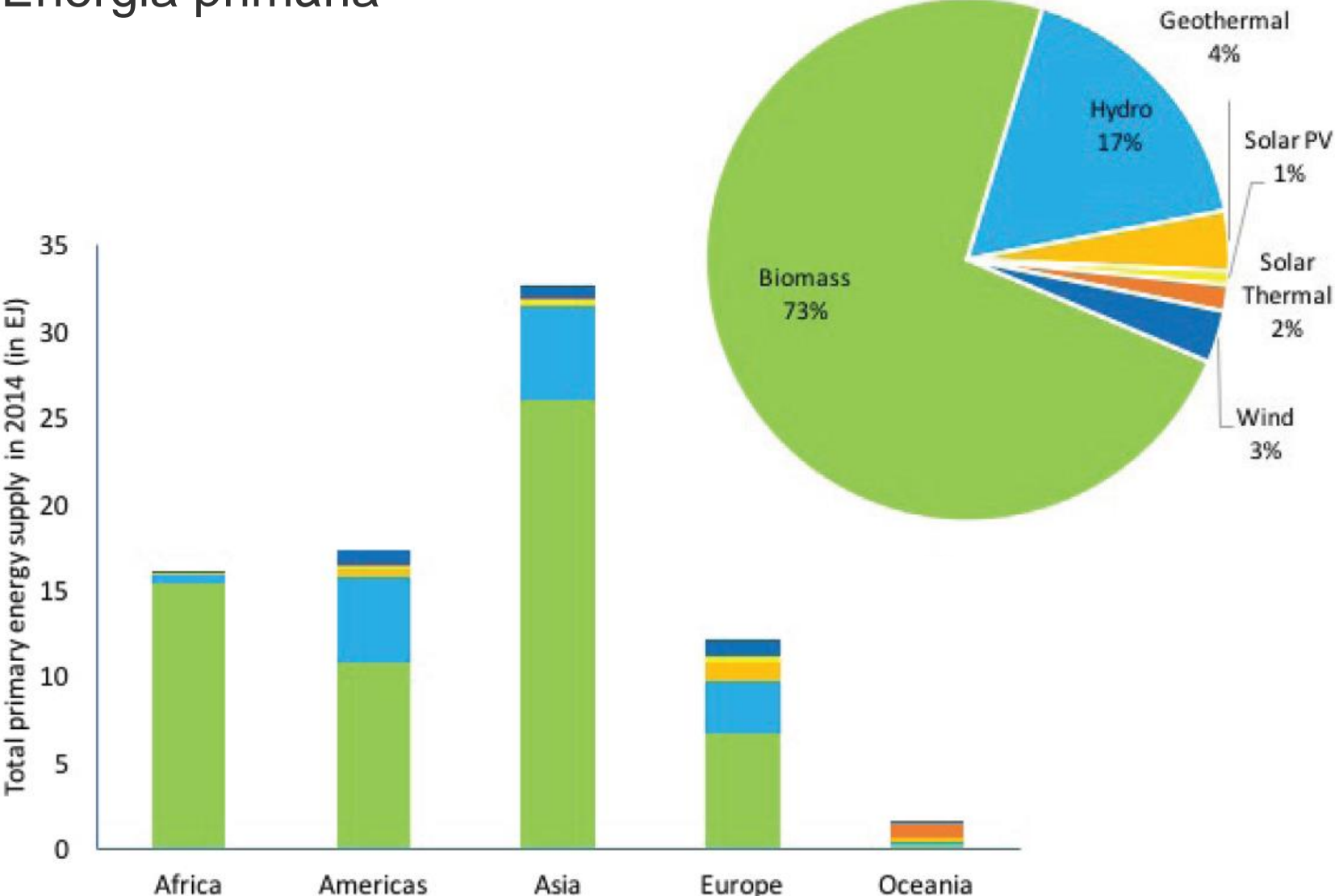


# **BIOMASSA**

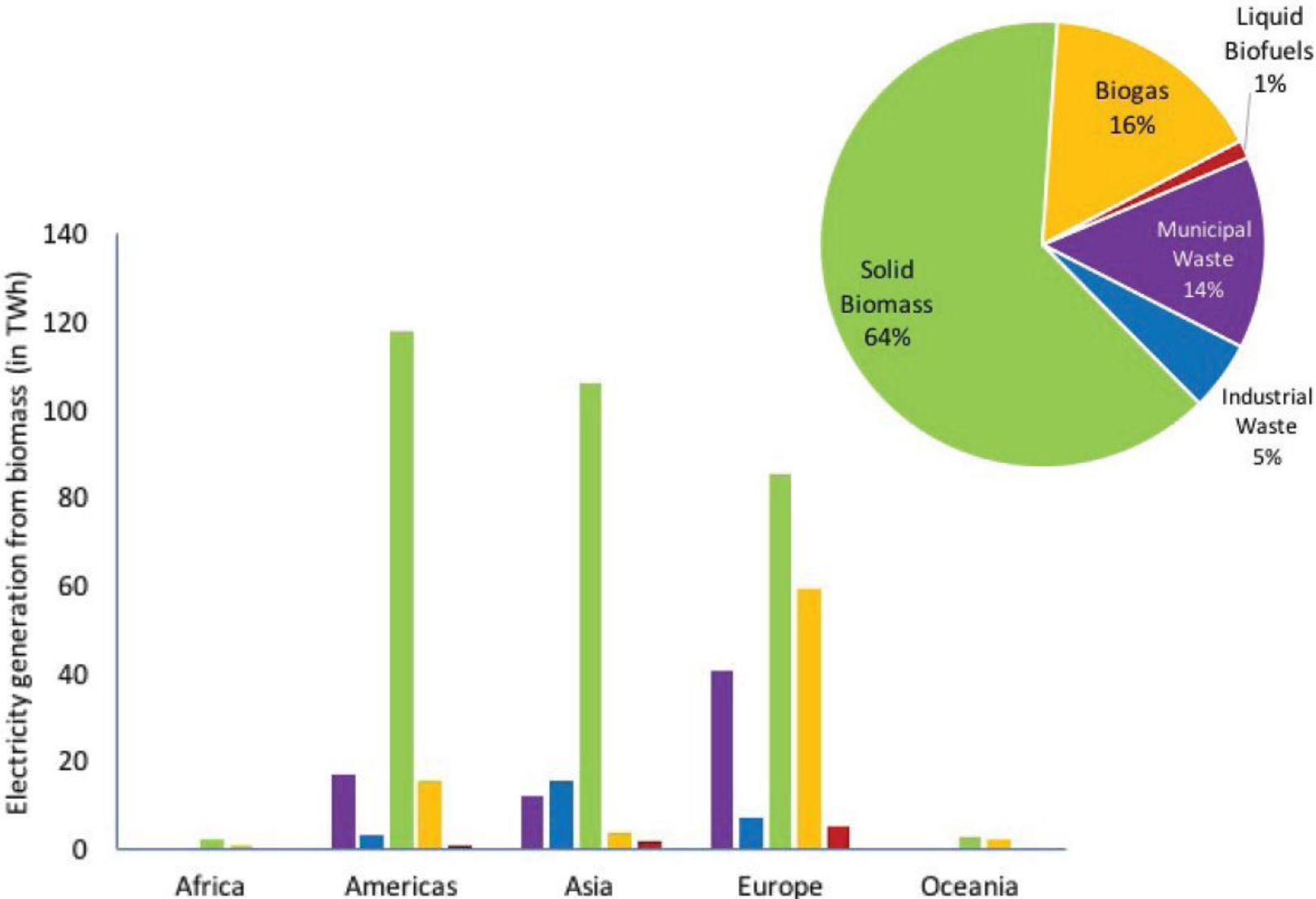
## **Energias renováveis**

Miguel Centeno Brito

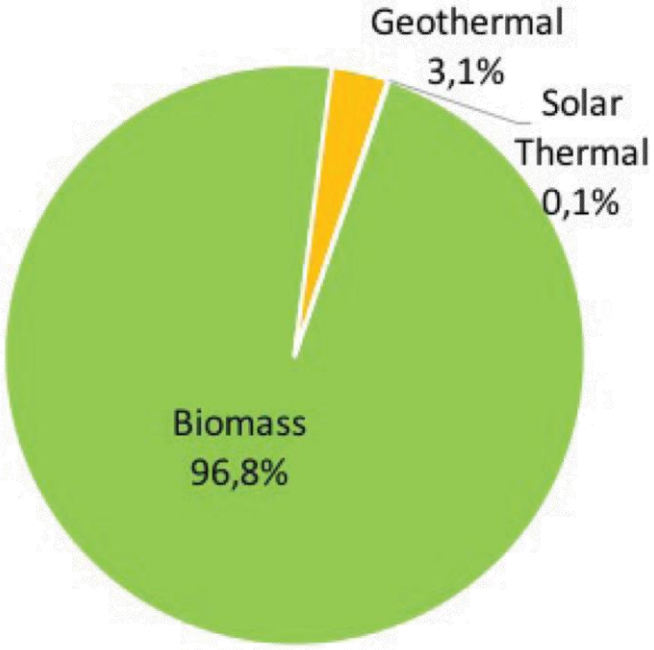
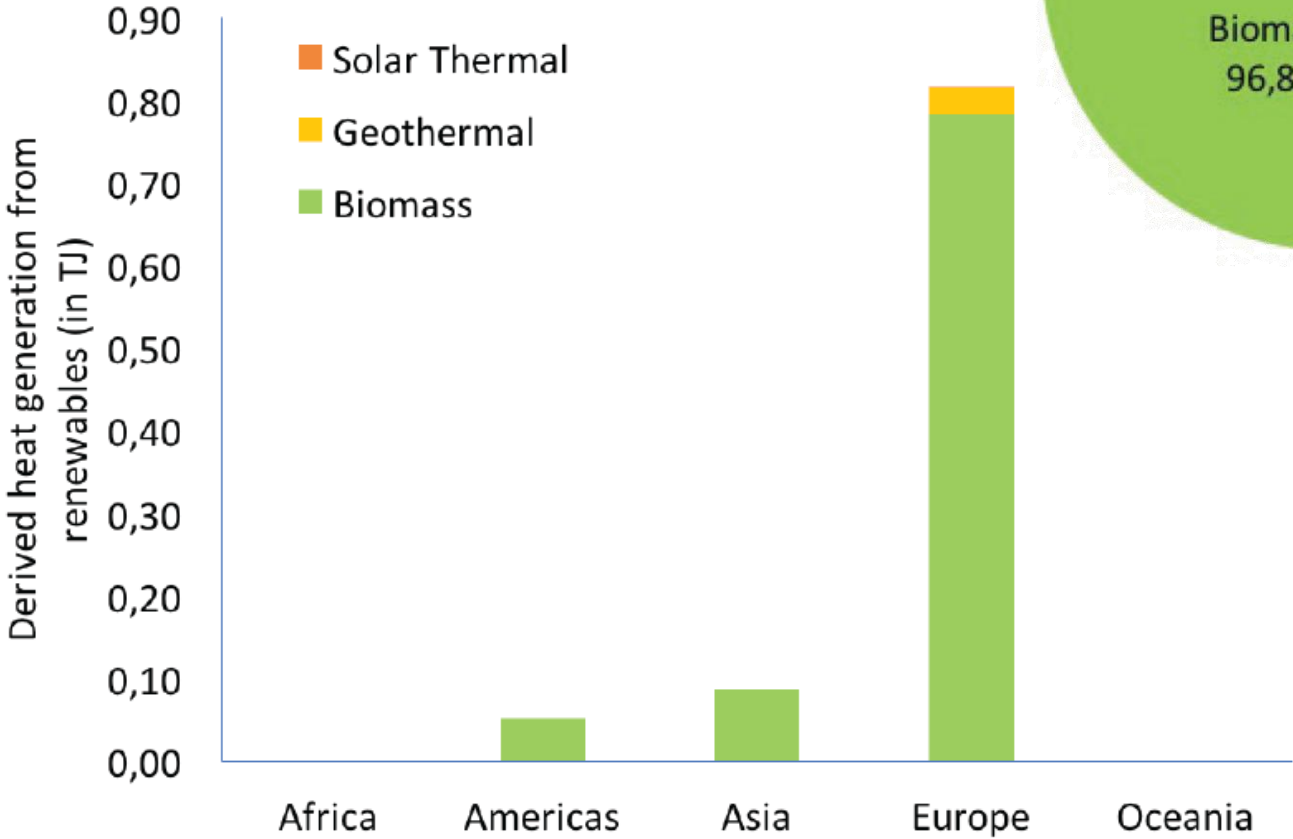
# Energia primária



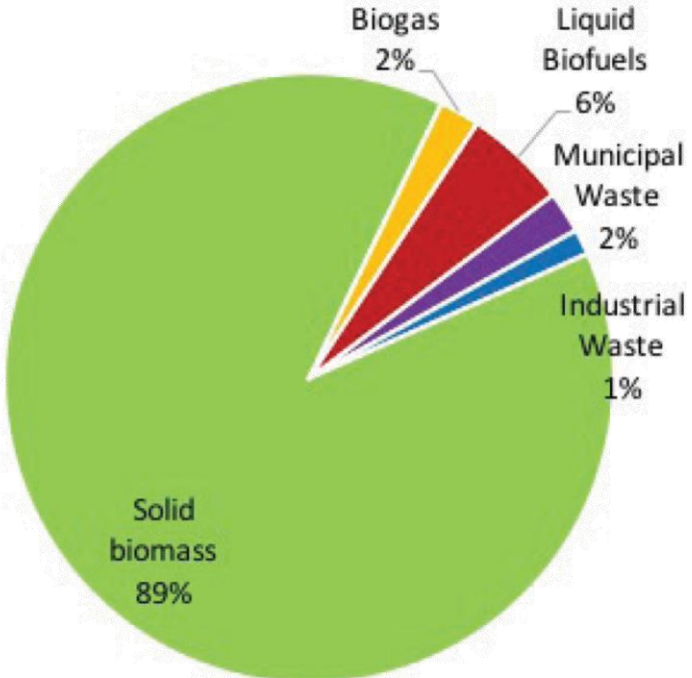
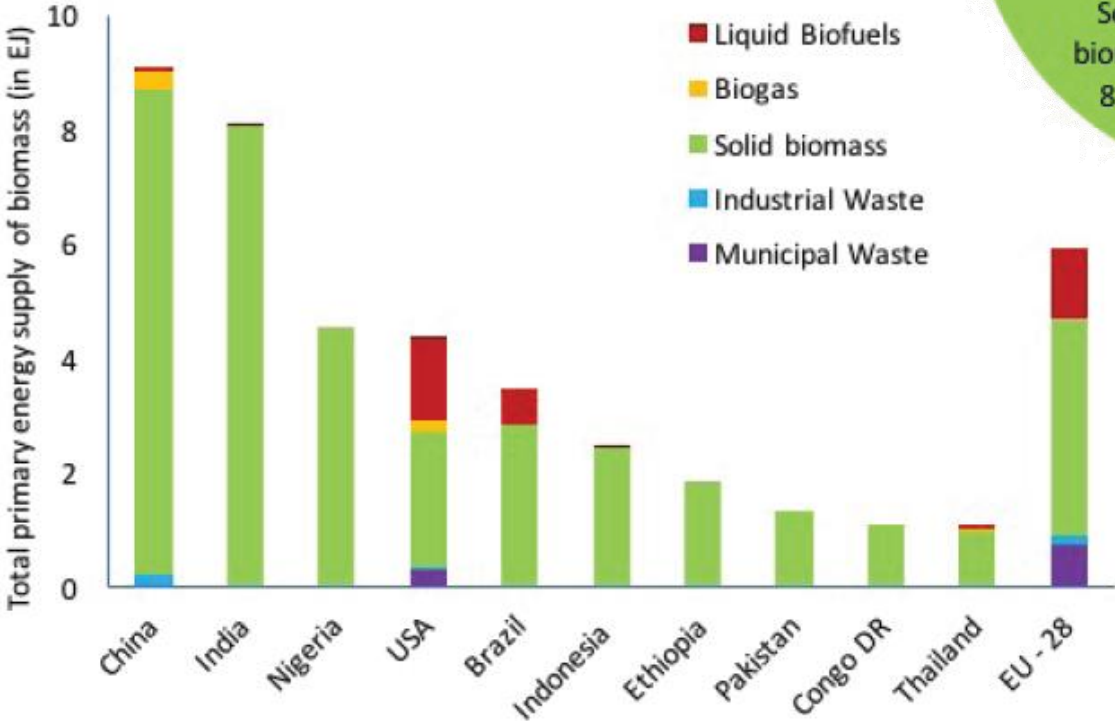
# Eletricidade a partir de biomassa



# Calor de origem renovável

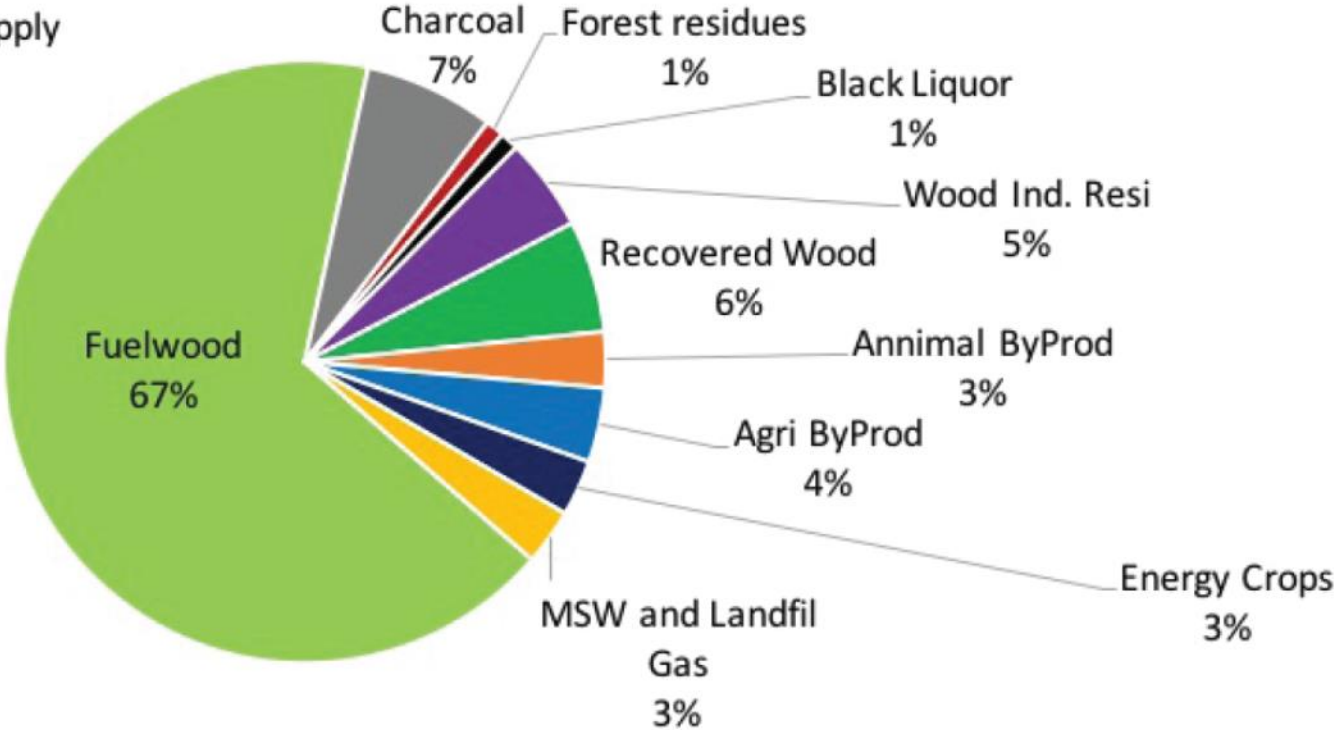


# Recurso (2014)



# Recurso (2014)

Biomass Supply  
- 59.2 EJ



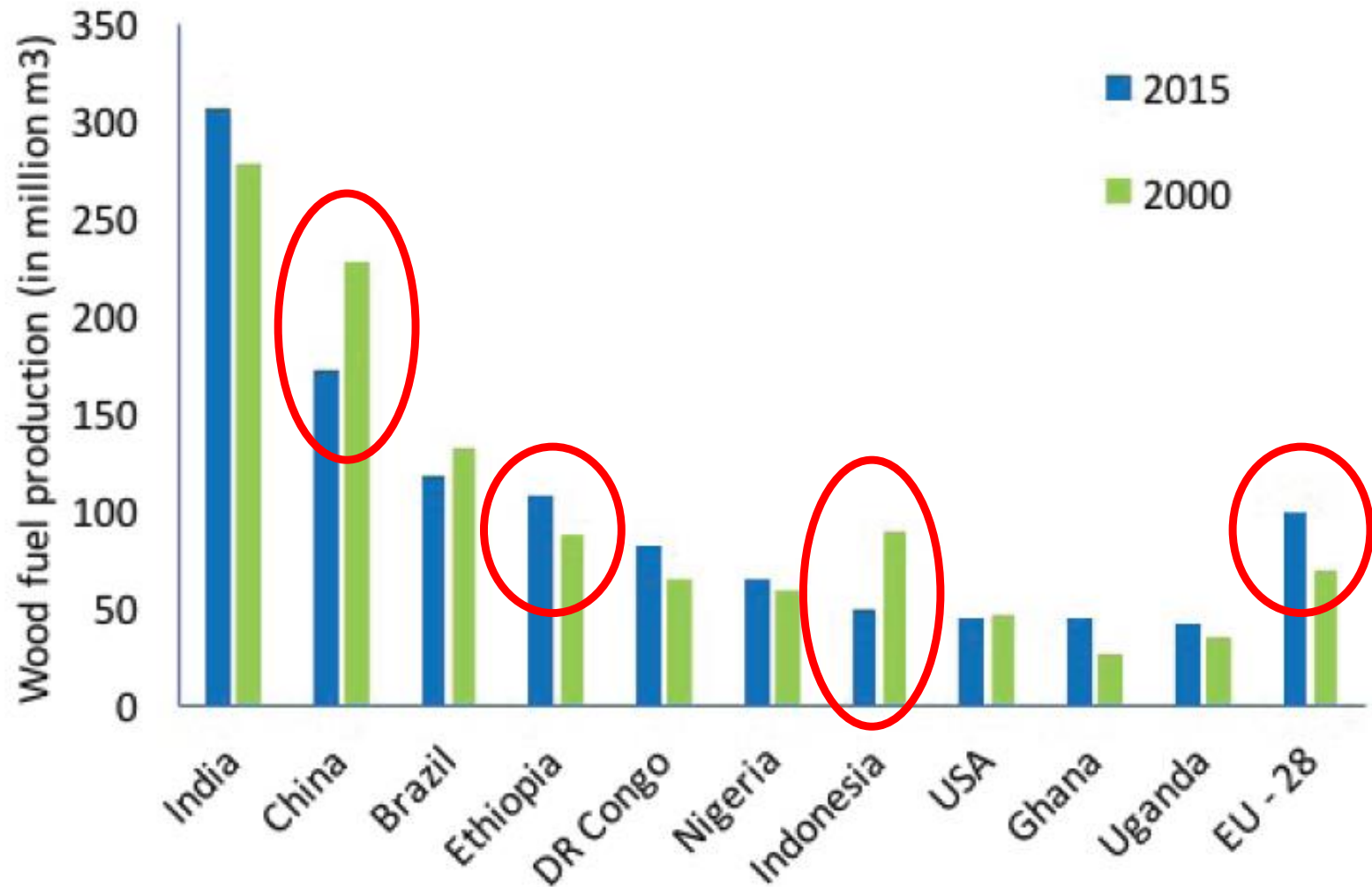
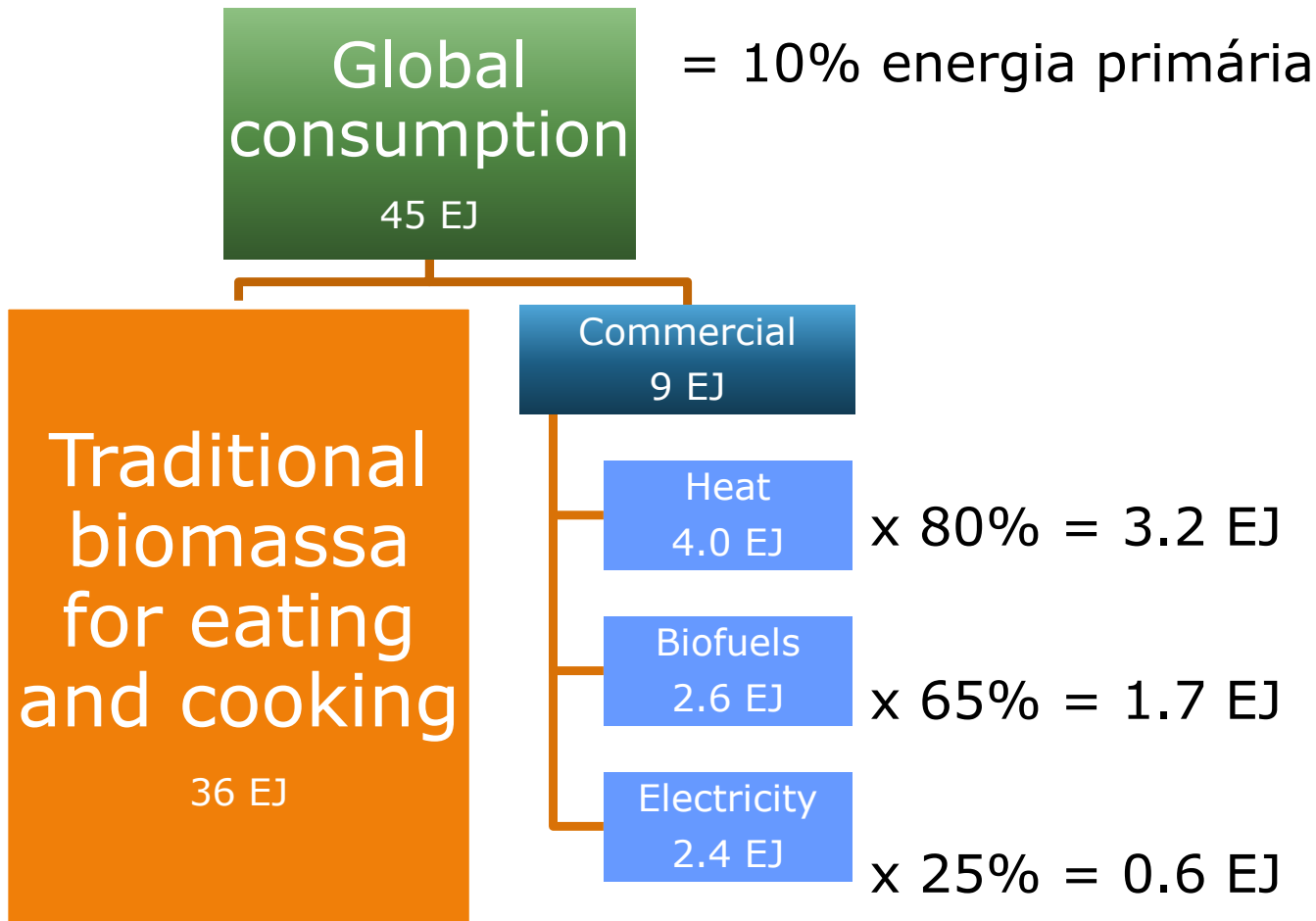


Figure 36 Wood fuel production in top 10 countries in 2015

## Uso global de biomassa





## Biomassa

- Pode ser **armazenada**
- Emprego e recursos rurais – **desenvolvimento rural**
- Pode ser mais **limpo** do que carvão
- Pode ser irrigada e fertilizada por **resíduos** de animais e agrícolas, esgotos e lamas
- Pode ser cultivada valorizando a **paisagem** e os **solos**

## Biomassa

- Requer uma grande **área**  
eficiência fotossíntese 1%, e outras perdas quando biomassa convertida em outras formas de energia
- Compete com agricultura (*food vs fuel*)
- **Complexo** de iniciar e gerir
- Projectos desenvolvidos para as condições biofísicas e socio-económicas do local – **não há receita universal!**

## **Biomassa**

Comparando com o **carvão**

### Valor calorífico

- palha, cana açúcar: 14 GJ/ton
- lenha seca: 18-20 GJ/ton
- carvão: 28-31GJ/ton

Maior massa e  
mais caro de transportar  
(em energia e em €uros)  
do que o carvão!

## Produção calor por queima biomassa

$1.5 \times 10^7$  J/kg

para matéria seca



Mas só 10% é matéria seca!

Para **secagem** (9kg/kg) precisamos de  $2.2 \times 10^7$  J

**Saldo:**  $-0.7 \times 10^7$  J/kg, a não ser que se seque com **energia solar**.

## Categorias de recursos para biomassa

1

- Biomassa cultivada em terras redundantes à medida que aumenta a produtividade agrícola

2

- Biomassa cultivada em zonas desflorestadas mas que podem ser reflorestadas

3

- Resíduos agrícolas (primários, se directamente do campo; secundário, se durante processamento)

4

- Resíduos florestais (primários e secundários)

5

- Resíduos pecuária

6

- Resíduos orgânicos (e.g. resíduos sólidos urbanos)

7

- Biomateriais

## Tipos de culturas energéticas

- Anuais

Culturas ricas em amido (milho, trigo, batatas)  
usadas para produzir etanol

Culturas ricas em açúcar (cana açúcar, beterraba)  
usadas para produzir etanol

Culturas ricas em óleo (coco, palma, girassol)  
usadas para produzir biodiesel

Cana açucar



# Cana açúcar





Cana açúcar





Óleo de palma



## Tipos de culturas energéticas

- Anuais
- Perénes (ervas)

*Switchgrass (Panicum virgatum)*

nativa da América do Norte

*Miscanthus*

nativa da África tropical e Ásia temperada

Capim de Napier (*Pennisetum purpureum*)

nativa da África tropical

*Jatropha curcas*

venenosa, nativa da América central e usada na Índia

## Switchgrass (*Panicum virgatum*)





Miscanthus sinensis



Napier grass

## *Jatropha*: antes e depois (India)



Howarth (2009, *Biofuels: Environmental Consequences and Interactions with Changing Land Use*, SCOPE); Fairless (2007, *Nature*, vol 449, pp652–655)

## Tipos de culturas energéticas

- Anuais
- Perénes (ervas)
- Lenhosas (árvores)

*Salgueiro*

*Choupo*

*Acácia*

*Pinheiro*

*Eucalipto*



# Plantação de acácia (5 anos)









## Produtividade culturas bioenergéticas

|                          |                 |
|--------------------------|-----------------|
| Girassol                 | 1.5 ton/ha/yr   |
| Milho                    | 4 ton/ha/yr     |
| Cana açúcar ou beterraba | 60 ton/ha/yr    |
| Jatropha                 | 10-15 ton/ha/yr |
| Miscanthus               | 10-15 ton/ha/yr |
| Switchgrass              | 10-25 ton/ha/yr |
| Capim Napier             | 30 ton/ha/yr    |
| Pinheiro                 | 4-5 ton/ha/yr   |
| Salgueiro                | 10-20 ton/ha/yr |
| Eucalipto                | 10-50 ton/ha/yr |

## Resíduos agrícolas

Uma variedade de resíduos (**talos, cascas, folhas**) de uma grande variedade de culturas (coco, milho, algodão, amendoim, leguminosas, arroz, cana de açúcar) são produzidos e utilizados para uso doméstico de energia em áreas rurais dos países em desenvolvimento.

Palha é utilizada para queima (*co-fired*) com carvão (DK).

Bagaçó de cana (fibra que resulta) do processamento para produção de açúcar.



## Resíduos florestais

**Primários** (deixados no campo)

Desbaste de platações e/ou corte de árvores derrubadas

**Secundários** (produzidos durante o processamento)

Serraduras e restos de madeira na produção de madeiras comerciáveis, cascas da produção de celulose para papel.



## Processos para extracção de energia da biomassa

Combustão directa

Gasificação termo-química (800°C sob pressão)

Pirólisis (300-500°C na ausência de ar)

Digestão anaérobica

Fermentação da biomassa na lenhosa

Hidrólise e fermentação da biomassa lenhosa

Transesterificação de óleos vegetais

Gasificação e produção catalítica de líquidos

Gasificação para produção de hidrogénio

# Processos para extracção de energia da biomassa

## Combustão directa

Eficiência típica de um fogão: **10-20%**

Fogão melhorado: **30%**

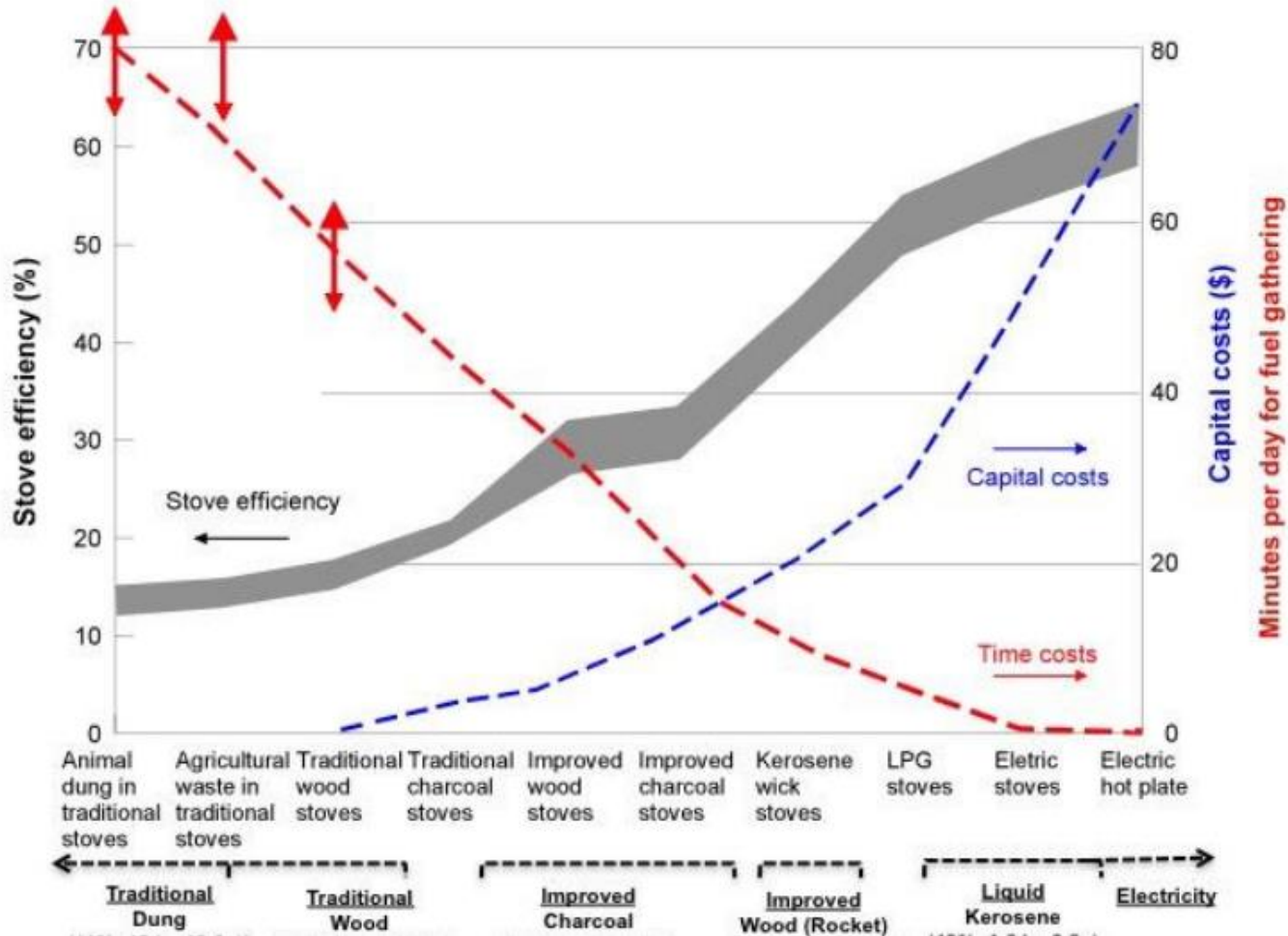
(**45-60%** com combustíveis gasosos)



- (a) Three-stone fire with metal grate.
- (b) Ceramic-lined woodstoves (from left to right): the Upesi, the Kuni Mbili, and the Lira.
- (c) Charcoal stoves (from left to right): the Kenyan ceramic Jiko (KCJ), a single-walled metal stove, and a double-walled metal stove (Loketo).

# Processos para extracção de energia da biomassa

## Combustão directa





# Processos para extracção de energia da biomassa

## Combustão directa

Aquecimento com *pellets* na Europa Central,  
e.g. *district heating* na Suécia e costa atlântica do Canada.

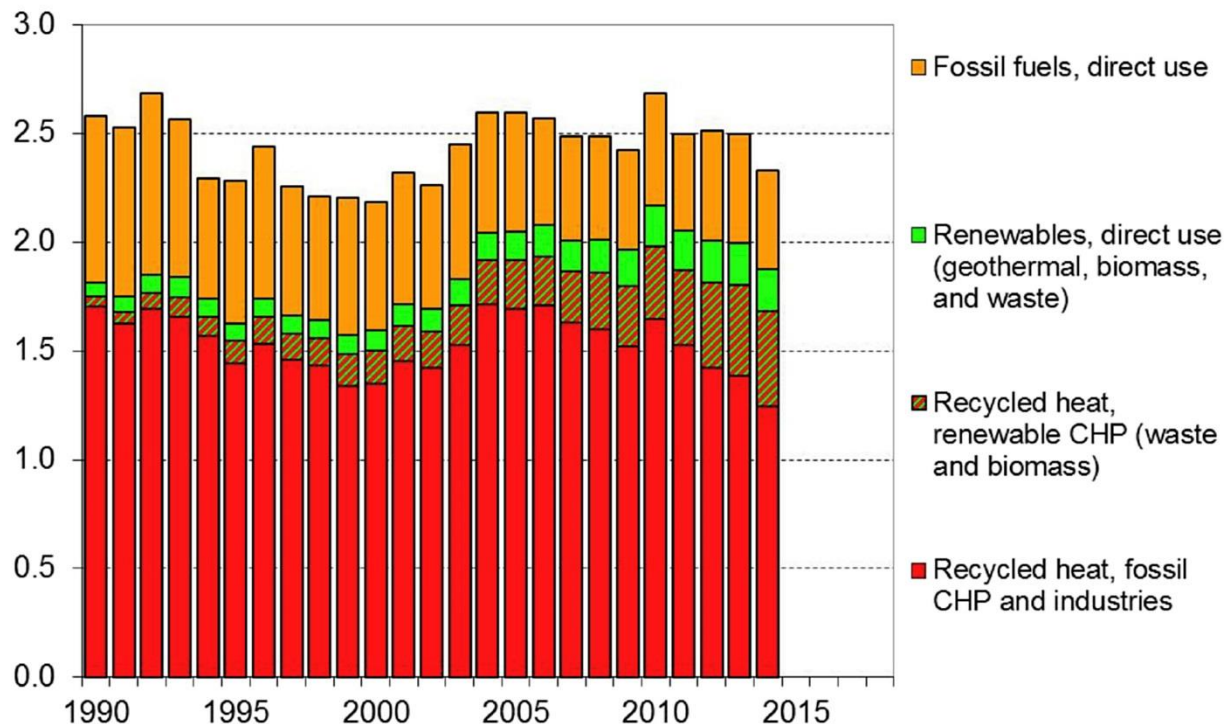


Atenção às cinzas (sílica não combustível na biomassa),  
K e Ca, que pode causar aglomeração nas caldeiras.

# Processos para extracção de energia da biomassa

## Combustão directa

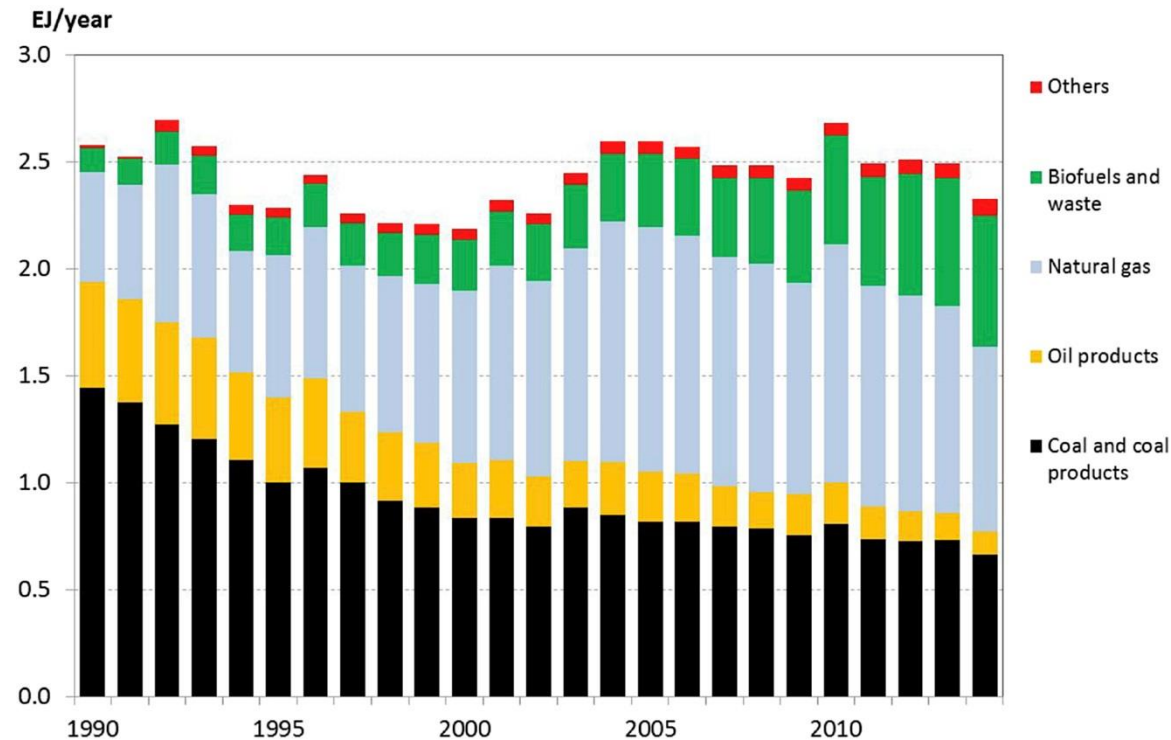
EJ/year



Heat supplied into all district heating systems in the current European Union 1990–2014 according to **four different heat supply methods**.

# Processos para extracção de energia da biomassa

## Combustão directa



Heat supplied into all district heating systems in the current European Union 1990–2014 according to **original energy supply sources** used.

## Processos para extracção de energia da biomassa

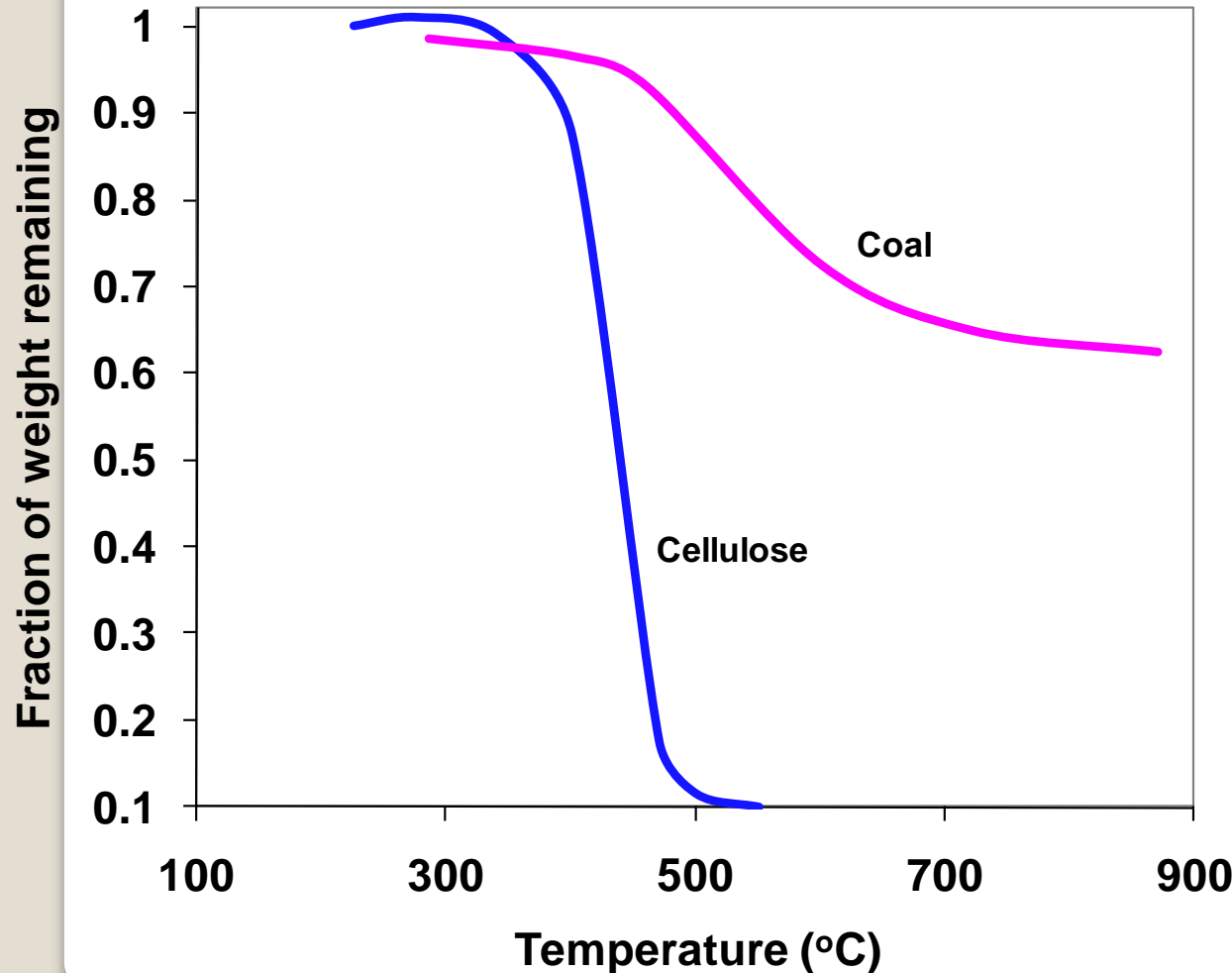
### Gasificação termo-química (800°C sob pressão)

Processo dois passos:

- a) Pirólise** aquecimento biomassa até 300-500°C quase na ausência de ar para remoção dos voláteis;
- b) Gasificação** do material sólido restante (*char*) a 850-900°C com vapor, produzindo CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> (e CO<sub>2</sub>), que podem ser utilizados para produzir calor e/ou electricidade, ou sintetizar combustíveis líquidos.

# Processos para extracção de energia da biomassa

Gasificação termo-química (800°C sob pressão)



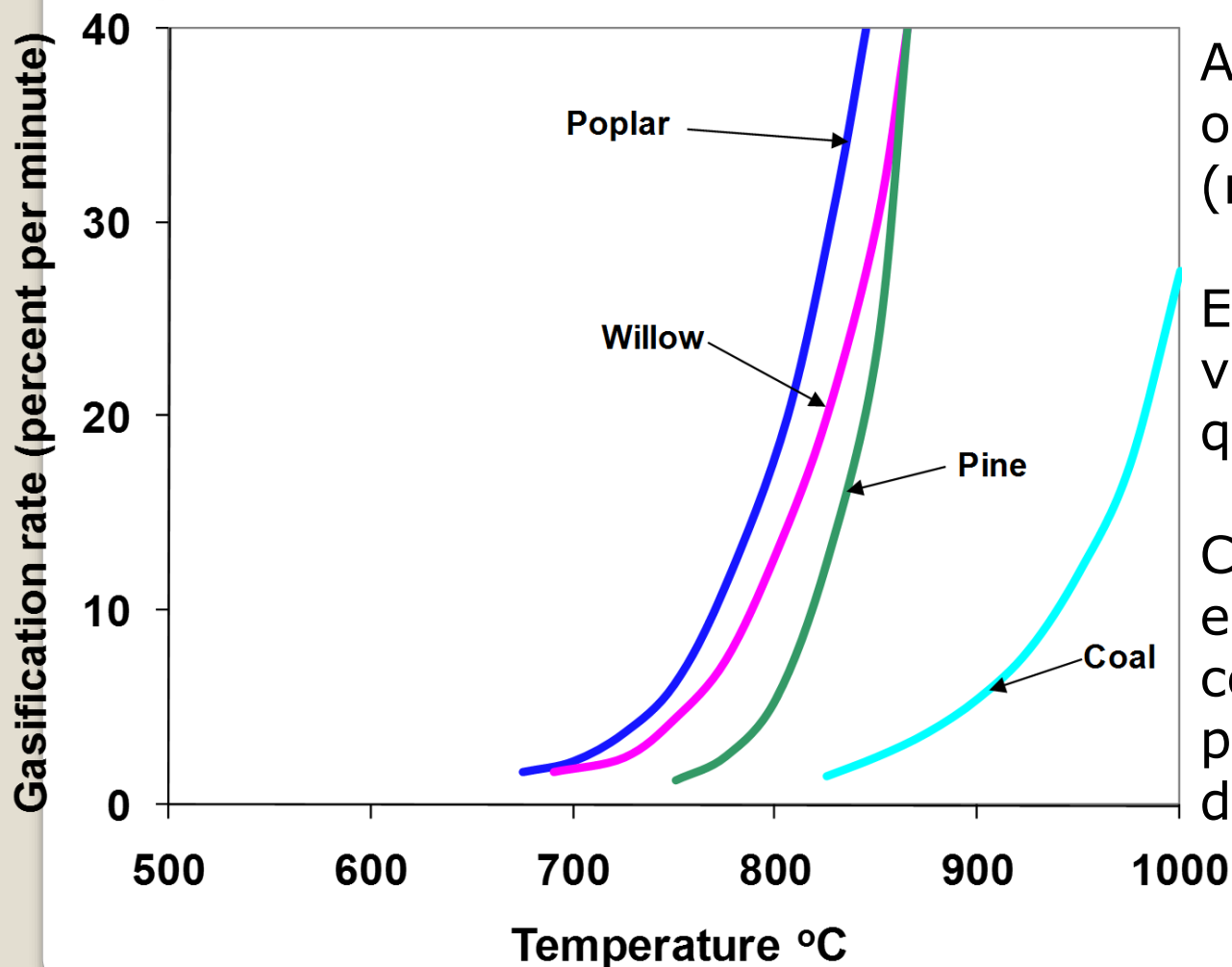
A pirólise da biomassa ocorre mais cedo (menor T).

E tem uma fracção volátil (90%) maior do que o carvão (40%).

Cerca de 2/3 da energia está na componente volátil pelo que os gases devem ser capturados.

## Processos para extracção de energia da biomassa

Gasificação termo-química (800°C sob pressão)



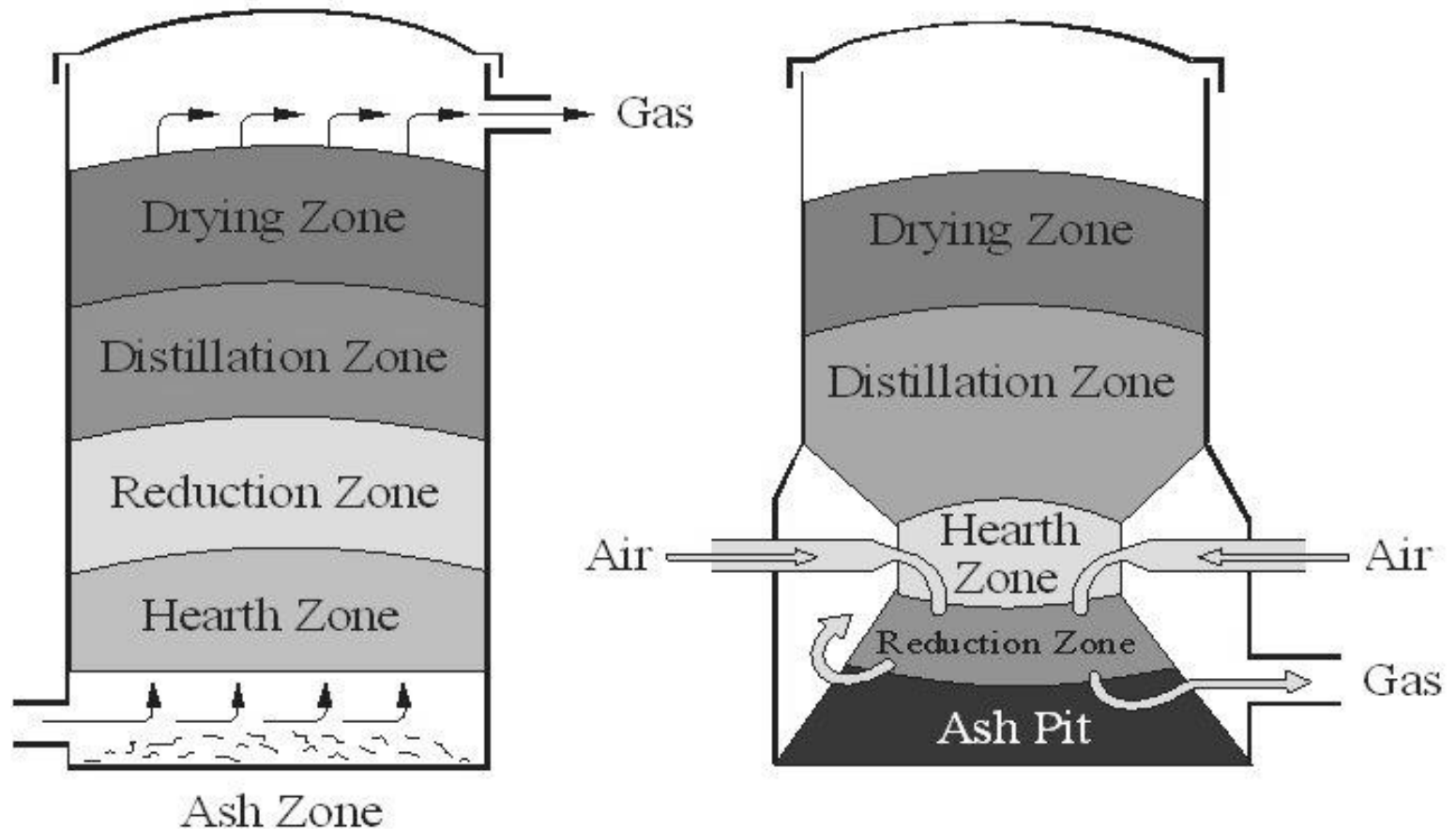
A pirólise da biomassa ocorre mais cedo (menor T).

E tem uma fracção volátil (90%) maior do que o carvão (40%).

Cerca de 2/3 da energia está na componente volátil pelo que os gases devem ser capturados.

# Processos para extracção de energia da biomassa

Gasificação termo-química (800°C sob pressão)



## Processos para extracção de energia da biomassa

Gasificação biológica (digestão anaeróbica)

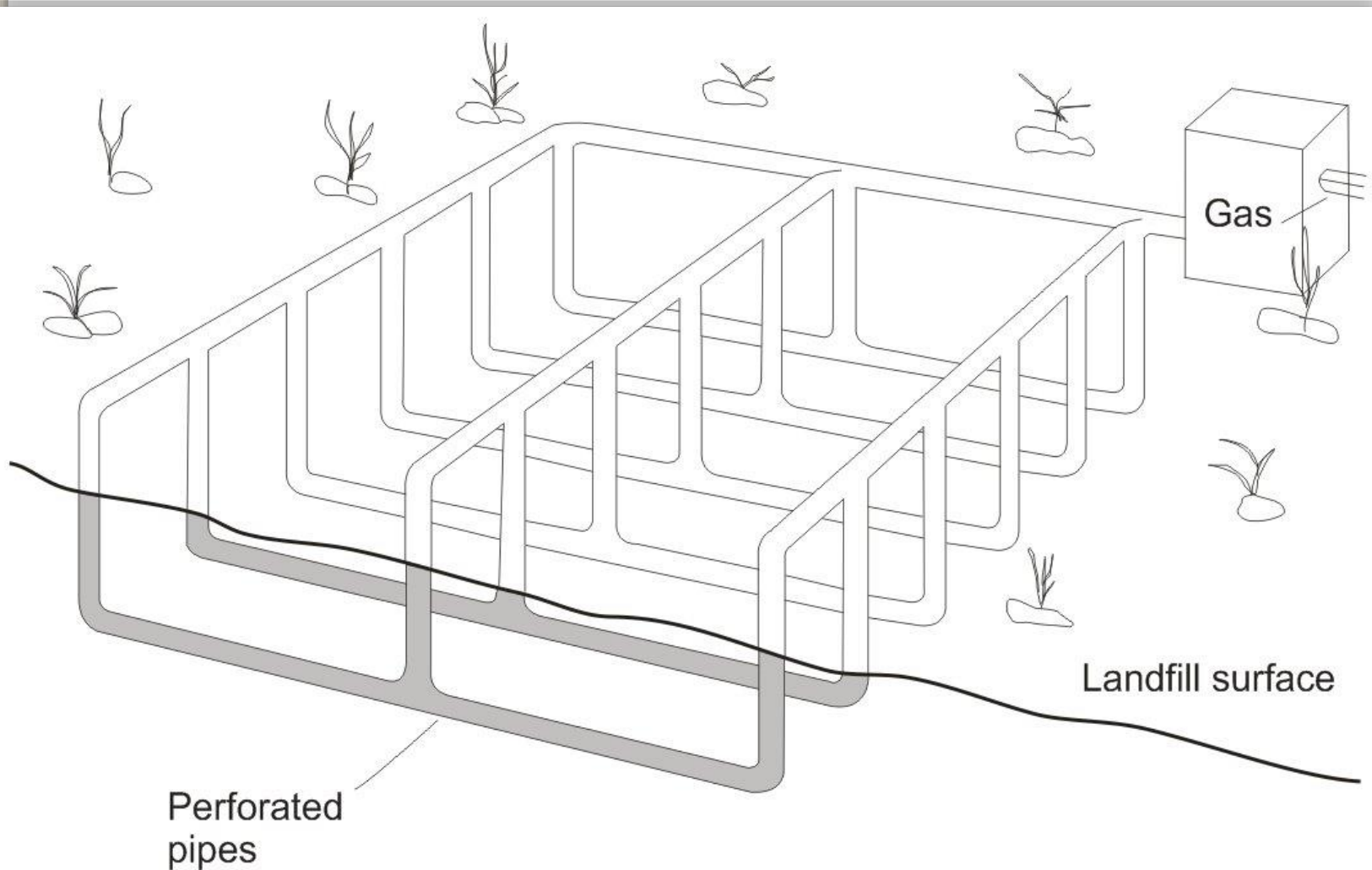
Em **aterros** sanitários.

Resíduos orgânicos entre camadas de barros, que captura metano libertado pela decomposição anaeróbica.



# Processos para extracção de energia da biomassa

## Gasificação biológica (digestão anaeróbica)



## Processos para extracção de energia da biomassa

### Gasificação biológica (digestão anaeróbica)

Em **aterros** sanitários.

Resíduos orgânicos entre camadas de barros, que captura metano libertado pela decomposição anaeróbica.

Eficiência (valor calorífico do CH<sub>4</sub> extraído/matéria orgânica) é apenas 20% embora, em digestores dedicados se consiga alcançar 50-55%.

# Processos para extracção de energia da biomassa

## Gasificação biológica (digestão anaeróbica)

A partir de resíduos **pecuária** e **esgotos**.

Produção de biogás:

200-400 m<sup>3</sup>/ton

50-75% CH<sub>4</sub>

4-10 GJ/ton

(Eficiências típicas: 10-15%; máxima 60%)

Resíduos do processo: azoto concentrado, pode ser utilizado como fertilizante.

# Processos para extracção de energia da biomassa

## Gasificação biológica (digestão anaeróbica)

A partir de resíduos **pecuária** e **esgotos**.

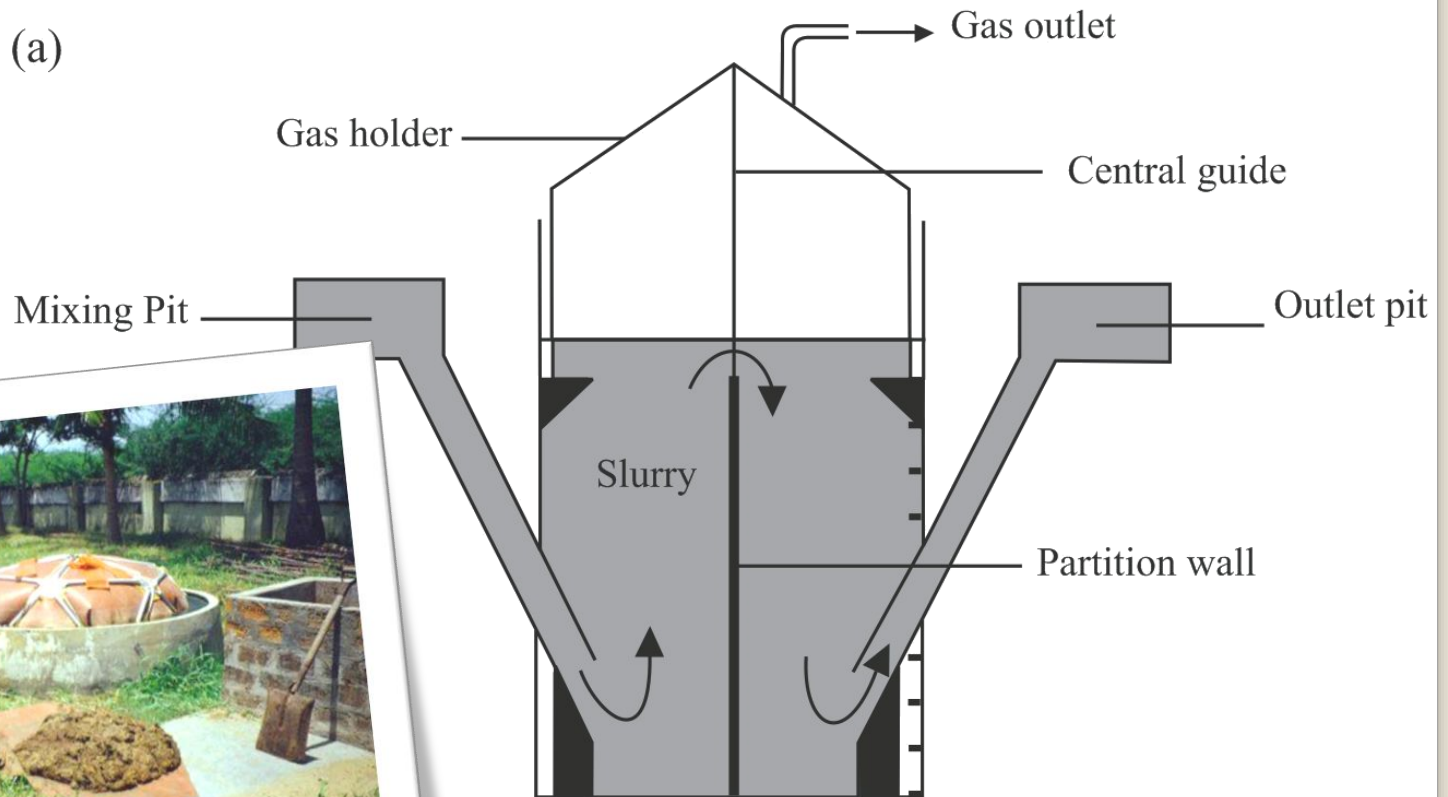
- ❑  $5 \times 10^6$  digestores de esterco de gado na China
- ❑  $25 \times 10^6$  habitações na China e Índia usam biogás de digestores para iluminação e cozinha
- ❑ 500 digestores de grandes suiniculturas
- ❑ 24000 digestores em centrais de processamento de esgotos
- ❑ 5000 digestores nos países industrializados, em pecuárias e centrais de esgotos

# Processos para extracção de energia da biomassa

## Gasificação biológica (digestão anaeróbica)

A partir de resíduos **pecuária** e **esgotos**.

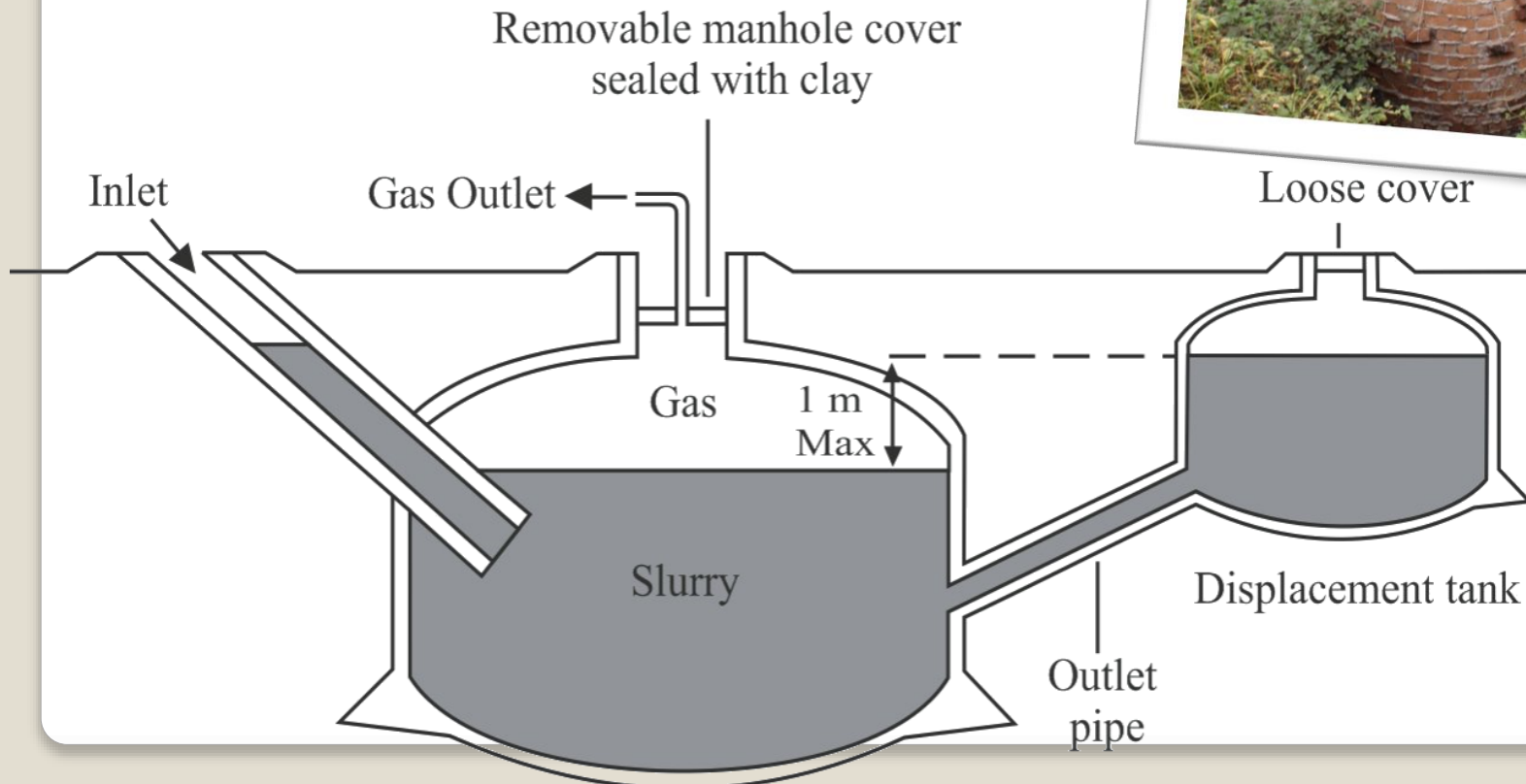
(a)



# Processos para extracção de energia da biomassa

## Gasificação biológica (digestão anaeróbica)

A partir de resíduos **pecuária** e **esgotos**



# Processos para extracção de energia da biomassa

## Gasificação biológica (digestão anaeróbica)

A partir de resíduos **pecuária** e **esgotos**.

Na Dinamarca, um dos principais países industrializados no sector, 20 centrais e 35 digestores em pecuárias aproveitam 3% dos resíduos produzidos no país.



50% do estrume disponível = óleo para aquecimento +  
+ carvão para electricidade

# Processos para extracção de energia da biomassa

## Gasificação biológica (digestão anaeróbica)

|                    | <b>Gás natural</b> | <b>Biogás</b> |
|--------------------|--------------------|---------------|
| CH4                | 87.6               | 5.0           |
| Outros HC          | 10.9               | -             |
| CO2                | 1.2                | 12.0          |
| H2O                | -                  | 16.0          |
| H2                 | -                  | 11.0          |
| N2                 | 0.3                | 44.0          |
| <b>LHW (MJ/kg)</b> | <b>47.62</b>       | <b>4.4</b>    |





# Processos para extracção de energia da biomassa

## Produção de etanol por fermentação de biomassa

A partir cana de açúcar.

Ou de amidos (milho, batata, etc.) que também podem ser utilizados mas requerem pré-tratamento:

- moagem húmida (em água)
- moagem seca

Mas o que era bom era usar **celulose!**

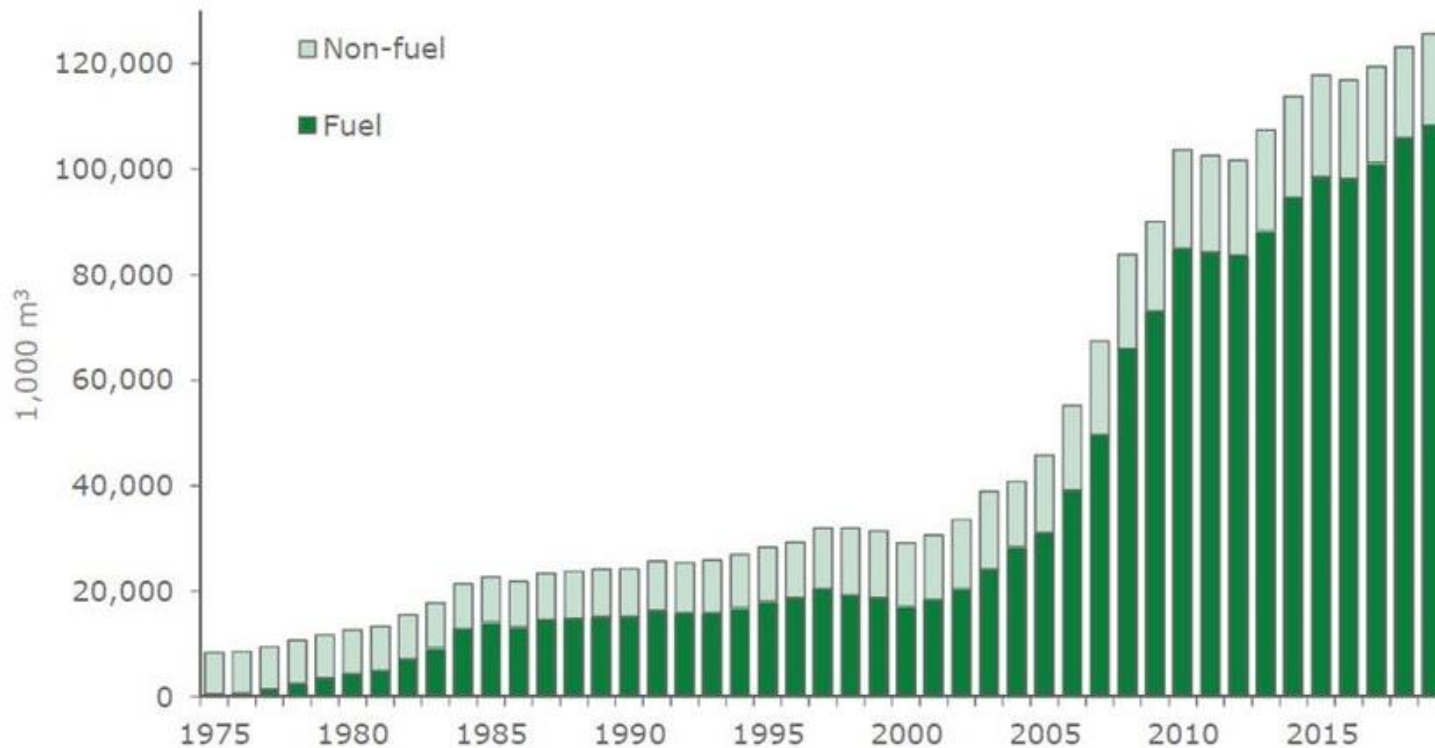
Para quebrar a celulose (uma longa cadeia de glucose) é preciso tratamento **químico** (ácidos) ou **biológico** (enzimas).

Até agora, é economicamente inviável.

# Processos para extracção de energia da biomassa

## Produção de etanol por fermentação de biomassa

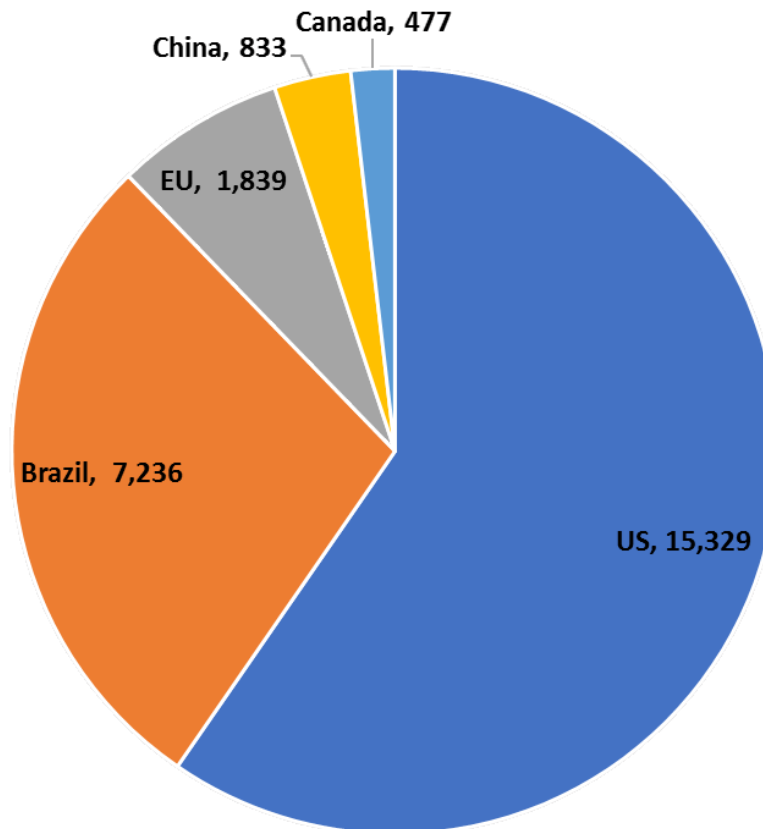
### World Ethanol Production



# Processos para extracção de energia da biomassa

## Produção de etanol por fermentação de biomassa

Figure 1: Fuel Ethanol Production 2016 by Major Countries (Million Gallons)



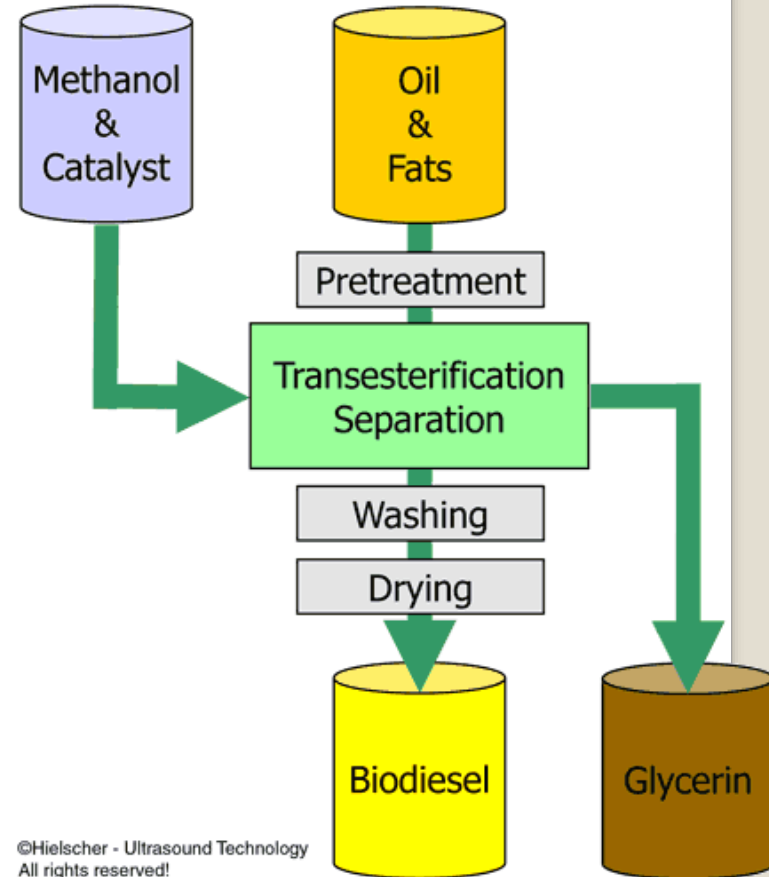
Source: USDA and FAPRI

# Processos para extracção de energia da biomassa

## Produção de biodiesel por transesterificação

**Transesterificação:** Aquecimento de um óleo vegetal (e.g. triacilglicerol) + 10% álcool (metanol) na presença de um catalisador, de que resulta

**Biodiesel** (com menor viscosidade) + **glicerina** (subproduto que pode ser decantado, e tem muitas aplicações)

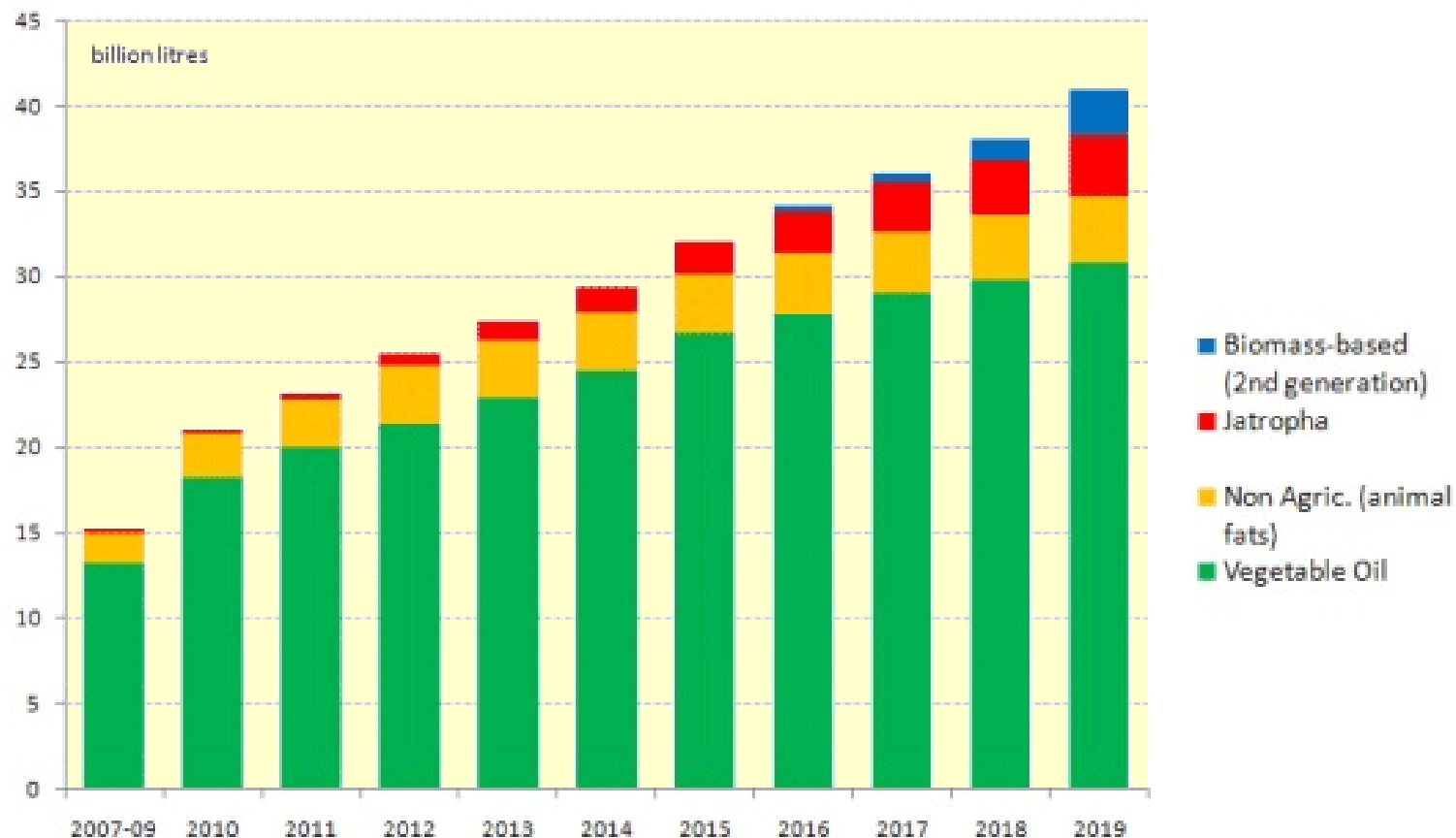


©Hielscher - Ultrasound Technology  
All rights reserved!

# Processos para extracção de energia da biomassa

## Produção de biodiesel por transesterificação

Global biodiesel production by feedstock



# Processos para extracção de energia da biomassa

## Produção de biodiesel por transesterificação

| Colheita       | Litros /hectare/ano |
|----------------|---------------------|
| Algas(*)       | 3000                |
| Sebo chinês    | 907                 |
| Óleo de palma  | 4752                |
| Coco           | 2151                |
| Colza          | 954                 |
| Soja (Indiana) | 554-922             |
| Amendoim       | 842                 |
| Girassol       | 767                 |
| Cânhamo        | 242                 |

Como é que isto se compara com o fotovoltaico? [1 litro = 10kWh]

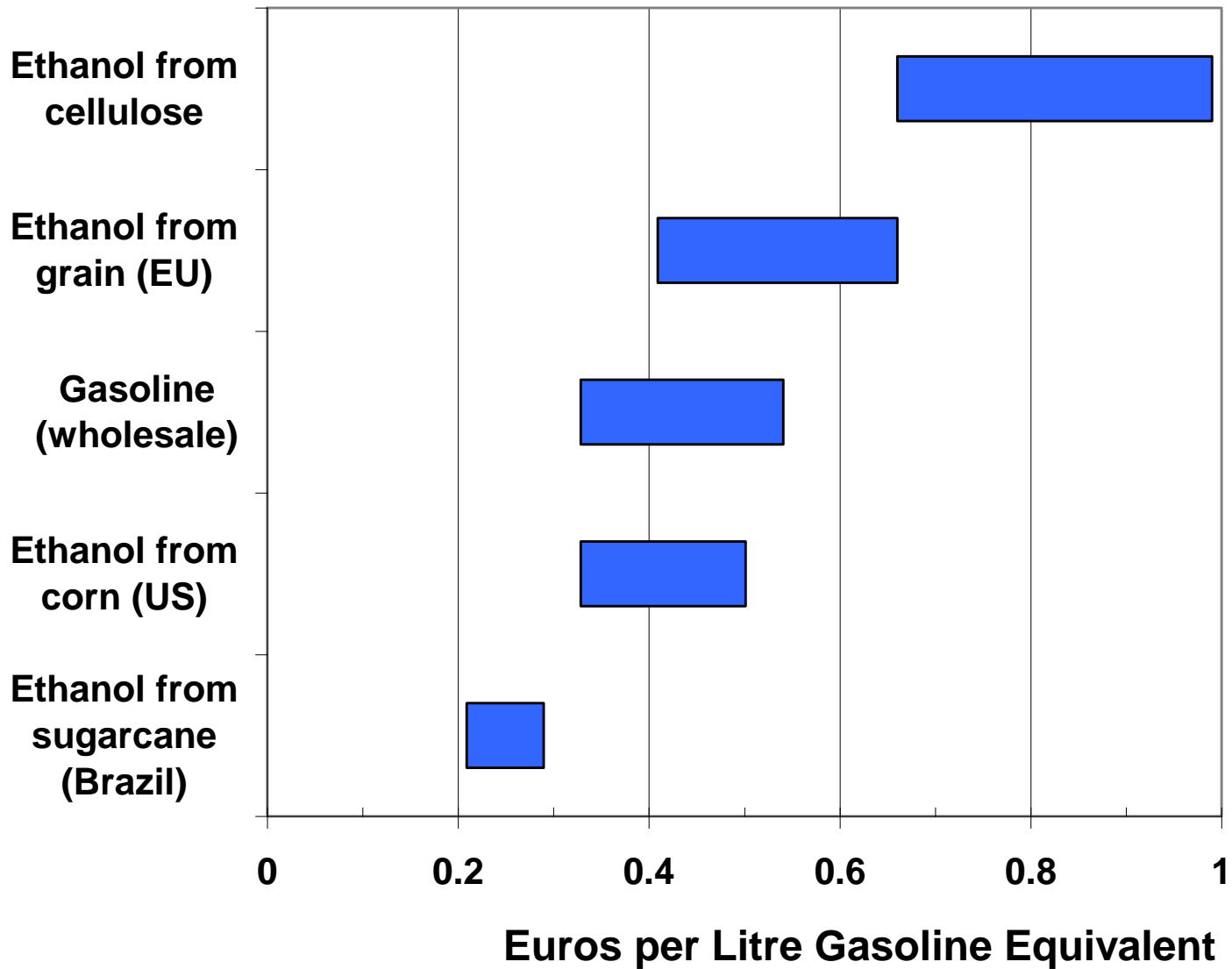
4752 litros/ano =  $4.8 \times 10^4$  kWh/ano  
1 hectare =  $1 \times 10^4$  m<sup>2</sup>

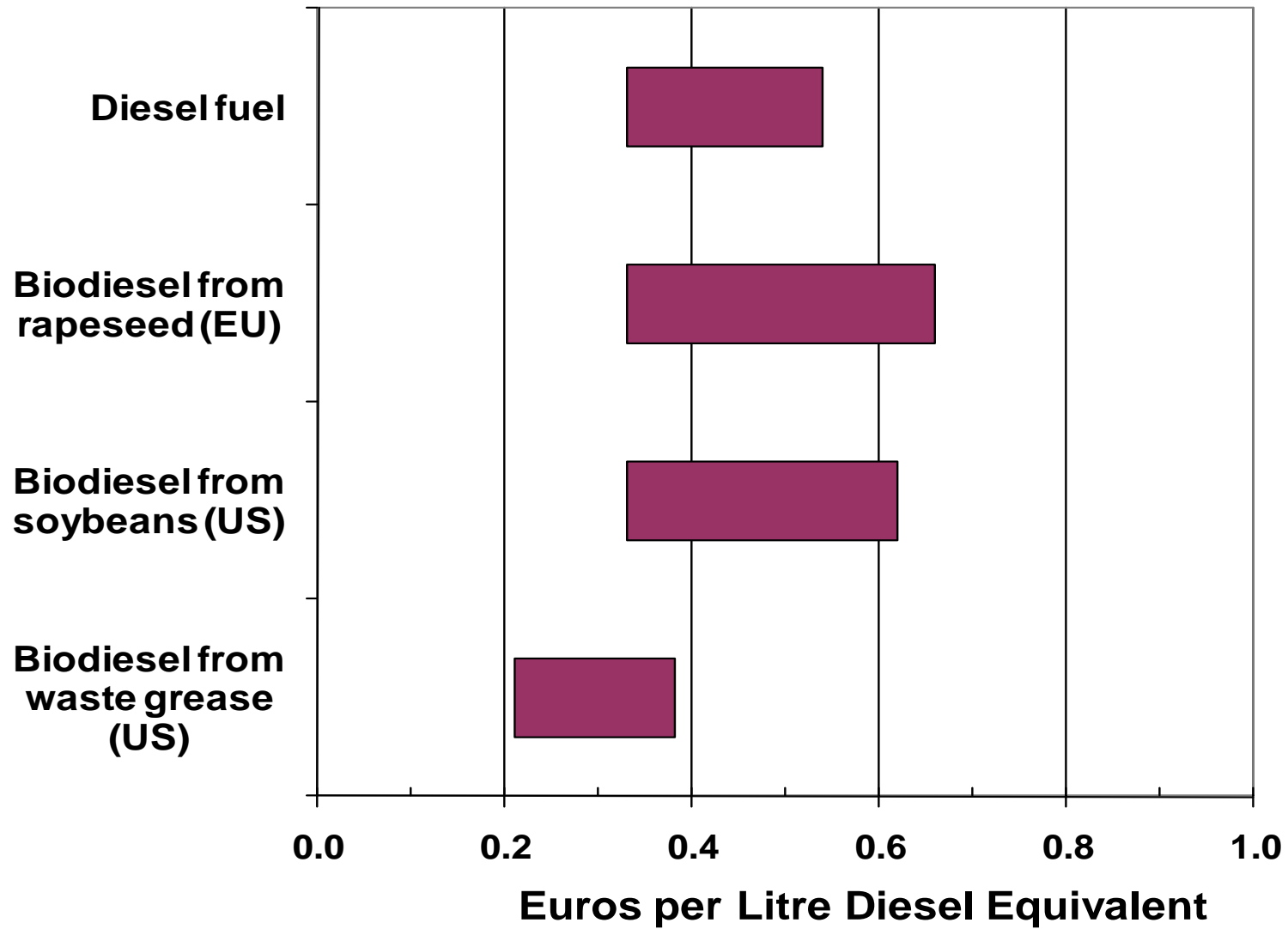
$4.8 \times 10^4$  kWh/ano /  $1 \times 10^4$  m<sup>2</sup> =  
4.8 kWh/m<sup>2</sup>/ano

13 Wh/m<sup>2</sup>/dia

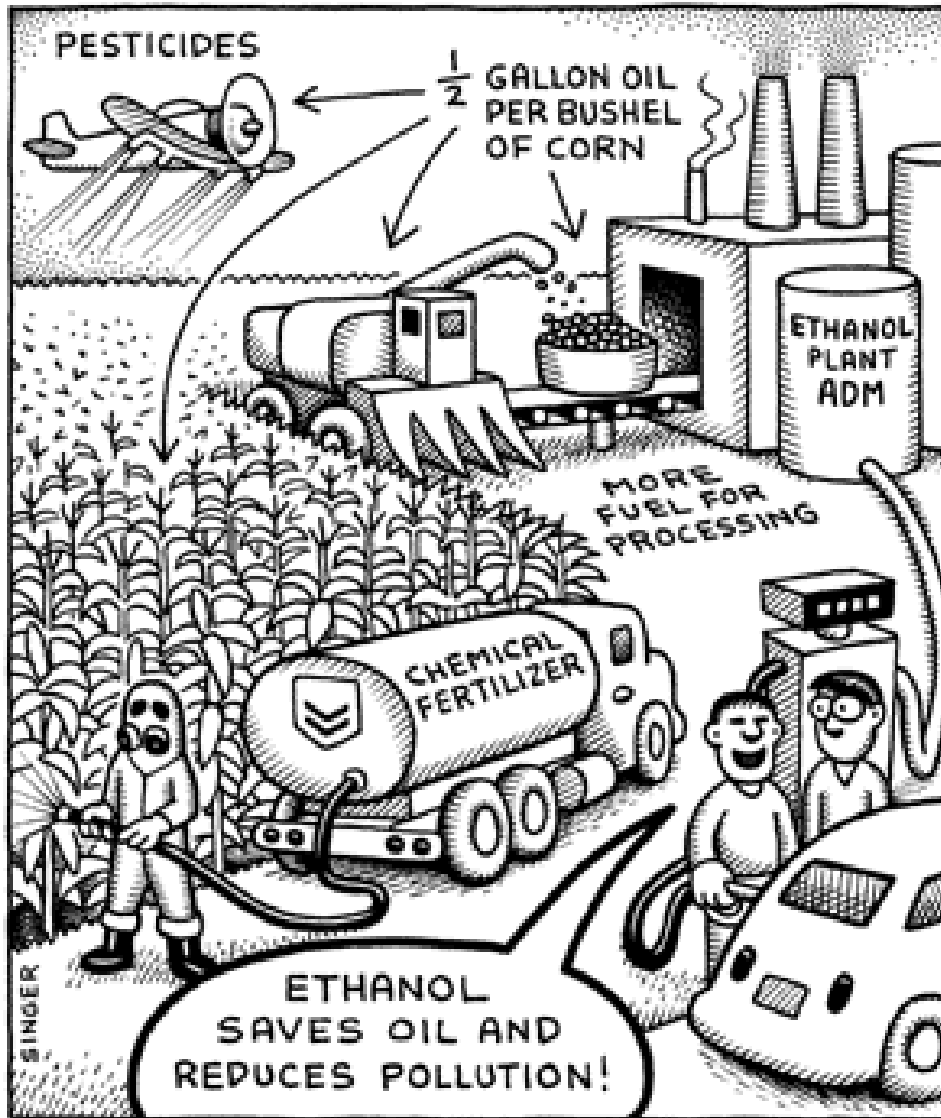
Como chegam 4000 Wh/m<sup>2</sup>/dia

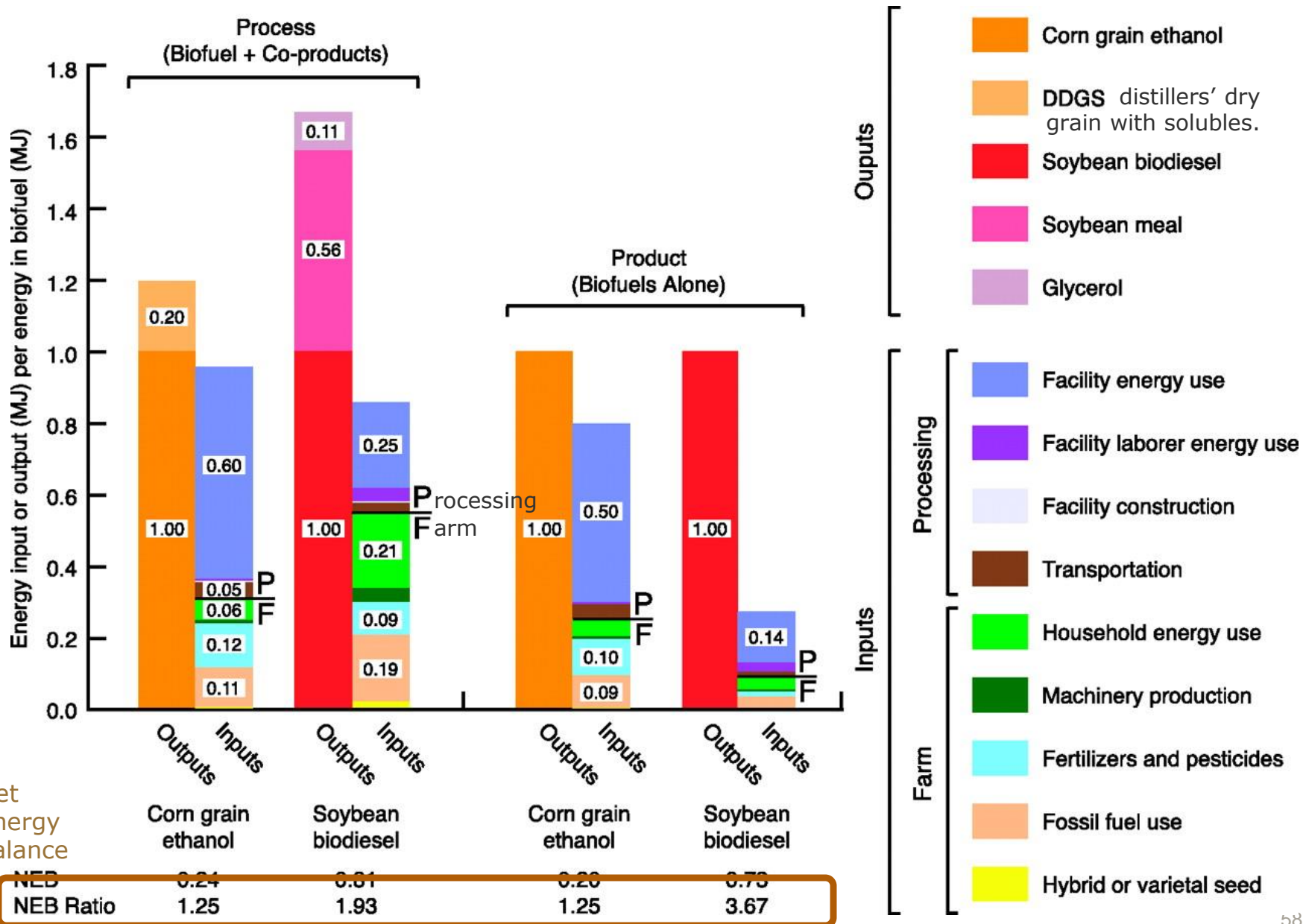
**Eficiência <0.5%!!**











Net Energy balance

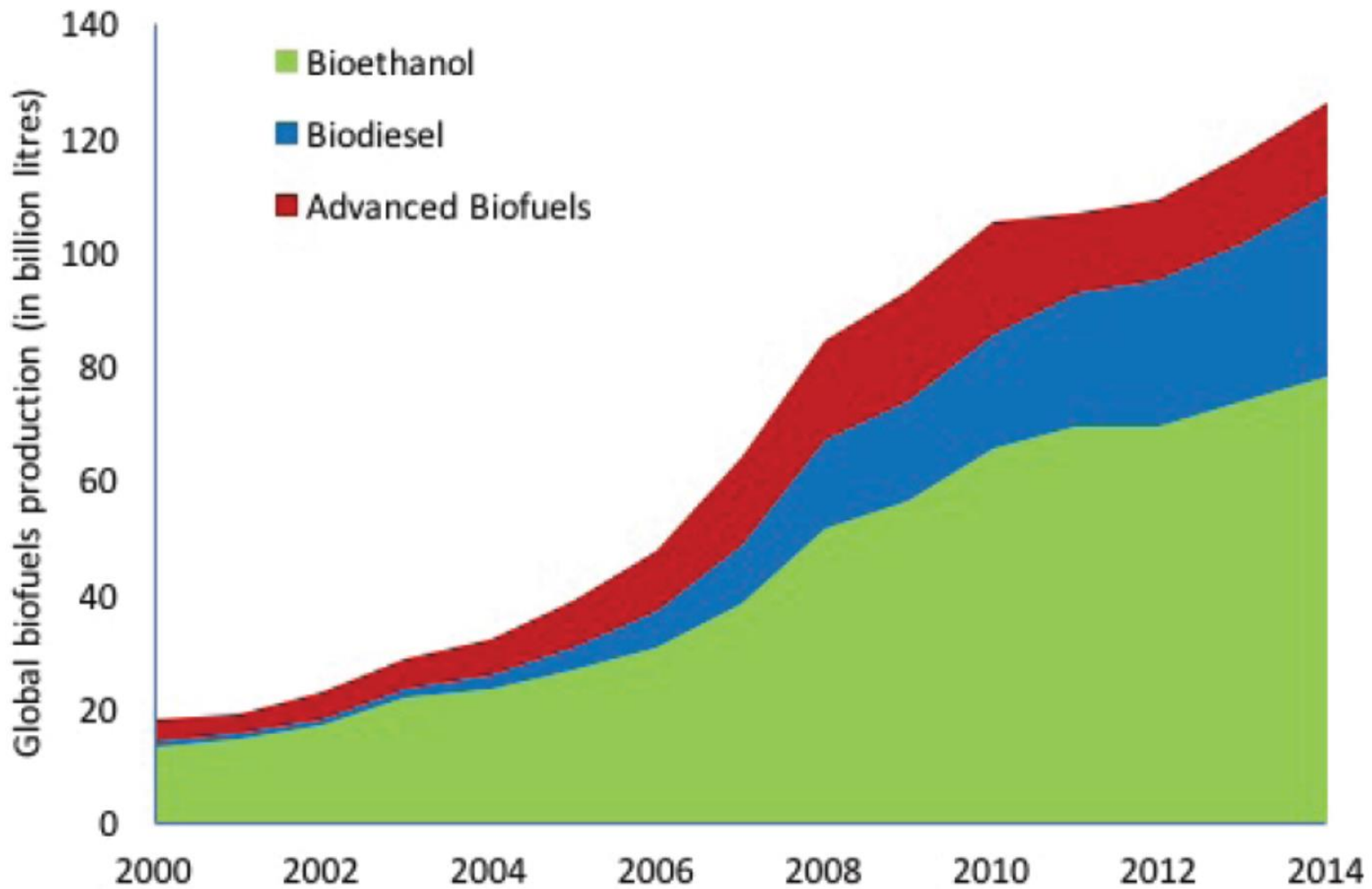
## **Emissões associadas à produção de biocombustíveis**

- ❑ Se o milho serve para a produção de bioetanol é preciso mais soja para rações.
- ❑ O preço da soja aumenta o que incentiva novas plantações de soja – e portanto a devastação de florestas tropicais
- ❑ Emissões podem duplicar!

## Emissões associadas à produção de biocombustíveis

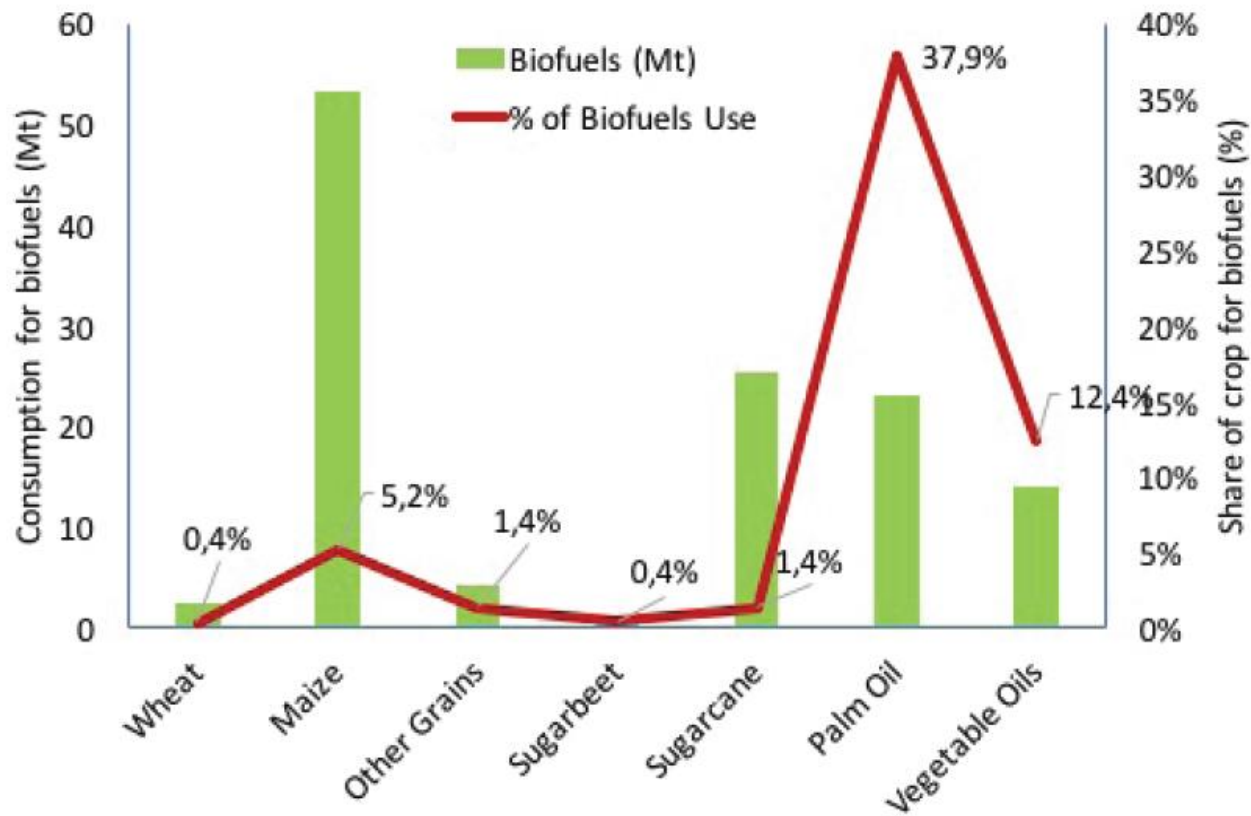
- ❑ 'Dívida' de CO2 quando se desbasta floresta para cultivo

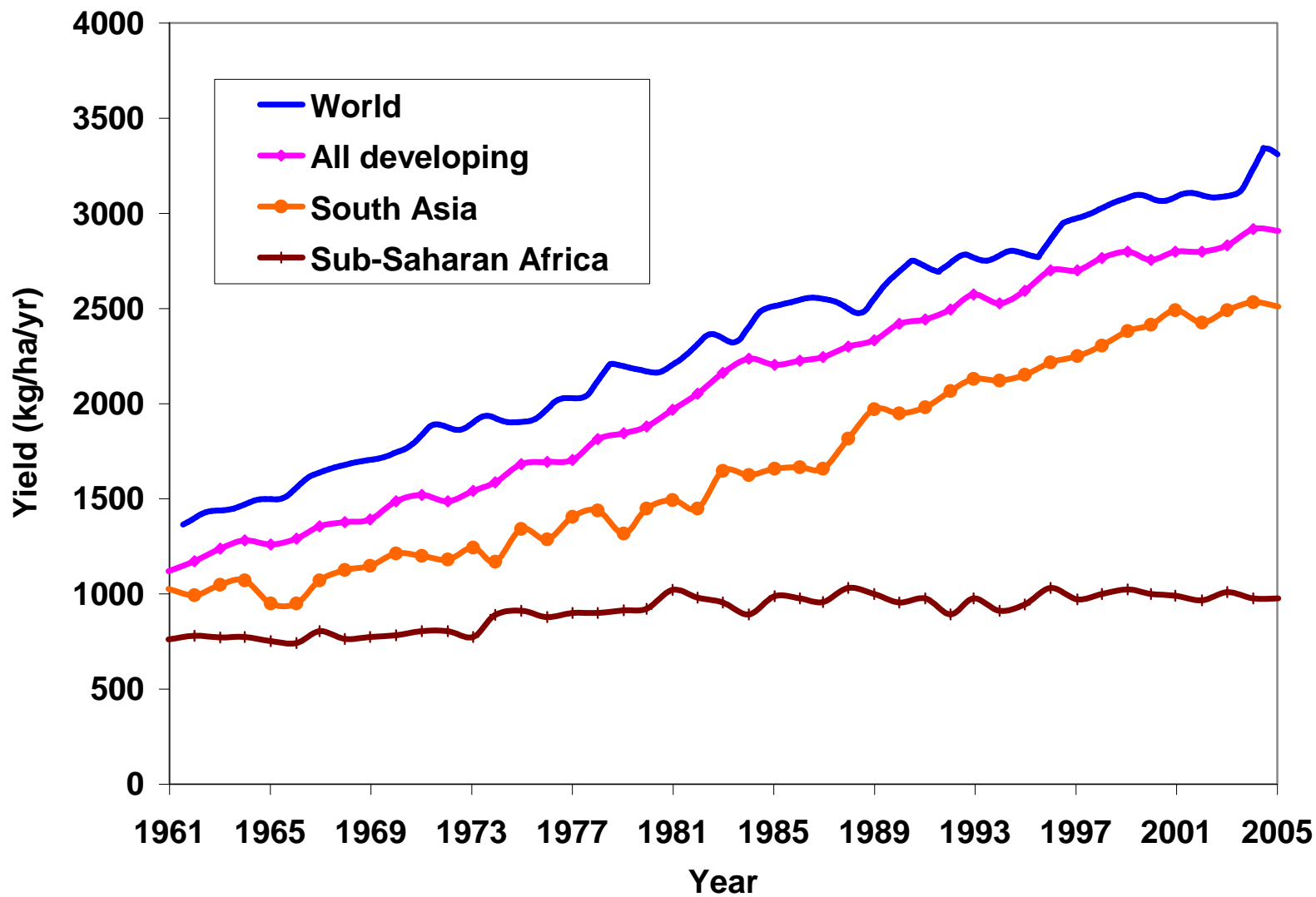
|  | Cultivo | Fuel      | tC/ha | Payback (anos) |
|--|---------|-----------|-------|----------------|
| Indonésia & Malásia: turfeiras         | Palma   | Biodiesel | 941   | 423            |
| Indonésia & Malásia: floresta tropical | Palma   | Biodiesel | 191   | 86             |
| Amazónia                               | Soja    | Biodiesel | 201   | 319            |
| Cerrado brasileiro                     | Soja    | Biodiesel | 23    | 37             |
| Cerrado brasileiro                     | Cana    | Etanol    | 45    | 17             |
| EUA: pradaria                          | Milho   | Etanol    | 37    | 93             |
| EUA: quintas abandonadas               | Milho   | Etanol    | 19    | 48             |



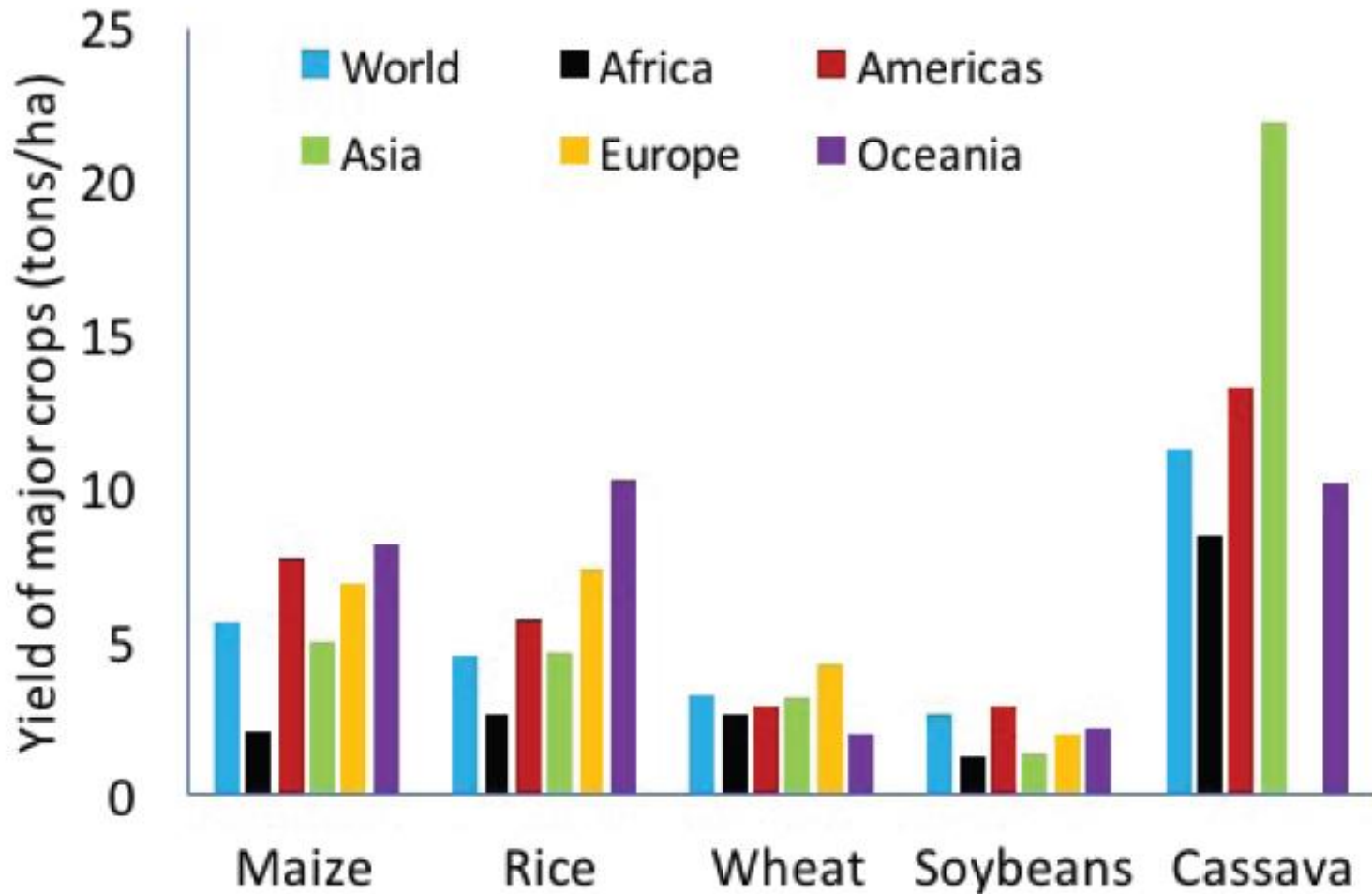
**advanced biofuels:** all liquid biofuels excluding bioethanol and biodiesel, including cellulosic based ethanol, hydro treated vegetable oil, renewable diesel etc.

# FOOD vs FUEL



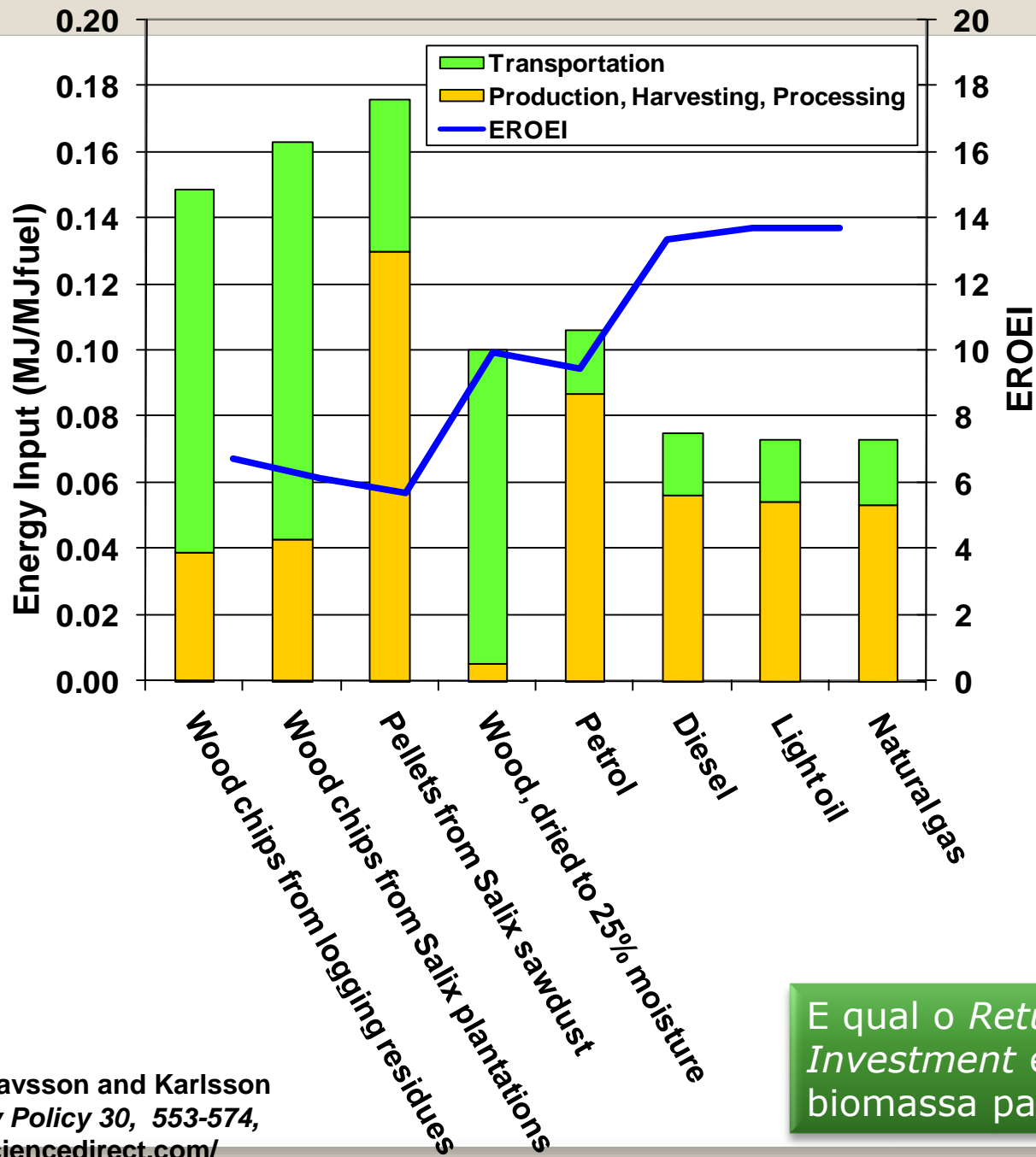


Existe um grande potencial para aumentar a produtividade agrícola global.



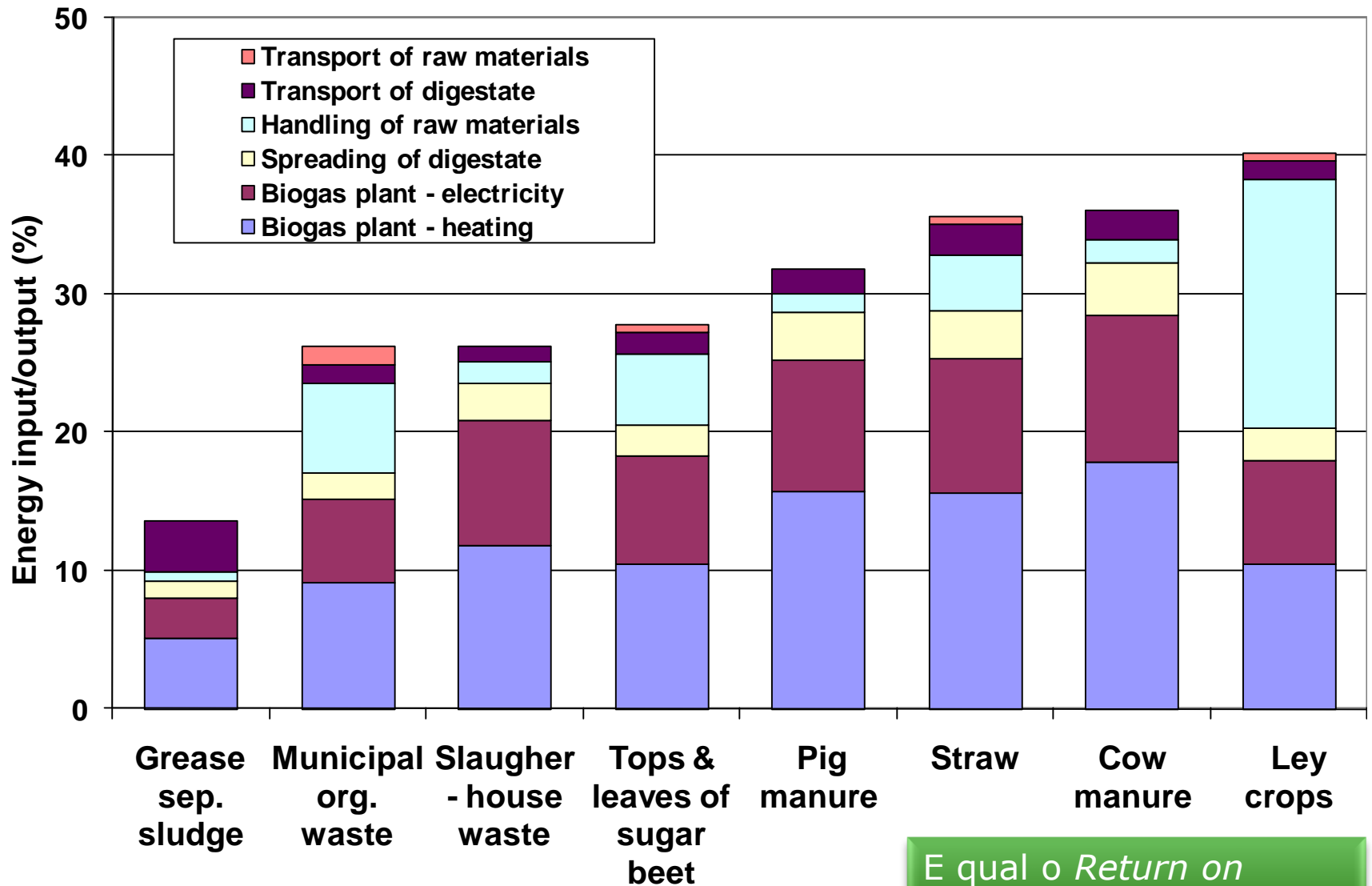
Existe um grande potencial para aumentar a produtividade agrícola global.





E qual o *Return on Investment* energético para a biomassa para aquecimento?

Source: Gustavsson and Karlsson (2002, *Energy Policy* 30, 553-574, <http://www.sciencedirect.com/science/journal/03014215>)



E qual o *Return on Investment* energético para biogás?

Source: Berglund and Borjesson (2006, *Biomass and Bioenergy* 30, 254–266, <http://www.sciencedirect.com/science/journal/09619534>)

## Produção electricidade a partir de biomassa

❑ Co-incineração de biomassa sólida com carvão, com **turbinas a vapor**

Eficiência da ordem de 20-30%

❑ **Co-incineração** de biogás com gás natural

❑ **Co-geração** na indústria de cana e óleo de palma, celulose e papel

❑ Biogás em vez de diesel em pequenos (5-100 kW) **motores de combustão interna**

❑ Gaseificação integrada / **ciclo combinado** (BIGCC)

❑ **Célula de combustível**

Ainda em fase de desenvolvimento  
eficiências possíveis (!?): 40-50%

## Produção electricidade a partir de biomassa

- ❑ **Co-geração** na indústria de cana e óleo de palma, celulose e papel

As refinarias de cana de açúcar, precisam de electricidade e calor, e têm grandes quantidades de biomassa disponível.

- ❑ Hoje: 30 kWh/ton de cana
- ❑ Com gaseificação/ciclo combinado: 180-230 kWh/ton
- ❑ Se 100% dos resíduos: 500 kWh/ton

As refinarias de óleo de palma também.

- ❑ Hoje: 25-40 kWh/ton de fruta
- ❑ Com turbinas vapor *state of the art*: 75-160 kWh/ton
- ❑ Com gaseificação/ciclo combinado: 200 kWh/ton

# Impactos ambientais

## Impactos ambientais

- ❑ Fertilidade e produtividade dos solos
- ❑ Uso de água
- ❑ Uso de fertilizantes, herbicidas e pesticidas
- ❑ Emissões de poluentes atmosféricos e água  
(produção, processamento , e consumo)
- ❑ Organismos modificados geneticamente
- ❑ Remoção metais pesados dos solos
- ❑ Utilização de cinzas e separação de metais pesados
- ❑ Tratamento resíduos sólidos urbanos
- ❑ Redução erosão
- ❑ Promoção biodiversidade
- ❑ Emprego

## Promoção biodiversidade?

Depende !?

### **POSITIVO**

Pequena floresta/ervas  
substitui campos agrícolas

### **NEGATIVO**

Devastação floresta tropical  
para cultivo de cana ou  
palma.



## Impactos ambientais: produção bioetanol

- ❑ Queima canavial antes da colheita!
- ❑ Maior risco de corrosão dos tanques de combustível
- ❑ A redução de emissões (comparado com gasolina) pelo tubo de escape não é evidente





## Impactos ambientais: produção biodiesel

- ❑ Biodiesel é biodegradável e não-tóxico, ao contrário de diesel
- ❑ Acelera a taxa de degradação do gasóleo (quando misturado)
- ❑ Menores emissões de CO e hidrocarbonetos (misturas 50%)
- ❑ Aumento significativo das emissões de NOx (misturas >50%)

## Emissões associadas à produção de electricidade/calor

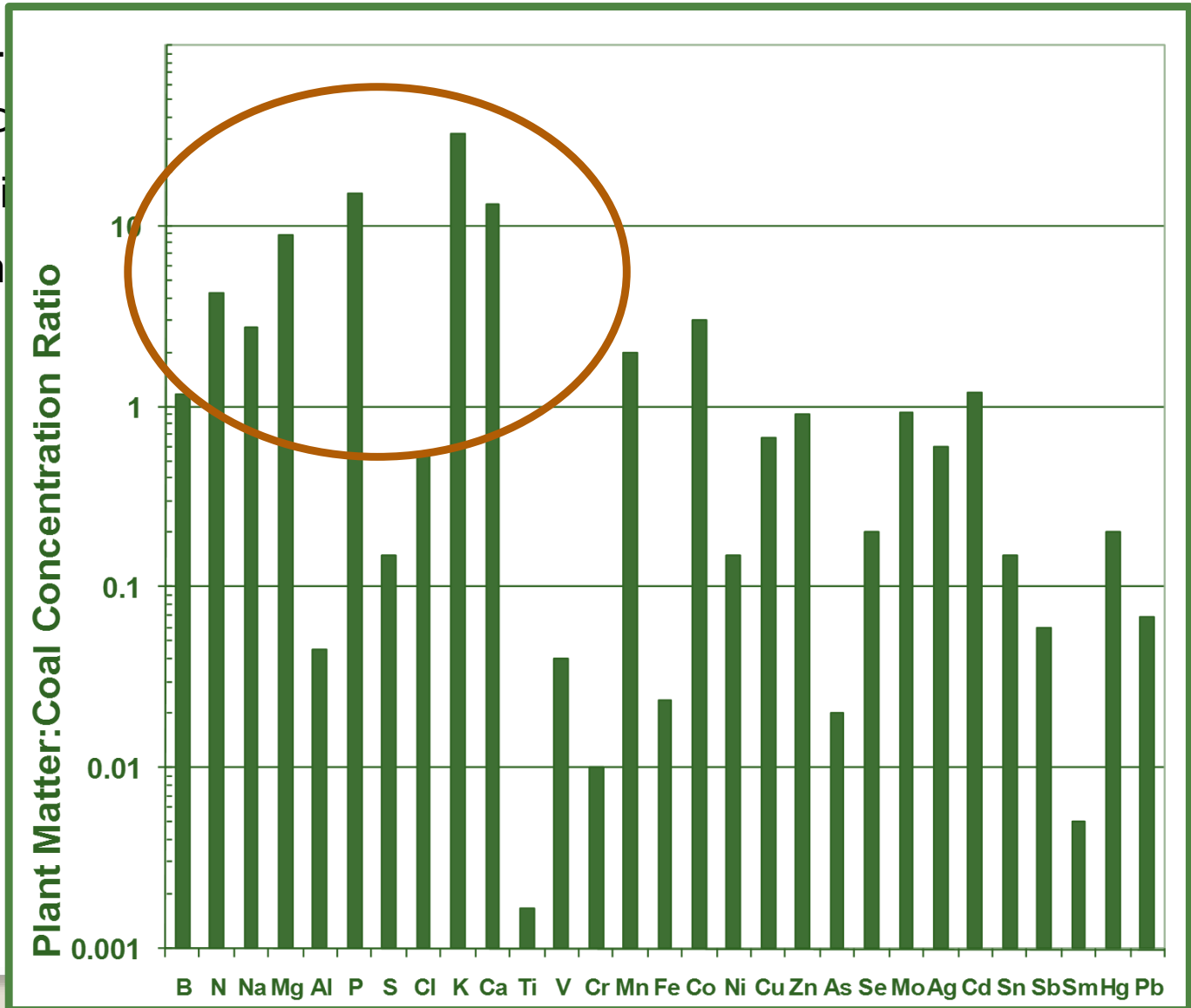
Depende de...

- Tipo de combustível
- Tecnologia de combustão
- Quantidade de combustível

# Emissões associadas à produção de electricidade/calor

Depende de..

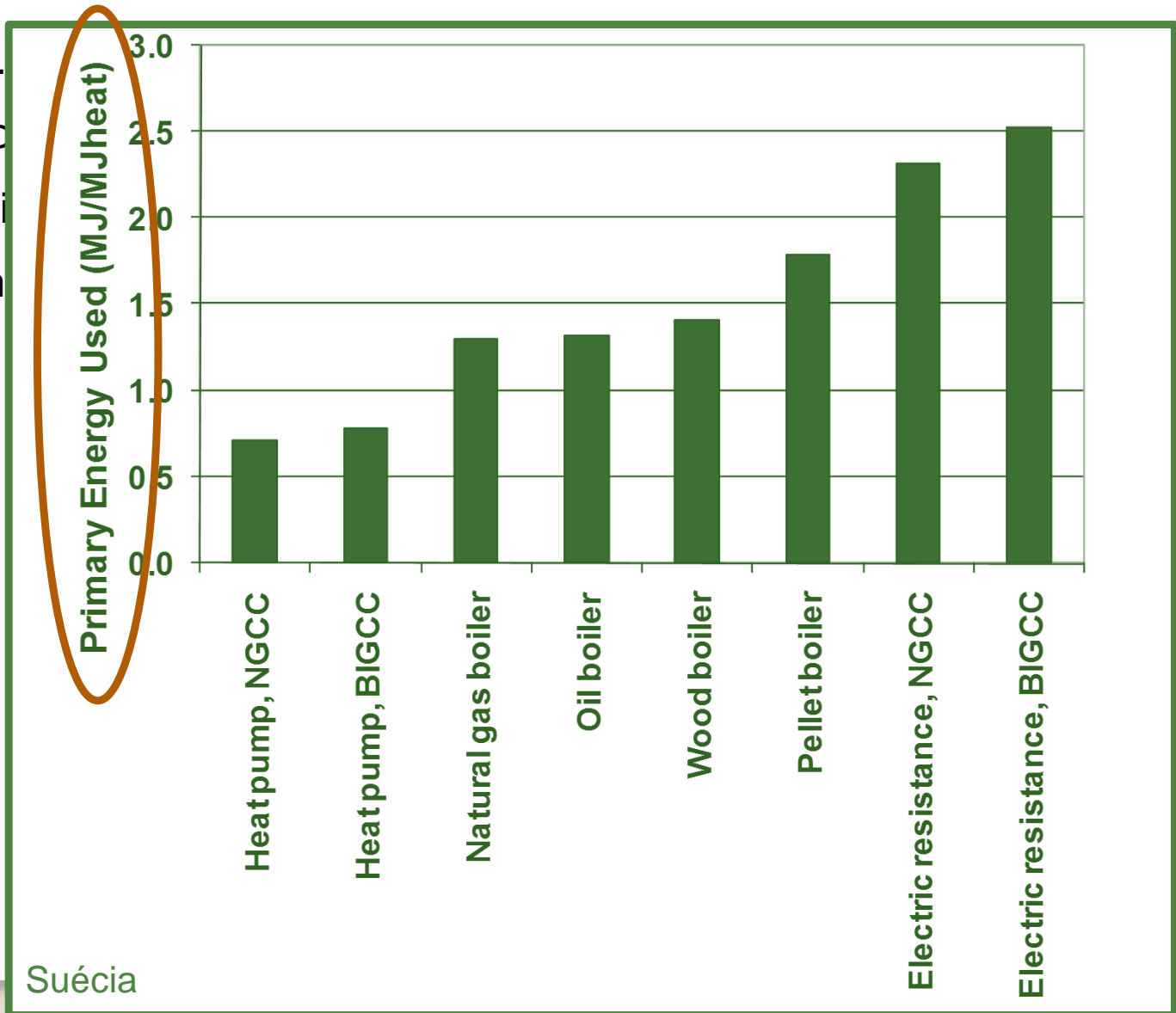
- Tipo de c
- Tecnologia
- Quantidade



# Emissões associadas à produção de electricidade/calor

Depende de..

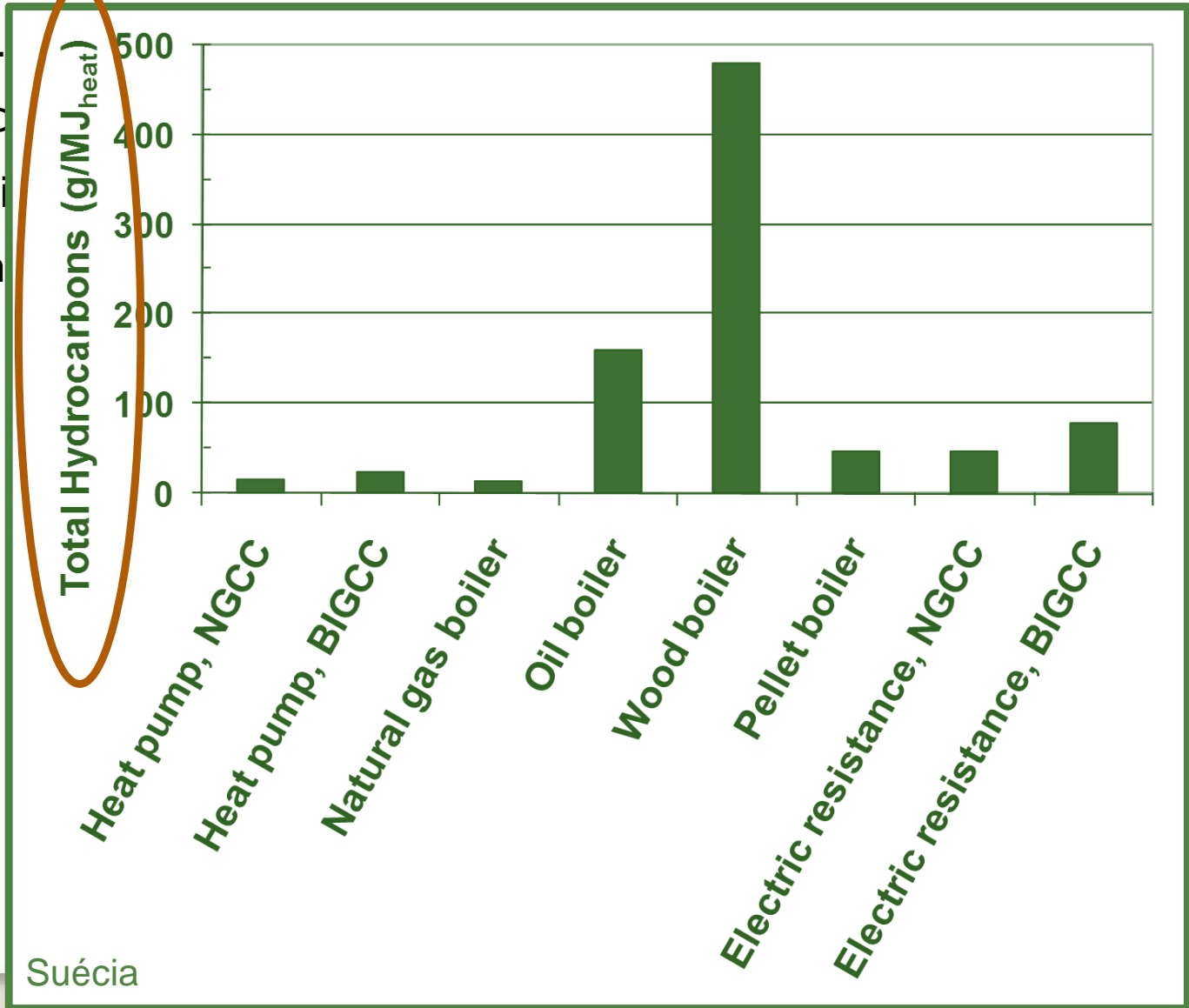
- Tipo de c
- Tecnologia
- Quantidade



# Emissões associadas à produção de electricidade/calor

Depende de...

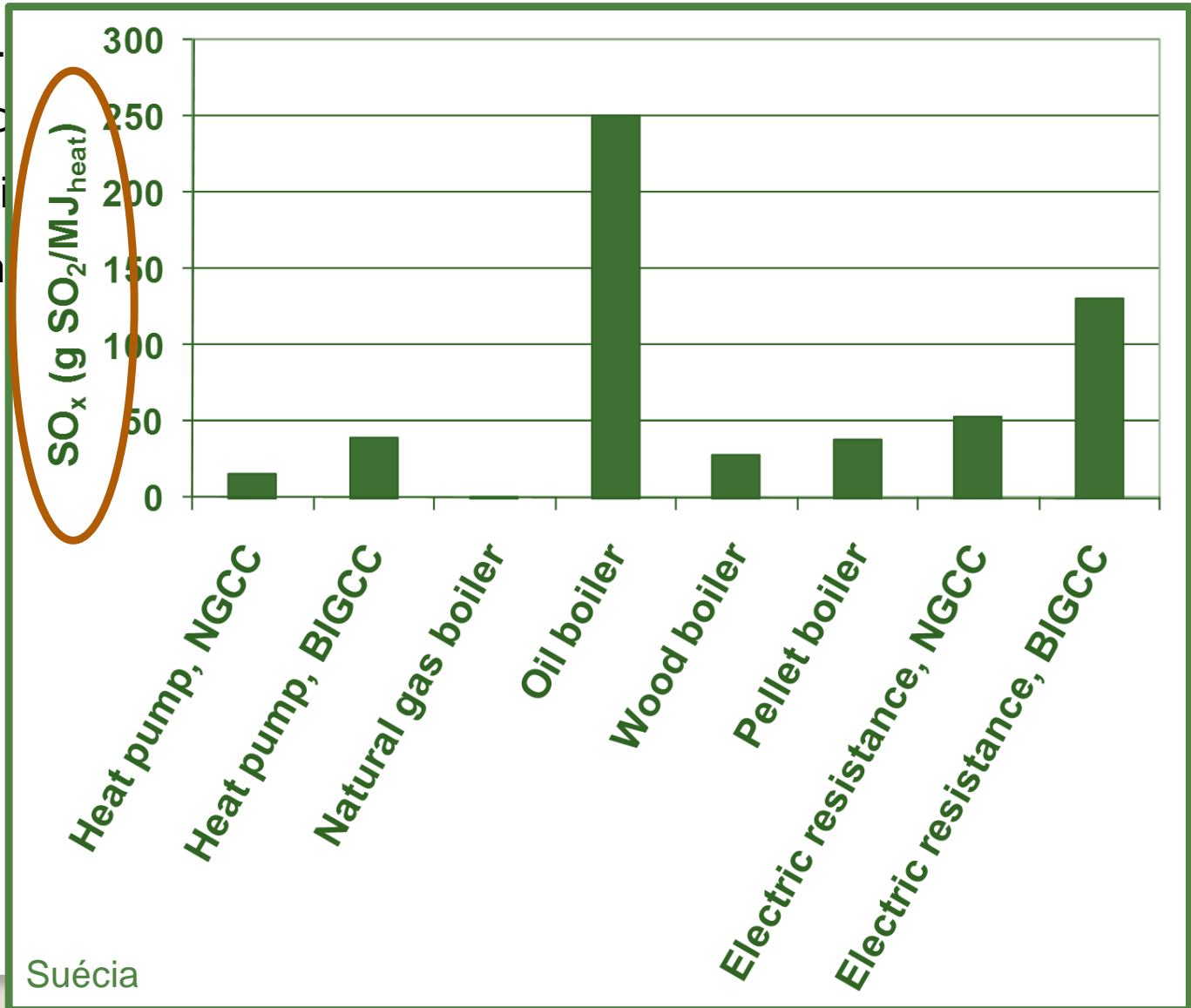
- Tipo de combustível
- Tecnologia
- Quantidade



# Emissões associadas à produção de electricidade/calor

Depende de..

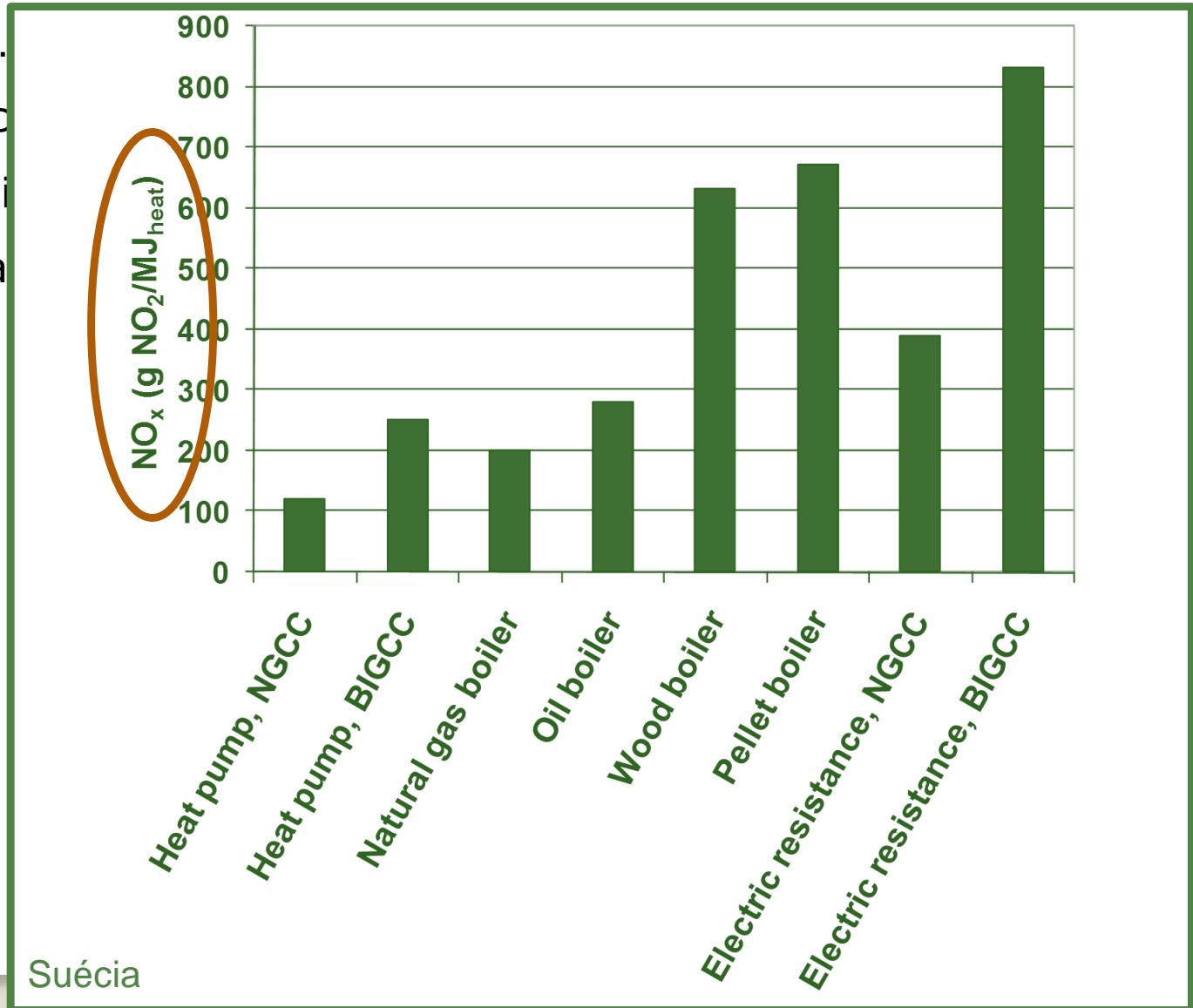
- Tipo de c...
- Tecnologia
- Quantidade



# Emissões associadas à produção de electricidade/calor

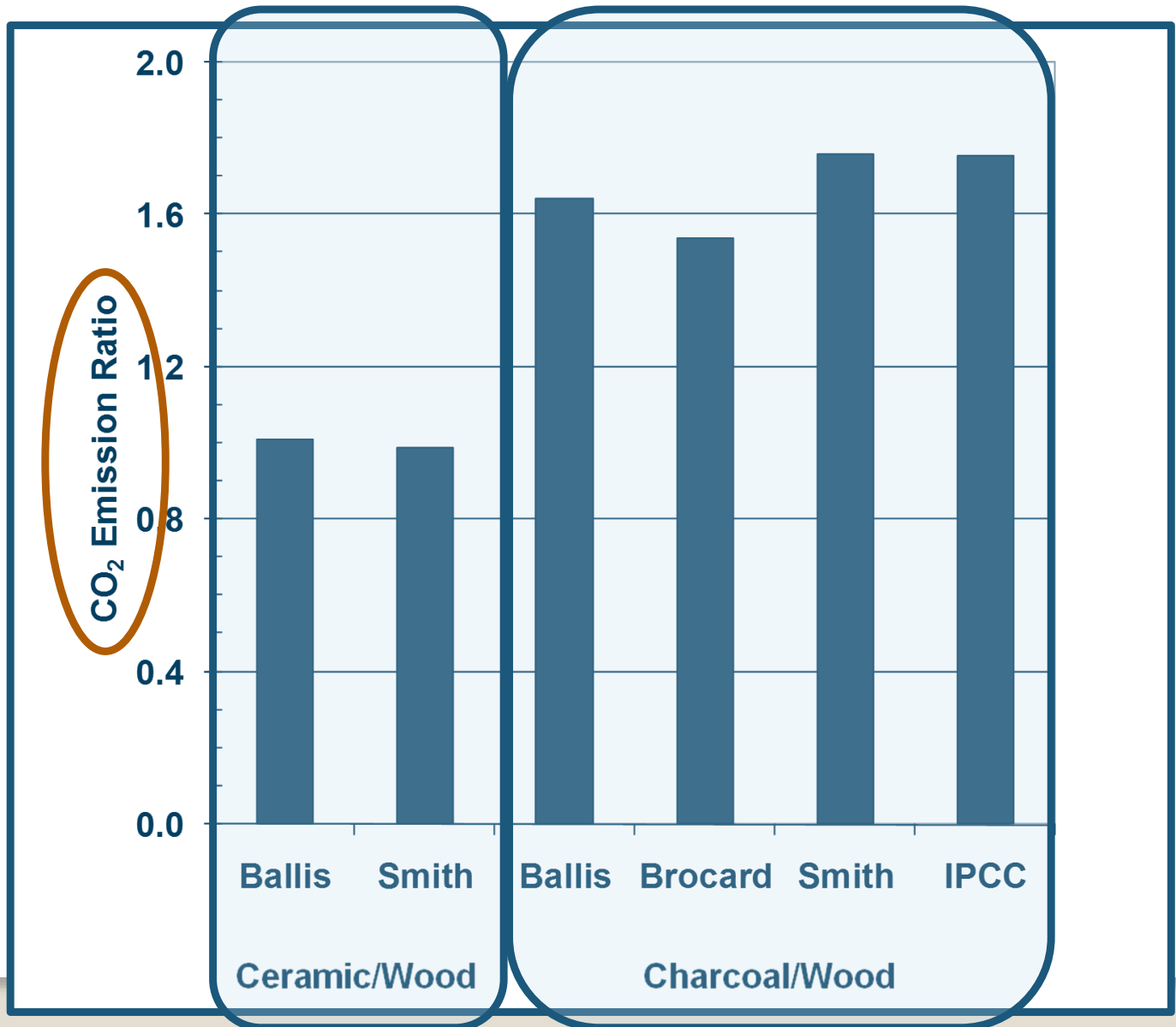
Depende de..

- Tipo de c
- Tecnologia
- Quantidade



# Emissões associadas à produção de calor para cozinha

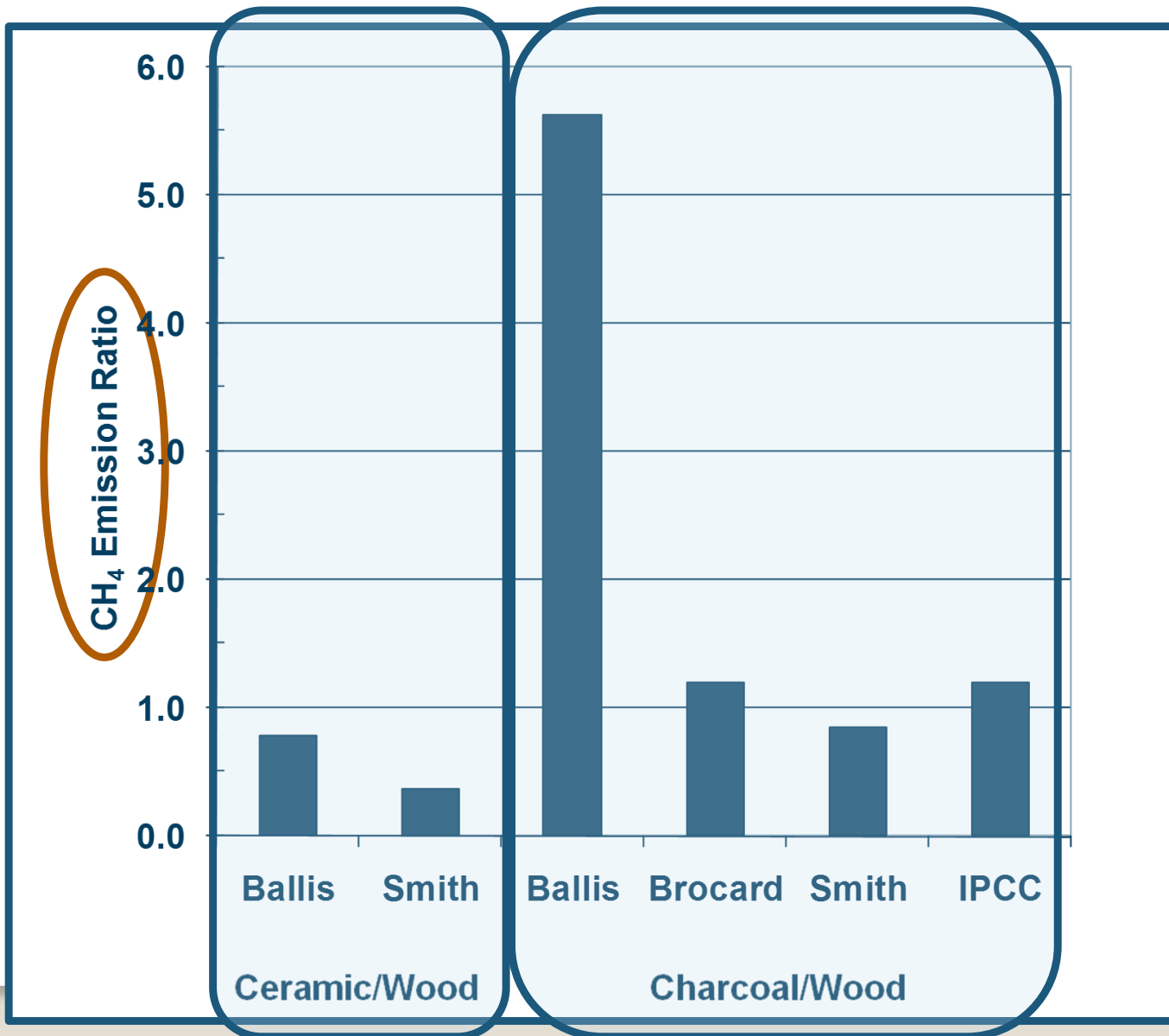
Comparação  
emissões  
entre  
diferentes  
tipos de  
fogões





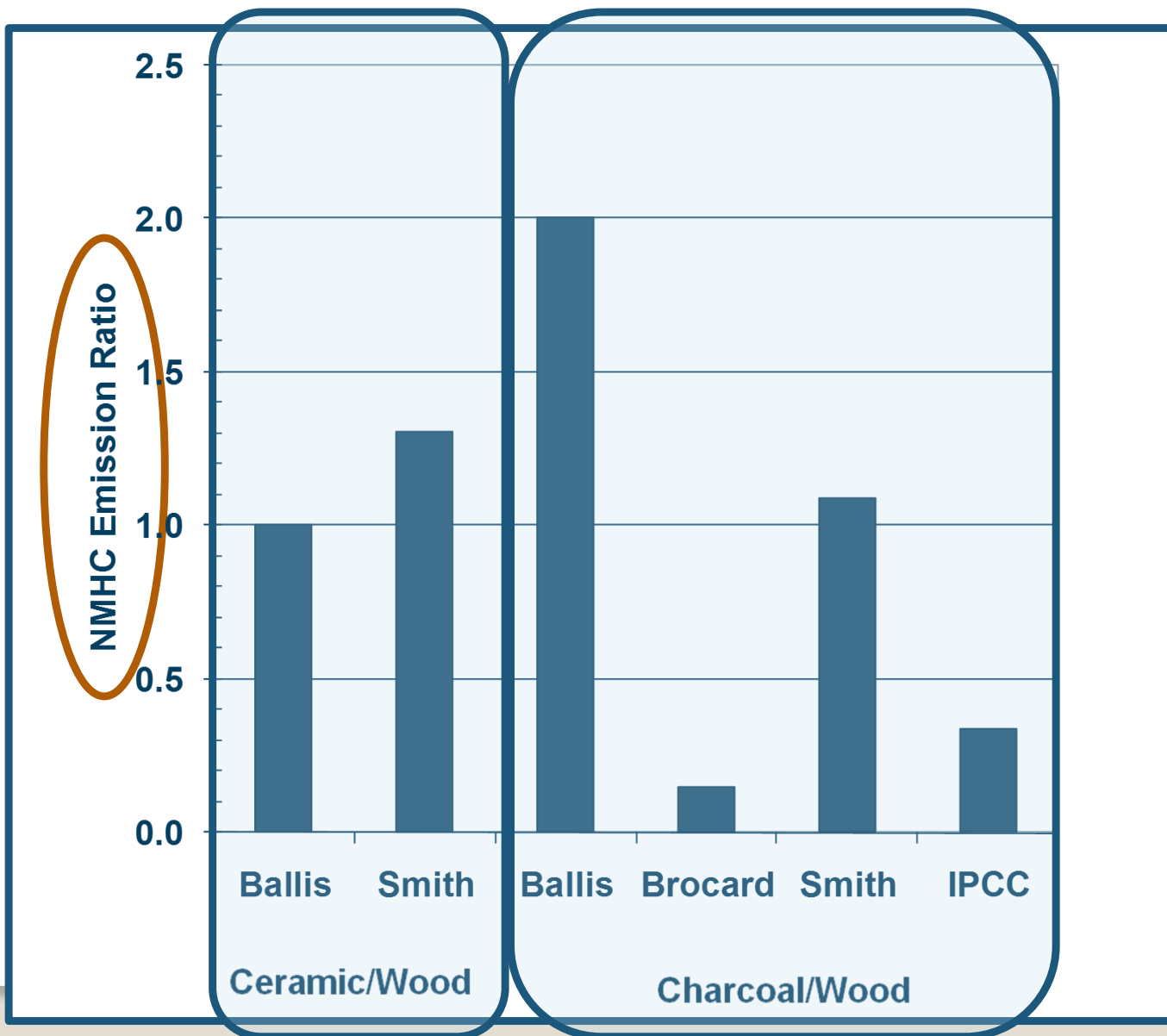
## Emissões associadas à produção de calor para cozinha

Comparação  
emissões  
entre  
diferentes  
tipos de  
fogões



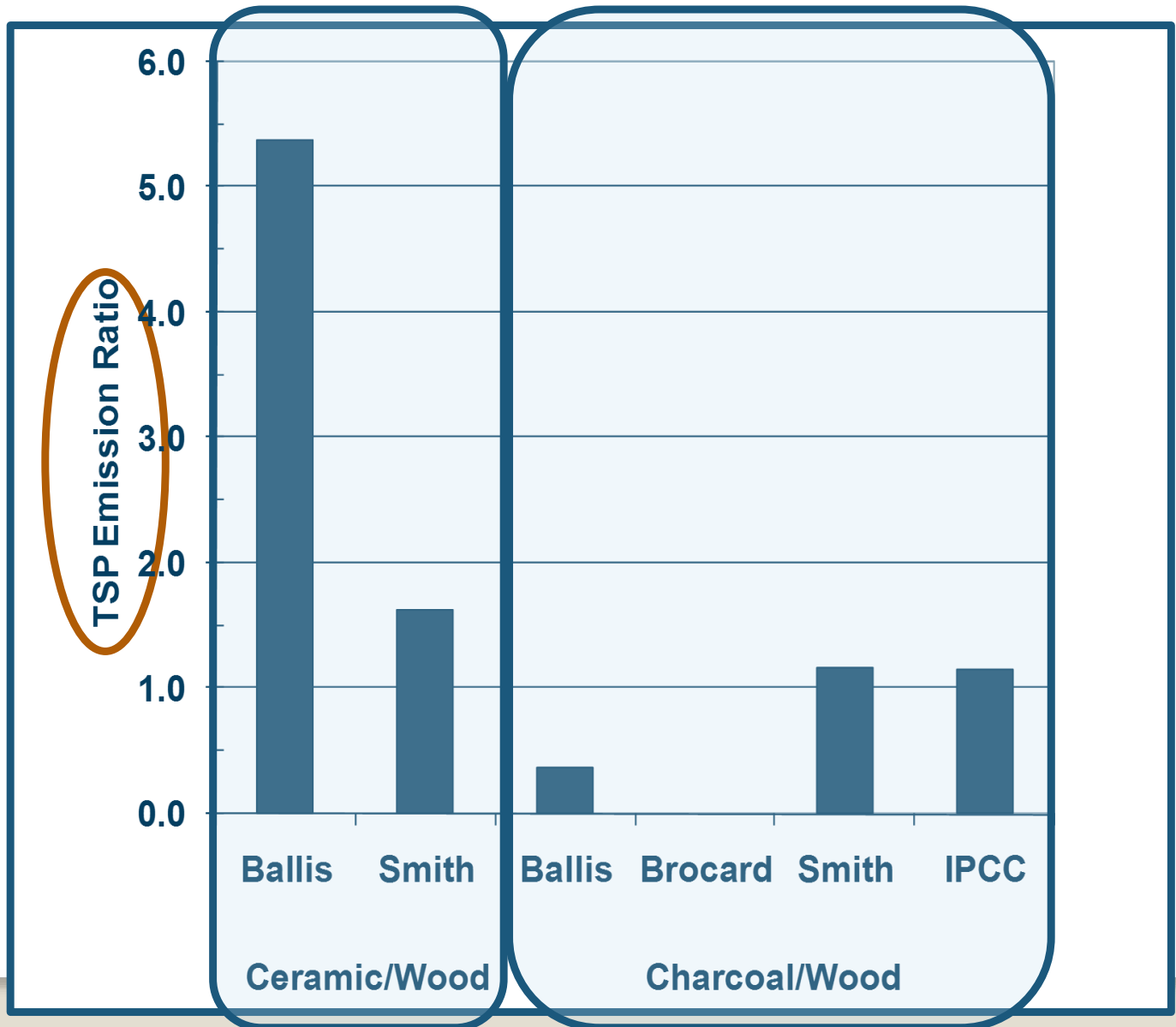
## Emissões associadas à produção de calor para cozinha

Comparação  
emissões  
entre  
diferentes  
tipos de  
fogões



# Emissões associadas à produção de calor para cozinha

Comparação  
emissões  
entre  
diferentes  
tipos de  
fogões



## **Emissões associadas à produção de calor para cozinha**

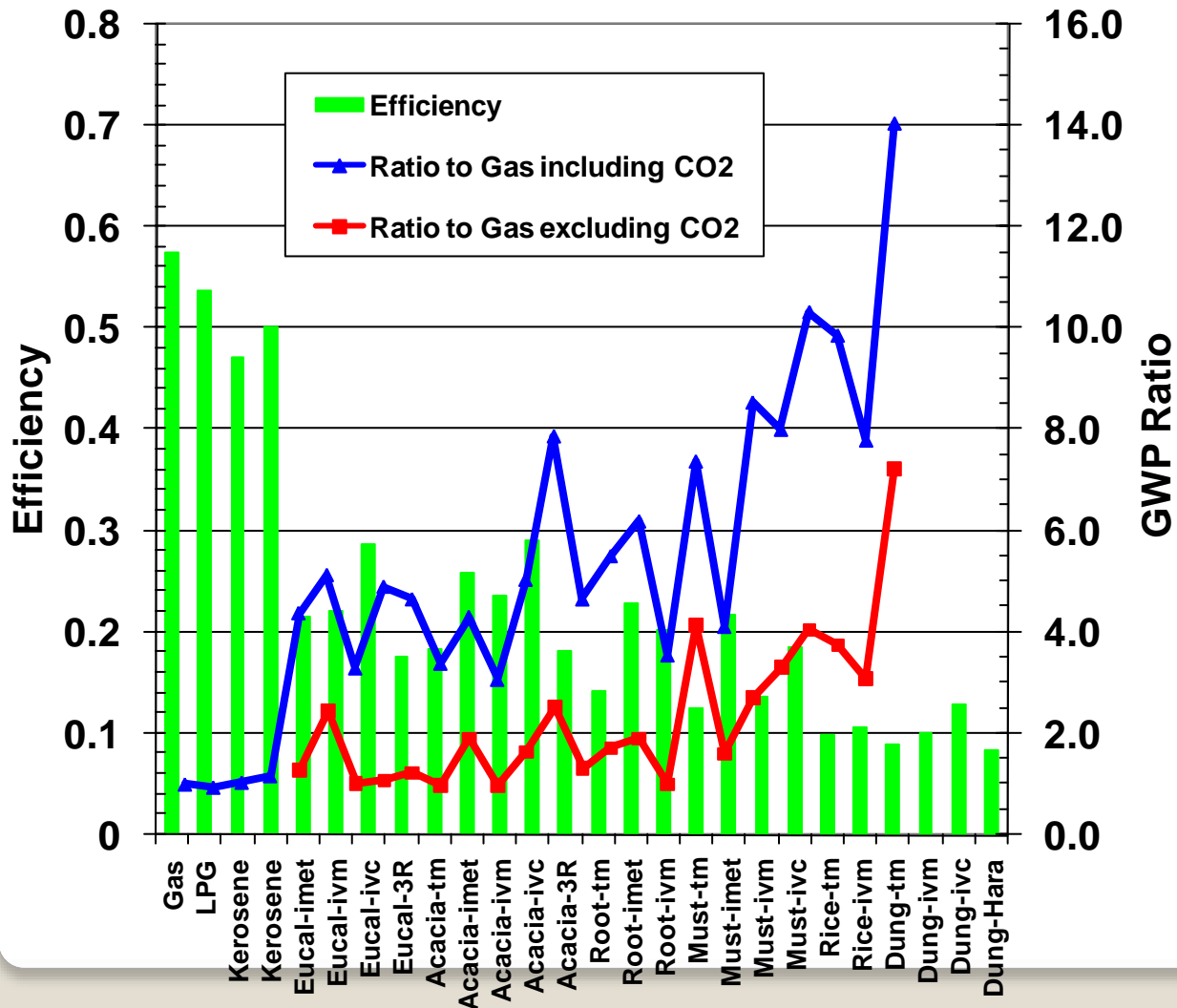
Comparando com o gás natural...

A combustão de biomassa sólida em vários tipos de fogão emite CO e NMHCs (que produzem ozono), e CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O (que são GHG).

O efeito de aquecimento global dessas emissões (excluindo CO<sub>2</sub>, se a biomassa for produzido de forma sustentável) é várias vezes a da combustão de gás natural.

# Emissões associadas à produção de calor para cozinha

Comparando com o gás natural...



## **Biomassa**

Fonte de energia renovável,

pode ser 'tendencialmente' neutra GHG

Eficiência relativamente baixa

com impactos ambientais e económicos relevantes

Não há receitas universais.