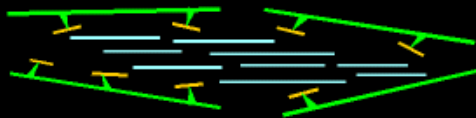
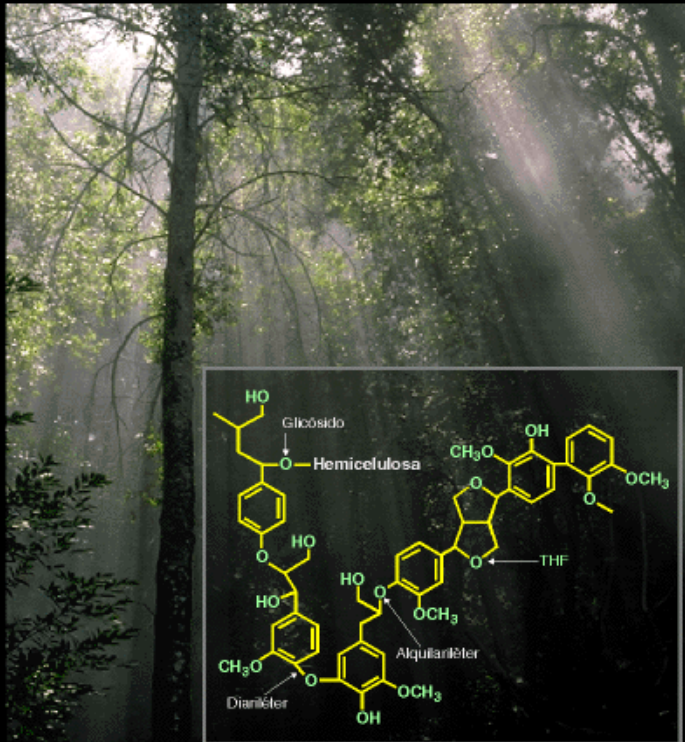


# PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOENERGIA - MESTRADO

## 1 DEFINIÇÕES E CONCEITOS

Profa. Adriana Ferla de Oliveira

UFPR - Setor Palotina



# 1. INTRODUÇÃO

- ◉ 1.1 Definições e Conceitos
- ◉ 1.2 O Significado da Dendroenergia
- ◉ 1.3 Evolução e Perspectivas

# 1. INTRODUÇÃO

- Definições básicas relativas ao uso energético da biomassa.



**DENDROCOMBUSTÍVEIS**



**IMPORTÂNCIA ATUAL**  
(diferentes regiões do mundo - âmbitos florestais e energéticos)

# 1.1 DEFINIÇÕES E CONCEITOS

## ○ Termo - **biomassa**

43,4% fontes renováveis  
29,2% biomassa (12,9% florestal)

Matéria vegetal gerada a partir da fotossíntese

Material de origem orgânica ou vegetal, resultante direta ou indiretamente da fotossíntese

Resíduos florestais e agrícolas, resíduos animais e matéria orgânica (resíduos industriais, domésticos, municipais, etc.)

# 1.1 DEFINIÇÕES E CONCEITOS

**biomassa**



Energia química



Liberada por combustão ou convertida (ex. álcool e carvão)

- Aproveitando 1% de radiação solar -  $220 \times 10^9$  toneladas de biomassa seca  $\rightarrow 2 \times 10^{15}$  MJ (mais de 10 vezes a energia global consumida no planeta);
- Energia existente na cobertura vegetal da terra  $\rightarrow$  100 vezes o consumo anual de energia.

# 1.1 DEFINIÇÕES E CONCEITOS

**Recursos energéticos da biomassa podem ser classificados de diversas maneiras.**



**Basicamente associados aos biocombustíveis**

# CLASSIFICAÇÃO DOS BIOCOMBUSTÍVEIS

1º nível	2º nível	Definição
Biocombustíveis da Madeira (dendrocombustíveis)	Combustíveis diretos da madeira	Madeira produzida para fins energéticos, usada diretamente ou indiretamente como combustível.
	Combustíveis indiretos da madeira	Incluem biocombustíveis sólidos, líquidos ou gasosos, subprodutos da exploração florestal e resultantes do processamento industrial da madeira para fins energéticos.
	Combustíveis de madeira recuperada	Madeira usada diretamente ou indiretamente como combustível, derivada de atividade sócio-econômicas que empregam produtos de origem florestal.

# FLUXOS DE BIOCOMBUSTÍVEIS DA MADEIRA



# Florestas e árvores

Madeira para usos não energéticos

Madeira para fins energéticos

Indústria de celulose

Outras Indústrias madeireiras

Sociedade  
Usuários de produtos derivados da madeira

Indústria Florestal

Combustíveis indiretos da madeira

Combustíveis de madeira recuperada

Combustíveis diretos da madeira

Processos Termoquímicos

Queima direta ou processamento mecânico

Dendrocombustíveis primários ou secundários

Usuários finais de energia:

- Setor Residencial
- Setor Industrial
- Geração de eletricidade
- Setor de Transporte

# CLASSIFICAÇÃO DOS BIOCOMBUSTÍVEIS

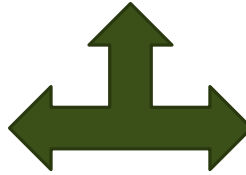
1º nível	2º nível	Definição
Biocombustíveis não florestais (agrocombustíveis)	Combustíveis de plantações energéticas	Tipicamente combustíveis sólidos e líquidos produzidos a partir de plantações anuais, como é o caso do álcool da cana-de-açúcar.
	Subprodutos agrícolas	Principalmente resíduos de colheitas outros tipos de subprodutos de culturas como palhas e folhas.
	Subprodutos animais	Basicamente estercos de aves, bovinos e suínos.
	Subprodutos agroindustriais	Basicamente subprodutos de agroindústrias, como o bagaço de cana e casca de arroz.
Resíduos Urbanos		Resíduos sólidos e líquidos gerados em cidades e vilas.

(NOGUEIRA; LORA, 2003)

# 1.1 DEFINIÇÕES E CONCEITOS

## Classificação dos energéticos

Primários



Secundários

Materiais ou produtos obtidos diretamente da natureza

Combustíveis resultantes da conversão de combustíveis primários

Lenha e cana de açúcar

Carvão vegetal e álcool

# 1.1 DEFINIÇÕES E CONCEITOS

## Classificação das biomassas

Dificuldade de classificação

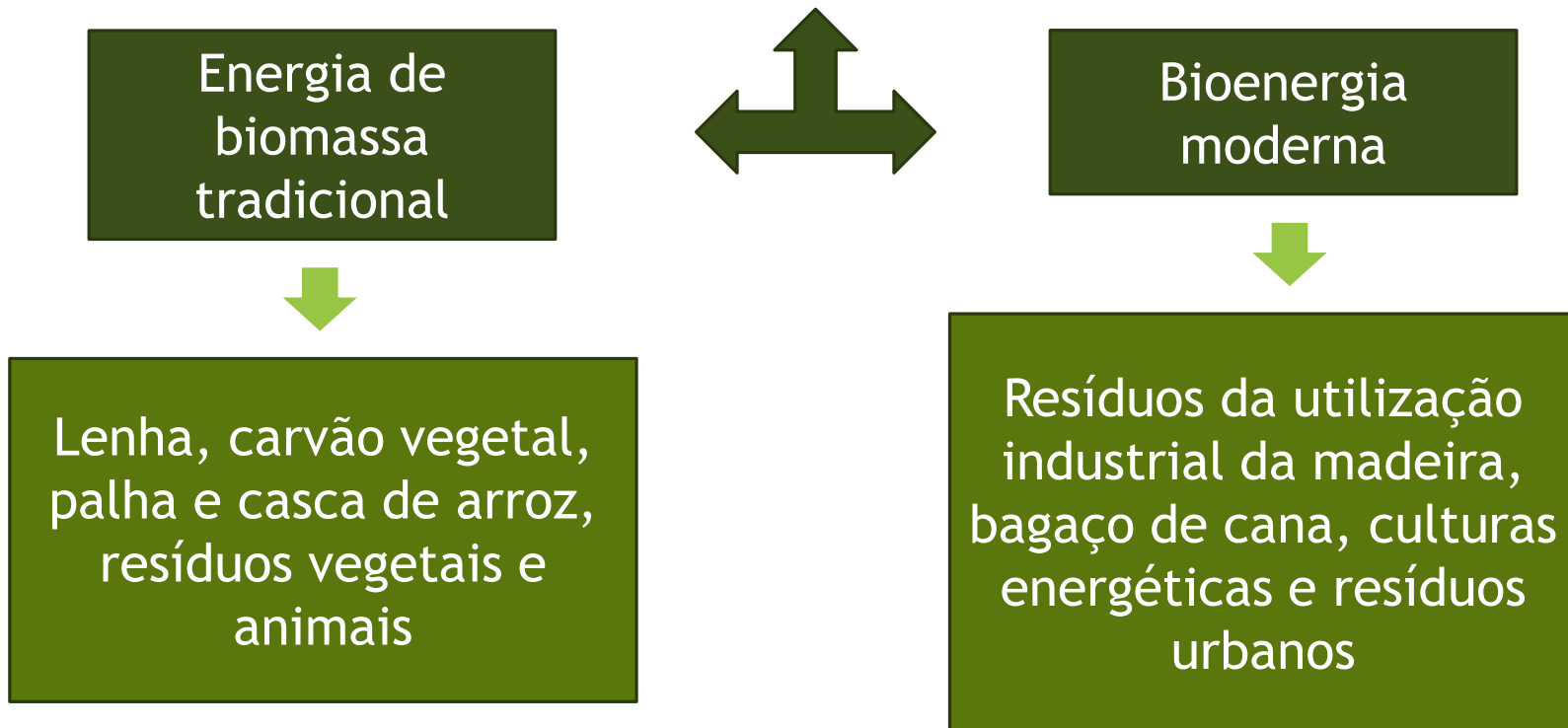
A) Resíduos vegetais na etapa inicial de transformação



Ex: óleos vegetais produzidos a partir de produtos de árvores como o dendê - classificação dendrocombustível ou agrocombustível.

# 1.1 DEFINIÇÕES E CONCEITOS

## B) Classificação segundo rotas tecnológicas e seu nível de desenvolvimento tecnológico



Obs: mais importante que classificar é conhecer a origem e utilização de um biocombustível e os impactos e potencialidades deste.

# 1.1 DEFINIÇÕES E CONCEITOS

## DENDROENERGIA



Biomassa energética lignocelulósica em geral e seus subprodutos, sobretudo em bases renováveis.

### TEMAS DENDROENERGÉTICOS

- aspectos técnicos
- socioeconômicos e ambientais



- relacionados com a produção florestal, o pré-processamento, sua eventual conversão em outras formas de energia final e, por último, sua utilização.

# 1.2 O SIGNIFICADO DA DENDROENERGIA

Madeira

Produto essencial básico



- ◉ disponibilidade,
- ◉ ampla existência de fontes de fornecimento,
- ◉ tradição cultural,
- ◉ tecnologia de transformação,
- ◉ competitividade econômica.

# 1.2 O SIGNIFICADO DA DENDROENERGIA

Funções florestais: produção, proteção solo-agua, biodiversidade, serviços sociais, usos múltiplos, outros.

30% madeira

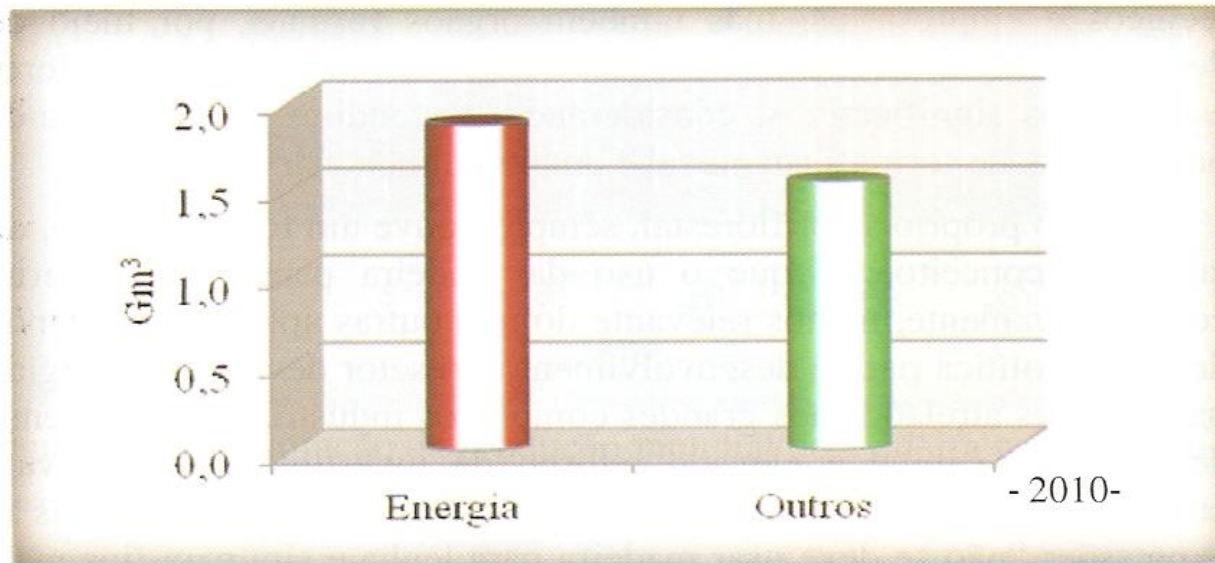


Figura 1: Produção mundial de madeira por tipo de demanda.

(SANTOS et al., 2013)



## 1.2 O SIGNIFICADO DA DENDROENERGIA

Final do século XX redescoberta da madeira no seu papel energético - crise do petróleo e por ser recurso finito.

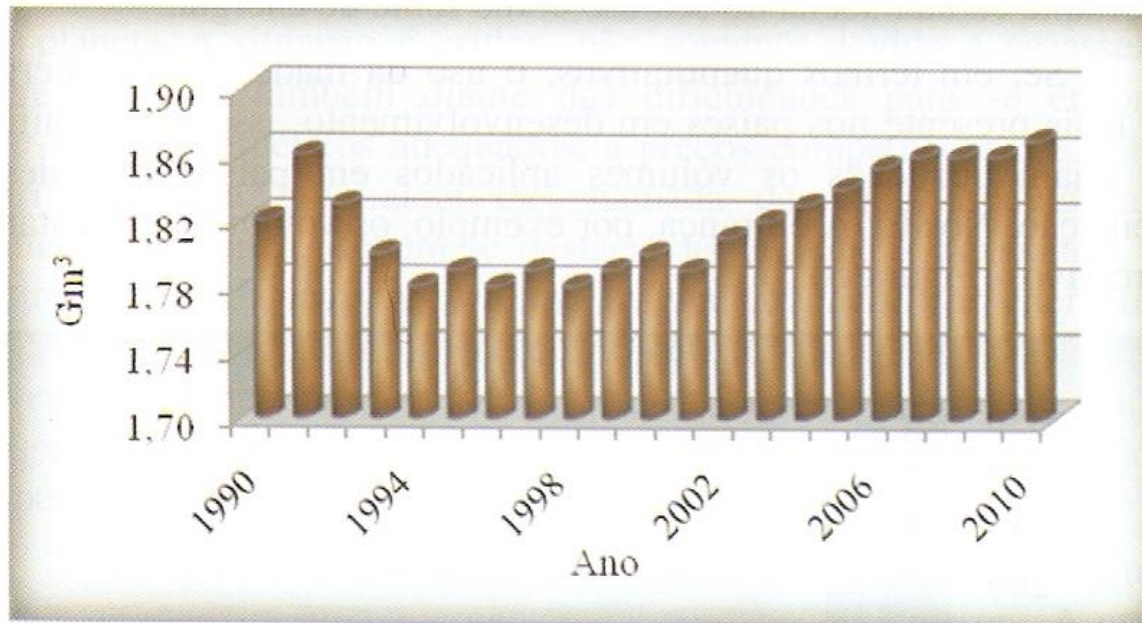


Figura 2: Evolução da produção mundial de madeira para energia.

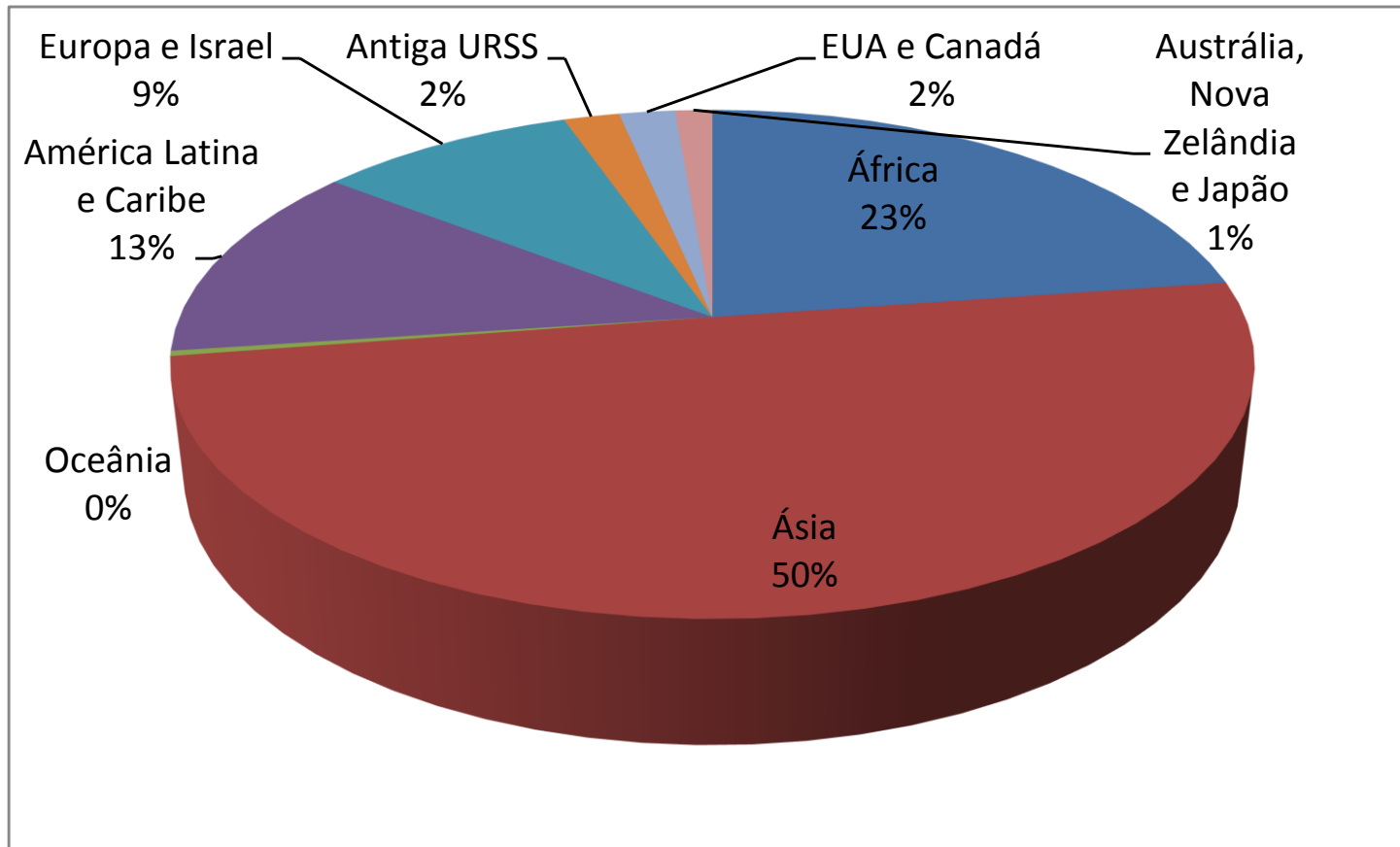
(SANTOS et al., 2013)

## 1.2 O SIGNIFICADO DA DENDROENERGIA

- ⦿ Dados da Food and Agriculture Organization of the United Nations apontam a madeira como o mais importante fonte de energia renovável - 9% da oferta global de energia primária.
- ⦿ A sua utilização iguala-se a soma das outras fontes renováveis (hidráulica, geotérmica biogás resíduos energia solar e biocombustíveis líquidos.
- ⦿ 2 bilhões de pessoas dependem da energia contida na madeira para cocção de alimentos e/ou aquecimento.

# 1.3 O SIGNIFICADO DA DENDROENERGIA

Distribuição da demanda dendroenergética, dados de 1995 (FAO, 1998).



# INDICADORES DE CONSUMO *PER CAPTA* PARA A DENDROENERGIA

Região	Energia		Produção florestal	
	da madeira	Outras fontes	Para energia	Outros usos
	GJ/pessoa/ano		MCS/pessoa/ano	
África	6,7	12,3	0,716	0,092
Ásia	3,1	22,0	0,282	0,068
Oceânia	8,8	8,0	0,876	0,702
América Latina e Caribe	5,6	40,0	0,578	0,293
Europa e Israel	3,4	121,7	0,249	0,508
Antiga URSS	1,5	106,4	0,146	0,397
EUA e Canadá	9,3	334,7	0,842	2,020
Austrália, N. Zelândia e Japão	1,8	159,8	0,224	0,406

# 1.2 O SIGNIFICADO DA DENDROENERGIA

- ◉ O uso energético domiciliar representa 33% do consumo global de energia renovável - importante caráter social
- ◉ United Nations Economic Commission for Europe (2012) aponta que:
  - entre as renováveis a madeira é mais importante fonte de energia da Europa (47% de energia renovável na região).
  - madeira atende 20% das exigências energéticas da Suécia, Finlândia e Estônia.
  - 44% da oferta de biomassa lenhosa europeia é utilizada para energia.

# 1.2 O SIGNIFICADO DA DENDROENERGIA

Reportando-se ao Brasil:

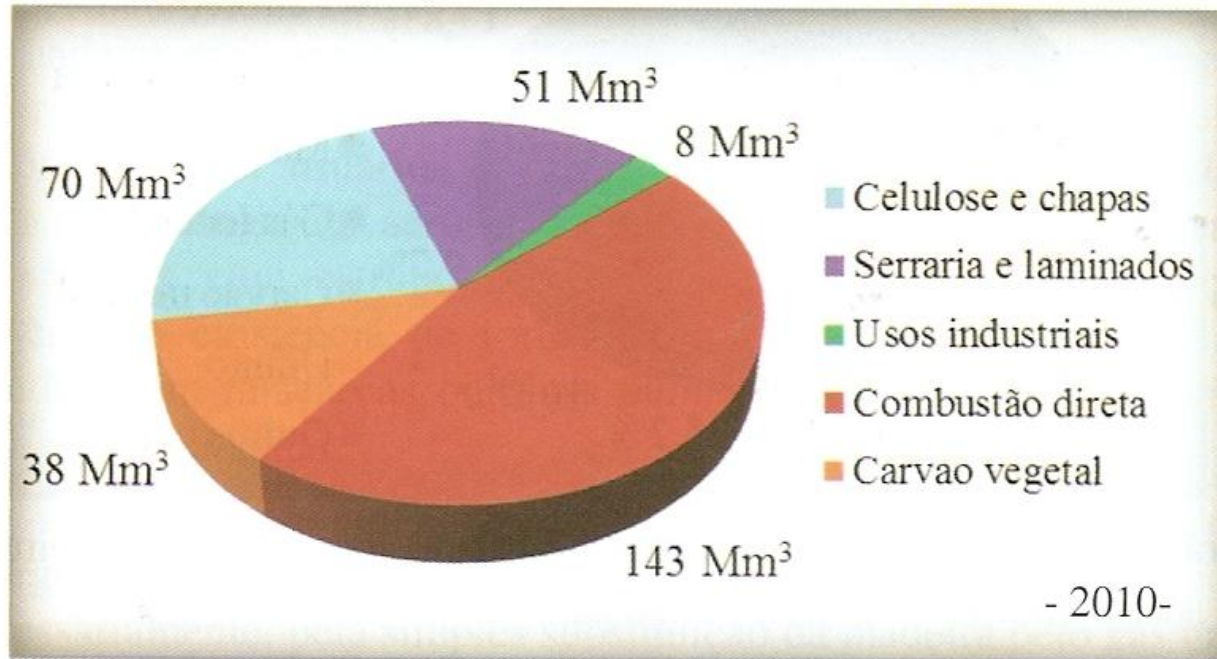


Figura 3: Principais usos da madeira no Brasil.

(SANTOS et al., 2013)

## 1.2 O SIGNIFICADO DA DENDROENERGIA

- ⦿ A madeira é considerada como reserva estratégica de suprimento energético para qualquer país.
- ⦿ A madeira foi a principal fonte de energia primária no Brasil até o final dos anos 70 - superada pelo petróleo e energia elétrica.

# 1.2 O SIGNIFICADO DA DENDROENERGIA

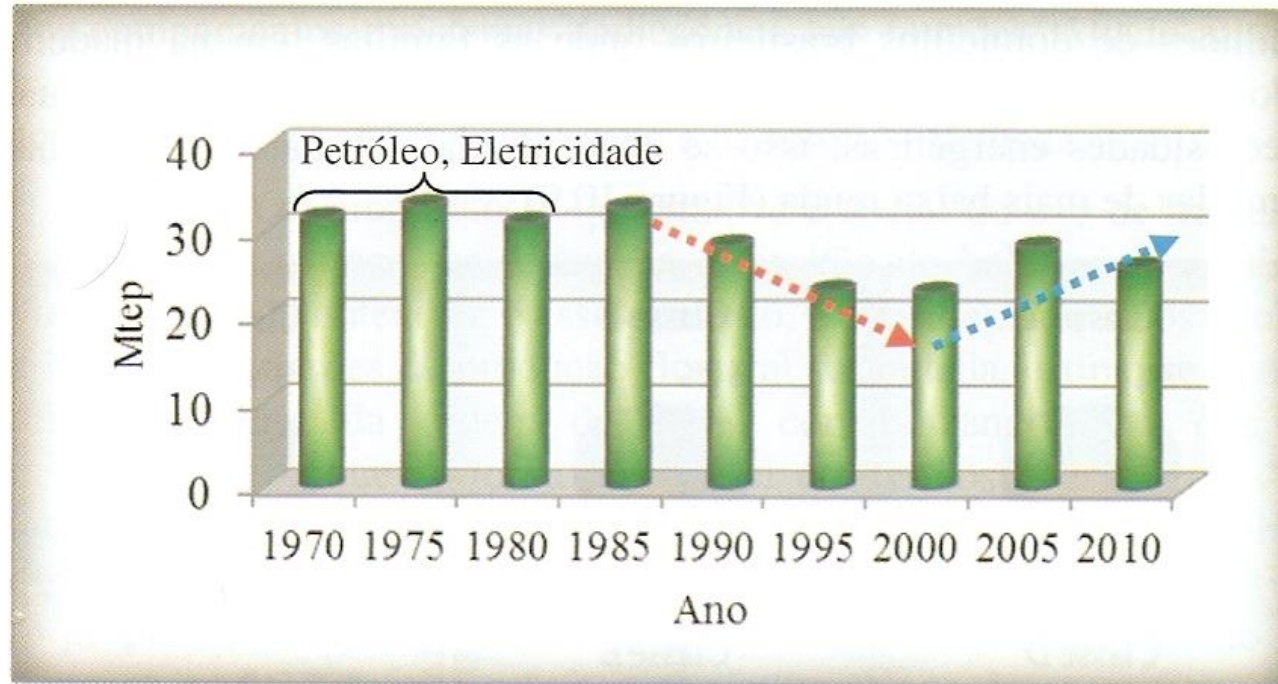


Figura 4: Evolução do consumo de madeira para energia no Brasil.  
(SANTOS et al., 2013)

↓ pois países social e economicamente desenvolvidos possuem incentivos para uso de petróleo e eletricidade.

↑ Incertezas de fontes fósseis, vantagens econômicas e oportunidades ambientais e estratégicas.



# 1.2 O SIGNIFICADO DA DENDROENERGIA

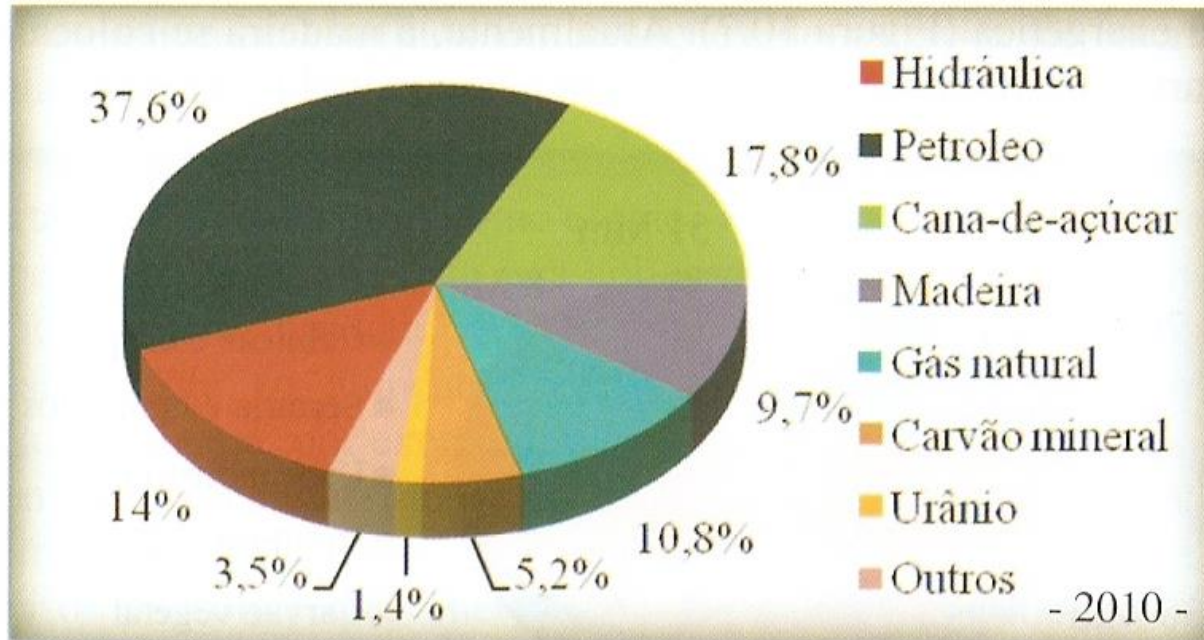


Figura 5: Participação da madeira no balanço energético brasileiro.

(SANTOS et al., 2013)

4,2 milhões de domicílios brasileiros tem a madeira ou carvão para atender as necessidades energéticas - famílias de baixa renda - considerando 4 pessoas - 15 milhões de dependentes.

# 1.2 O SIGNIFICADO DA DENDROENERGIA

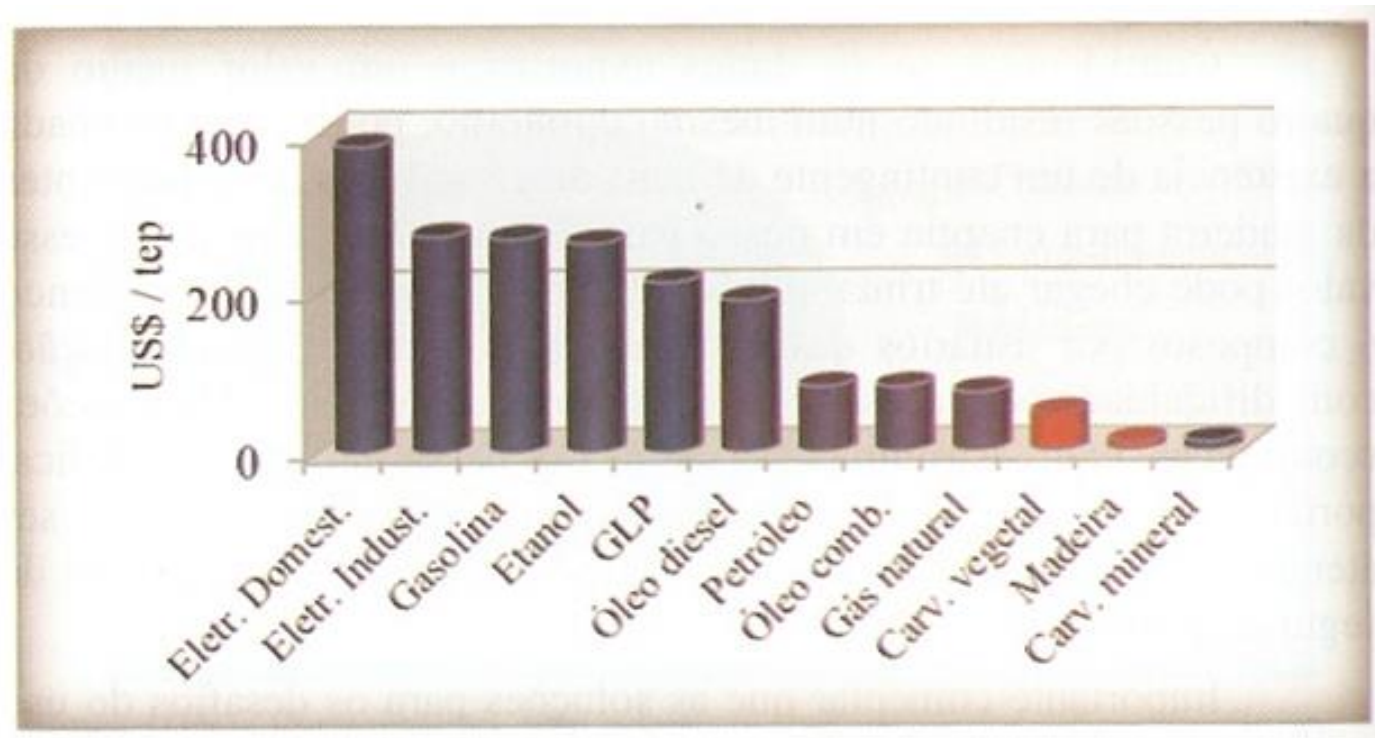


Figura 6: Preços de comercialização de energia praticados no Brasil.

(SANTOS et al., 2013)

# 1.3 EVOLUÇÃO E PERSPECTIVAS

Madeira para energia



Independência e a segurança de suprimento e uso



Produção desvinculada de crises econômicas e políticas e não é alvo de contestação da sociedade diferente de combustíveis fósseis

Associação Brasileira de Florestas Renováveis (2012) - 20% de áreas de plantio de eucalipto são para energia (500 mil hectares).

# 1.3 EVOLUÇÃO E PERSPECTIVAS

O Brasil pode ser consagrado o único país capaz de produzir o “aço verde”.



Figura 7: Vocação brasileira para a siderurgia a carvão vegetal.

(SANTOS et al., 2013)

# 1.3 EVOLUÇÃO E PERSPECTIVAS

Combustão direta de madeira e lignina contida no licor negro

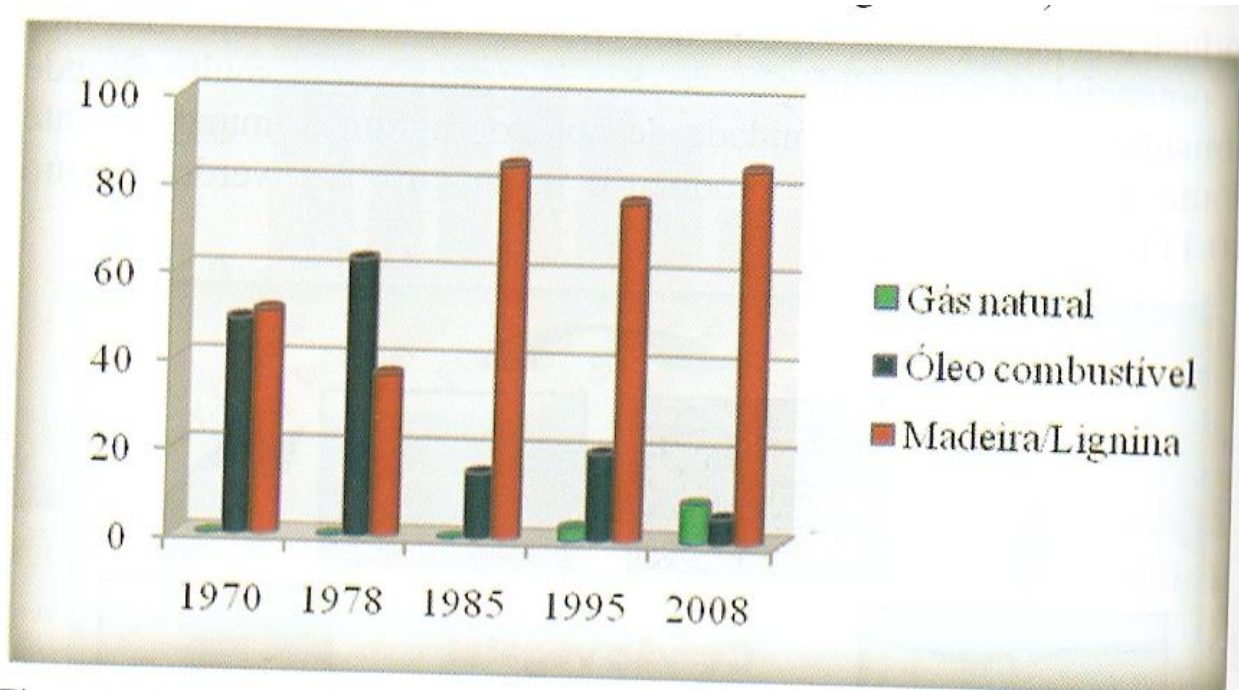


Figura 8: Evolução da matriz energética da industrial de papel e celulose no Brasil.

(SANTOS et al., 2013)

# 1.3 EVOLUÇÃO E PERSPECTIVAS

Maior grau de complexidade e de exigências faz necessários maiores graus de eficiência de processamento, aproveitamento e controle.

Demanda por novos processos



Figura 9: Principais opções de pré-processamento.

(SANTOS et al., 2013)

# 1.3 EVOLUÇÃO E PERSPECTIVAS

Rotas para uso/conversão energética da madeira.



# 1.3 EVOLUÇÃO E PERSPECTIVAS

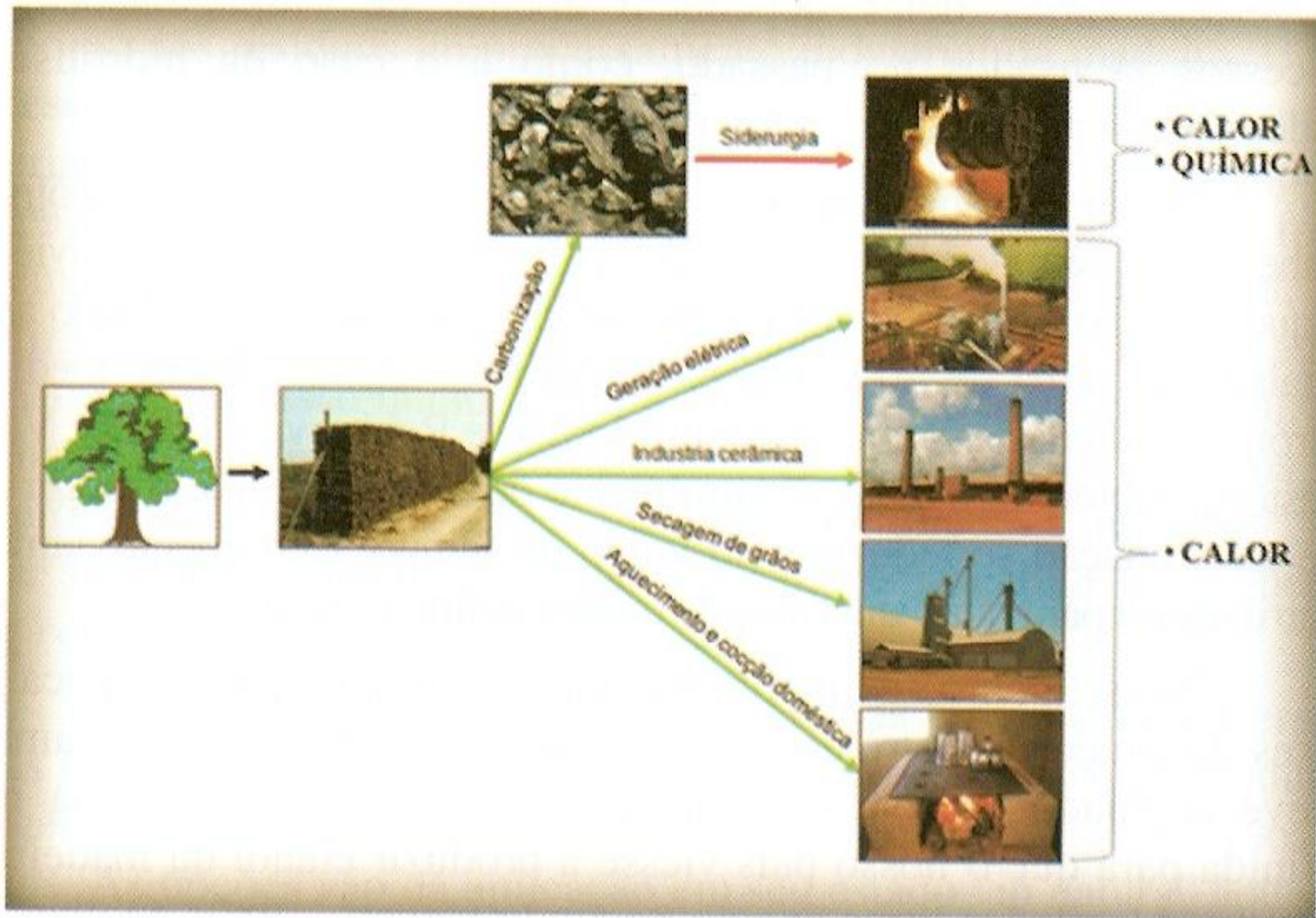


Figura 10: Principais rotas praticadas no Brasil no uso da madeira para energia.

(SANTOS et al., 2013)



# 1.3 EVOLUÇÃO E PERSPECTIVAS



Figura 11: Opções de energia.

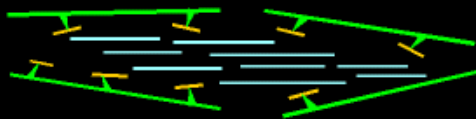
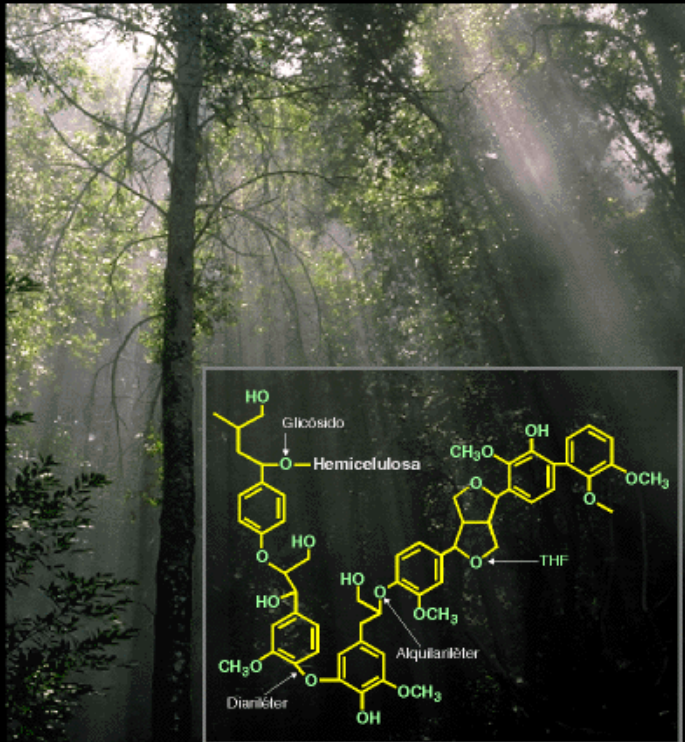
(SANTOS et al., 2013)

# TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE DENDROENERGIA

## 2 SISTEMAS DENDROENERGÉTICOS

Profa. Adriana Ferla de Oliveira

UFPR - Setor Palotina



# 2 SISTEMAS DENDROENERGÉTICOS

- 2.1 Estrutura dos sistemas dendroenergéticos
- 2.2 Implementação de sistemas dendroenergéticos otimizados
- 2.3 Recursos dendroenergéticos
  - 2.3.1 Florestas nativas
  - 2.3.2 Cultivos energéticos
  - 2.3.3 Biomassa aquática
  - 2.3.4 Resíduos e subprodutos da biomassa

## 2.1 ESTRUTURA DOS SISTEMAS DENDROENERGÉTICOS

BIOENERGIA



```
graph TD; A[BIOENERGIA] --> B[Energia que apresenta maior diversidade e complexidade, cobrindo uma ampla gama de aplicações.]; B --> C[utilização da lenha: em cozinhas domésticas, para preparar alimentos, até a combustão do licor negro em caldeiras.];
```

Energia que apresenta maior diversidade e complexidade, cobrindo uma ampla gama de aplicações.

utilização da lenha: em cozinhas domésticas, para preparar alimentos, até a combustão do licor negro em caldeiras.

## 2.1 ESTRUTURA DOS SISTEMAS DENDROENERGÉTICOS

### SISTEMAS DENDROENERGÉTICOS

Conjunto inter-relacionado de agentes que atuam para levar a energia vegetal a atender as mais diversas necessidades humanas, com amplas possibilidades de aperfeiçoamento e expansão.

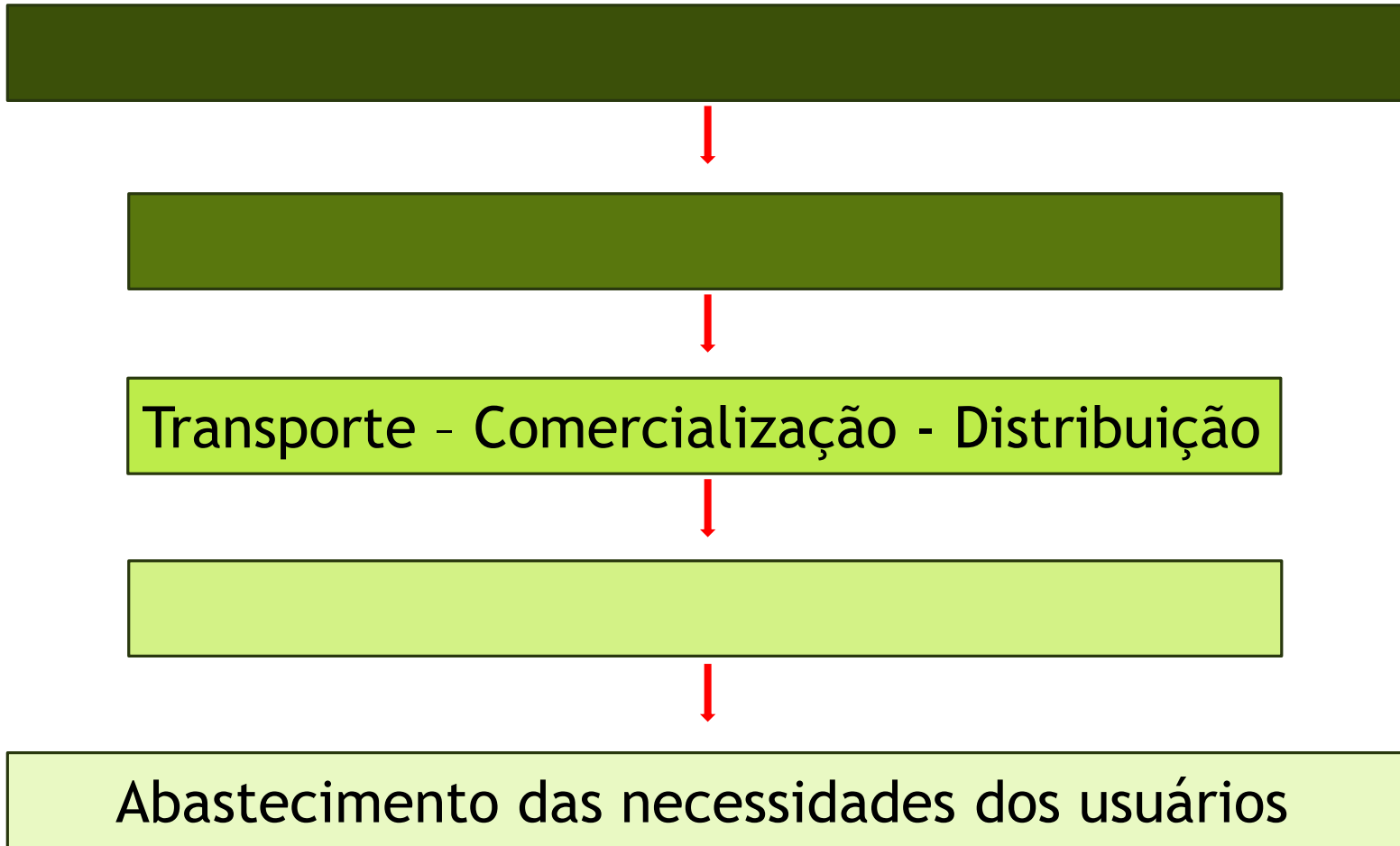
- ✓ Os sistemas energéticos baseados em combustíveis vegetais, em especial a madeira e seus derivados, apresentam características particulares importantes que os diferenciam dos demais.

## 2.1 ESTRUTURA DOS SISTEMAS DENDROENERGÉTICOS

- sequência de etapas - transporte, armazenamento e processos físicos e químicos.

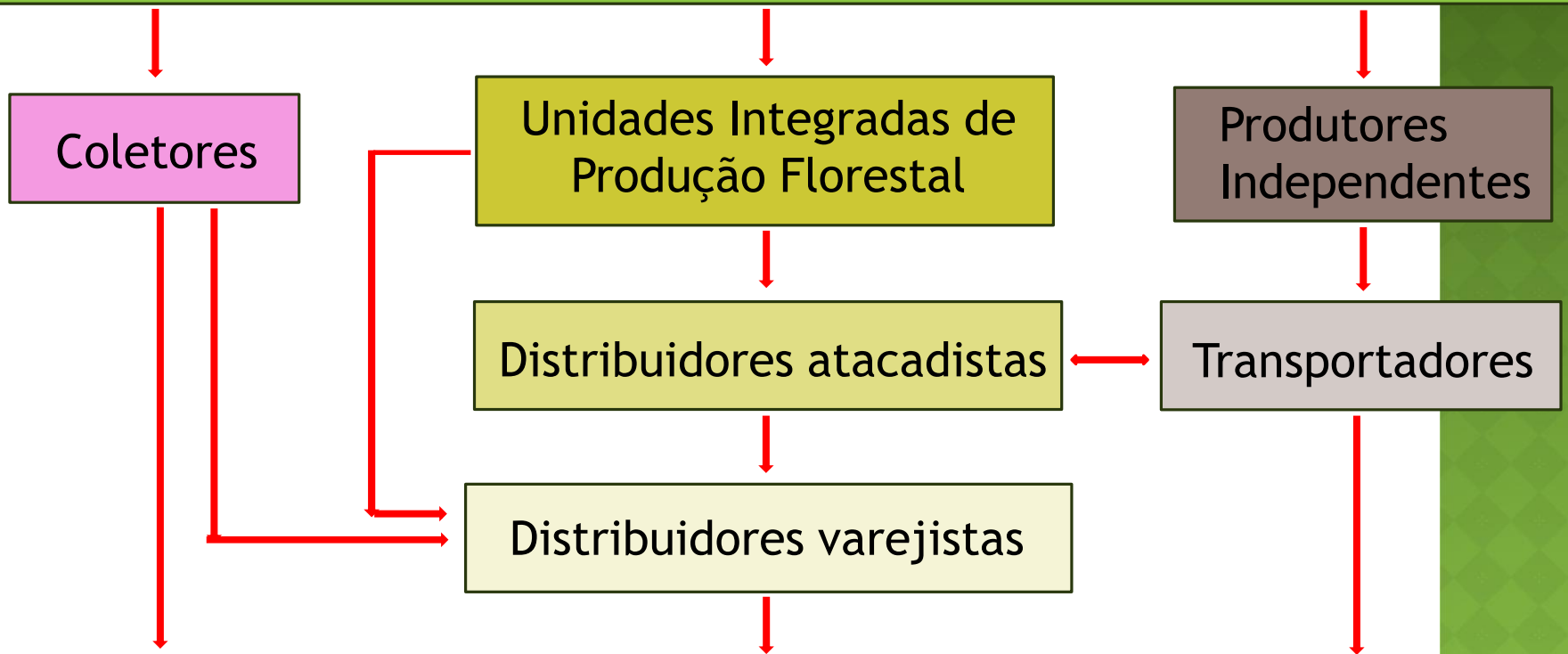


# OPERAÇÕES E ATIVIDADES EM SISTEMAS DENDROENERGÉTICOS



# SISTEMAS DENDROENERGÉTICOS DA LENHA (USO DIRETO)

Base de recursos dendroenergéticos (bosques, florestas, árvores isoladas, resíduos florestais da indústria da madeira)



Usuários finais  
(residências urbanas e rurais, serviços, indústrias, geração de eletricidade)



# SISTEMAS DENDROENERGÉTICOS DO LICOR NEGRO

**Base de recursos dendroenergéticos**  
(indústria de polpa celulósica, com o resíduo da polpação química da madeira)

**Concentração e adequação ao uso final**

**Usuário final**  
/indústria de polpa celulósica (a mesma citada acima), para a geração de calor e eletricidade/

## 2.2 IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS DENDROENERGÉTICOS OTIMIZADOS




Para o desenvolvimento adequado

Ações de oferta e demanda:

Estrutura e limites operacionais determinados em função das condições locais

Ampliação e racionalização da oferta de recursos dendroenergéticos




- 1) Proteção e manejo adequado das formações florestais naturais;
- 2) Novos recursos de madeira para lenha próximo de usuários;
- 3) Estímulo aos sistemas agroflorestais - consórcio com outras atividades;
- 4) Valorização dos recursos de madeira para uso como lenha mediante organização de mercado e distribuição dos benefícios de sua exploração;
- 5) Valorização dos subprodutos e resíduos não aproveitados.

## 2.2 IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS DENDROENERGÉTICOS OTIMIZADOS

Ações de oferta e demanda:

Incremento da eficiência no uso final dos recursos dendroenergéticos



- 1) Introdução de métodos adequados para operação e manutenção dos equipamentos;
- 2) Adoção de tecnologias melhoradas para a conversão ou transformação final;
- 3) Adoção de técnicas de preparação do combustível.

## 2.2 IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS DENDROENERGÉTICOS OTIMIZADOS

Etapa preliminar



✓ Realização de estudos básicos fluxos atuais e possíveis - sustentabilidade de dendrocombustíveis;



✓ Caracterização de sua origem e principais características - umidade, granulometria e densidade.

A realização destes estudos permite configurar processos unitários e grau de eficiência real e ideal - **diagnóstico dendroenergético.**

## 2.2 IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS DENDROENERGÉTICOS OTIMIZADOS

Etapa preliminar

```
graph TD; A[Etapa preliminar] --> B[✓ Análise de caráter institucional;]; B --> C[✓ Eventuais políticas, aspectos legais e normativos que afetam direta ou indiretamente os sistemas.];
```

✓ Análise de caráter institucional;

✓ Eventuais políticas, aspectos legais e normativos que afetam direta ou indiretamente os sistemas.

## 2.2 IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS DENDROENERGÉTICOS OTIMIZADOS



- ✓ Conhecer bem:
  - **onde e quando** há (e potencialmente pode haver) recursos dendroenergéticos;
  - **quem e como e quanto** necessita de dendroenergia;
  - **quem** pode ajudar ou dificultar o processo de melhoria dos sistemas dendroenergéticos.

## 2.2 IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS DENDROENERGÉTICOS OTIMIZADOS

Existência de mecanismos

```
graph TD; A[Existência de mecanismos] --> B[Decisão<br/>Execução<br/>Supervisão]; B --> C[✓ Claramente identificados e adequadamente capacitados para exercer as atribuições.];
```

**Decisão**  
**Execução**  
**Supervisão**


✓ Claramente identificados e adequadamente capacitados para exercer as atribuições.

## 2.2 IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS DENDROENERGÉTICOS OTIMIZADOS

Recursos Humanos



✓ Possuem papel determinante na concepção e operação.



- ✓ Valorização e capacitação das pessoas envolvidas:
- produção;
  - transporte;
  - transformação;
  - uso final do recurso dendroenergético.



# FATORES A CONSIDERAR NA IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS DENDROENERGÉTICOS OTIMIZADOS

Fatores	Descrição
<b>Tecnológicos</b>	<p>Seleção adequada das espécies florestais a serem adotadas.</p> <p>Práticas para elevar a produtividade florestal.</p> <p>Difusão de métodos e processos mais eficientes e produtivos.</p> <p>Caracterização detalhada do local em termos de parâmetros físicos e biológicos.</p>
<b>Ambientais</b>	<p>Valorização dos resíduos de biomassa.</p> <p>Avaliação das emissões e disposição final dos resíduos da exploração dendroenergética.</p> <p>Avaliação de impacto na produção.</p>
<b>Sociológicos</b>	<p>Avaliação do perfil energético do usuário.</p> <p>Realização do diagnóstico socioeconômico dos grupos sociais envolvidos.</p>

# FATORES A CONSIDERAR NA IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS DENDROENERGÉTICOS OTIMIZADOS

Fatores	Descrição
Econômicos	Avaliação da formação de preços e custos dos recursos dendroenergéticos.
Fiscais de Impostos	Previsão de incentivos adequados para ampliar a disponibilidade de recursos dendroenergéticos e melhorar a eficiência em sua utilização. Promoção da produção local de sistemas eficientes para conversão final. Avaliação dos sistemas de impostos para terras marginais de potencial florestal.
Organizacionais	Reforço base institucional associada a dendroenergia. Estimulo a coordenação das atividades de Investigação e Desenvolvimento. Formação e capacitação de recursos humanos em temas dendroenergéticos.

## 2.2 IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS DENDROENERGÉTICOS OTIMIZADOS

Segundo Torres (1993), uma Avaliação dos Projetos e Programas de Ação Florestal - vinculados a melhora dos sistemas dendroenergéticos existentes na América Latina e Caribe aponta:

### 4 Fatores básicos de êxito



- 1) Vontade expressa e compromisso claro do governo - apoio financeiro e organismos institucionais.
- 2) Participação da população rural e organismos oficiais - na proteção, organização ou estabelecimento de recursos florestais para fins energéticos.
- 3) Apoio de um organismo florestal capacitado e equipado.
- 4) Base sólida de soluções técnicas provadas e adaptadas as situações ecológicas, sociais econômicas no meio.

## 2.3 RECURSOS DENDROENERGÉTICOS

```
graph TD; A[2.3 RECURSOS DENDROENERGÉTICOS] --> B[produtos diretos e indiretos da floresta]; B --> C[produzidos ou não para fins energéticos]; C --> D[casos particulares de recursos bioenergéticos que incluem todos os casos de biocombustíveis, entre os quais a lenha e seguramente um dos mais importantes.];
```

produtos diretos e indiretos da floresta

produzidos ou não para fins energéticos

casos particulares de recursos **bioenergéticos** que incluem todos os casos de biocombustíveis, entre os quais a **lenha** e seguramente um dos mais importantes.

## 2.3 RECURSOS DENDROENERGÉTICOS

Os principais recursos bioenergéticos são:

A. FLORESTAS NATIVAS

B. CULTIVOS ENERGÉTICOS

B.1 SILVICULTURA

B.2 CULTIVOS ANUAIS

B.3 CULTIVOS DE TRANSIÇÃO

C. FITOMASSA AQUÁTICA

D. RESÍDUOS E SUBPRODUTOS DA BIOMASSA

D.1 RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS

D.2 RESÍDUOS FLORESTAIS

D.3 RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS

D.4 RESÍDUOS URBANOS

## A. FLORESTAS NATIVAS

- ⦿ A exploração intensa e o desmatamento para expansão das atividades agropecuárias, em muitos casos têm levado a uma quase destruição dos maciços florestais.
- ⦿ tempo para crescer - não é fonte inesgotável de energia
- ⦿ é possível uma exploração racional com vistas no abastecimento energético.

# PRODUTIVIDADE SUSTENTÁVEL DE BIOMASSA DE ALGUMAS FLORESTAS NATURAIS

Cobertura Florestal	Descrição	Produtividade	
		(m <sup>3</sup> st/ ha.ano)	(tep/ ha.ano)
<b>Floresta tropical densa</b>	Árvores grandes (cobrem mais de 60% do solo)	13,7	1,78
<b>Floresta aberta</b>	Árvores grandes (cobrem de 10 a 60% do solo)	7,1	0,92
<b>Matagal, Savanas</b>	Árvores grandes (cobrem até 10% do solo)	1,6	0,21

(NOGUEIRA; LORA, 2003)

1 tep = 41868 GJ

1 m<sup>3</sup>st = m<sup>3</sup>estereo

## B. CULTIVOS ENERGÉTICOS

- ⦿ Plantas cultivadas com o objetivo de produção de bioenergia.
- ⦿ Fonte de bioenergia subdividida entre: silvicultura, cultivos anuais e os cultivos de transição.

### B.1 SILVICULTURA

- ⦿ A conscientização dos danos causados pelo intenso desmatamento de florestas nativas foram desenvolvidas técnicas de plantio e manejo de espécies florestais, para aumentar sua produtividade e reduzir seu possível esgotamento.



## B.1 SILVICULTURA

- ⦿ As espécies mais adaptadas são o eucalipto e o pinheiro, podem ser utilizadas outras espécies como a acácia, mimosas, leucenas e outras.
- ⦿ Neologismo - “florestas energéticas” está sendo usada para definir os maços florestais



Obter a maior quantidade de energia por hectare no menor tempo possível.

## B.1 SILVICULTURA

- Valor médio de produtividade de florestas plantadas



25m<sup>3</sup>st/ha.ano - 3,25tep/ha.ano

Espécie	Produção por corte (MCS/ha)	Ciclo de corte	Produtividade média (MCS/ha.ano)	Produtividade máxima observada (MCS/ha.ano)
Eucalipto	280,0	7	40,0	60,0-80,0
Pinho	325,5	15	23,5	40,0
Acácia	232,0	6	38,7	-

MCS = metro cúbico sólido

- Densidade de cultivo - nº árvores/ha
- Afeta a produtividade
- Depende da espécie, condições climáticas e tratamentos culturais.

## B.2 CULTIVOS ANUAIS

- São espécies de ciclos anuais que são classificadas de acordo com sua principal substância de armazenamento de energia.



amiláceas, sacarídeos e oleaginosas geralmente com fins alimentícios

- Outros vegetais podem apresentar vantagens importantes como resistência a seca, produtividade razoável em terras pobres e facilidade de cultivo.



cana-de-açúcar, sorgo sacarino, sorgo gramífero, mandioca, babaçu, batata-doce, milho, etc.

## B.3 CULTIVOS DE TRANSIÇÃO

- ⦿ O fim da atividade pecuária extensiva em muitas propriedades e o uso generalizado de adubos possibilita a disponibilidade de terras no período depois da colheita e antes do próximo cultivo.
- ⦿ Neste período de descanso do terreno podem ser cultivados adubos verdes.



algumas forrageiras de inverno e cultivo energético de ciclo curto.

## C. FITOMASSA AQUÁTICA

- As plantas aquáticas vem sido estudadas com fim energético.



Aguapé (*Eichornia crassipes*) - planta herbácea - produtividade 15-200t/ha.ano.

- Produção de biogás 13,9m<sup>3</sup>/ton.
- Descontaminante de águas

Algas (*Spiruline* e *Scenedesmus*) - produtividade 100t/ha.ano.

- Produção de biogás
- Obtenção de óleo

## D. RESÍDUOS E SUBPRODUTOS DE BIOMASSA

- Cascas e outros resíduos lignocelulósicos



Energia subaproveitada

### D.1 RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS

- Resíduos agrícolas e os resíduos pecuários



Energia armazenada  $\approx$   
2X do produto colhido e  
4X para obtenção.  
15,7MJ/kg



Energia disponibilizada  
como biogás e adubo  
14,6MJ/kg

## D.2 RESÍDUOS FLORESTAIS

- Pontas e caules



Sem considerar a raiz - resíduos correspondem a 33% (fins industriais) e 5% (energia)

## D.1 RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS

- Resíduos agrícolas e os resíduos pecuários



- Indústria de açúcar e álcool; matadouros e frigoríficos; fábrica de doces e conservas; indústria de madeira e indústria de papel e celulose.

## D.2 RESÍDUOS URBANOS

- ◎ Sólidos - lixo
- ◎ Líquidos - águas servidas

### Características médias do lixo do Rio de Janeiro e São Paulo (Brasil)

Produção por habitante	0,6 a 0,8 kg/dia
Umidade	40 a 55%
Densidade	250 a 300kg/m <sup>3</sup>
Poder Calorífico	11,5 a 13,4 MJ/kg
Nitrogênio total	0,7 a 1,4%

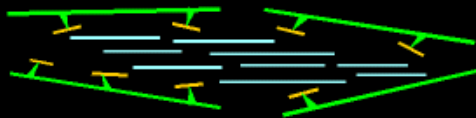
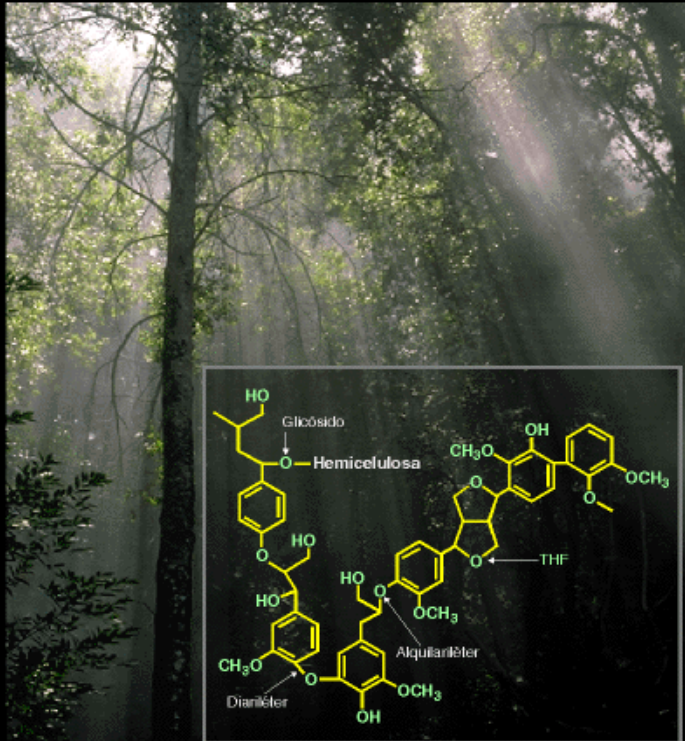


# PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOENERGIA - MESTRADO

## 3 QUESTÕES SÓCIO-AMBIENTAIS

Profa. Adriana Ferla de Oliveira

UFPR - Setor Palotina



# 3 QUESTÕES SÓCIO AMBIENTAIS

- 3.1 A problemática Energia vs Alimentos
- 3.2 Dendroenergia e Geração de Emprego
- 3.3 Dendroenergia e Meio Ambiente
  - 3.3.1 Efeitos ambientais na fase agrícola
  - 3.3.2 Efeitos ambientais na fase de conversão
  - Sistemas de combustão direta
  - Outros processos dendroenergéticos
- 3.4 Dendroenergia e Mudanças Climáticas.

# 3 QUESTÕES SÓCIO-AMBIENTAIS

ASPECTOS SOCIAIS

```
graph TD; A[ASPECTOS SOCIAIS] --> B[Necessidade de mão-de-obra]; A --> C[Impactos: social e ambiental]; C --> D[Sobre a região, país e o planeta];
```

Necessidade de  
mão-de-obra

Impactos: social e ambiental

Sobre a região, país e o planeta

## 3.1 A PROBLEMÁTICA ENERGIA VS. ALIMENTOS

- Aspecto da dendroenergia de particular interesse para países dependentes energeticamente do exterior é seu caráter autossuficiente e promotor de seguridade social.
- Os custos sociais e econômicos da dendroenergia devem ser justificáveis e o perfil tecnológico deve ser coerente com o país e a região.

**Obs:** Quando produção de energia afeta a estabilidade social, reduzindo a oferta de alimentos e elevando a inflação, suas vantagens passam a ser negativas.

# 3.1 A PROBLEMÁTICA ENERGIA VS. ALIMENTOS

- A energia e os alimentos são necessidades básicas do homem, que se associam desde a produção até o consumo.

ENERGIA X ALIMENTOS



RECURSOS ESCASSOS

(Capital, mão-de-obra qualificada e terras cultiváveis)

Tempo consumido para obtenção de lenha pode significar o sacrifício de uma horta ou outra atividade.

Desafio é racionalizar os sistemas energéticos e alimentícios a fim de que sejam complementares.

## 3.1 A PROBLEMÁTICA ENERGIA VS. ALIMENTOS

- ⊙ Muitos países não produzem alimentos em quantidades suficientes para as necessidades da população - **importam**
- ⊙ Muitos países em desenvolvimento **importam** energia.
- ⊙ Recursos monetários para estas importações vem da exportação de bens primários (produtos agrícolas).

# 3.1 A PROBLEMÁTICA ENERGIA VS. ALIMENTOS

- ⊙ A disponibilidade de terras agrícolas está relacionada com uma tripla pressão:
  - ⊙ Bens agrícolas para consumo interno
  - ⊙ Bens agrícolas para consumo externo
  - ⊙ Energia
- ⊙ Junto a implantação de um programa de energia de biomassa, é aconselhável implementar uma política agrícola global e objetiva para aumentar a produtividade e assegurar rentabilidade nos cultivos tradicionais - procurar cultivos energéticos em áreas marginais.

# 3.1 A PROBLEMÁTICA ENERGIA VS. ALIMENTOS

- Uma das maneiras de se resolver localmente a disputa energia x alimentos é a implantação **Sistemas Integrados**.
- No caso da dendroenergia são os sistemas agroflorestais.
  - silvicultural
  - silvipastoril



## 3.2 DENDROENERGIA E GERAÇÃO DE EMPREGO

- Uma característica sempre mencionada da energia de biomassa é seu uso intensivo de mão-de-obra - **baixa qualificação**
- **Operações:** colheita, transporte e processamento - elevado número de trabalhadores
- Ex: para produzir 1PJ de energia P (peta) =  $10^{15}$

- A partir de subprodutos do petróleo (exploração, produção e refino) 8 homens/ano.  
- Sistemas dendroenergéticos destinados a produção de combustíveis sólidos - 750 a 1000 homens/ano.

**Necessidade 100 vezes maior**

## 3.2 DENDROENERGIA E GERAÇÃO DE EMPREGO

- Dados de sistemas dendroelétricos reais, operando no Brasil com máquinas de vapor a resíduos de serrarias e capacidade total aproximadamente de 1MW, apresentam uma demanda de mão de obra de cerca de 10 homens por MW instalado.

Na tabela mostram-se indicadores da demanda de mão de obra para a geração de eletricidade, comparando-se diversos tipos de sistemas baseados na dendroenergia com os sistemas baseados em energia fóssil.

# EMPREGOS DIRETOS ASSOCIADOS A GERAÇÃO ELÉTRICA EM HOMEM.ANO/PJ

Sistema empregado	Atividades						
	Corte	Picado	Transporte local	Transporte em carretas	Planta elétrica	Administração	Total
Geração Elétrica em serrarias			5	1	2	8	
Geração com dendrocombustíveis recuperados			5	3	1	4	13
Cogeração em indústria de papel e celulose	6	8	11	15	1	4	34
Central Dendroelétrica intensa em MO	38	20	5	5	1	4	73
Central Dendroelétrica corte mecanizado	5	15	5	5	1	4	35
Central Termoelétrica a resíduos agrícolas	4	8		8	1	2	23
Central Termoelétrica a carvão mineral							8

(FAO, 1996)

## 3.2 DENDROENERGIA E GERAÇÃO DE EMPREGO

- Na produção de carvão vegetal em grande escala para fins siderúrgicos, incluindo as atividades florestais e de conversão



geração de emprego depende da tecnologia

**Métodos menos eficientes: 15 homens/ano**

**Métodos mais eficientes: 10,8 homens/ano**

## 3.3 DENDROENERGIA E MEIO AMBIENTE

- Os efeitos sobre o ambiente ocorrem durante:
  - Produção agrícola
  - Conversão
  - Utilização final

**Existe grande interesse na preservação ambiental**

# 3.3 DENDROENERGIA E MEIO AMBIENTE

## 3.3.1 Efeitos ambientais na fase agrícola

- Erosão
- Compactação do solo
- Redução de cursos da água
- Remoção de nutrientes do solo.

Manejos florestais adequados em cada ecossistema

- Evita ou atenua os efeitos indesejáveis

## 3.3 DENDROENERGIA E MEIO AMBIENTE

### 3.3.2 Efeitos ambientais na fase de conversão

- Sistemas de combustão direta



- A queima da lenha e resíduos agrícolas em caldeiras a vapor e fornos constitui uma fonte potencial de poluentes atmosféricos.

Materiais particulados (cinzas voláteis)



Controle: instalação de separadores de particulados

OBS: Óxidos de nitrogênio e enxofre são muito baixos devido as características do material lignocelulósico.

## 3.3 DENDROENERGIA E MEIO AMBIENTE

A escolha do sistema está condicionada a:

- Eficiência
- Nível desejado da emissão final
- Custo de investimento
- Custo de operação
- Espaço disponível, etc.



## 3.3 DENDROENERGIA E MEIO AMBIENTE

- Informação preliminar:
  - Carga granulométrica dos particulados
  - Características dos gases (temperatura, presença de compostos ácidos ou básicos)
  - Padrões de emissão vigentes.

As caldeiras que:

-**queimam madeira** se caracterizam por valores de carga de particulado na faixa de 500-800 mg/Nm<sup>3</sup>.

-**queimam casca** se caracterizam por valores de carga de particulado na faixa de 4.000 mg/Nm<sup>3</sup>.

## 3.3 DENDROENERGIA E MEIO AMBIENTE

- Outros processos dendroenergéticos

- Fabricação de carvão vegetal



Lança no ambiente produtos gasosos ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ) e líquidos (ácido acético, metanol e alcatrão).



Recuperação econômica dependerá da escala de produção e tecnologia empregada.

## 3.4 DENDROENERGIA E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

- ◉ **Quantidade de CO<sub>2</sub> atmosférico mostra significativo aumento** - devido a utilização de combustíveis fósseis e desmatamento



Ocasionando maior retenção de calor - aquecimento global - mudanças climáticas

- ◉ **Para reduzir a quantidade de CO<sub>2</sub> atmosférico**



Reduzir as emissões devido a combustíveis fósseis e capturar carbono na atmosfera.

## 3.4 DENDROENERGIA E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

- ◉ **Informação:** quanto de  $\text{CO}_2$  emite-se ao queimar combustível e quanto se armazena em uma formação florestal



Permite avaliar o papel da floresta e fazer uma comparação do manejo de florestas para energia, com a utilização como depósito de C.

## 3.4 DENDROENERGIA E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

- ◉ **Em relação as emissões as florestas podem ser utilizadas de duas maneiras**
  - **Forma passiva**: para sequestrar carbono atmosférico.
  - **Forma ativa**: substituir as emissões devidas aos combustíveis fósseis.

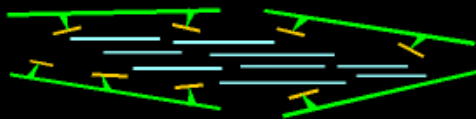
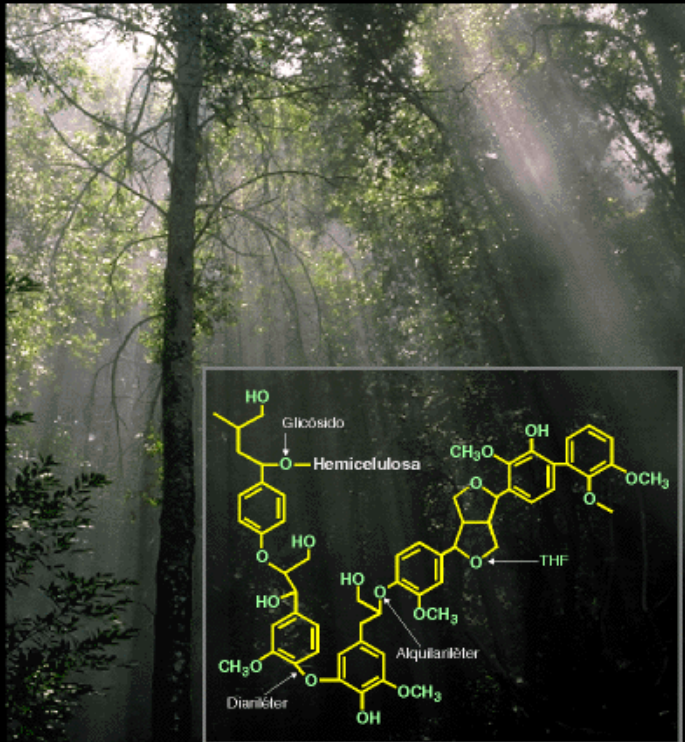
# PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOENERGIA - MESTRADO

## 4 CARACTERIZAÇÃO DOS RECURSOS DENDROENERGÉTICOS

CONTROLE DA QUALIDADE E  
ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS  
ESPECÍFICAS

Profa. Adriana Ferla de Oliveira

UFPR - Setor Palotina



# 4 CARACTERIZAÇÃO DOS RECURSOS DENDROENERGÉTICOS

## Química da Madeira

Principais componentes macromoleculares  
constituíntes da parede celular:

- ✓ Celulose
- ✓ Polioses (hemiceluloses)
- ✓ Lignina

Componentes minoritários de baixo peso molecular, extrativos e substâncias minerais (Cálcio (Ca), Potássio (K), Magnésio (Mg)), os quais são geralmente mais relacionados a madeira de certas espécies, no tipo e quantidade.

# 4 CARACTERIZAÇÃO DOS RECURSOS DENDROENERGÉTICOS

- A análise da composição química elementar da madeira de diversas espécies, coníferas e folhosas, demonstram a seguinte composição percentual, em relação ao peso seco da madeira.

<b>Elemento</b>	<b>Porcentagem</b>
<b>C</b>	<b>49 – 50%</b>
<b>H</b>	<b>6%</b>
<b>O</b>	<b>44 – 45%</b>
<b>N</b>	<b>0,1 – 1%</b>

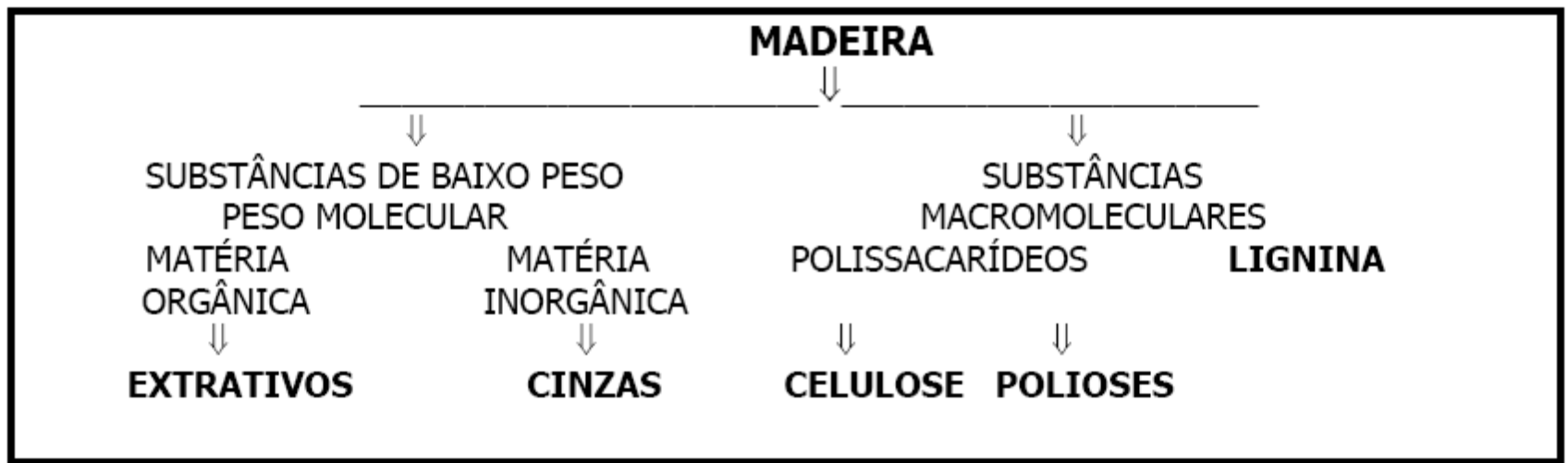


# 4 CARACTERIZAÇÃO DOS RECURSOS DENDROENERGÉTICOS

## Composição Média de Madeiras de Coníferas e Folhosas

Constituinte	Coníferas	Folhosas
Celulose	42 ± 2%	45 ± 2%
Polioses	27 ± 2%	30 ± 5%
Lignina	28 ± 2%	20 ± 4%
Extrativos	5 ± 3%	3 ± 2%

# 4 CARACTERIZAÇÃO DOS RECURSOS DENDROENERGÉTICOS

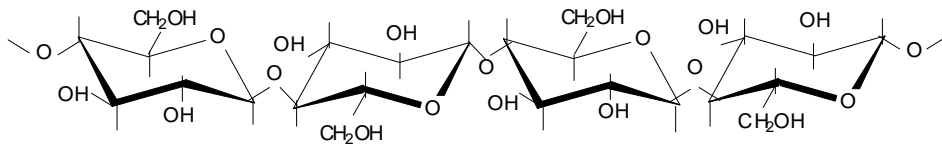


# 4 CARACTERIZAÇÃO DOS RECURSOS DENDROENERGÉTICOS

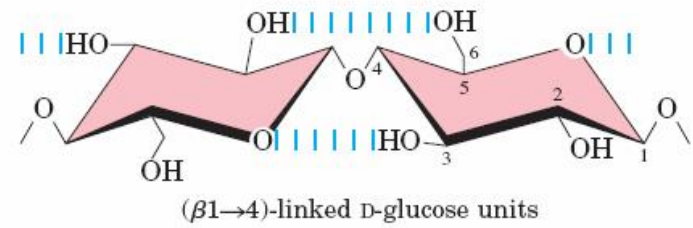
## Celulose

- É o componente majoritário, perfazendo aproximadamente a metade das madeiras tanto de coníferas, como de folhosas.
- Pode ser brevemente caracterizada como um polímero linear de alto peso molecular, constituído exclusivamente de  $\beta$ -D-glucose.
- Devido a suas propriedades químicas e físicas, bem como à sua estrutura supra molecular, preenche sua função como o principal componente da parede celular dos vegetais.

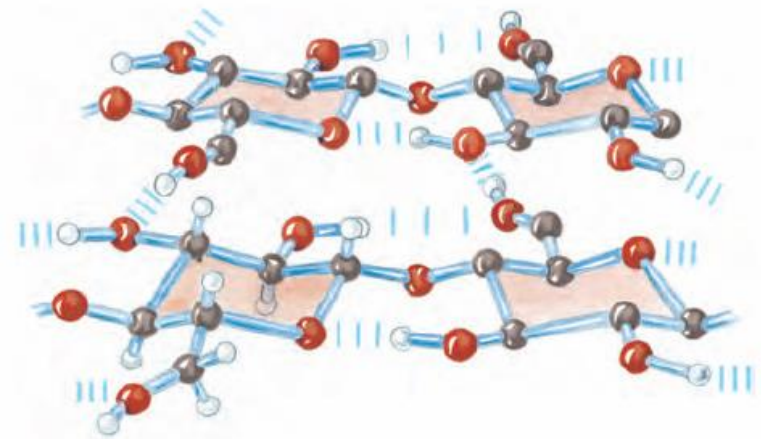
# CELULOSE



## celulose



(a)



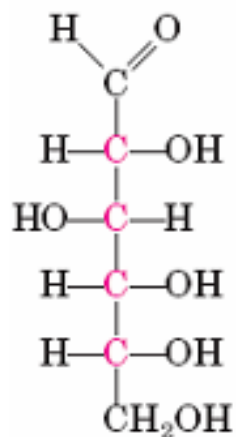
(b)

(β1→4)

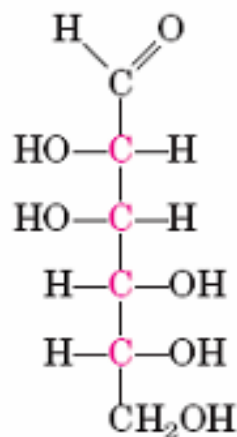
# 4 CARACTERIZAÇÃO DOS RECURSOS DENDROENERGÉTICOS

## Polioses (hemiceluloses)

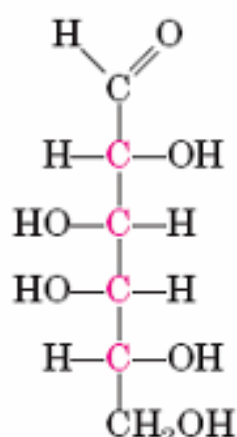
- Estão em estreita associação com a celulose na parede celular. Cinco açúcares neutros, as hexoses: glucoses, manose e galactose; e as pentoses : xilose e arabinose, são os principais constituintes das polioses.



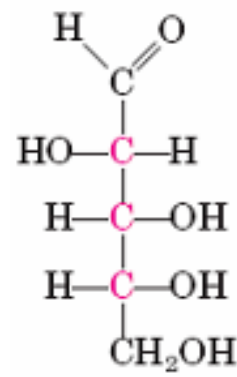
D-Glucose



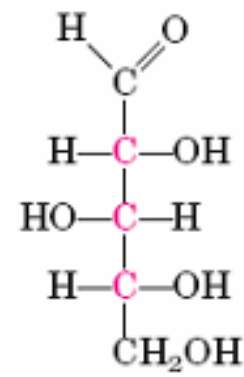
D-Mannose



D-Galactose



D-Arabinose



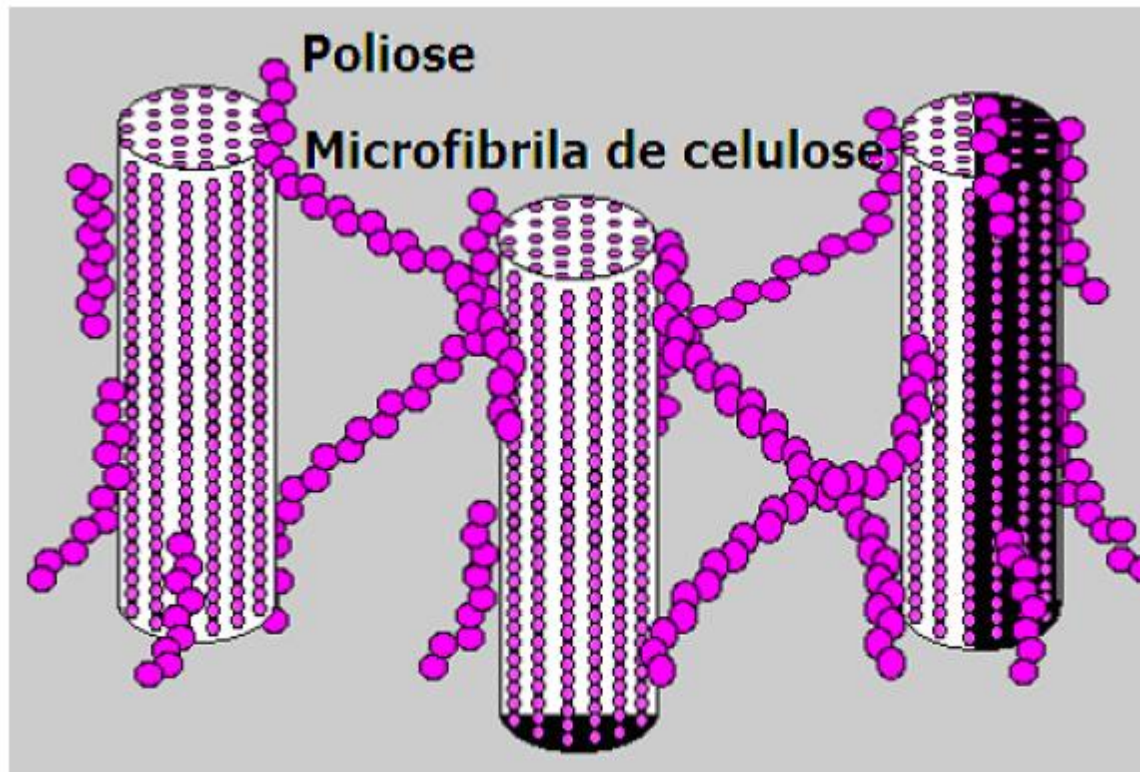
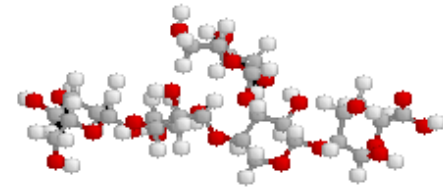
D-Xylose

# 4 CARACTERIZAÇÃO DOS RECURSOS DENDROENERGÉTICOS

## Polioses (hemiceluloses)

- Algumas polioses contém adicionalmente ácidos urônicos.
- As cadeias moleculares são muito mais curtas que a de celulose, podendo existir grupos laterais e ramificações em alguns casos.
- As folhosas, de maneira geral, contém maior teor de polioses que as coníferas, e a composição é diferenciada.

# HEMICELULOSE



– Ligações Polioses (Hemiceluloses) com Celulose (microfibrilas).

# 4 CARACTERIZAÇÃO DOS RECURSOS DENDROENERGÉTICOS

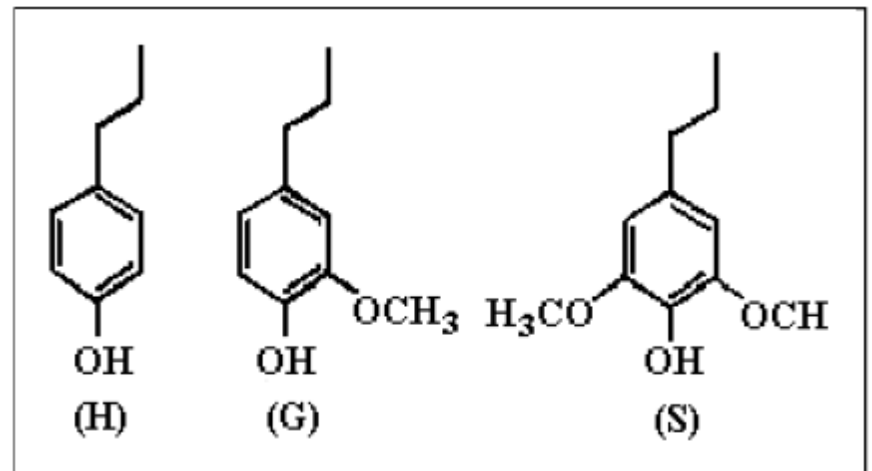
## Lignina

- É a terceira substância macromolecular componente da madeira.
- As moléculas de lignina são formadas completamente diferente dos polissacarídeos, pois são constituídas por um sistema aromático composto de **unidades de fenil-propano**.

H: p-hidroxifenila

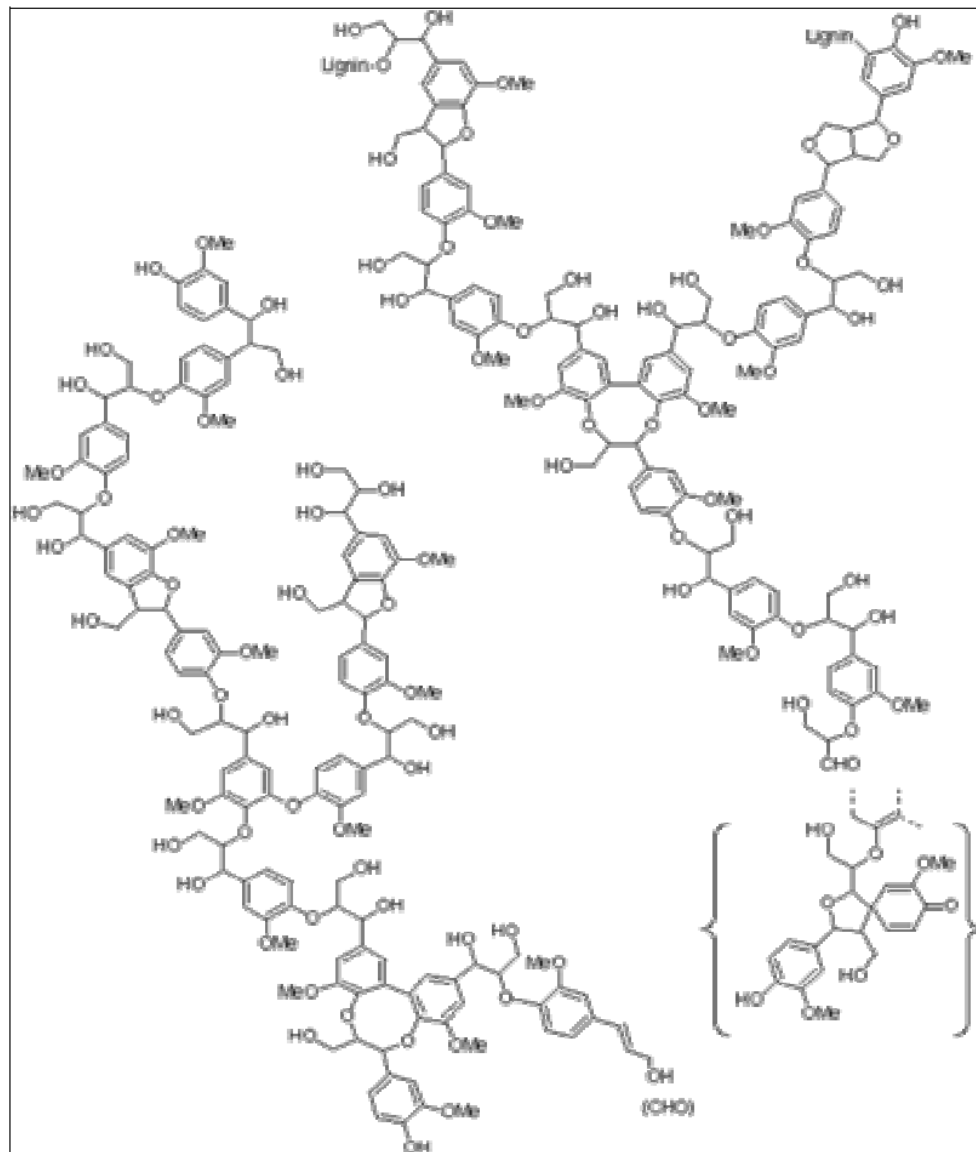
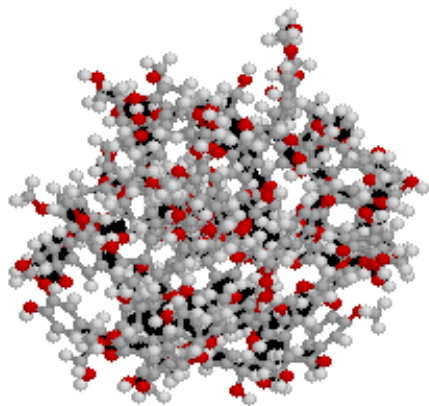
G: guaiacila

S: siringila





# LIGNINA



# 4 CARACTERIZAÇÃO DOS RECURSOS DENDROENERGÉTICOS

## Substâncias de baixo peso molecular

### Materiais Acidentais

- As substâncias de baixo peso molecular pertencem a classes muito diferentes em termos de composição química e portanto há dificuldades em se encontrar um sistema claro e compreensivo de classificação.
- Uma classificação simples pode ser feita dividindo-se estas substâncias em material orgânico e inorgânico.

# 4 CARACTERIZAÇÃO DOS RECURSOS DENDROENERGÉTICOS

- Características mais importantes da biomassa como fonte de energia:



- ✓ Composição química (elementar e imediata)
- ✓ Umidade
- ✓ Poder calorífico

# 4 CARACTERIZAÇÃO DOS RECURSOS DENDROENERGÉTICOS

## ✓ Composição química (elementar)



Base para cálculos de combustão

Percentual em massa dos principais elementos que constituem a biomassa - base massa seca.

- Carbono (C), Hidrogênio (H), Enxofre (S), Oxigênio (O), Nitrogênio (N) e Cinzas (A).

Normas Americanas: ASTM E 870-82 (1992) - *Standard test methods for analysis of wood fuel*, ASTM E 778-87 (1992) - *Standard test methods for nitrogen in the analysis sample of refuse derived fuel*, e ASTM E 777-87 (1992) - *Standard test methods for carbon and hydrogen in the analysis sample of refuse derived fuel*.

# 4 CARACTERIZAÇÃO DOS RECURSOS DENDROENERGÉTICOS

✓ Composição química (imediata)



Percentual baseado na massa do combustível.

○ Carbono fixo (F), Materiais voláteis (V), Cinzas (A) e eventual umidade (W).

- **Conteúdo de voláteis** - expressa a facilidade de se queimar um material e se determina como fração em massa do combustível que volatiliza durante o aquecimento de uma amostra em atmosfera inerte até temperatura de 850<sup>0</sup>C, por 7 minutos.
- A fração de carbono que permanece é o **carbono fixo** ou coque.

Normas: ASTM D 1102-84 (1995) - *Standard test methods for ash in wood*, ASTM E 872-82 (1992) - *Standard test methods for volatile matter in the analysis of particulate wood fuel*.

# 4 CARACTERIZAÇÃO DOS RECURSOS DENDROENERGÉTICOS

## ✓ Umidade



É a medida da quantidade de água livre na biomassa e que pode ser avaliada pela diferença entre os pesos de uma amostra, antes e logo após à secagem.

## ✓ Umidade base seca:

$$H_s = (P_u - P_s) / P_s \quad (\text{kg água} / \text{kg material seco})$$

## ✓ Umidade base umida:

$$H_u = (P_u - P_s) / P_u \quad (\text{kg água} / \text{kg material nas condições de trabalho})$$

# 4 CARACTERIZAÇÃO DOS RECURSOS DENDROENERGÉTICOS

✓ Poder calorífico



É a quantidade de calor (energia térmica) que se libera durante a combustão completa de uma unidade de massa ou de volume de combustível (kJ/kg ou kJ/m<sup>3</sup>)

✓ PCS (Poder Calorífico superior)

Se condensam os vapores de água presentes nos gases de combustão

✓ PCI (Poder Calorífico inferior)

Não se condensam os vapores de água presentes nos gases de combustão

✓ PCU (Poder Calorífico útil)

# 4 CARACTERIZAÇÃO DOS RECURSOS DENDROENERGÉTICOS

- amostras
  - moídas, secas e peneiradas em peneira ABNT 70, segundo norma ABNT - NBR 8633;
  - prensadas na forma de pastilhas com aproximadamente  $1 \pm 0,0001$ g cada uma;
  - secas em estufa a  $103 \pm 2^\circ$  C até a estabilização do peso;
  - pesadas e queimadas em bomba calorimétrica.

OBS: Para calorímetro que tem como unidade de calor kcal/kg, transformar para kJ/kg (Sistema Internacional de Medidas), multiplicando-se os valores determinados nas equações para PCS, PCI e PCU por 4,18.

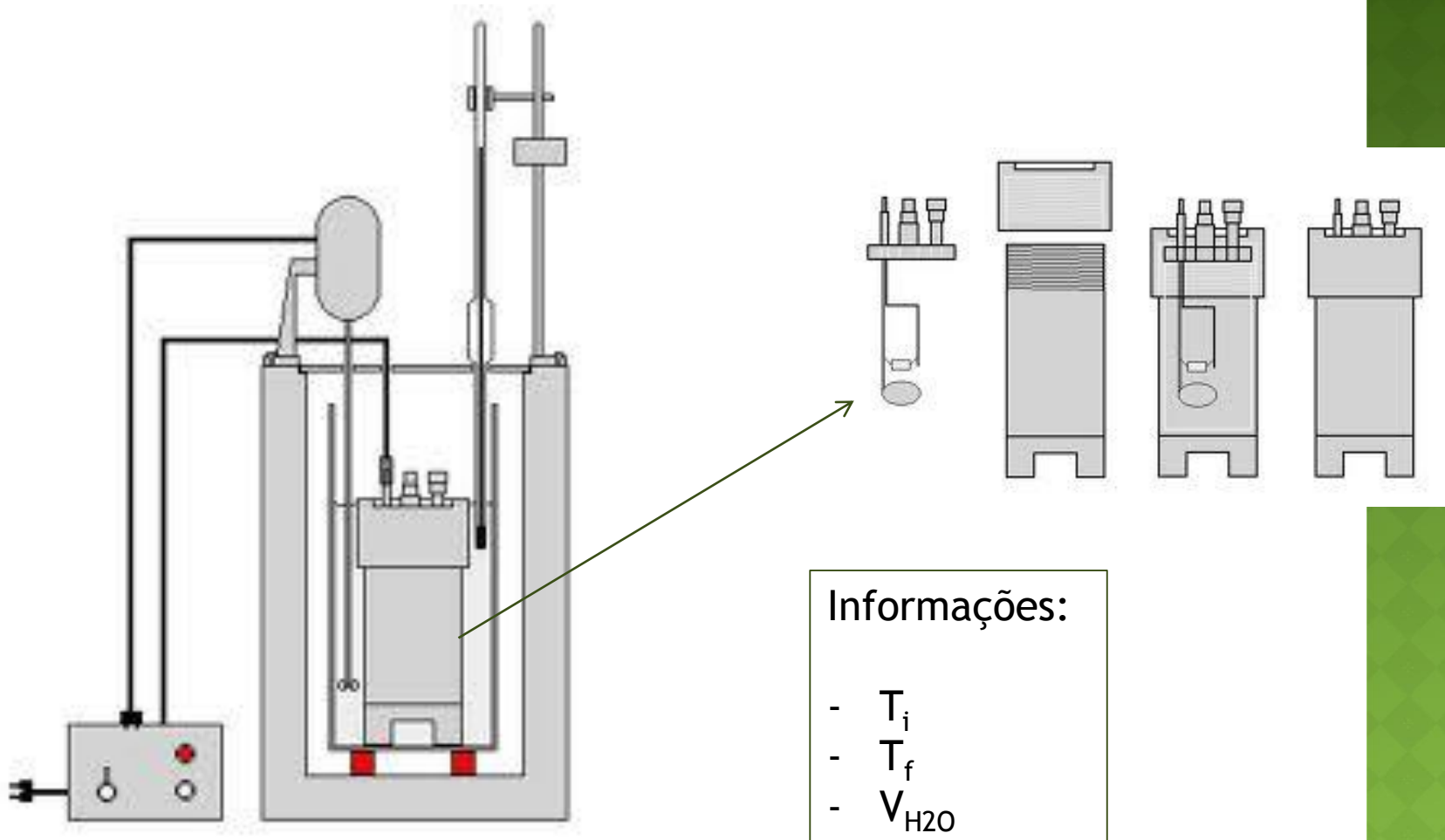


# BOMBA CALORIMÉTRICA



Bomba calorimétrica  
Automática, marca IKA  
WORKS, modelo C-2000,

# ESQUEMA - BOMBA CALORIMÉTRICA



# 4 CARACTERIZAÇÃO DOS RECURSOS DENDROENERGÉTICOS

✓ PCS (Poder Calorífico superior)

$$\text{PCS} = [(K + m\text{H}_2\text{O}) \times \Delta T] / m_1$$

Sendo:

PCS = poder calorífico superior

K = constante do equipamento (413,1228)

$m\text{H}_2\text{O}$  = massa de água (2700 g)

$\Delta T$  = variação de temperatura (°C)

$m_1$  = massa seca (g)

- A constante K da máquina utilizada é determinada com ácido benzóico, sabendo-se previamente que o PCS do ácido benzóico é de 6318 kJ/kg. O valor obtido de K foi de 413,1228.

# 4 CARACTERIZAÇÃO DOS RECURSOS DENDROENERGÉTICOS

✓ PCI (Poder Calorífico inferior)

$$\text{PCI} = \text{PCS} - \{600 \times [(9 \times \text{H}) / 100]\}$$

Onde:

PCI = poder calorífico inferior

PCS = poder calorífico superior, determinado através de bomba calorimétrica

H(%) = teor de hidrogênio

O PCI é calculado com o material a 0% de umidade.

# 4 CARACTERIZAÇÃO DOS RECURSOS DENDROENERGÉTICOS

✓ PCU (Poder Calorífico Útil)

$$PCU = PCI \times \left\{ \left[ \frac{100 - U}{100} \right] - (6 \times U) \right\}$$

Onde:

PCU = poder calorífico útil

PCI = poder calorífico inferior

U(%) = umidade do material

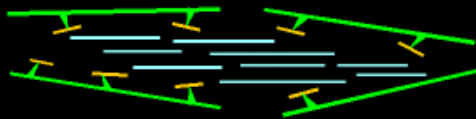
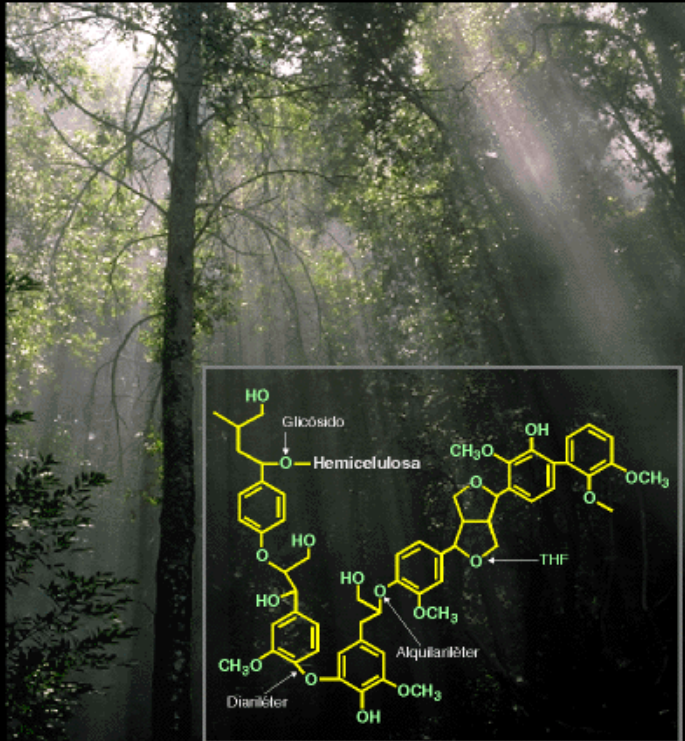
O PCU é calculado com as umidades determinadas.

# PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOENERGIA - MESTRADO

## 5 RESTRIÇÕES A DISPONIBILIDADE

Profa. Adriana Ferla de Oliveira

UFPR - Setor Palotina



# 5 RESTRIÇÕES A DISPONIBILIDADE

Quando se busca determinar a disponibilidade de biomassa energética em um país ou região deve-se considerar:

- **Restrições ecológicas** - preservação do meio ambiente e qualidade de vida.
- **Restrições econômicas** - avaliação se a biomassa não possui uso mais interessante (matéria-prima industrial ou alimento) e balanço energético da produção e uso da biomassa em comparação a um combustível de uso corrente.
- **Restrições tecnológicas** - existência ou não de processos confiáveis para conversão da biomassa em combustível de uso mais geral.

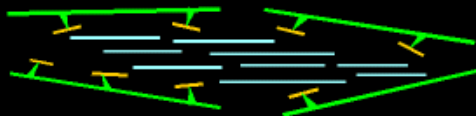
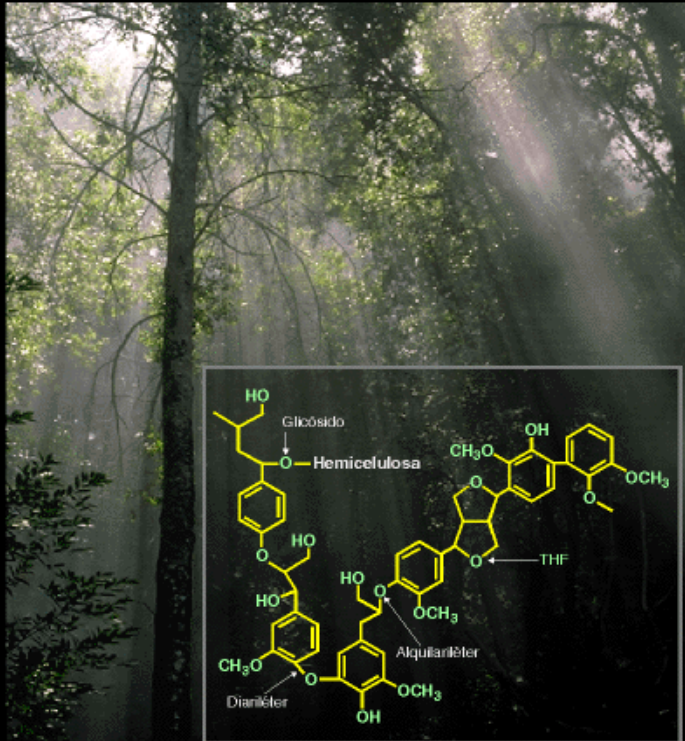
# PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOENERGIA - MESTRADO

## 6 PROCESSOS BÁSICOS DE CONVERSÃO

### APLICAÇÕES

Profa. Adriana Ferla de Oliveira

UFPR - Setor Palotina





# 6 PROCESSOS BÁSICOS DE CONVERSÃO

- ◉ 6.1 Combustão da Biomassa
- ◉ 6.2 Pirólise da Biomassa (carvão e bio-óleo)
- ◉ 6.3 Gaseificação da Biomassa

# RECURSOS DENDROENERGÉTICOS

Energia disponível



Energia química

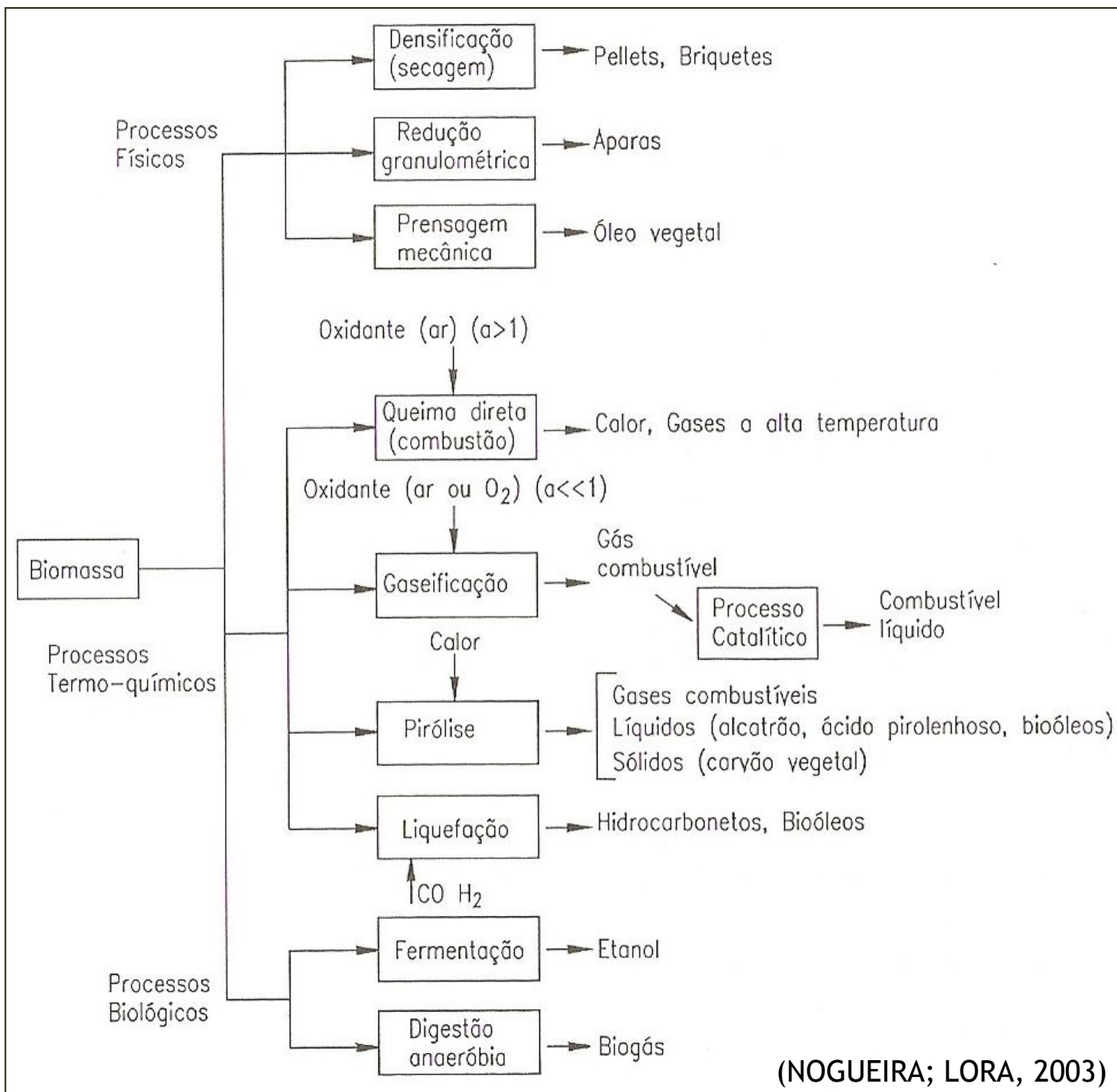


Impõe reações para sua liberação

Ex: Conversão em um combustível gasoso ou líquido

Os processos de conversão energética da biomassa podem ser classificados em três grupos: processos físicos, termoquímicos e biológicos.





# 6.1 COMBUSTÃO DA BIOMASSA

Queima direta ou combustão



Tecnologia de conversão mais antiga e difundida.



Processo de óxido-redução entre um combustível e um comburente, gerando calor - reação exotérmica.

# 6.1 COMBUSTÃO DA BIOMASSA

Combustível



toda a substância capaz de reagir com oxigênio e liberar energia térmica.



sólidos - líquidos - gasosos



Entram em combustão mais facilmente

Propriedades que afetam o processo de combustão:

- composição química elementar,
- poder calorífico,
- umidade,
- densidade,
- teor de voláteis
- cinzas e granulometria.

# 6.1 COMBUSTÃO DA BIOMASSA

Comburente



Substâncias capazes de proporcionar existência de chamas, ativando e intensificando o fogo.



**O<sub>2</sub> e ar atmosférico** (78,08% - nitrogênio, 20,94% - oxigênio, 0,93% - argônio, 0,03% - dióxido de carbono, 0,001% - neônio e 0,001% - outros)

Temperatura de ignição



temperatura necessária para que a mistura entre combustível e comburente inicie o processo de combustão

# 6.1 COMBUSTÃO DA BIOMASSA

Combustível

+

Comburente

+

Temperatura  
de ignição

Relaciona-se com a ocorrência da combustão da seguinte forma:

- a) **Disponibilidade de combustível e oxigênio - excesso:**  
(sólidos (30-60%), líquido (10-30%) e gasoso (5-20%))
- b) **Contato do combustível com o oxigênio -**  
pulverização, desintegração e/ou aumento da  
turbulência do comburente
- c) **Disponibilidade de tempo e espaço**
- d) **Ocorrência da temperatura de ignição**

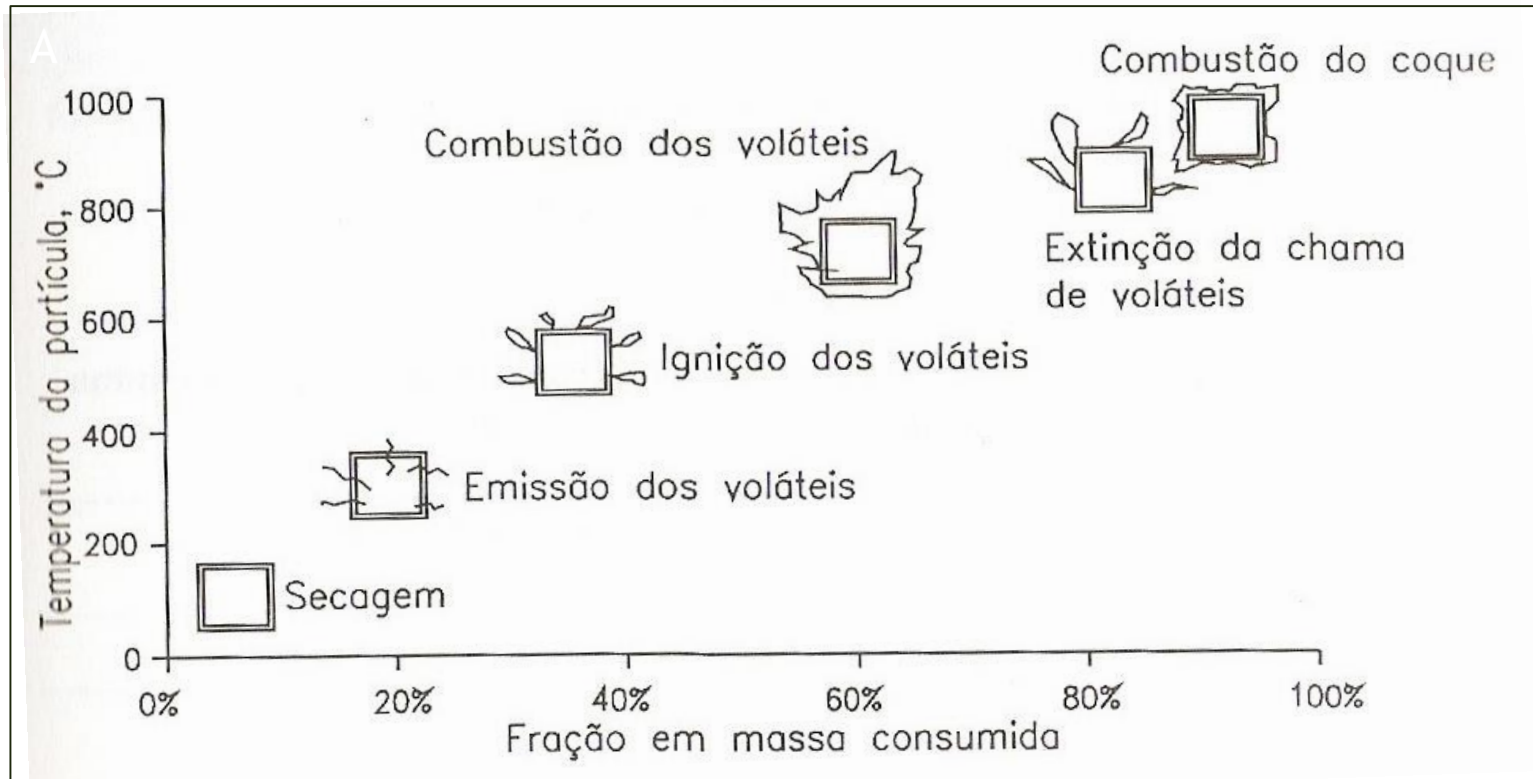
# 6.1 COMBUSTÃO DA BIOMASSA

A combustão transcorre em 6 etapas consecutivas:

1. Secagem
2. Emissão de voláteis
3. Ignição dos voláteis
4. Queima dos voláteis em chama
5. Extinção da chama de voláteis
6. Combustão do resíduo de carbono (coque)

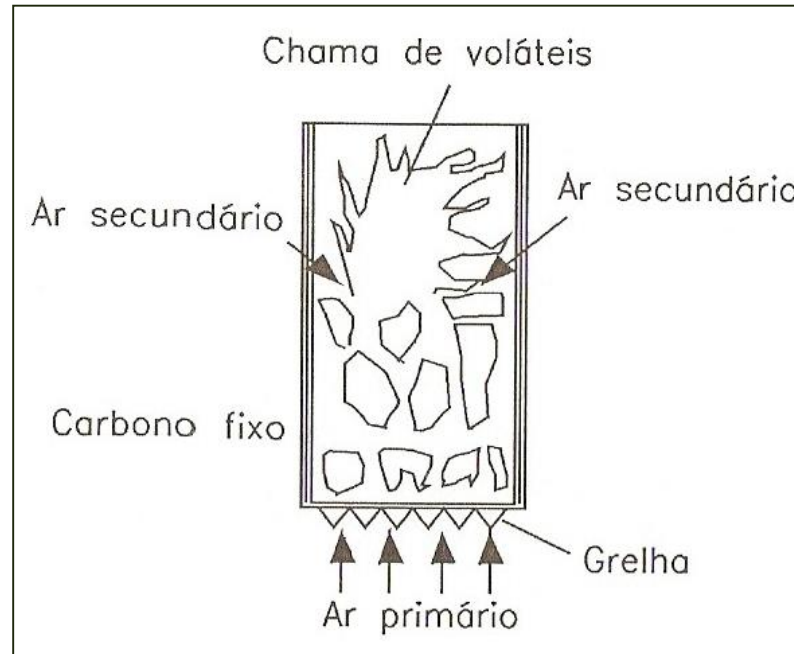


# ETAPAS DA COMBUSTÃO DA MADEIRA



(HELLIWIG, 1982 *apud* NOGUEIRA; LORA, 2003)

# QUEIMA DE BIOMASSA EM LEITO FIXO - GRELHA



(NOGUEIRA; LORA, 2003)

- ✓ Voláteis se desprendem e são queimados sobre o leito.
- ✓ Fluxo de ar:
  - Primário - coque
  - Secundário - combustão de voláteis

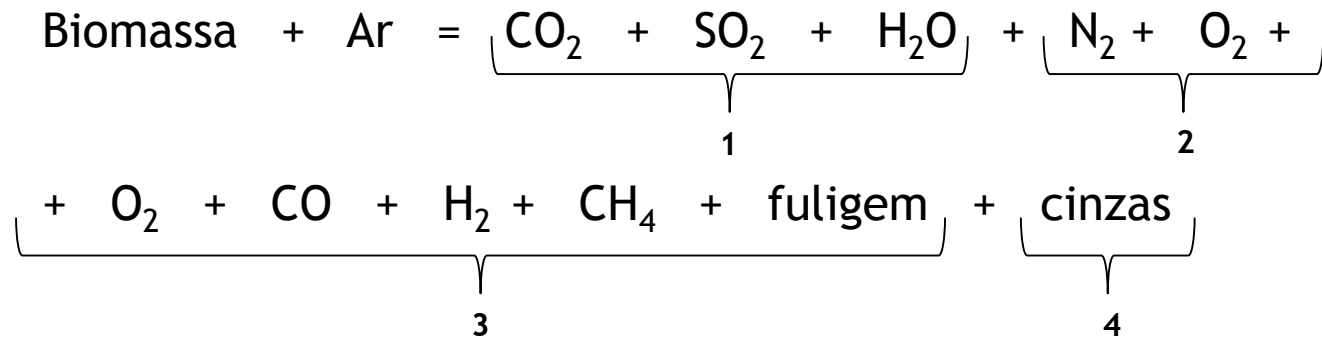
# RELAÇÃO DE AR PRIMÁRIO E SECUNDÁRIO DURANTE A COMBUSTÃO DA MADEIRA

Distribuição do ar	Ar estequiométrico para a combustão (m <sup>3</sup> /Kg)	
	C → CO <sub>2</sub>	C → CO
Ar secundário	2,62 (67%)	3,27 (83%)
Ar primário	1,31 (33%)	0,66 (17%)
Total	3,93 (100%)	3,93(100%)

(HELLIWIG, 1982 *apud* NOGUEIRA; LORA, 2003)

- ✓ Em alguns sistemas o C se queima no leito até CO, concluindo sua queima até CO<sub>2</sub> juntamente com os voláteis - ar secundário 83% do ar total.
- ✓ No caso da combustão completa - ar secundário 67% do ar total.

# REAÇÃO DE COMBUSTÃO DE UM COMBUSTÍVEL COM AR



- 1 - Produtos de oxidação completa - %SO<sub>2</sub> quase desprezível
- 2 - Ar em excesso - umidade do combustível e do ar
- 3 - Produtos gasosos - sólidos (fuligem) de combustão incompleta
- 4 - Fração mineral não combustível

## Combustão da madeira em termos físico-químicos

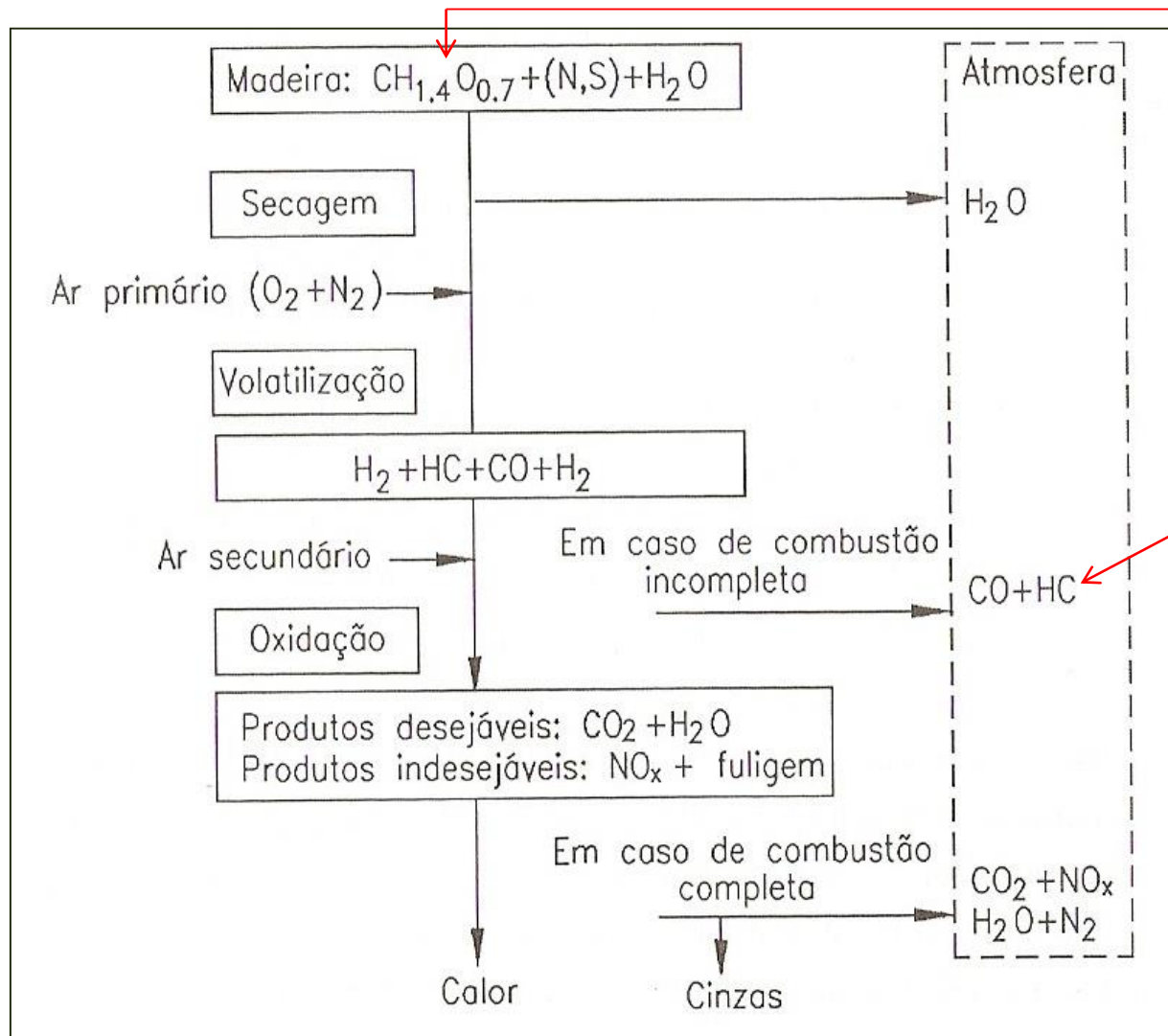


3 processos

- Secagem
- Volatilização
- Oxidação

# ESQUEMA DO PROCESSO DE COMBUSTÃO DA MADEIRA

Fórmula química aproximada para a madeira seca



Gases combustíveis

# ESTEQUIOMETRIA DA COMBUSTÃO

Tipo de biomassa	$m_a^o$ (seca), kg ar/kg biomassa seca
Biomassa padrão ( $CH_{1,4}O_{0,7}$ )	5,58
Pinho	5,79
Eucalipto	5,73
Casca de arroz	4,62
Bagaço de cana	5,26
Casca de coco	5,89
Sabugo de milho	5,39
Ramas de algodão	5,46

- Existe pouca variação entre os diferentes tipos de combustíveis vegetais, porém a maior influência é da umidade.

# BIOCOMBUSTÍVEIS SÓLIDOS PARA COMBUSTÃO DIRETA

PELLETS

BRIQUETES

# PELLETS

Normalmente, os pellets têm:

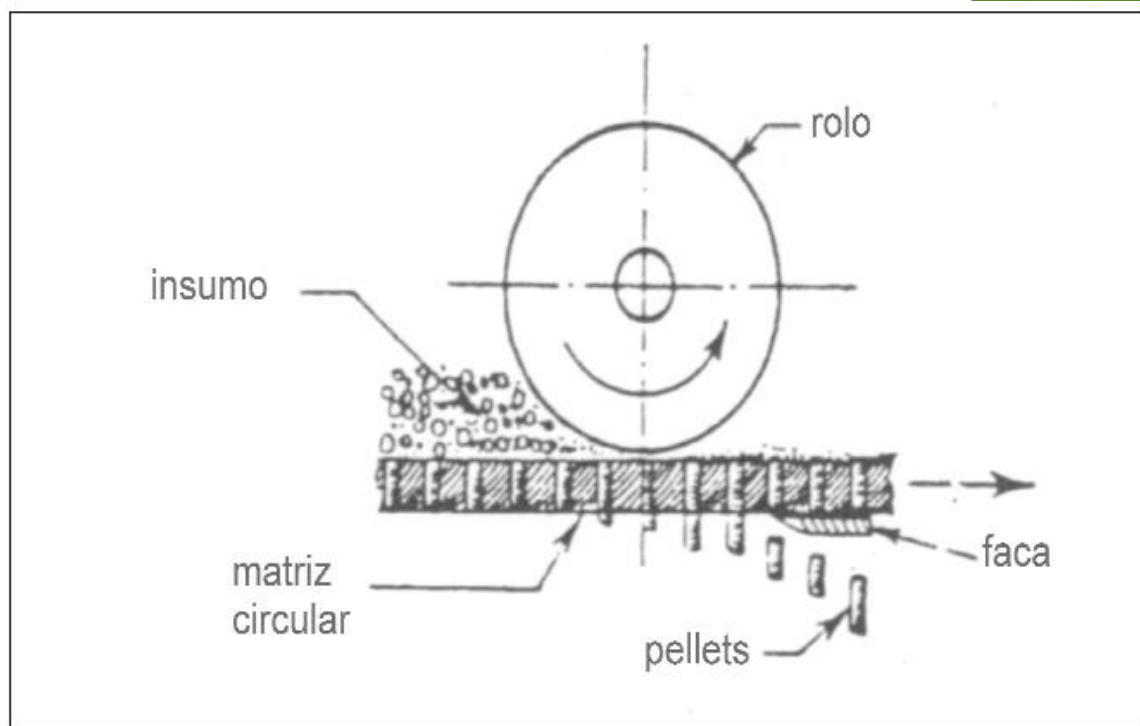
- diâmetro variando entre 4 e 10 mm
  - densidade específica variável
  - comprimento variável
  - densidade superior  $1,10 \text{ kg/dm}^3$
  - umidade:  $<10\%$
- 
- Peletização altera apenas a conformação física da matéria-prima e não a composição química, que é dependente da biomassa de origem.
  - O poder calorífico do pellet é geralmente mais alto do que o da matéria-prima devido à secagem prévia à qual a biomassa deve ser submetida.



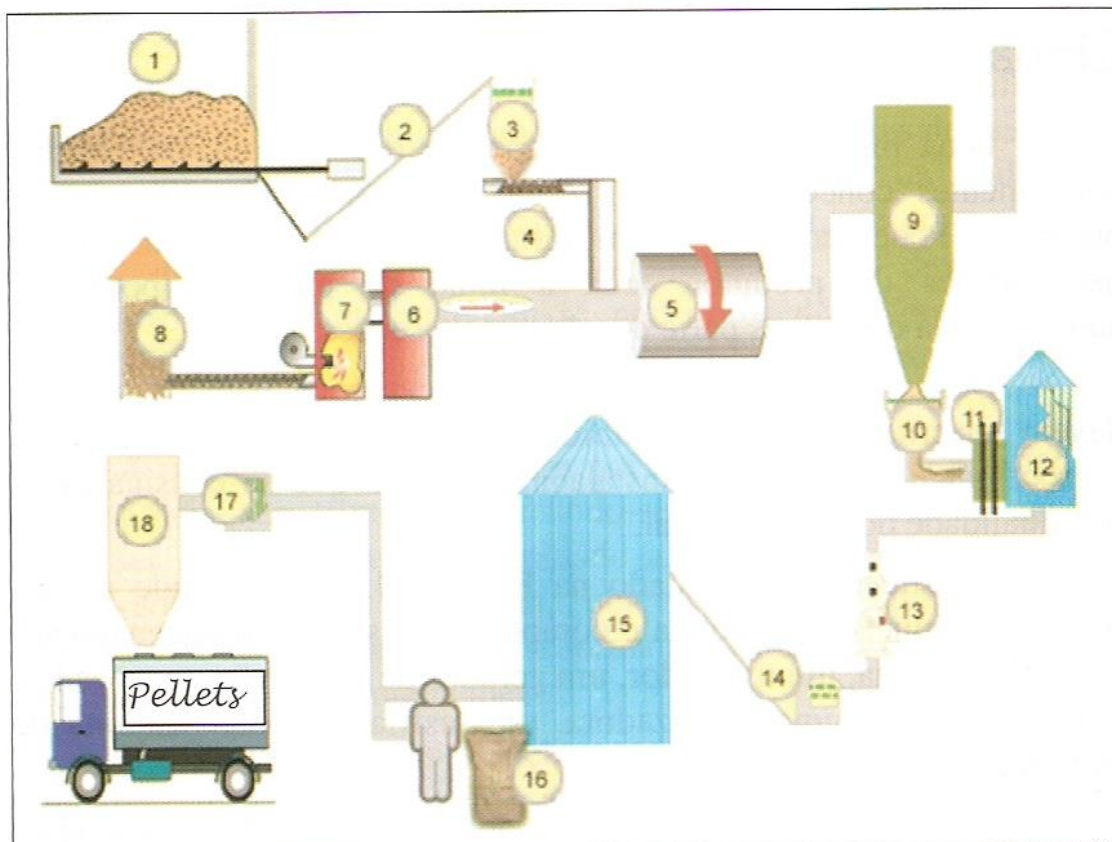


# PELLETS

A prensa peletizadora consiste em um rolo que gira contra uma matriz dotada de vários furos de pequeno diâmetro (normalmente entre 5 e 15 mm). Existem dois tipos de equipamentos para produção de pellets: peletização com matriz de disco e peletização com matriz de anel.



# CADEIA PRODUTIVA DA PELETIZAÇÃO



## Legenda

- |                              |                                   |                          |
|------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| 1. Depósito de matéria-prima | 2. Tapete de transporte           | 3. Limpeza primária      |
| 4. Regulagem                 | 5. Tambor secador                 | 6. Recuperador de cinzas |
| 7. Caldeira                  | 8. Silo de combustível (caldeira) | 9. Separador de vapor    |
| 10. Limpeza secundária       | 11. Triturador                    | 12. Silo de serragem     |
| 13. Peletizadora             | 14. Resfriadores                  | 15. Silo                 |
| 16. Embalagem                | 17. Limpeza                       | 18. Silo de carga        |

# BENEFÍCIOS DA PRODUÇÃO DE PELLETS

- pode aproveitar resíduos que antes seriam descartados.
- para o fabricante de briquetes e de pellets representa aumento da receita financeira e a diversificação da produção.
- substituição de óleo combustível por lenha para geração de energia térmica e/ou elétrica.
- impostos que são gerados com os novos produtos podem trazer benefícios à sociedade local.
- transforma passivos ambientais em biocombustíveis sólidos.

# MERCADO INTERNO DE PELLETS

- o processo de peletização se intensificou a partir de 2001, porém a sua utilização no mercado interno ainda se restringe, com apenas pequenas indústrias e pontos comerciais.
- o Brasil possui capacidade de se tornar líder mundial de biomassa, em particular tratando-se dos pellets, porém a viabilização de se implantar uma indústria de pellets é dependente do mercado consumidor.
- O fator principal que encarece os biocombustíveis sólidos como briquetes e pellets é a logística, pois o custo de transporte é muito mais caro que a carga do biocombustível produzido.

# INDÚSTRIAS DE PELETIZAÇÃO NO BRASIL

Conforme dados do Anuário Estatístico, publicado em 2012 pela ABRAF (Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas), o Brasil dispõe de 20 plantas industriais de pellets em funcionamento, além de novos projetos anunciados, a maioria localizada na região Sul.

# EXPORTAÇÃO DA INDÚSTRIA BRASILEIRA DE PELLETS

A inserção de empresas de elevado porte no Brasil, como a Suzano Energia Renovável, que pretende ter uma produção inicial de 2 milhões t/ano e com produção de maior eficiência produtiva, o Brasil poderá tornar-se líder mundial na distribuição deste biocombustível sólido.

# MERCADO MUNDIAL DE PELLETS

Segundo dados do Relatório Final de Produção, Comercialização e Consumo de Pellets de Madeira da União Européia, realizado pela EIA (Energy Information Administration), em 2008 cerca de 630 indústrias de pellets produziram aproximadamente 8 milhões de toneladas deste biocombustível em 30 países da Europa.

Contando com a importação de mais de 1 milhão de toneladas da América do Norte, o consumo bruto dessa fonte de energia representou uma participação de 0,1%.

# MERCADO MUNDIAL DE PELLETS

- em 2010 (ABRAF) a produção mundial de pellets atingiu 16 milhões de toneladas, sendo a Europa e a América do Norte responsáveis por aproximadamente 67% e 30%, respectivamente, do volume total produzido.
- destino: consumo doméstico com 8,5 milhões de toneladas (54%), consumo industrial, com 5 milhões de toneladas (31%) e consumo comercial, com 2,4 milhões de toneladas (15%).



# BRIQUETES

Reportagem:

<https://www.youtube.com/watch?v=Roq2Ka-2PRE&t=25s>

## 7.2 PIRÓLISE DA BIOMASSA

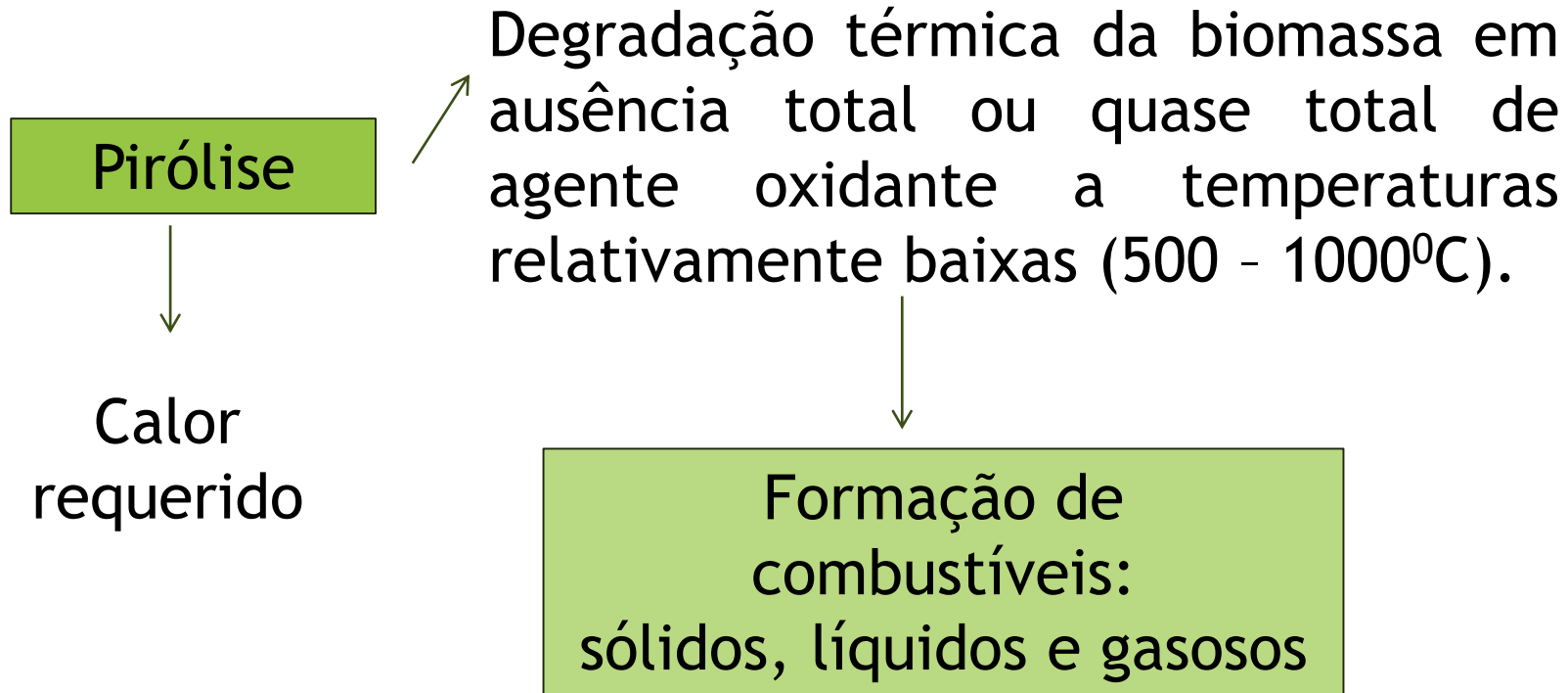
### PIRÓLISE

processo de conversão térmica que implica na ruptura de ligações carbono-carbono e na formação de ligações carbono-oxigênio.

- processo de oxidação-redução,
- biomassa é:
  - parte reduzida a carbono,
  - parte oxidada e hidrolisada dando origem a fenóis, carboidratos, álcoois, aldeídos, cetonas e ácidos carboxílicos.

Esses produtos primários combinam-se entre si para dar moléculas mais complexas tais como ésteres, produtos poliméricos, etc.

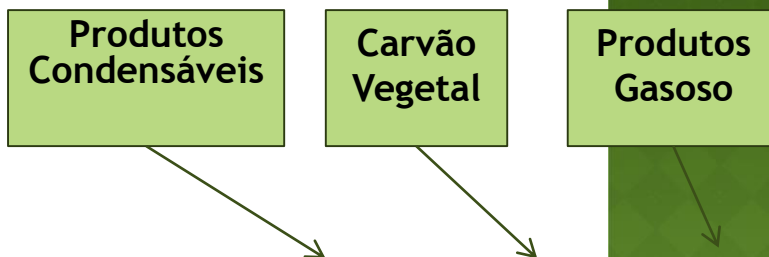
## 7.2 PIRÓLISE DA BIOMASSA



O PRODUTO FINAL NÃO RESULTA DA COMBUSTÃO, MAS SIM DA AÇÃO TÉRMICA .

## 7.2 PIRÓLISE DA BIOMASSA

3 produtos básicos formados durante a destilação



		Líquido	Carvão	Gás
Pirólise rápida	Temperatura de processo moderada (450 - 550°C), curtos tempos de residência dos vapores e biomassa (<2 s) com baixa granulometria.	75%	12%	13%
Carbonização	Baixas temperaturas (400-450°C), curtos tempos de residência (pode ser de horas ou dias), partículas grandes.	30%	35%	35%
Gaseificação	Alta temperatura (900°C), longos tempos de residência.	5%	10%	85%

Figura 1: Rendimentos dos produtos típicos obtidos por diferentes formas de pirólise de madeira (base seca) (BRIDGWATER, 2001).

# EVOLUÇÃO DA DESTILAÇÃO DA MADEIRA

Pedido de carbonização	Saída de água	Saída de gases oxigenados	Início da saída de hidrocarbonetos	Fases de hidrocarbonetos $C_mH_n$	Dissociação	Fases do hidrogênio
Temperatura (°C)	150-200	200-280	280-380	380-500	500-700	700-900
Teor e carbono (% do carvão)	60	68	78	84	89	91
Gases não-consideráveis (%)						
. CO <sub>2</sub>	68,0	66,5	35,5	31,5	12,2	0,5
. CO	30,0	30,0	20,5	12,3	24,6	9,7
. H <sub>2</sub>	0,0	0,2	6,5	7,5	42,7	80,9
. Hidrocarbonetos	2,0	3,3	37,5	48,7	20,5	8,9
Poder calorífico por m <sup>3</sup> de gás, em calorías	1.100	1.210	3.920	4.780	3.630	3.160
Constituintes condensáveis no gás	vapor d'água	vapor d'água e ácido acético	ácido acético alcool metílico alcatrão leve	muito alcatrão pesado	alcatrão	pouco condensação
Quantidade de gás	muito pouca	pouca	importante	importante	pouca	muito pouca

FONTE: BRITO; BARRICHELO, 1981.

# CARVÃO VEGETAL

Carvão vegetal é o termo genérico do produto sólido obtido da carbonização da madeira.

- Segundo as técnicas para sua obtenção e o uso para o qual ele é destinado, pode-se obter carvões muito diferentes.
- O rendimento em carvão vegetal gira em torno dos limites de 25 a 35% com base na madeira seca.

# CARVÃO VEGETAL

Os principais tipos de carvão são:

- **Carvão para uso doméstico:**
- O carvão não deve ser muito duro, deve ser facilmente inflamável e deve emitir o mínimo de fumaça.
- Sua composição química não tem importância fundamental.
- Esse carvão pode ser obtido a baixas temperaturas (350-400°C).

# CARVÃO VEGETAL

## ➤ Carvão Metalúrgico:

- Utilizado na redução de minérios de ferro em alto fornos, fundição, etc.
- A carbonização deve ser conduzida a alta temperatura (650 °C no mínimo) com uma duração de processo bastante longa.
- As exigências de qualidade:
  - Do ponto de vista mecânico, ele deve ser denso, pouco friável e ter uma boa resistência.
  - Do ponto de vista da composição química, a taxa de materiais voláteis e cinzas deve ser baixa. O carvão deve ter no mínimo 80% de carbono.



# CARVÃO VEGETAL

- Carvão para gasogênio. Força motriz:
- Os critérios de caracterização são menos severos que para o carvão metalúrgico.
- O carvão não deve ser muito friável, sua densidade aparente não deve ultrapassar 0,3 e deve ter um teor em carbono de 75%.

# CARVÃO VEGETAL

- **Carvão ativo:**
- Usado para descoloração de produtos alimentares, usos médios, desinfecção, purificação de solventes, etc.
- O carvão deve ser leve e ter uma grande porosidade.
- Para aumentar o poder absorvente, certos tratamentos preliminares da madeira podem se efetuados.

# CARVÃO VEGETAL

- **Carvão para a indústria química:**
- As exigências variam segundo o uso do carvão, mas de modo geral exige-se evidentemente uma boa pureza ligada a uma boa reatividade química.
- **Outros usos:**
- Carvão para a indústria de cimento (produto pulverizado e com boa inflamabilidade, etc.).

# POSSÍVEIS UTILIZAÇÕES DOS PRODUTOS DA DESTILAÇÃO SECA DA MADEIRA

Produto	Usos
Carvão.....	Metalurgia e Siderurgia Carvão ativo Combustível Indústria carboquímica Agente filtrante e descorante
Pirolenhoso - Metanol.....	Solvente de vernizes e tintas. Síntese de formaldeído
- Ácido acético.....	Fabricações de acetatos. Síntese orgânica de corantes, produtos farmacêuticos
- Acetona.....	Solvente, Resinas, Vernizes e Plásticos
Alcatrão.....	Combustível, Dissolvente, Desinfetantes, Produtos farmacêuticos, Preservação de madeiras, Aromatizante
Gases combustíveis.....	Combustível, Geração de eletricidade

FONTE: BRITO; BARRICHELO, 1981.

# CARBONIZAÇÃO

◉ Vídeo:

<https://www.youtube.com/watch?v=2tCeW2cWhc8>

# BIO-ÓLEO



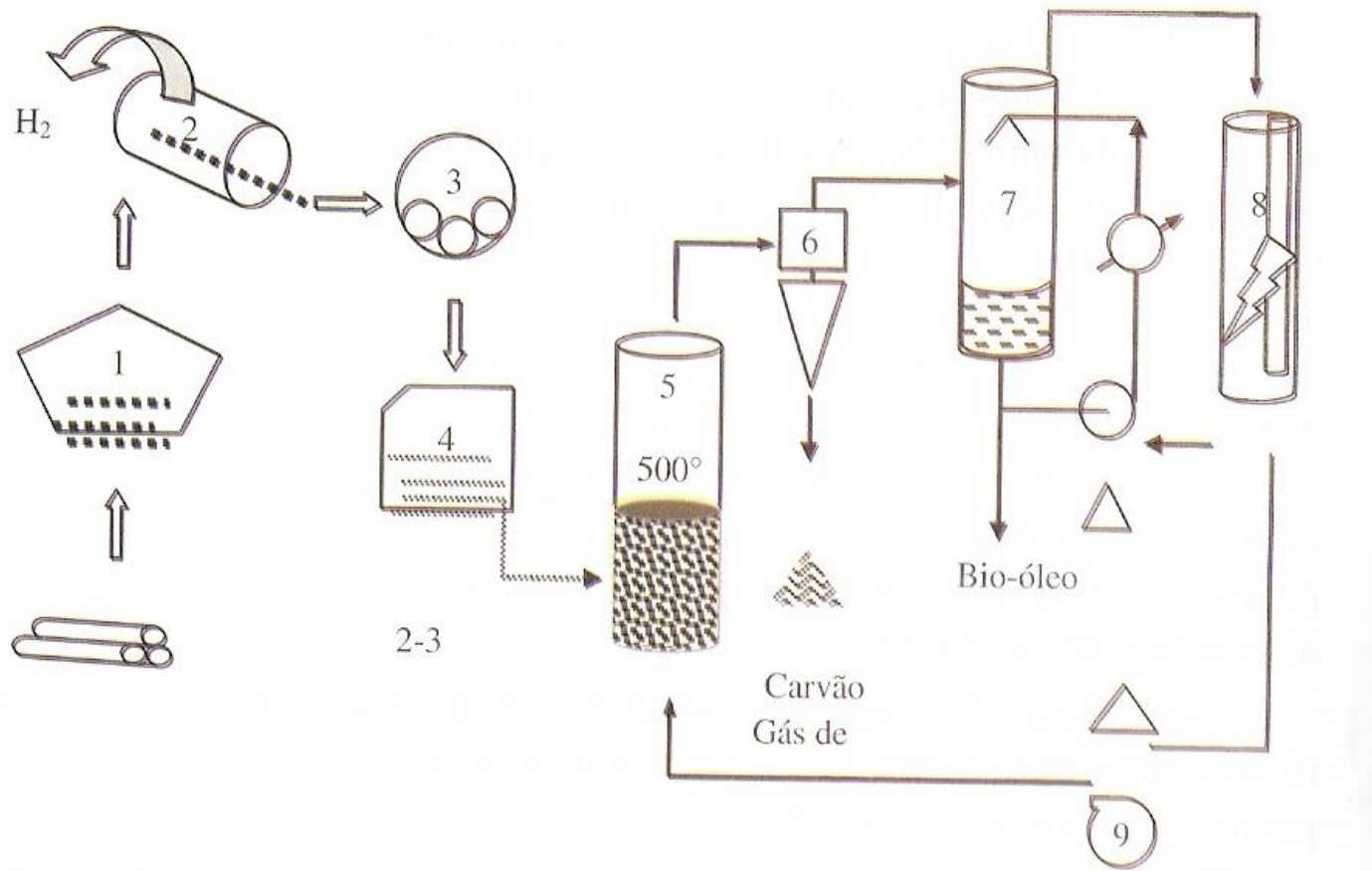
Pirólise Rápida

líquido pirolítico, óleo de pirólise, bio-combustível, líquidos de madeira, óleo de madeira, líquido condensado da fumaça, destilado da madeira, alcatrão pirolenhoso

BIO-ÓLEO → é uma mistura complexa de compostos orgânicos, o qual, embora tenha natureza química diferente do petróleo, pode ser considerado como um petróleo de origem vegetal.

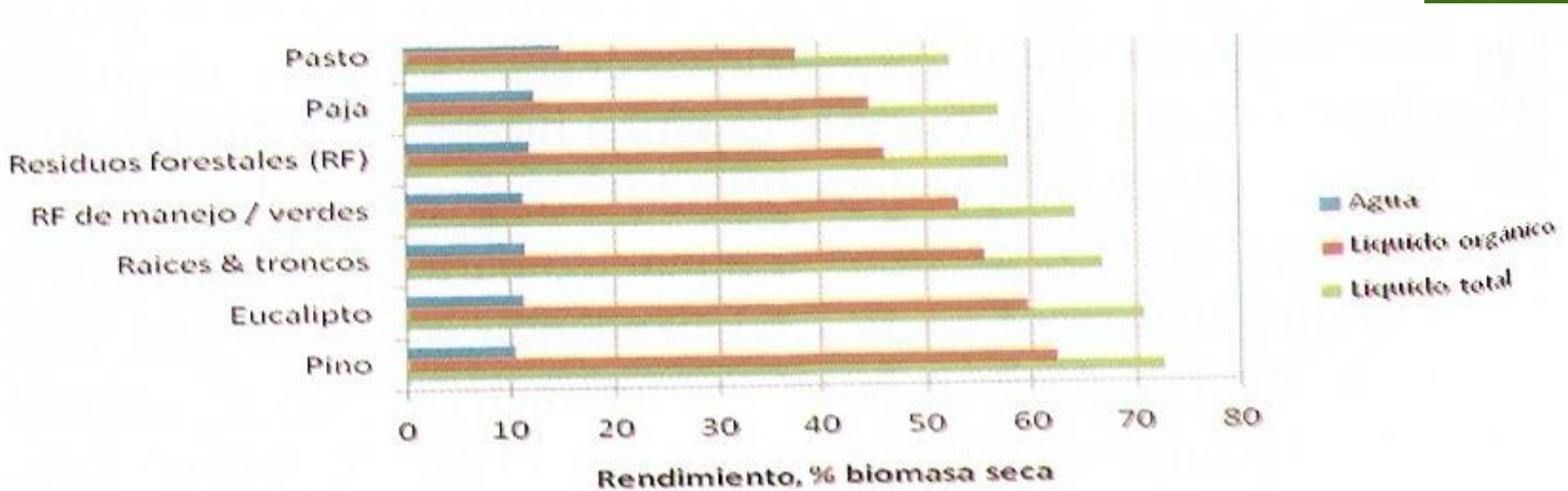
- cor marrom
- composição elementar é aproximada a da biomassa.

# ESQUEMA GERAL DE UMA INSTALAÇÃO DE PIRÓLISE RÁPIDA



1) Redução do tamanho, 2) secagem, 3) moagem, 4) armazenamento e alimentação, 5) reator de pirólise, 6) ciclone, 7) resfriador de captura, 8) precipitador eletrostático e 9) soprador.

# RENDIMIENTO DE LÍQUIDO DE PIRÓLISE RÁPIDA DE DIFERENTES MATÉRIAS-PRIMAS

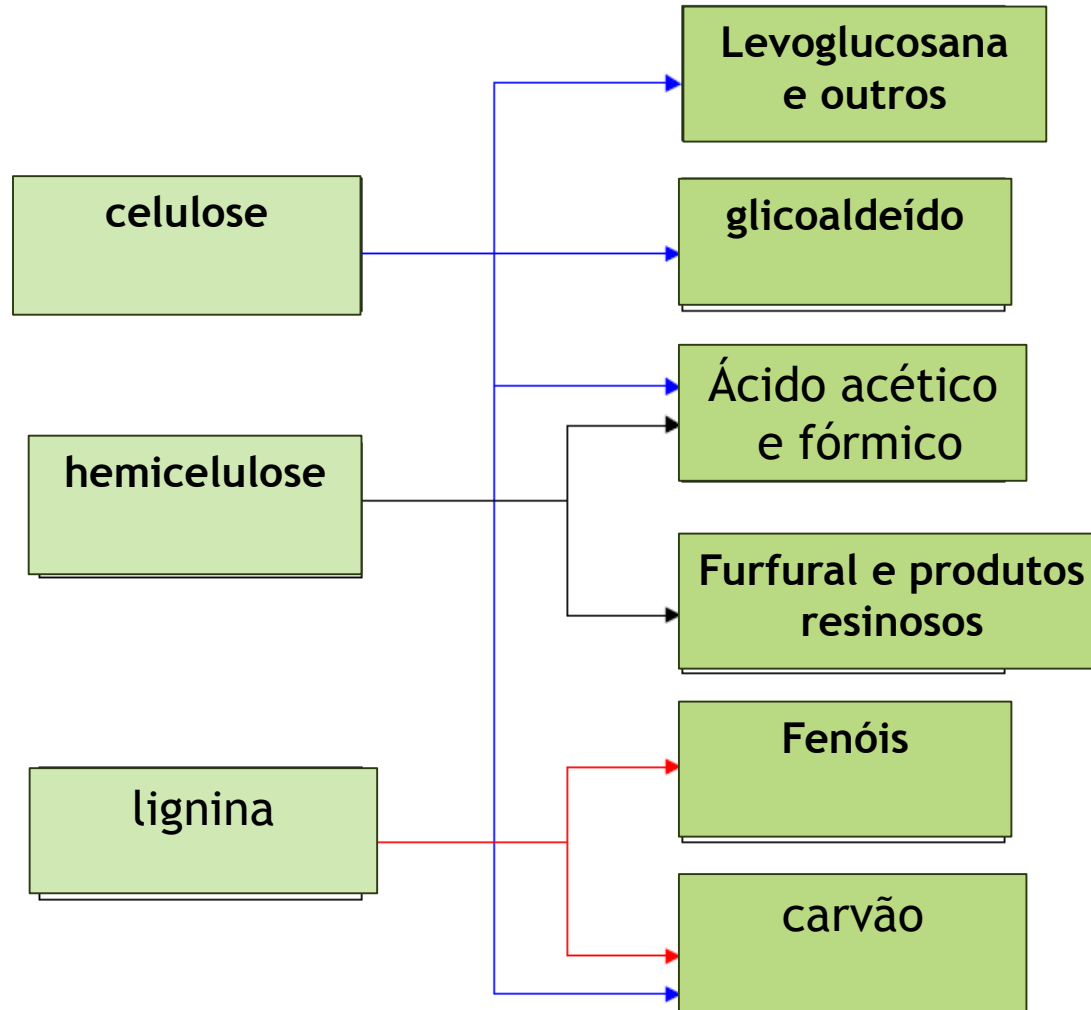


(OASMAA et al. *apud* SANTOS et al., 2013)



# BIO-ÓLEO

O bio-óleo pode ser separado em frações prontas para a obtenção de diversos produtos de interesse comercial.



# BIO-ÓLEO

Vantagens	Desvantagens
Manejo	Baixo poder calorífico
Aceita diferentes matérias- primas	Acidez
Autotérmica	Instabilidade térmica

- grande viscosidade do bio-óleo dificultando seu uso como combustível e como matéria-prima para a formulação de resinas fenol-formaldeído embora essa característica possa ser útil para outros fins (por ex., para substâncias com atividade superficial).
- Os óleos leves da pirólise rápida encontram muitas oportunidades de aplicação, sendo este processo muito atrativo na atualidade.

# BIO-ÓLEO

- ◉ **Aplicação de bio-óleo como combustível para a geração de calor e eletricidade.**
- Caldeiras, fornos industriais, fornos de cal, motores de combustão interna, turbinas e plantas termoelétricas.
- Exceto para uso em caldeiras e fornos, é necessário melhorar a qualidade do bio-óleo.

## 7.3 GASEIFICAÇÃO DA BIOMASSA

### GASEIFICAÇÃO

Conversão de qualquer combustível sólido em gás energético, pela oxidação parcial a temperaturas elevadas (800 ~ 1000°C)

**APLICAÇÕES:** combustão em motores ou turbinas para a geração de potência e energia elétrica, em bombas de irrigação, na geração direta de calor em queimadores e fornalhas, ou como fonte de matéria-prima em sínteses orgânicas.

## 7.3 GASEIFICAÇÃO DA BIOMASSA

- XVII, na Inglaterra teve início a conversão de material orgânico em gás combustível (John Clayton)- destilação do carvão
- Primeira guerra mundial gaseificava-se lignito e turfa (gaseificador de leito fixo)
- O carvão vegetal e a madeira continuaram a ser os únicos biocombustíveis utilizados comercialmente, além da casca de arroz na China.
- Atualmente estudos indicam os resíduos vegetais como lenha, resíduos agrícolas e rejeitos da indústria sucroalcooleira e celulose em gaseificadores.

# 7.3 GASEIFICAÇÃO DA BIOMASSA

Gaseificação

→ Produção de calor não é o principal objetivo

objetivo

Conversão de da biomassa em **gás combustível** por oxidação parcial em altas temperaturas

Energético intermediário

↓  
Para geração de calor ou potencia mecânica

gás pobre

↓  
CO → 9 - 21%  
H<sub>2</sub> → 6 - 19%  
CH<sub>4</sub> → 3 - 7%

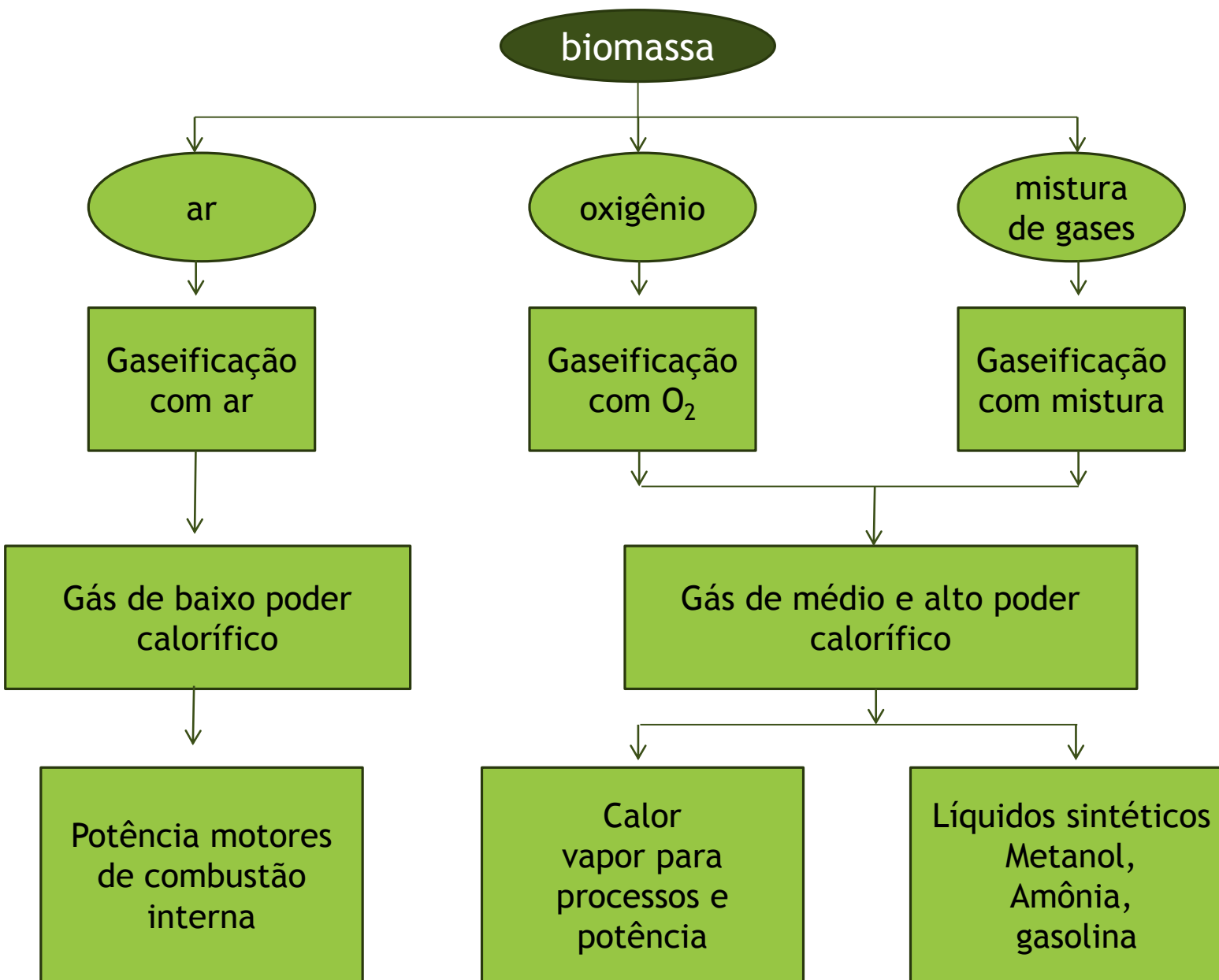
## 7.3 GASEIFICAÇÃO DA BIOMASSA

**Rotas de gaseificação baseada no tipo de agente gaseificante**



**Relação entre o agente gaseificador, os produtos dos respectivos processos e sua possível aplicação**

# 7.3 GASEIFICAÇÃO DA BIOMASSA





# 7.3 GASEIFICAÇÃO DA BIOMASSA

Gás - possui poder calorífico

- baixo 5 MJ/Nm<sup>3</sup>
- médio 5 a 10 MJ/Nm<sup>3</sup>
- alto 10 a 40 MJ/Nm<sup>3</sup>

## Vantagens

É possível a combustão do gás em fornos e câmaras de combustão de geradores a vapor e motores de combustão interna - projetados para combustíveis líquidos e gasosos derivados do petróleo.

Geração de energia elétrica em pequena escala pode ser realizada sem ciclo a vapor apenas utilizando o gás diretamente em um motor de combustão interna ou em microturbina a gás ou em célula combustível.

Utilização de biomassa em ciclos combinados com gaseificadores e turbinas a gás - Sistemas BIG/GT (Biomass Integrated Gasifier/Gas Turbine).

# ETAPAS DO PROCESSO DE GASEIFICAÇÃO

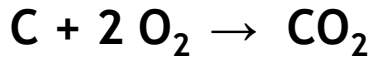
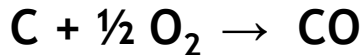
## I - Pirólise

ou decomposição térmica < 600°C

Biomassa + calor → coque + gases + alcatrão + condensáveis

## II - Oxidação do carbono

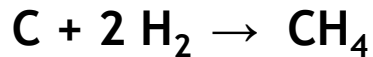
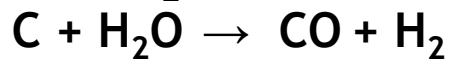
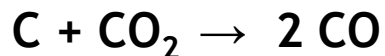
Fonte de energia térmica para a volatilização e gaseificação



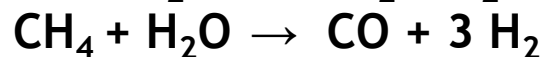
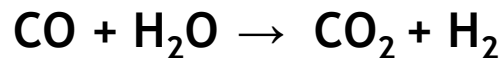
## III - Gaseificação

Reações heterogêneas entre os gases e o coque residual e homogêneas entre os produtos já formados

### Reações Heterogêneas



### Reações Homogêneas



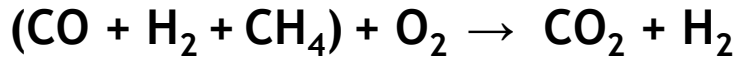
# ETAPAS DO PROCESSO DE GASEIFICAÇÃO

## IV - Craqueamento do alcatrão

Destruição térmica dos componentes do alcatrão



## V - Oxidação parcial dos produtos da pirólise



Obs:

- 1) Adição de vapor de água ao ar de gaseificação até aproximadamente 30% aumenta o conteúdo de H e CO no gás obtido;
- 2) O aumento da pressão favorece a formação de CH<sub>4</sub>.