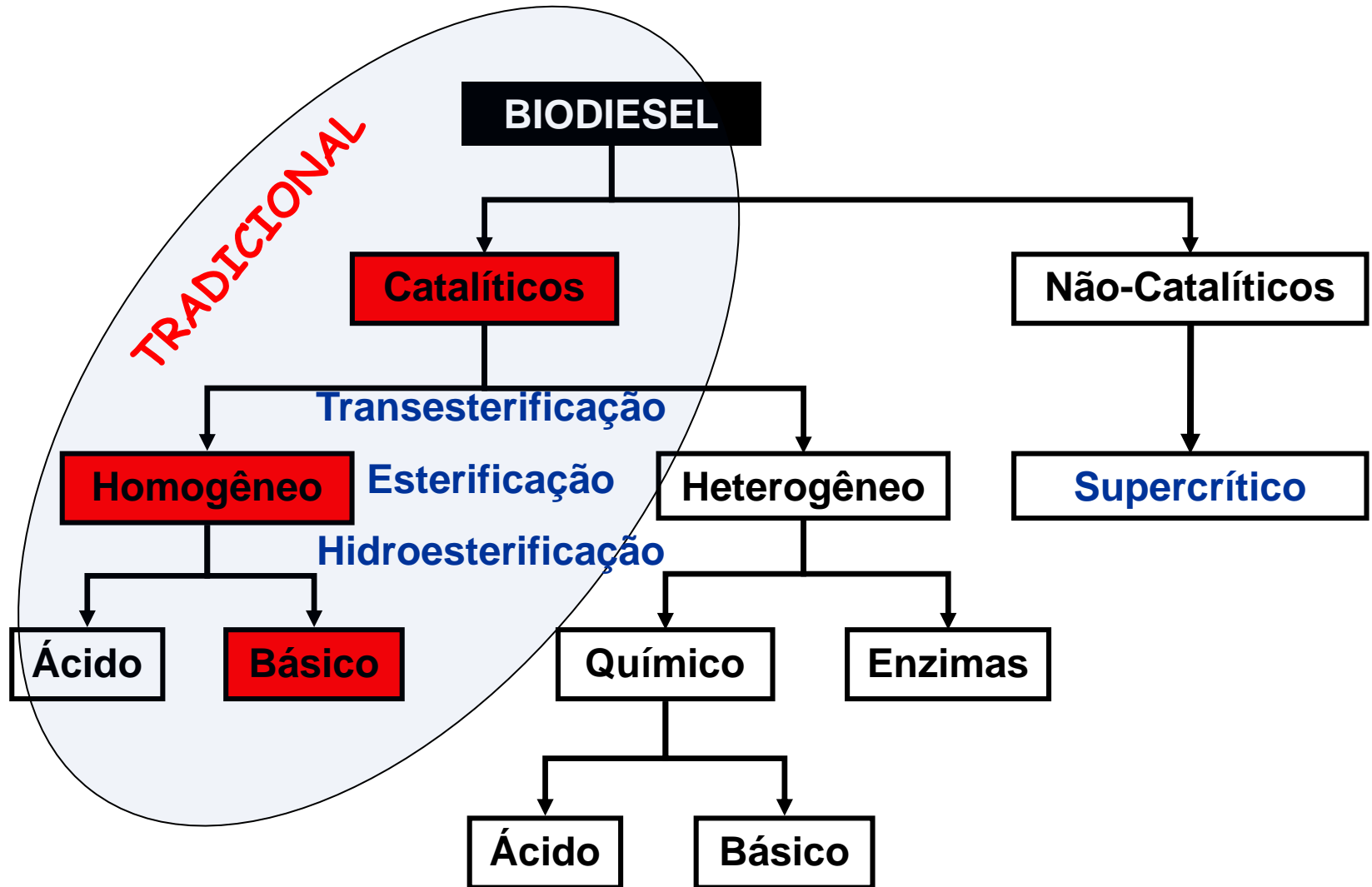


www.iea.org



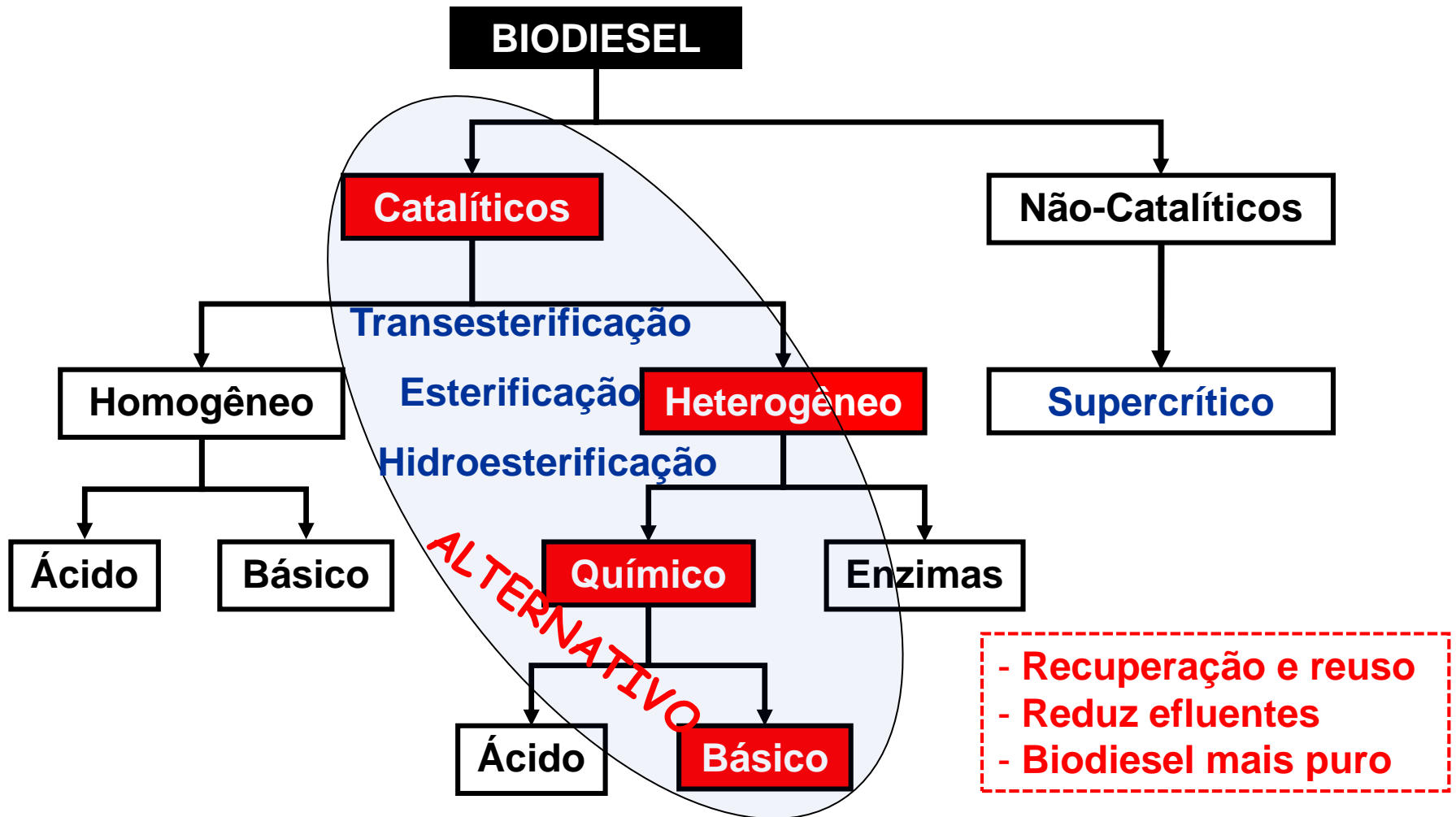
# BIODIESEL - PRODUÇÃO

## PROCESSOS PRODUTIVOS



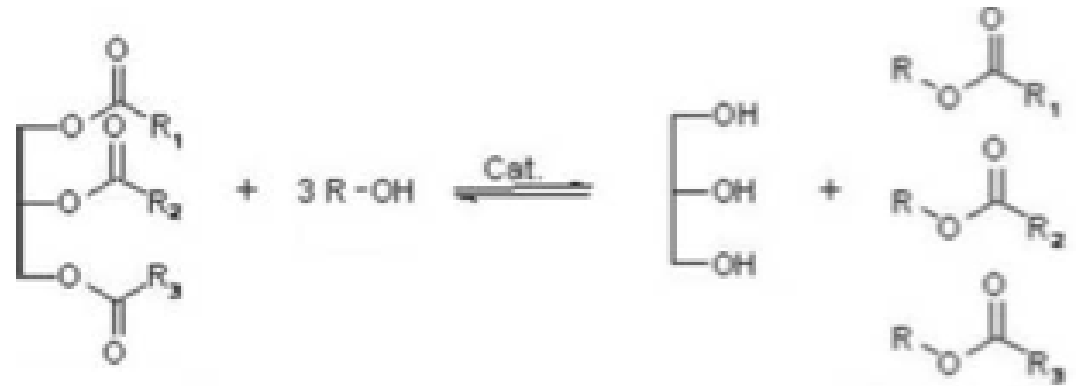
# BIODIESEL - PRODUÇÃO

## PROCESSOS PRODUTIVOS



# REAÇÕES - PRODUÇÃO DE BIODIESEL

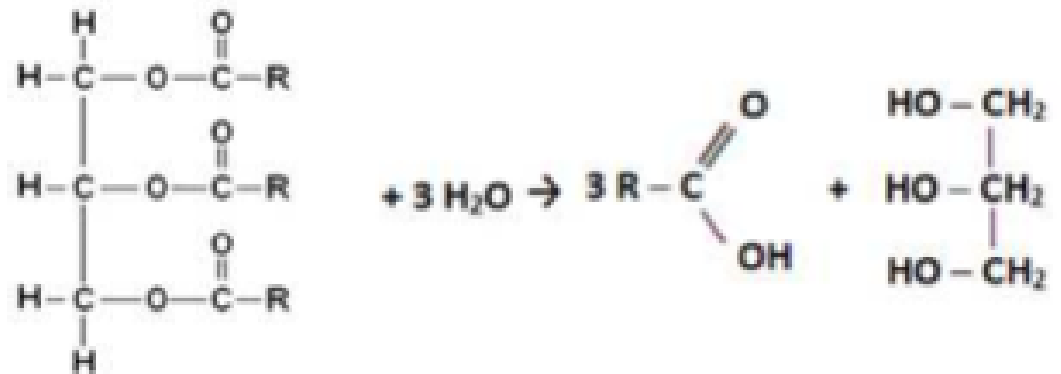
## TRANSESTERIFICAÇÃO



## ESTERIFICAÇÃO



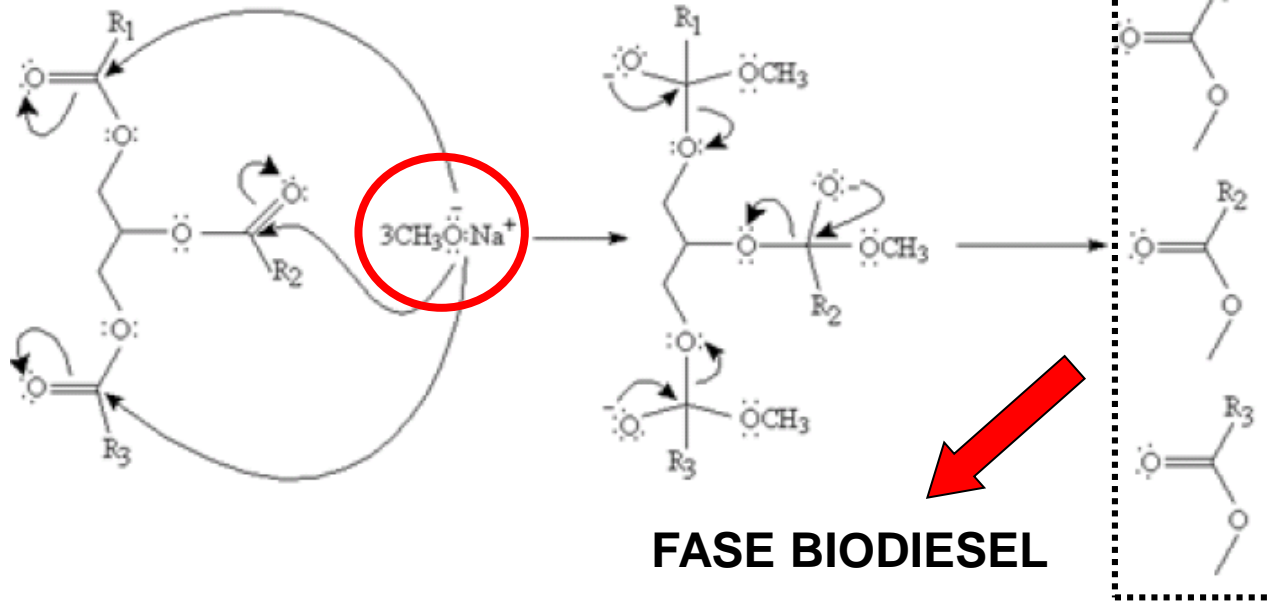
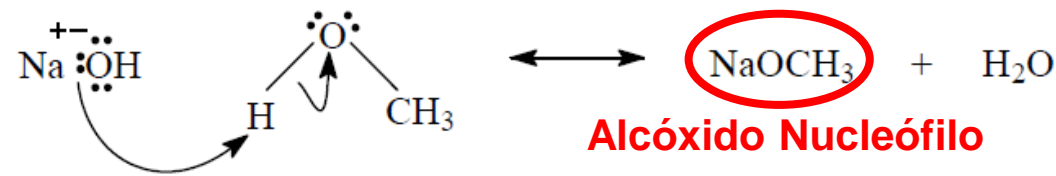
## HIDRÓLISE



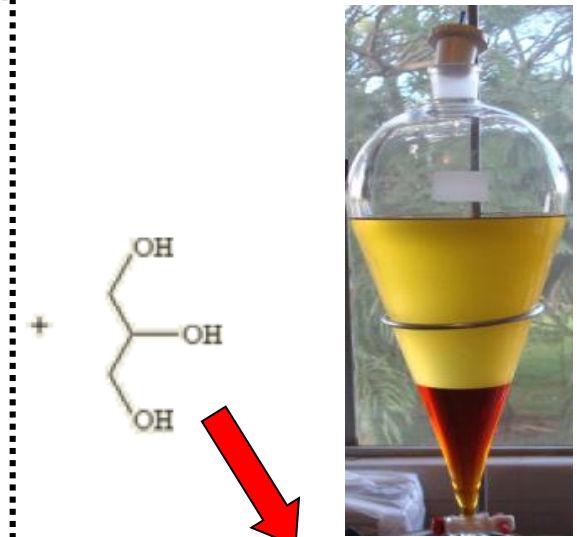
# REAÇÕES - PRODUÇÃO DE BIODIESEL

## Mecanismo - Catálise Homogênea Básica

Elevadas conversões:  
> 99% (35-55°C, 2-4 horas, RM 6:1)



**Impurezas:** triacilgliceróis não convertidos; semi-convertidos (mono e diacilgliceróis); álcool.



## FASE GLICEROL

**Impurezas:** sais (emulsões), álcool + água e metóxido de sódio que não reagiu.

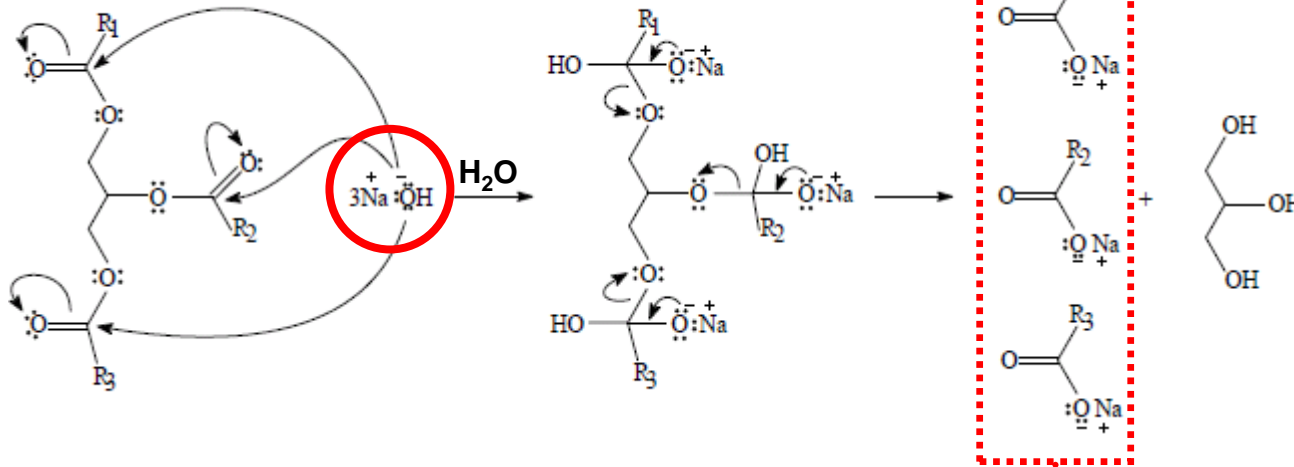


# REAÇÕES - PRODUÇÃO DE BIODIESEL

## Mecanismo - Catálise Homogênea Básica

A combinação completa entre o catalisador e o álcool evita a formação de sabão.

### Saponificação de triacilgliceróis



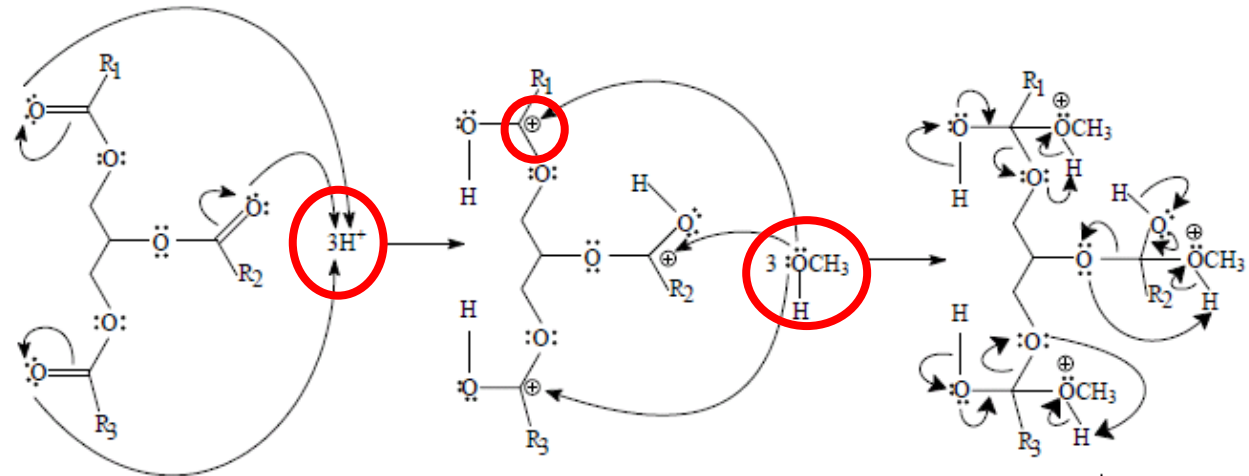
Ocorre o aumento de:

- operações unitárias
- viscosidade
- catalisador
- efluentes (lavagem)

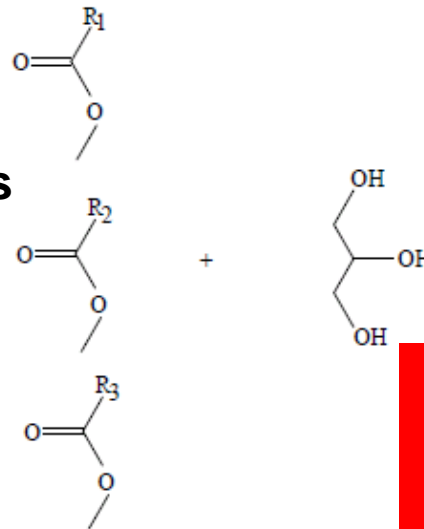
Também pode ser formado pela reação de neutralização dos ácidos graxos livres:  
 $\text{NaOH} + \text{AGL} \longrightarrow \text{SABÃO} + \text{H}_2\text{O}$

# REAÇÕES - PRODUÇÃO DE BIODIESEL

## Mecanismo - Catálise Homogênea Ácida

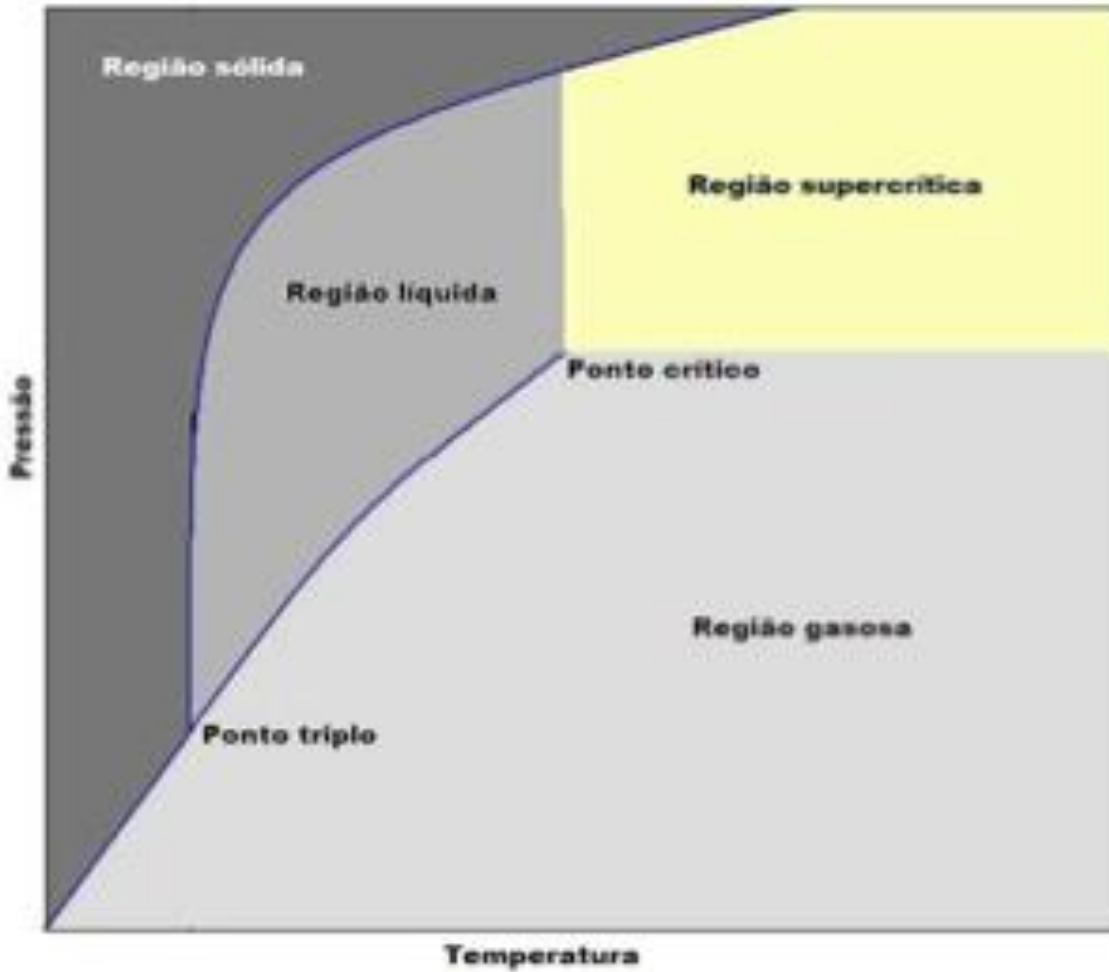


- adição do ácido em 1 única etapa
- converte os ácidos graxos livres presentes na fonte de triacilglicerídeos em biodiesel por esterificação



- Catálise Ácida:**
- Evita a saponificação
  - 6 vezes mais lenta
  - Temperaturas superiores

# PROCESSO ALTERNATIVO - NÃO CATALÍTICO



**Álcool em condições supercríticas**

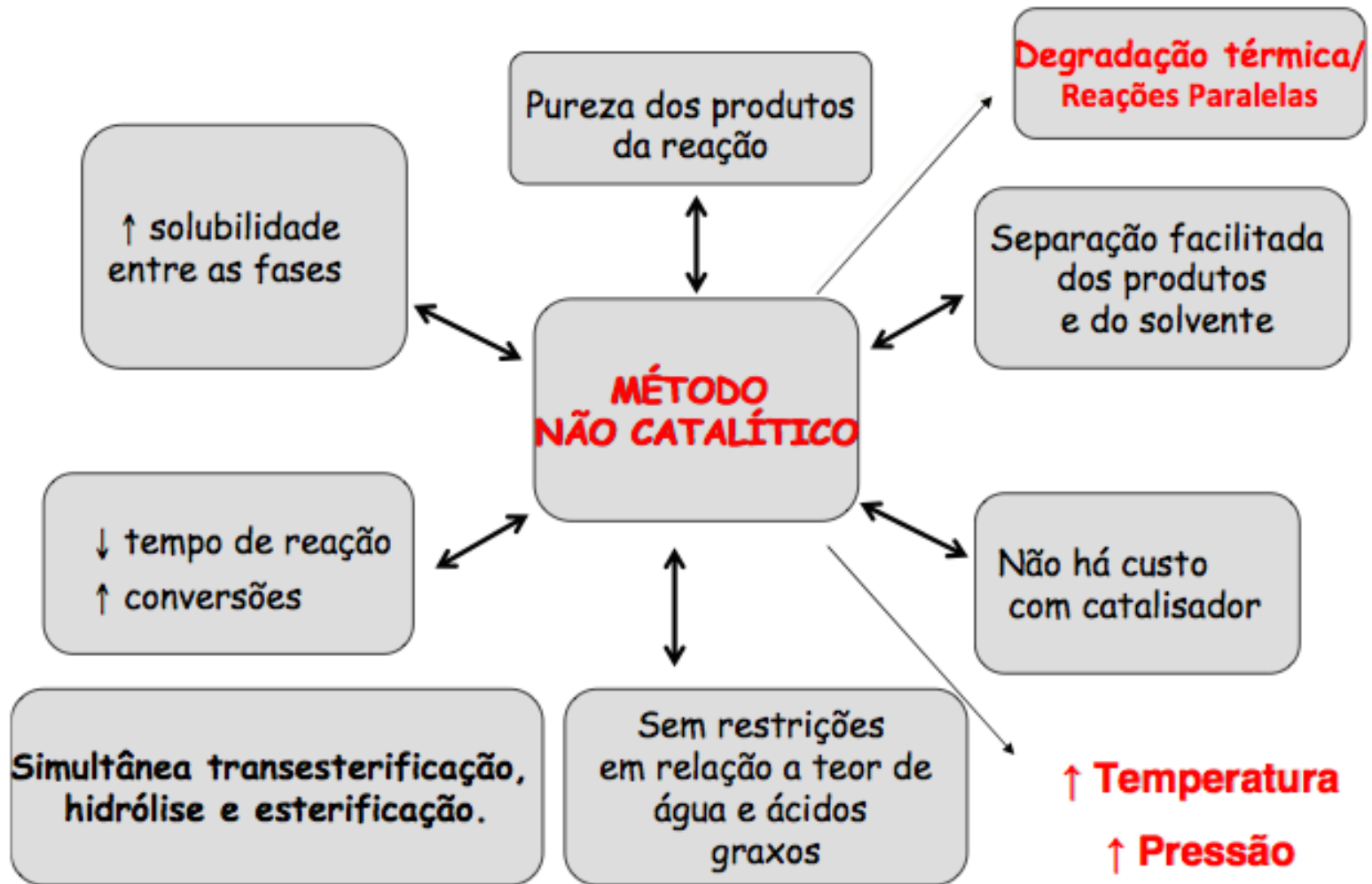
↑ Solubilidade

↓ Viscosidade ↑ Difusividade

**DIAGRAMA PT PARA UMA SUBSTÂNCIA PURA**

# PROCESSO ALTERNATIVO - NÃO CATALÍTICO

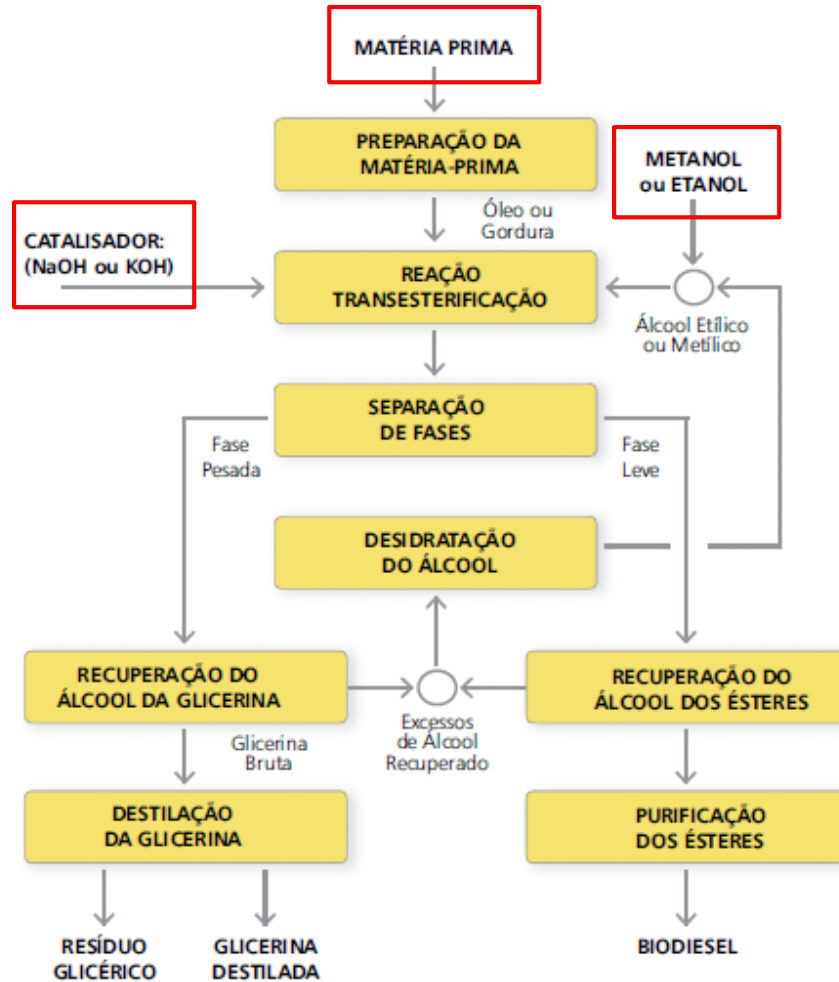
## CARACTERÍSTICAS DO MÉTODO



# BIODIESEL - ENTRAVES

Existem alguns entraves tecnológicos que dificultam a expansão da produção de biodiesel

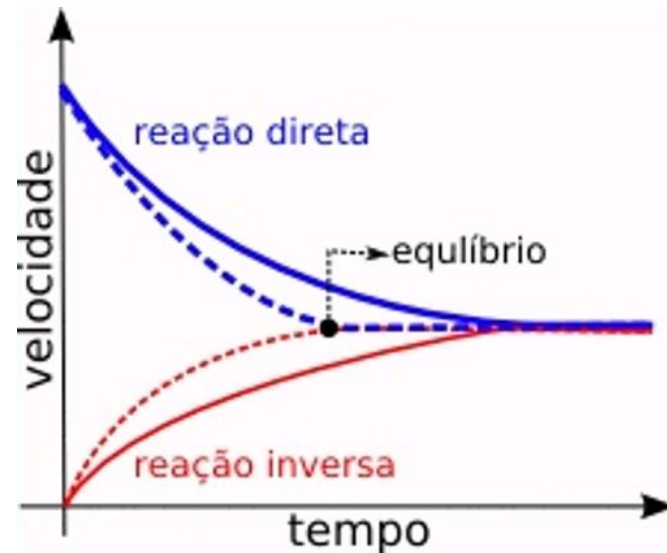
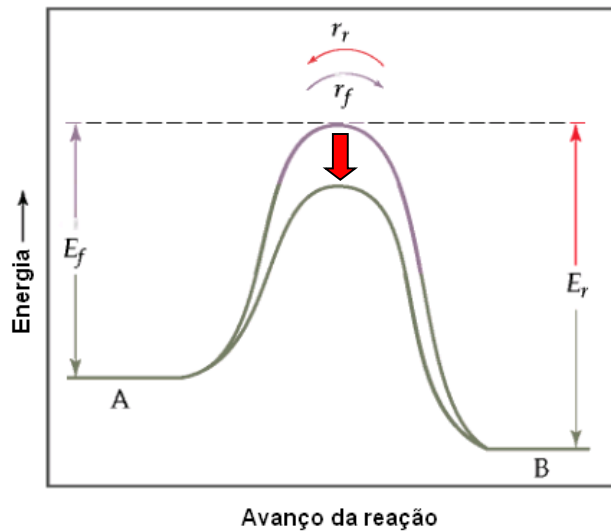
Fluxograma do Processo de Produção de Biodiesel



# CATALISADORES

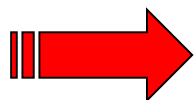
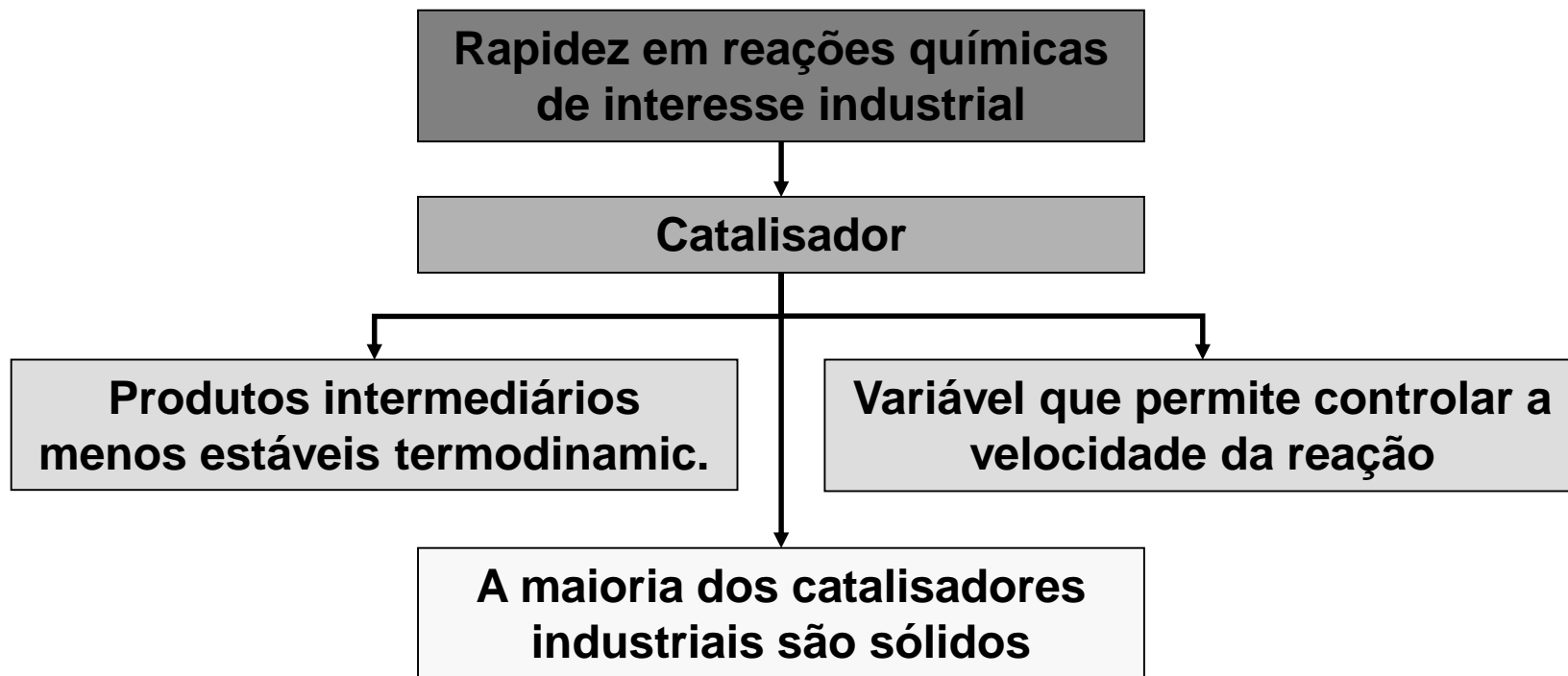
**Catalisadores:** substâncias capazes de modificar a energia de ativação de uma reação química, sem sofrer alteração química.

**Função:** tornar a reação mais veloz, promovendo um mecanismo reacional diferente sem alterar o equilíbrio químico.



# INTRODUÇÃO À CATÁLISE HETEROGÊNEA

## Importância da catálise



... atualmente existem mais de 180 tipos de catalisadores para 130 processos industriais

42% Zeólitas – 30% Óxidos – 10% Fosfatos – 10% Resinas trocadoras de íons - 0,25% Argilas – 0,20% Carbonatos – 0,20% Enzimas imobilizadas – 7,35% Outros.

# INTRODUÇÃO À CATÁLISE HETEROGÊNEA

## Definições

**Catálise** é o fenômeno em que uma quantidade relativamente pequena de um material estranho à estequiometria – o **catalisador** – aumenta a velocidade de uma reação química sem ser consumido no processo (IUPAC, 1976).



R = reagente

P = produto



RX = intermediário



X = catalisador

O catalisador intervém no mecanismo, mas é regenerado no fim de cada ciclo reacional.

**Duração ilimitada???** Na prática isso não ocorre (desativação)...



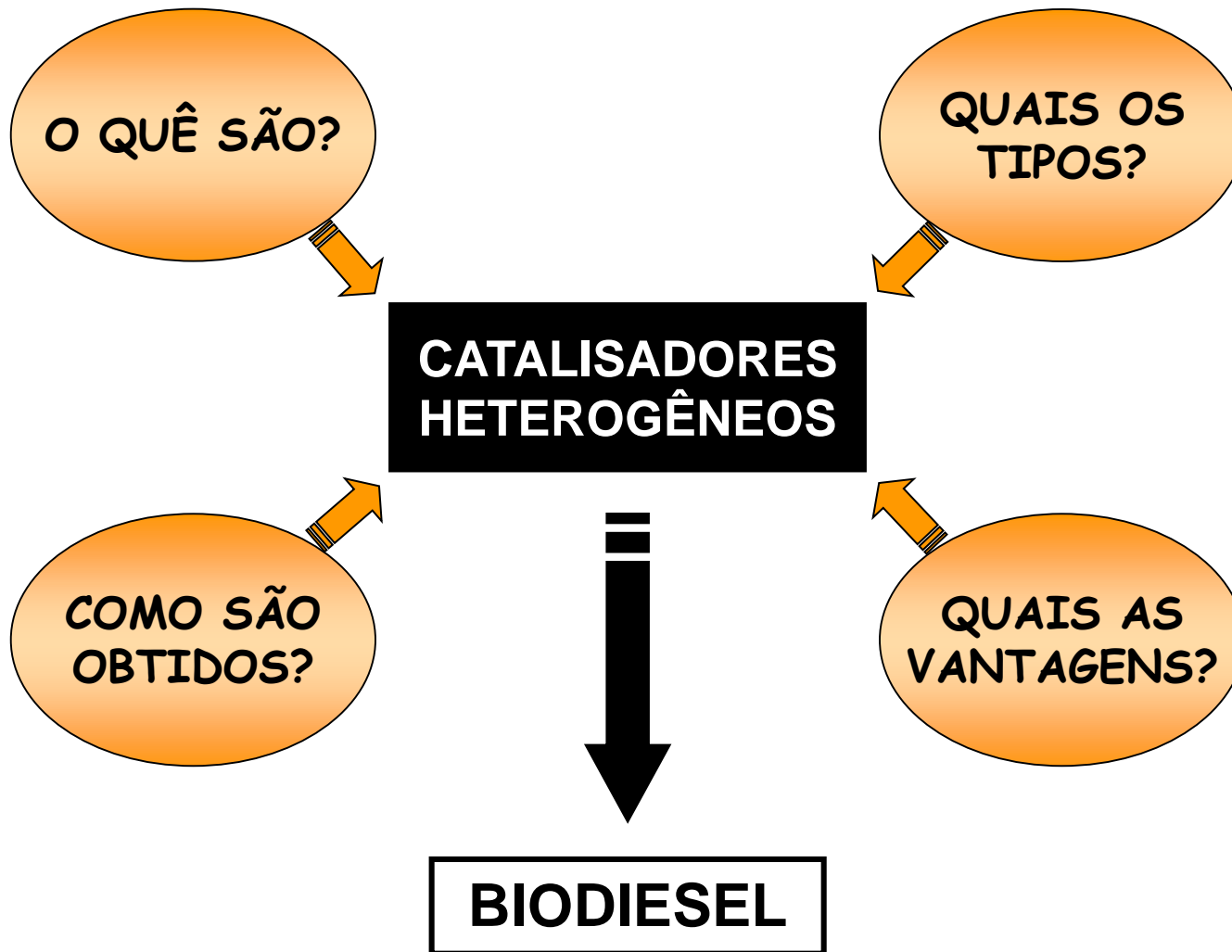
# INTRODUÇÃO À CATÁLISE HETEROGÊNEA

## Seletividade

Em geral, a partir dos mesmos reagentes haverá várias reações termodinamicamente possíveis, onde se verifica que catalisadores diferentes originam produtos diferentes. Em cada caso, o catalisador **favorece uma** entre várias reações possíveis.

TABELA 1.3 — REACÇÕES DO GÁS DE SÍNTESE (CO + H<sub>2</sub>)

Catalisador	Condições	Produtos
Ni	100-200 °C, 1-10 atm	CH <sub>4</sub> + H <sub>2</sub> O
ZnO-Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	400 °C, 500 atm	CH <sub>3</sub> OH + H <sub>2</sub> O
Co/ThO <sub>2</sub>	190 °C, 1-20 atm	CH <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> e alcanos superiores, + H <sub>2</sub> O
Fe + alcali	315 °C, 15 atm	Idem + olefinas, álcoois e ácidos
Ru	200 °C, 200 atm	Alcanos de peso molecular elevado + H <sub>2</sub> O
ThO <sub>2</sub>	400 °C, 200 atm	Alcanos de cadeia ramificada + H <sub>2</sub> O



# CATÁLISE HETEROGÊNEA

## Catalisadores heterogêneos: ácidos e básicos

- São classificados como catalisadores de Bronsted ou de Lewis (ou os dois);
- 117 processos industriais utilizam catalisadores ácidos e apenas 10 básicos / **craqueamento do petróleo**;

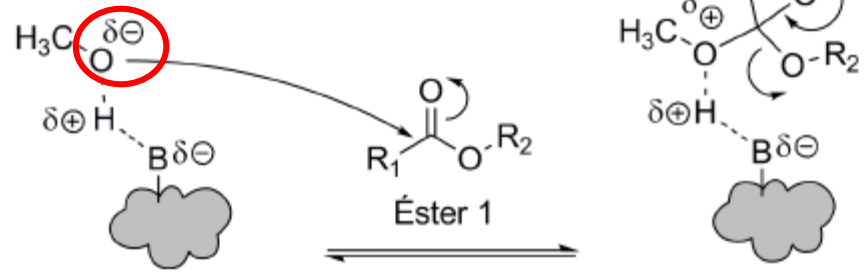
## COMO O CAT. HETEROGÊNEO ATUA NA TRANSESTERIFICAÇÃO?

Diferentes mecanismos são apresentados na literatura:

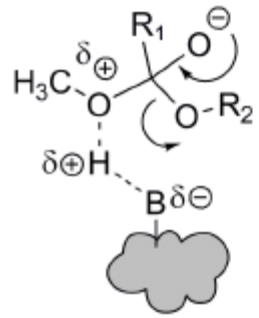
- Adsorção do álcool na superfície do catalisador (Cat. Básica);
- Adsorção do triacilglicerídeo (Cat. Ácida).

# MECANISMO - CATÁLISE HETEROGÊNEA BÁSICA

**Alcóxido Nucleófilo**



**Intermediário tetraédrico**

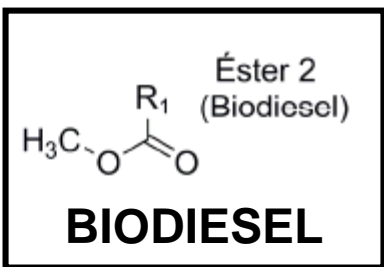
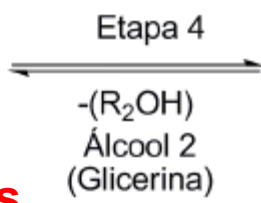
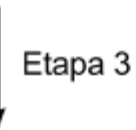
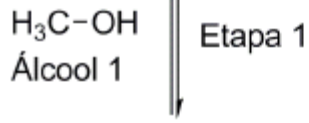


**Sítios Ativos**

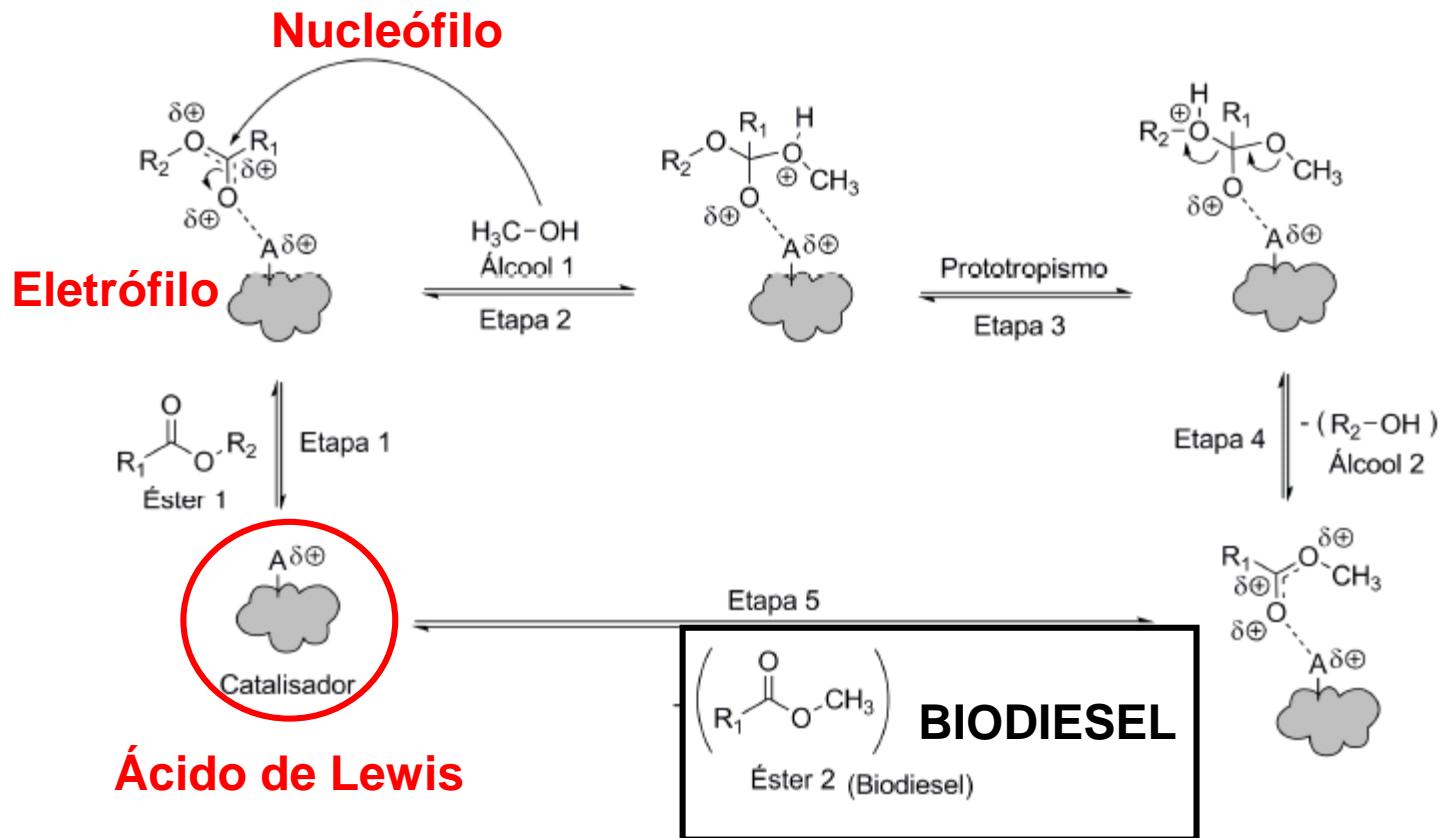


**Base de Lewis**

B: Sítio básico de Lewis na superfície do catalisador  
 R<sub>1</sub>: Grupo alquil do ácido graxo  
 R<sub>2</sub>: Ésteres alquílicos de ácidos graxos



# MECANISMO - CATÁLISE HETEROGÊNEA ÁCIDA



A: Sítio ácido de Lewis na superfície do catalisador  
R<sub>1</sub>: Grupo alquil do ácido graxo  
R<sub>2</sub>: Grupo glicerínico do triglicerídeo

# CATALISADORES HETEROGÊNEOS - VANTAGENS

- Toxicidade reduzida ou nula
- Reduz a corrosão dos reatores
- Evita a formação de sabão
- Reuso do catalisador (filtração e ativação)
- Biodiesel mais puro (dispensa lavagem)
- Glicerina mais pura
- Processo mais limpo (reduz a geração de efluentes)



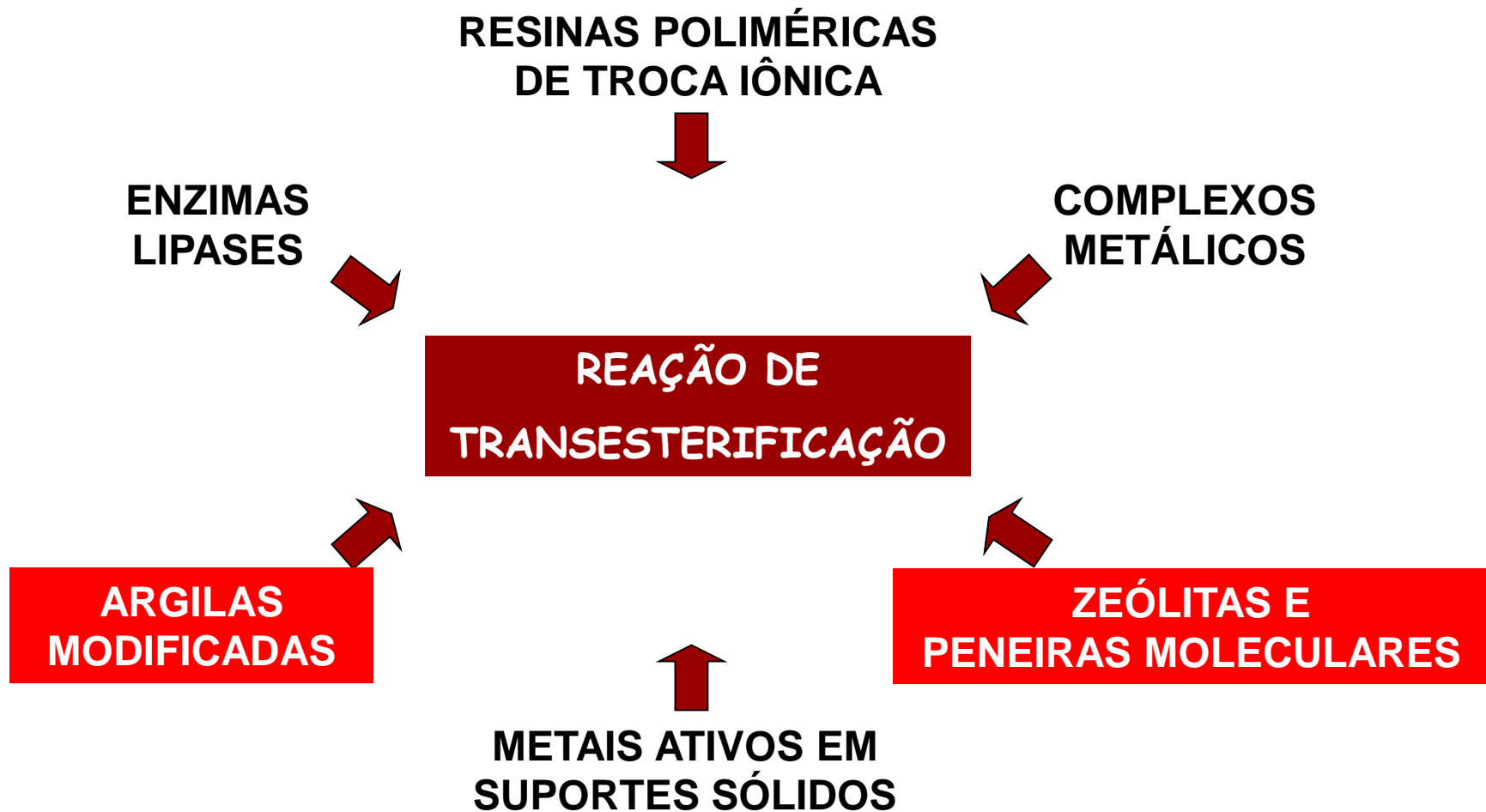
# CATALISADORES HETEROGÊNEOS - POTENCIAL

---

## O potencial catalítico depende...

- Características ácido-base da superfície
  - Quantidade, localização e disponibilidade de sítios ativos
  - Área superficial específica
  - **Porosidade (tamanho e morfologia)**
  - Estabilidade química e térmica
  - Insolubilidade no meio reacional
-

# CATALISADORES HETEROGÊNEOS - TIPOS





# DESAFIOS

## Produção de biodiesel:

- **Variações do preço das matérias primas (mercado);**
- **Uso de matérias primas de baixo custo;**
- **Matérias primas com elevada produtividade/teor lipídico;**
- **Maiores conversões em menores tempos reacionais;**
- **Desenvolvimento de catalisadores mais eficientes;**
- **Produção em grande escala (processo contínuo);**
- **Novas rotas de produção;**
- **Redução de efluentes.**

**OBRIGADO PELA ATENÇÃO!!!**

**CONTATO:**

**Prof. Dr. Helton José Alves**

Universidade Federal do Paraná – UFPR  
Setor Palotina

R. Pioneiro, 2153, Jd. Dallas,  
CEP: 85950-000, Palotina – PR  
Fone: (44) 3211-8595

**e-mail: [helquimica@gmail.com](mailto:helquimica@gmail.com)**

