

DISCIPLINA: COMBUSTÍVEIS E BIOCOMBUSTÍVEIS

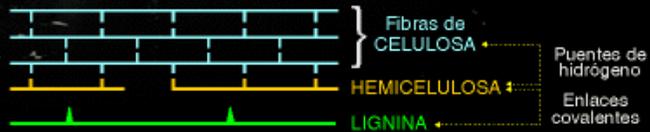
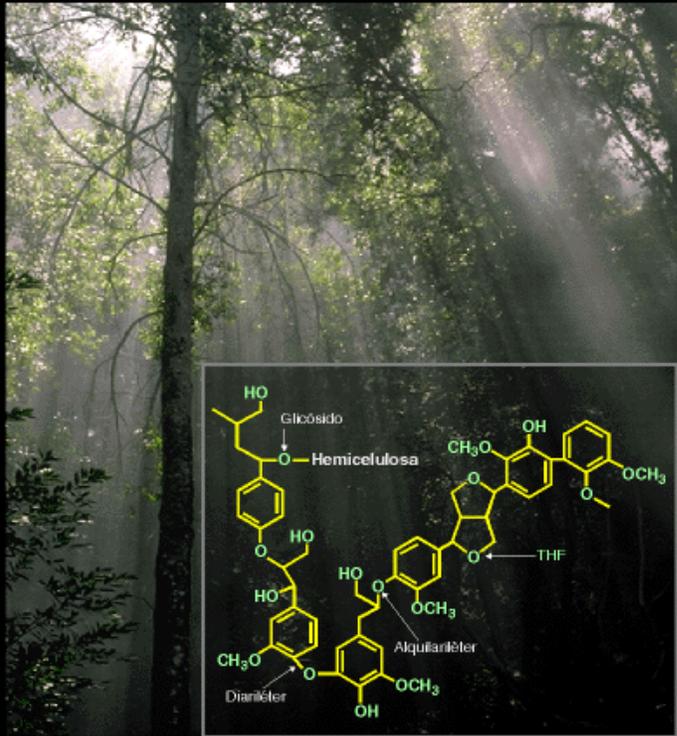
AULA: DENDROENERGIA

Profa. Dra. Adriana Ferla de Oliveira

UFPR - Setor Palotina

Departamento de Engenharias e Exatas

adrianaferla@ufpr.br / adrianaferla04@gmail.com



CONTEÚDO

- ① **1 Definições e conceitos;**
- ② **2 Sistemas dendroenergéticos;**
- ③ **3 O Significado da dendroenergia**
- ④ **4 Química da madeira**
- ⑤ **5 Compactação da biomassa (Peletes e briquetes)**
- ⑥ **6 Pirólise (Carvão e Biomassa torrada)**

1 DEFINIÇÕES E CONCEITOS



Miguel A. Trossero



DENDROENERGIA
“Energia das árvores”



Desde o uso tradicional da lenha como nos fogões domésticos, onde houve amplo desenvolvimento, até as modernas aplicações com lenha ou resíduos, para geração de energia elétrica, passando por uma extensa gama de tecnologias e aplicações.

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 DEFINIÇÕES E CONCEITOS



Madeira

Produto essencial básico



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

1 DEFINIÇÕES E CONCEITOS



FAO

Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura

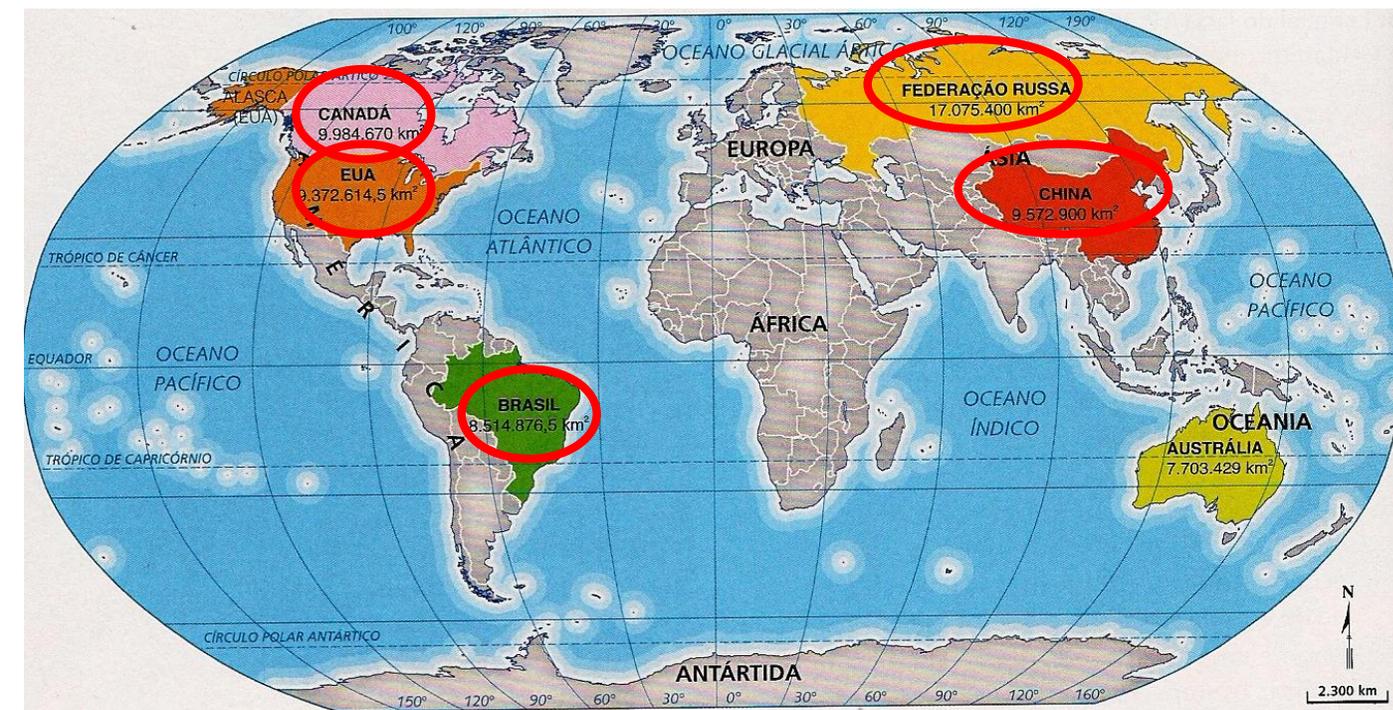
Relatório de Avaliação Global dos Recursos Florestais (FRA, 2020)

florestas em 236 países e territórios, no período de 1990 e 2020

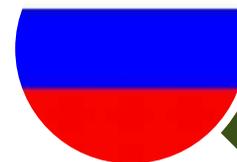
a área de florestas plantadas aumentou em 123 milhões de hectares em 30 anos



1 DEFINIÇÕES E CONCEITOS



cobertura florestal do mundo é de 4,06 bilhões de hectares - 31% do total



Rússia, com 815 milhões de hectares



O Brasil apresenta a segunda maior área de florestas com 497 milhões de hectares

1 DEFINIÇÕES E CONCEITOS



Dendrocombustíveis

- Biocombustíveis da madeira
- Diretos, indiretos de madeira recuperada



Agrocombustíveis

- Biocombustíveis não florestais
- Plantações energéticas, subprodutos agrícolas, animais e agroindustriais



Resíduos urbanos

- Resíduos gerados em cidades e vilas

1 DEFINIÇÕES E CONCEITOS

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 esterco 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.

Figura: Classificação dos Biocombustíveis (NOGUEIRA; LORA, 2003)

1 DEFINIÇÕES E CONCEITOS

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.

Figura: Classificação dos Biocombustíveis (NOGUEIRA; LORA, 2003)

O QUE SÃO BIOCOMBUSTÍVEIS SÓLIDOS?

1 DEFINIÇÕES E CONCEITOS



Figura: Biocombustíveis Sólidos.

2 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.

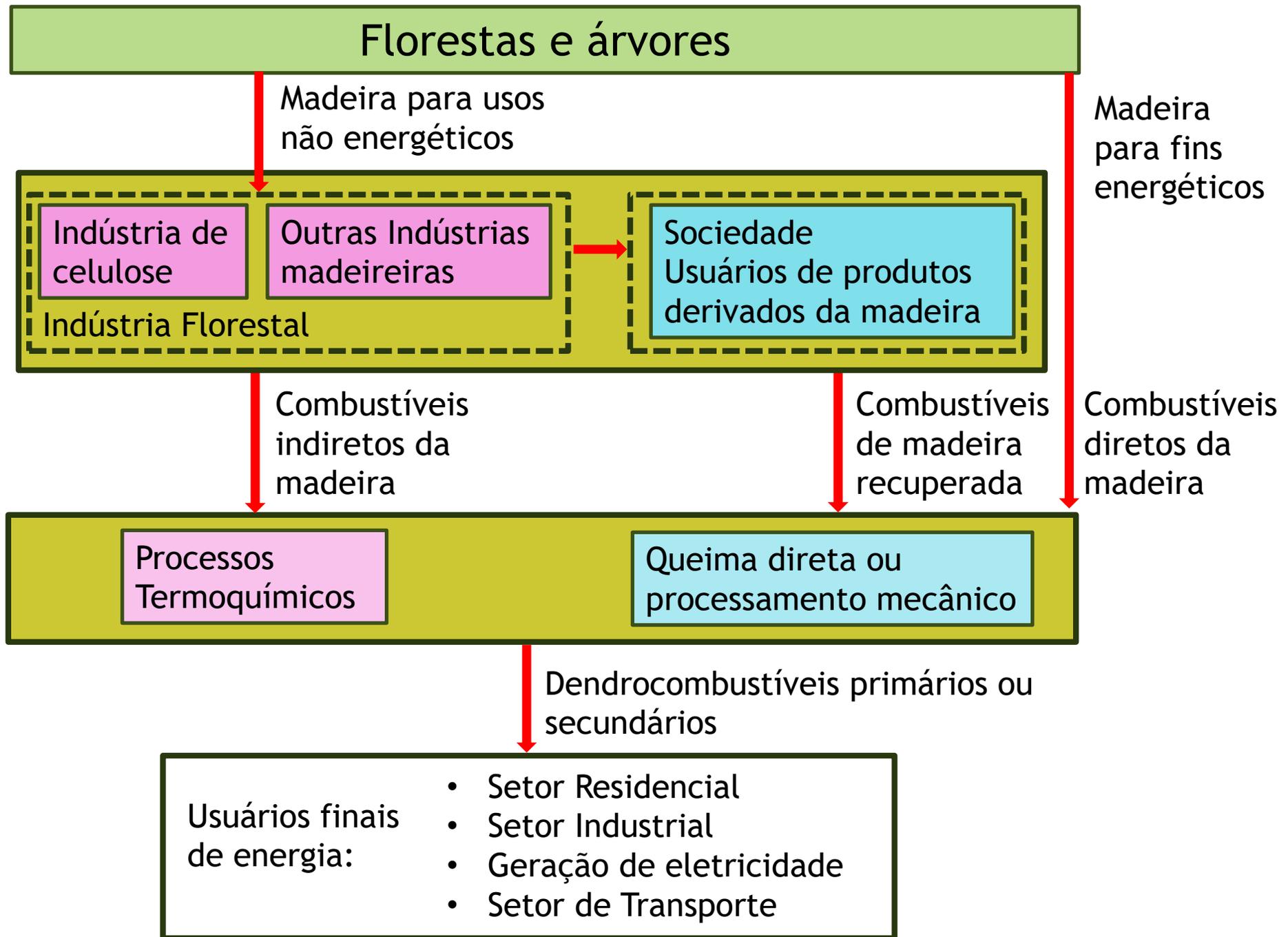


Figura: Sistema dendroenergético da lenha. (NOGUEIRA; LORA, 2003)

2 SISTEMAS DENDROENERGÉTICOS

Implantação de um Sistema Dendroenergético

conhecer

- **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.

3 O SIGNIFICADO DA DENDROENERGIA

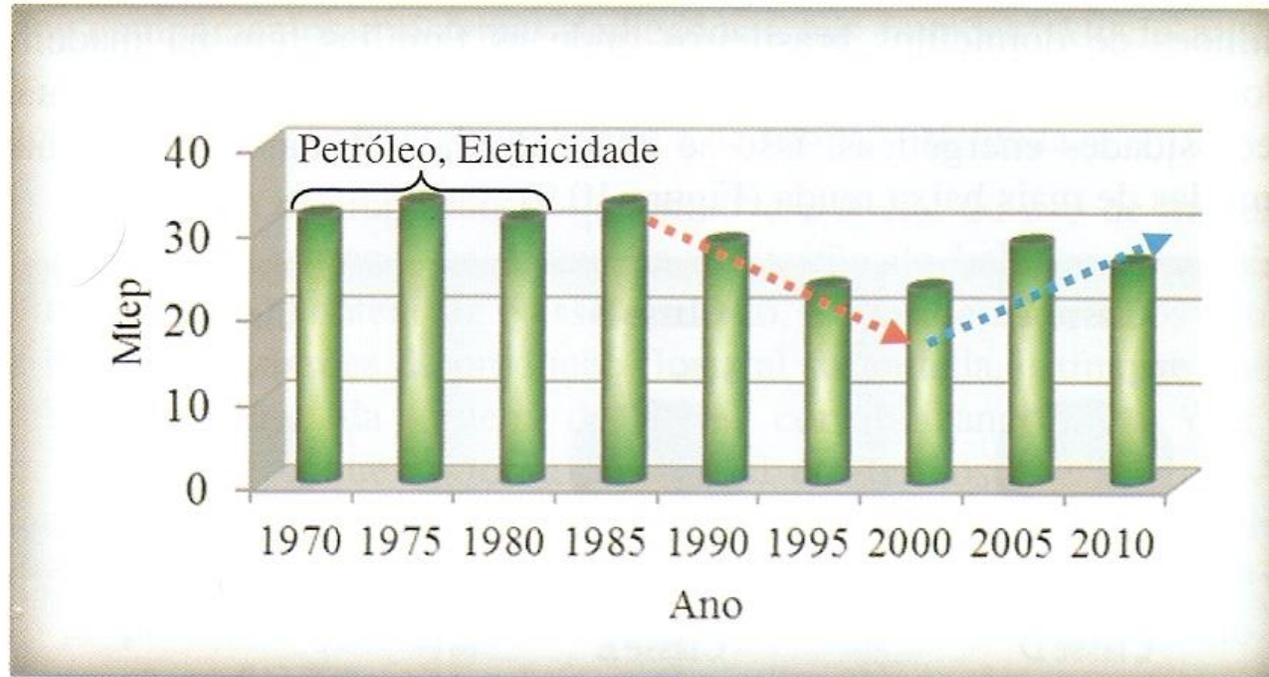


Figura: Evolução do consumo de madeira para energia no Brasil.
(SANTOS et al., 2013)

- ↓ 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.

3 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.

3 O SIGNIFICADO DA DENDROENERGIA

Madeira para energia

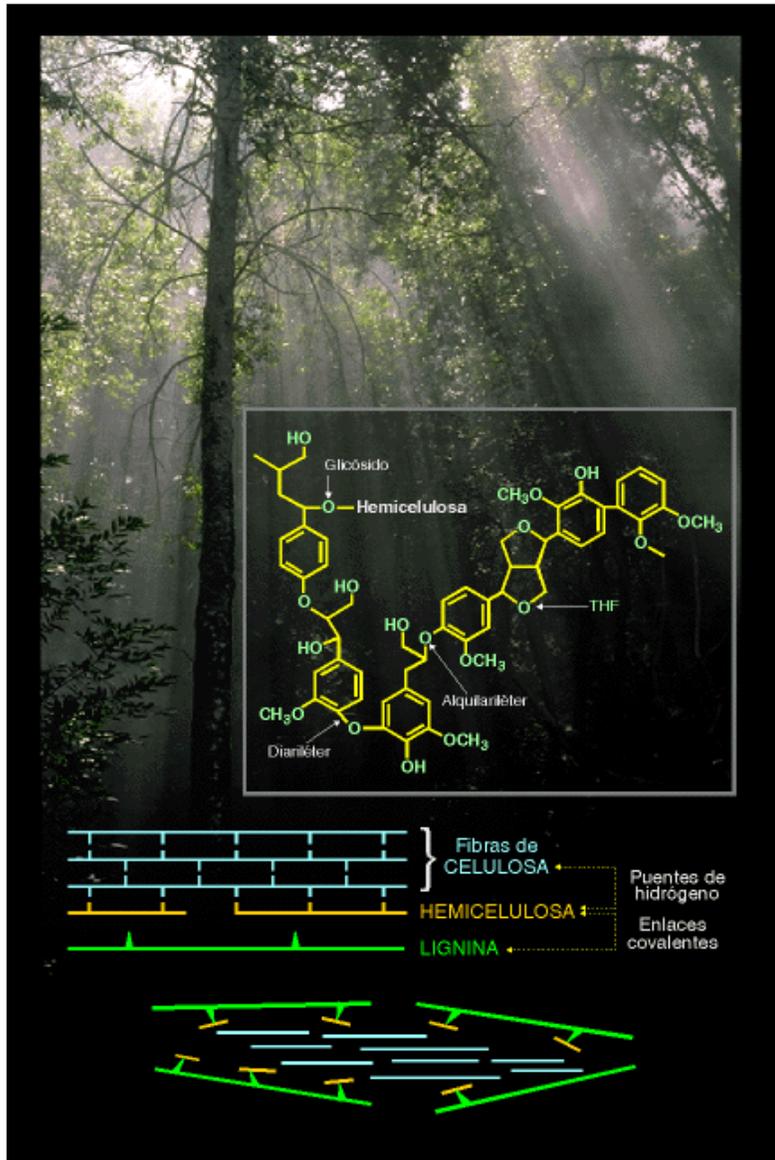


Independência e a segurança de suprimento e uso



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

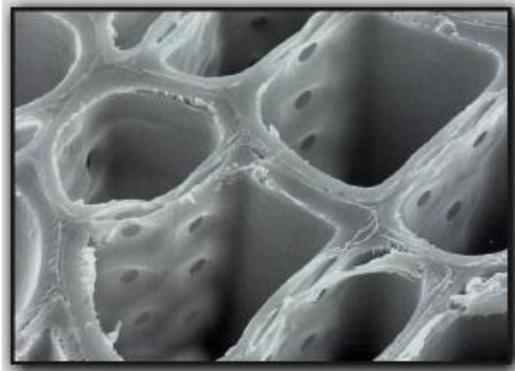
4 QUÍMICA DA MADEIRA



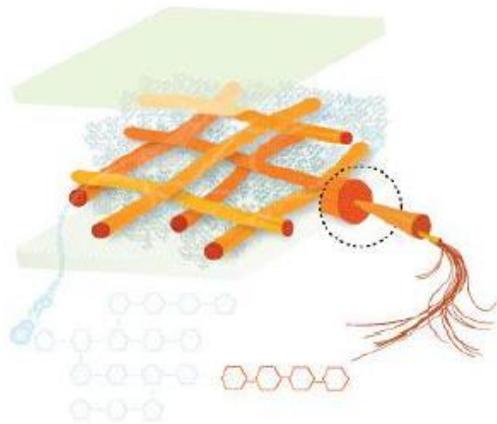
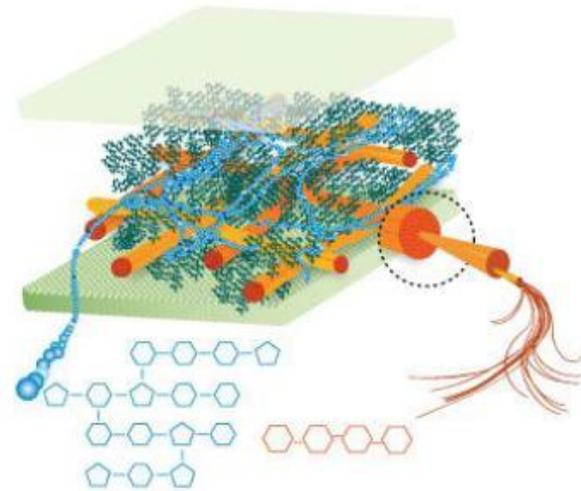
- ✓ Componente estrutural →
CELULOSE
- ✓ Componentes sub-estruturais →
POLIOSES (hemiceluloses), e →
LIGNINA
- ✓ Materiais acidentais → material orgânico e inorgânico existentes na madeira Cálcio (Ca), Potássio (K), Magnésio (Mg) e outros.

Figura: Composição química da madeira.

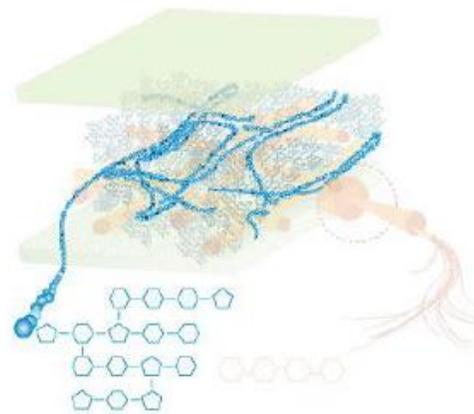
4 QUÍMICA DA MADEIRA



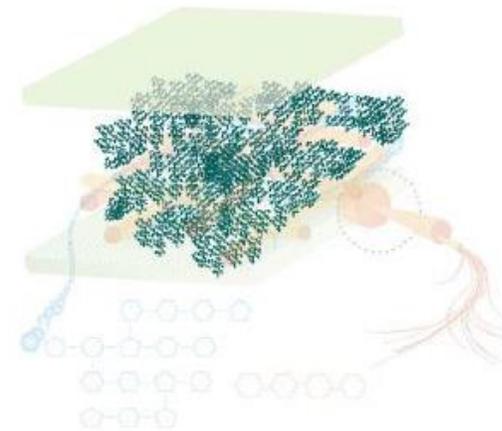
Parede celular



Celulose



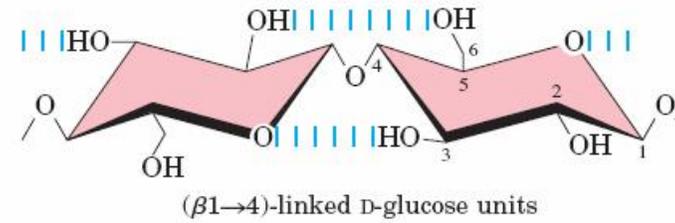
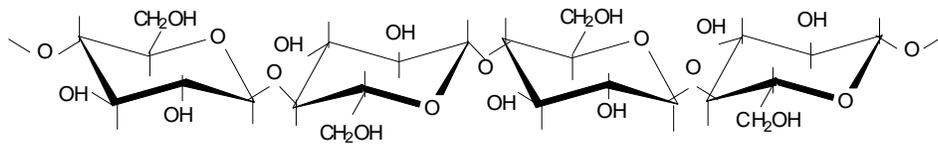
Polioses



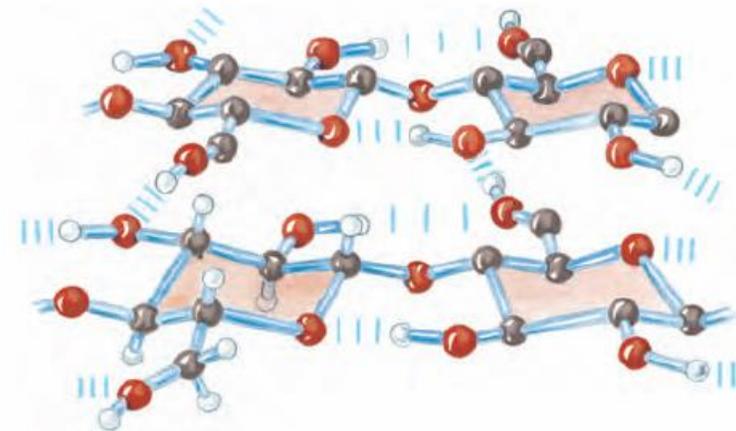
Lignina

4 QUÍMICA DA MADEIRA

Celulose



(a)



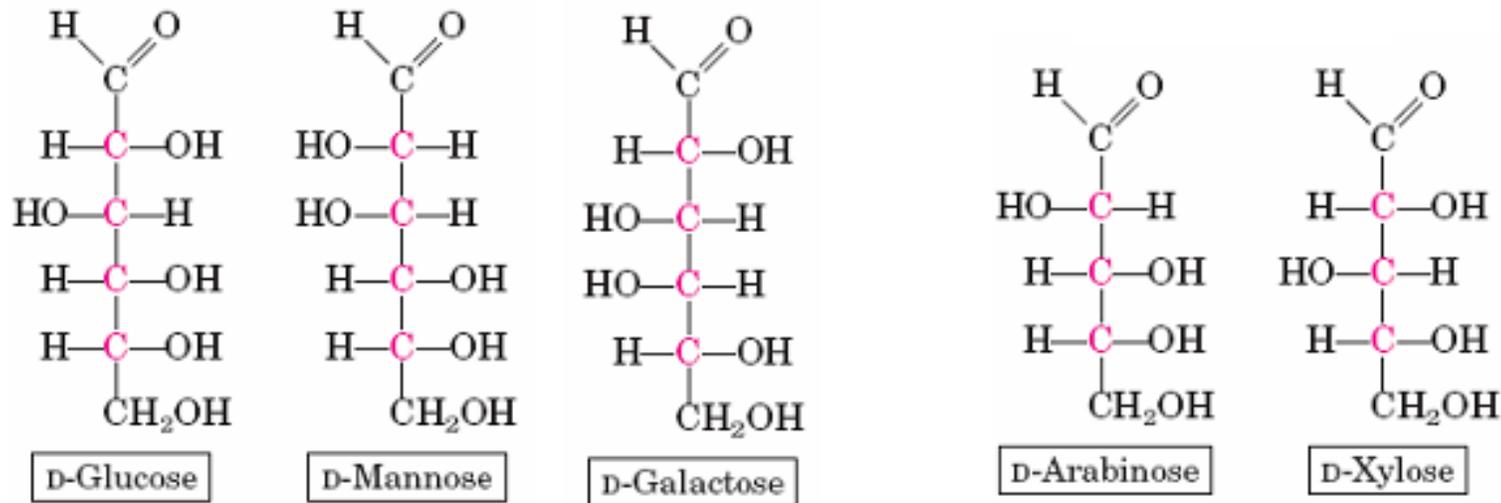
(b)

$(\beta 1 \rightarrow 4)$

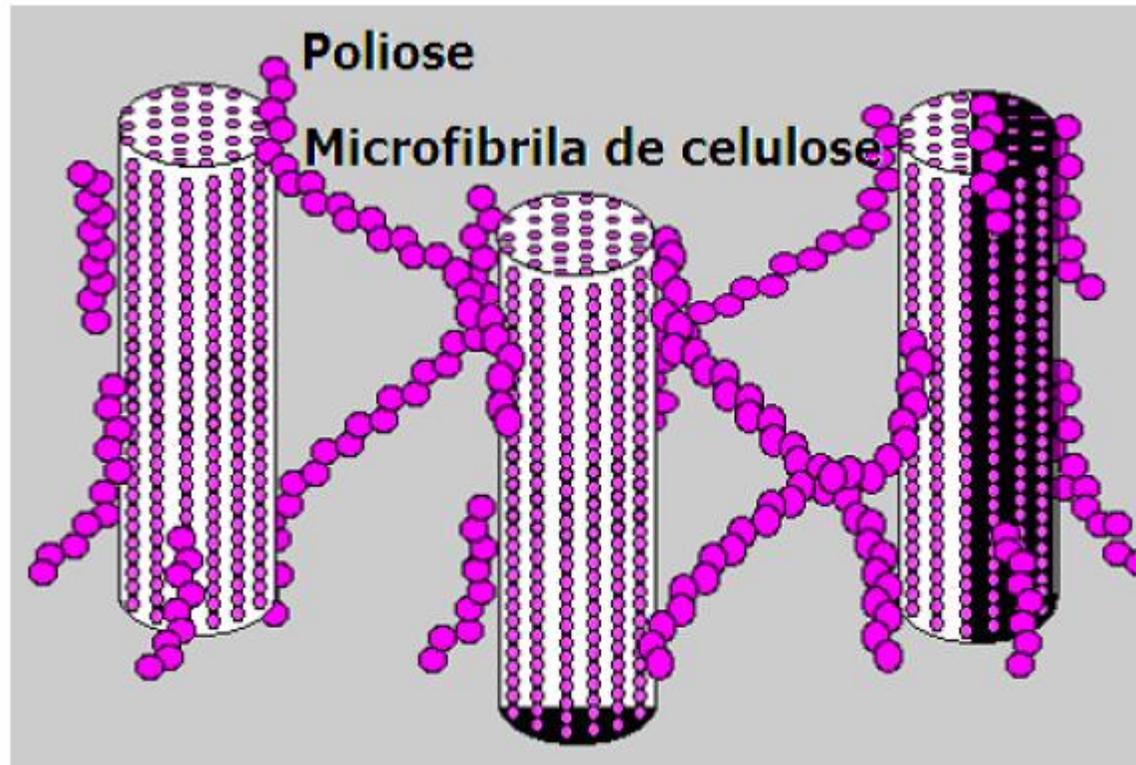
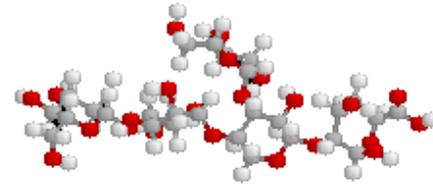
4 QUÍMICA DA MADEIRA

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.



4 QUÍMICA DA MADEIRA



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

4 QUÍMICA DA MADEIRA

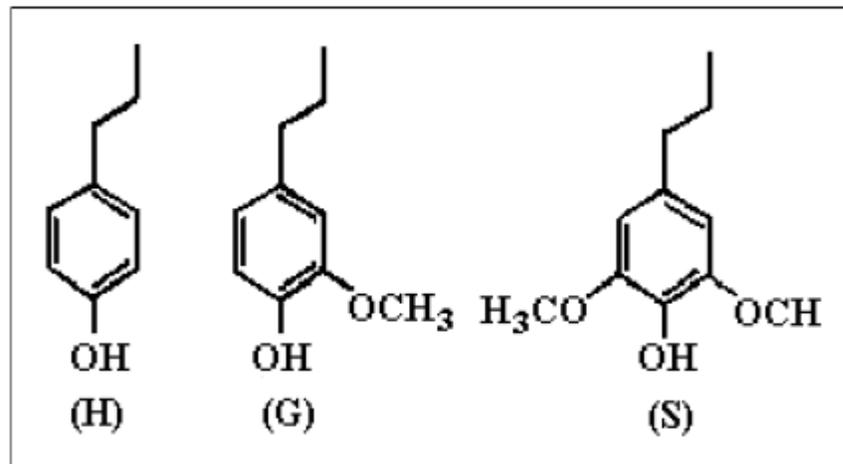
Lignina

- 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



4 QUÍMICA DA MADEIRA

- 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.

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

4 QUÍMICA DA MADEIRA

Tabela. Composição elementar da biomassa (base seca).

Tipo de Biomassa	Composição Elementar (%)						Composição Imediata (%)		
	C	H	O	N	S	A	V	A	F
Pinus	49,25	5,99	44,36	0,06	0,03	0,3	82,54	0,29	17,70
Eucalipto	49,00	5,87	43,97	0,30	0,01	0,72	81,42	0,79	17,82
Casca de arroz	40,96	4,30	35,86	0,40	0,02	18,34	65,47	17,89	16,67
Bagaço de cana	44,80	5,35	39,55	0,38	0,01	9,79	73,78	11,27	14,95
Casca de coco	48,23	5,23	33,19	2,98	0,12	10,25	67,95	8,25	23,80
Sabugo de milho	46,58	5,87	45,46	0,47	0,01	1,40	80,10	1,36	18,54
Ramas de algodão	47,05	5,35	40,77	0,65	0,21	5,89	73,29	5,51	21,20

Fonte: Jenkins (1990)

5 COMPACTAÇÃO DA BIOMASSA

Benefícios

- ✓ Aproveitamento de resíduos;
- ✓ Aumento da receita financeira e diversificação da produção;
- ✓ Substituição de óleo combustível 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.

BRIQUETES E PELETES

Mercado de briquetes e peletes



✓ Não existem estatísticas oficiais sobre produção e venda de briquetes e peletes

12
empresas

Gentil, 2008.

2008

80
empresas

960 mil
toneladas

Conforme dados do Anuário Estatístico, publicado em 2012 pela ABRAF (Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas)

- Brasil dispõe de 20 plantas industriais de peletes em funcionamento;
- Localizada na região Sul em sua maioria.

BRIQUETES E PELETES

Perfil das empresas produtoras de briquetes e peletes

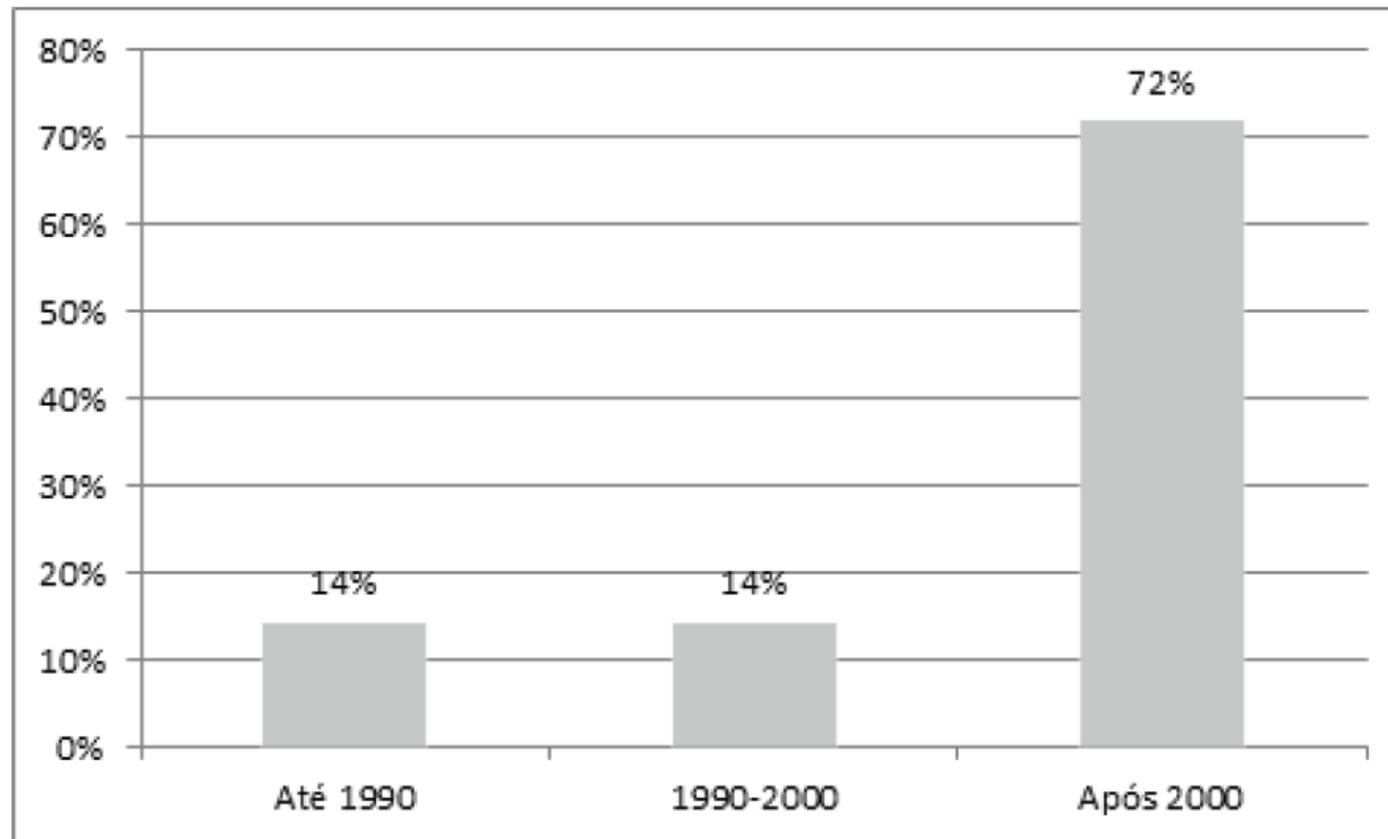
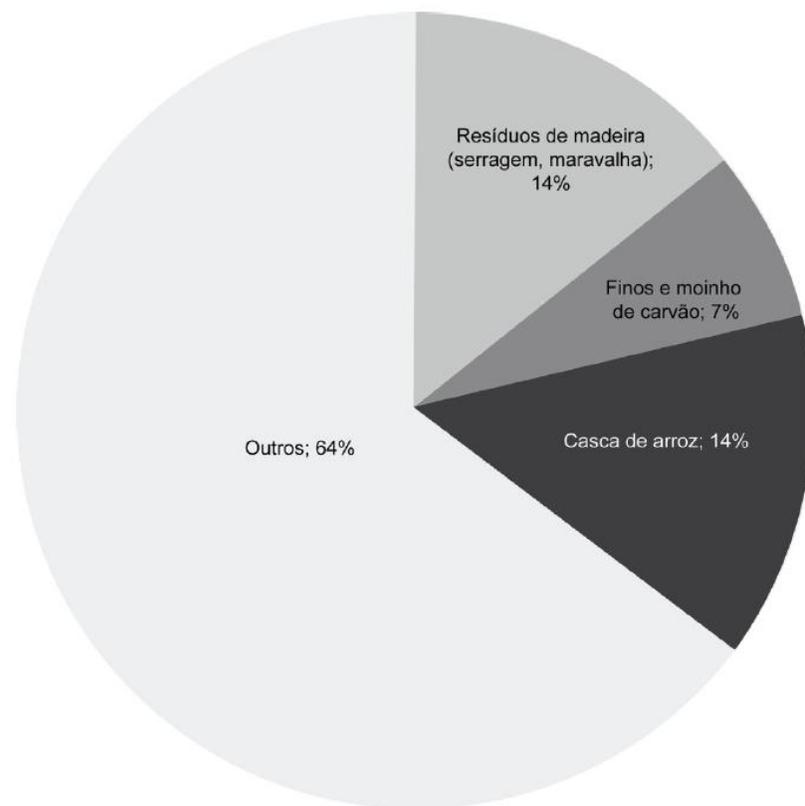


Figura. Ano de fundação das empresas.
Fonte: Embrapa Agroenergia, 2012.

BRIQUETES E PELETES

Perfil das empresas produtoras de briquetes e peletes



Para peletes a principal fonte é resíduo de madeira

Figura. Matérias primas para produção de briquetes.
Fonte: Embrapa Agroenergia, 2012.

BRIQUETES E PELETES

Perfil das empresas produtoras de briquetes e peletes

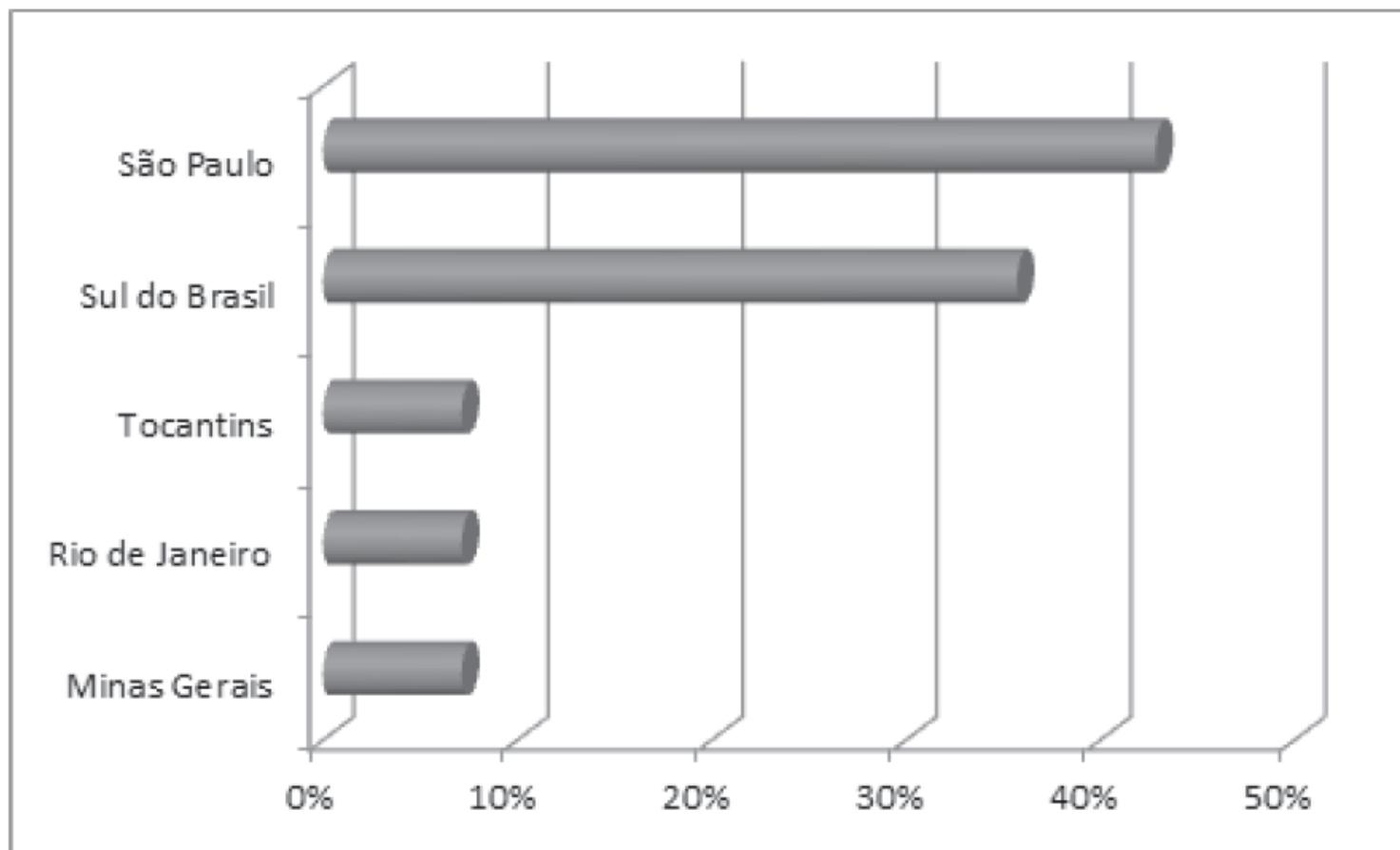


Figura. Distribuição geográfica das empresas.
Fonte: Embrapa Agroenergia, 2012.

PELETES E BRIQUETES

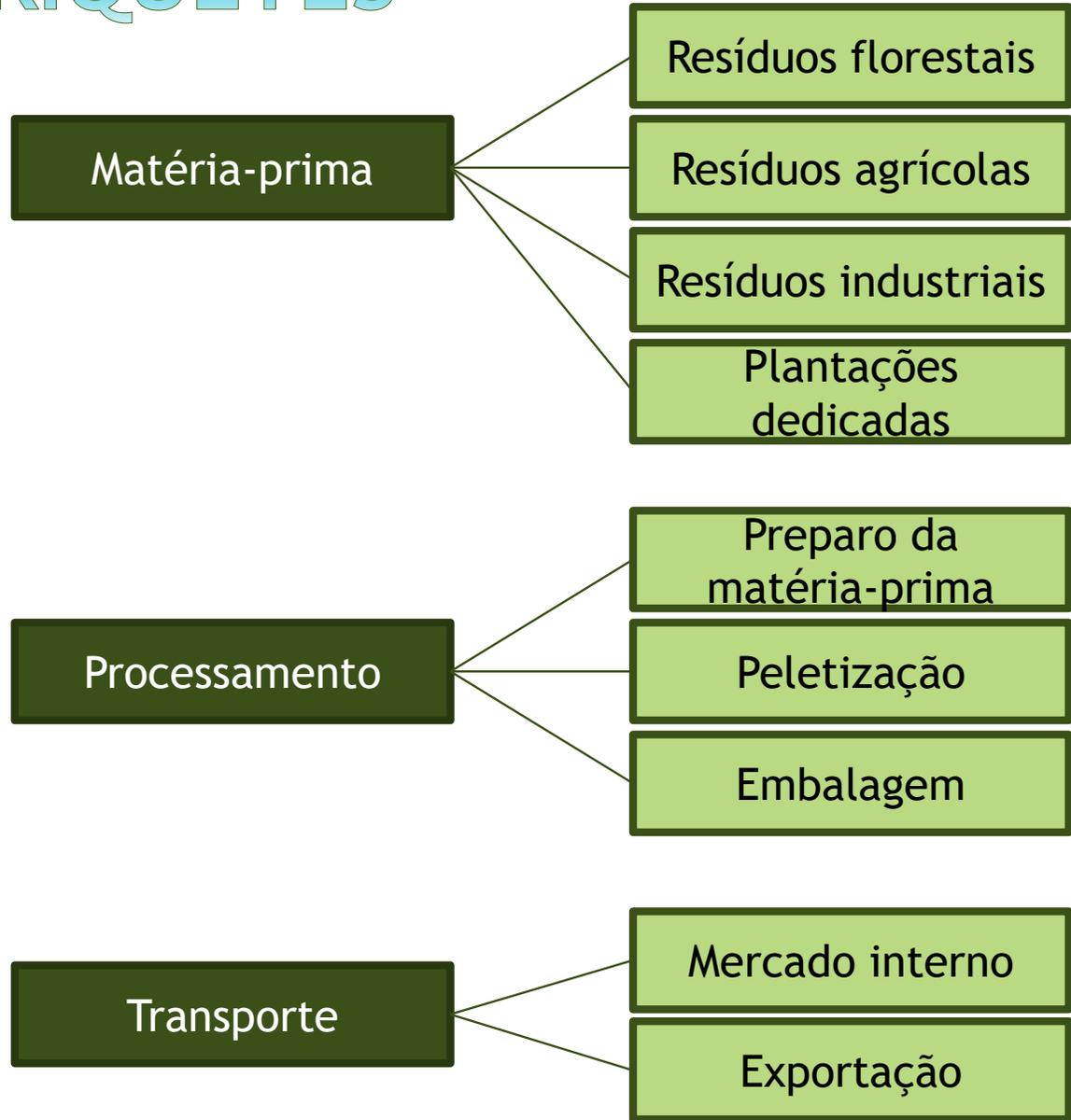


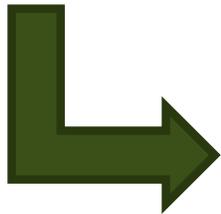
Figura. Esquema das etapas para a produção de peletes.
Fonte: Barbosa, 2008.

BRIQUETES

A briquetagem como tecnologia foi inventada no começo do século XIX (SRIVASTAVA et al. (1995).

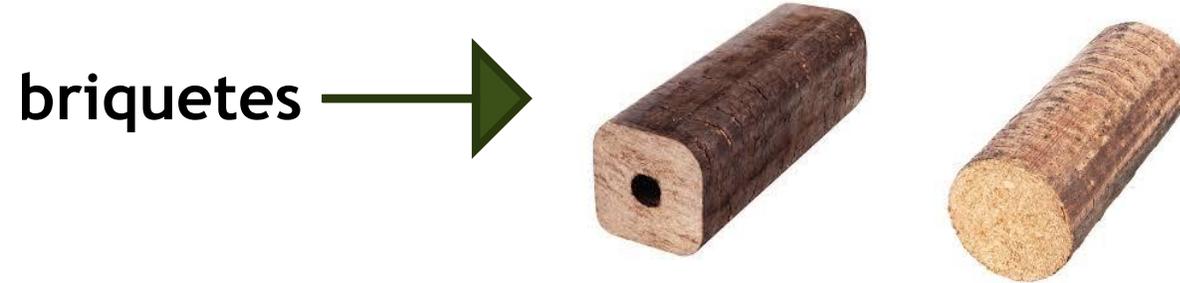
Na segunda metade do século XIX foi desenvolvida a primeira máquina a pistão para produzir briquetes de turfa (STAUBER, 1995).

Em 1923, a sociedade “Pacific Coal and Wood” de Los Angeles estava já comercializando briquetes de resíduos de madeira, usando uma prensa especialmente projetada.



Os briquetes eram cilíndricos, com diâmetro aproximado de 7,5 cm e comprimento de 25 cm, amarrados com arame para manter a coesão durante o transporte.

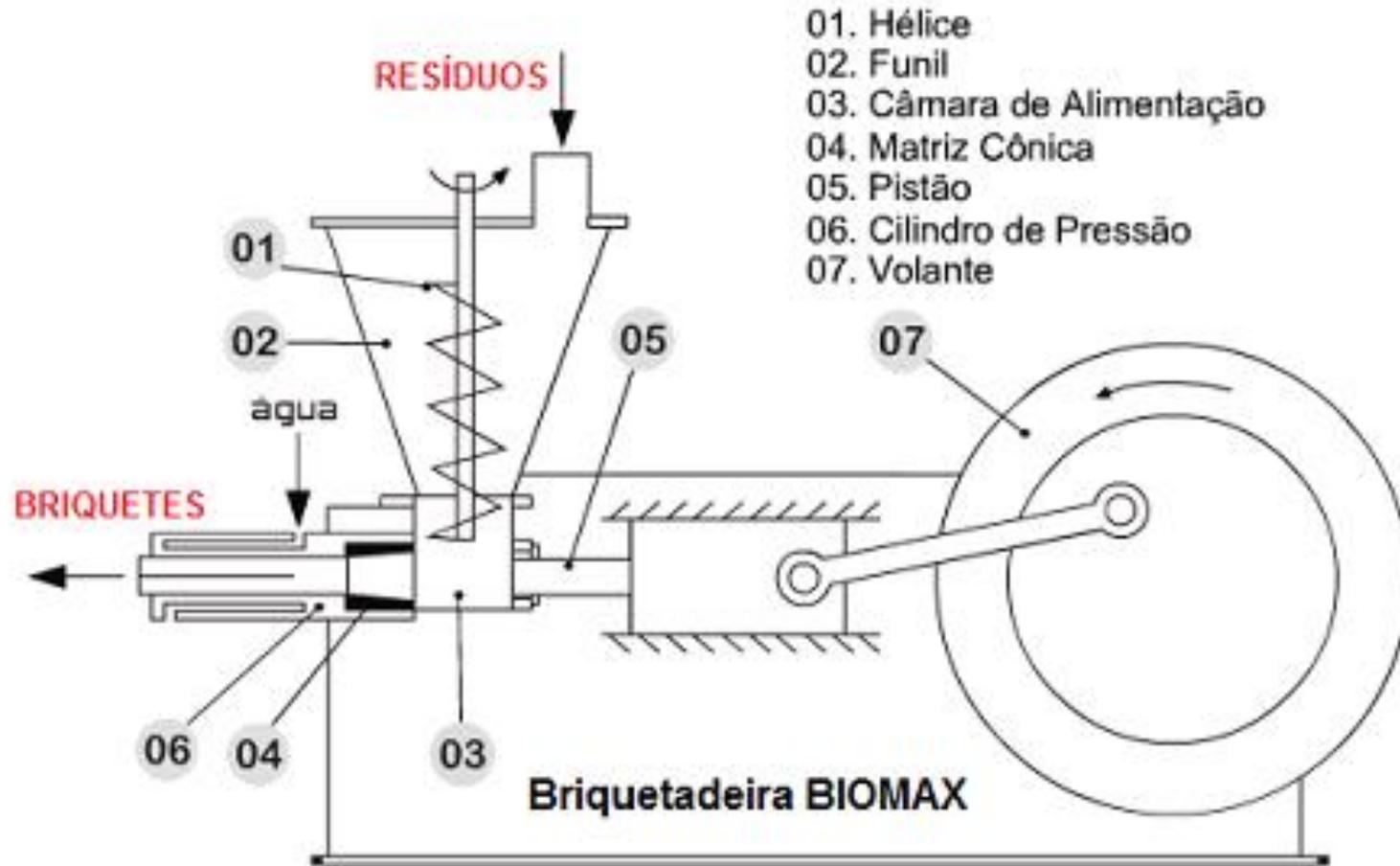
BRIQUETES



características

- Diâmetro: > 25 mm
- Comprimento: entre 5 e 40mm
- densidade superior 1,10 kg/dm³
- umidade 8 - 12%

BRIQUETES



Briquetadeira BIOMAX

BRIQUETES



Briquetagem

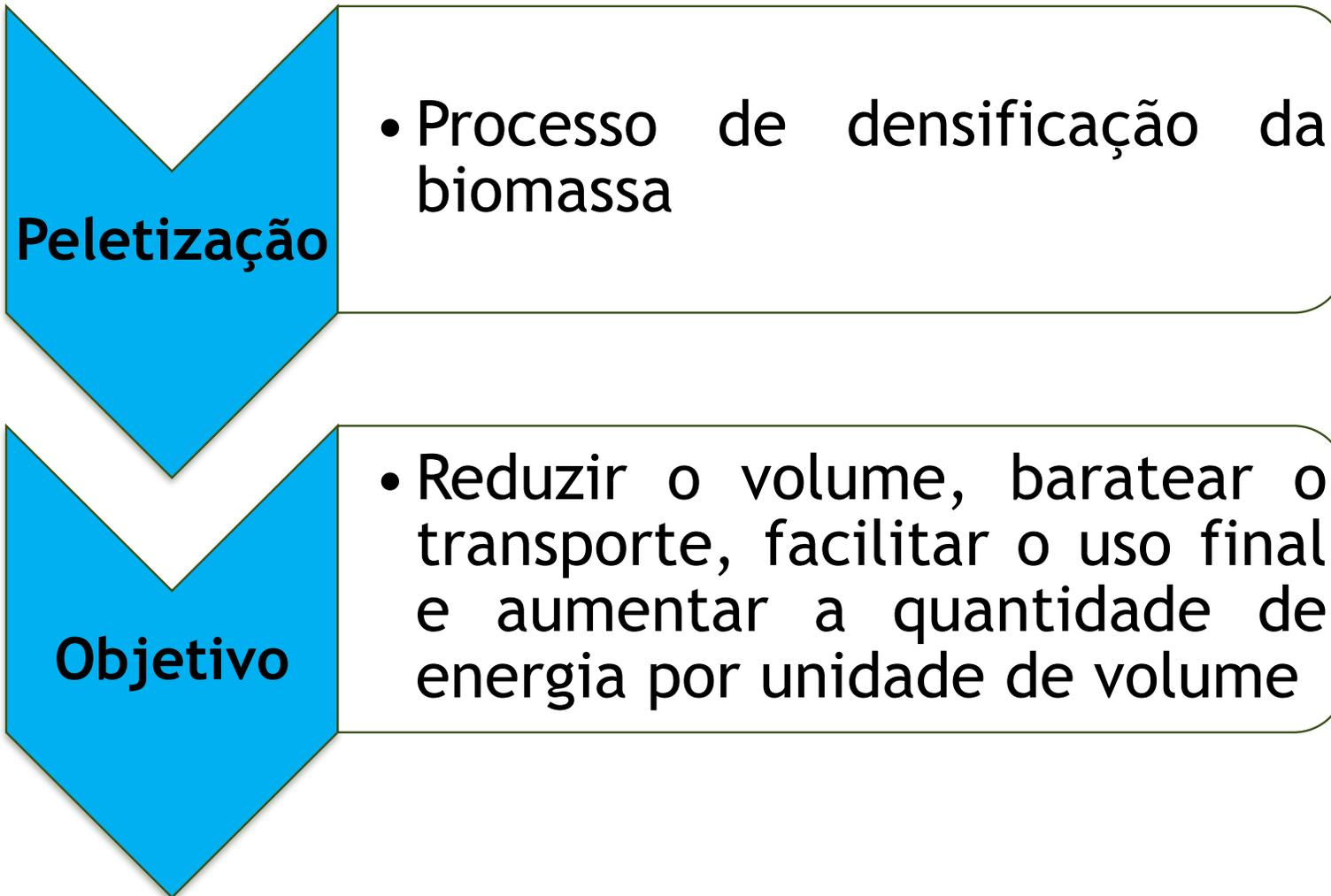


<https://www.youtube.com/watch?v=sYhPtmxRC18>

<https://www.youtube.com/watch?v=3HLA9y8xlls>



PELETES



PELETES

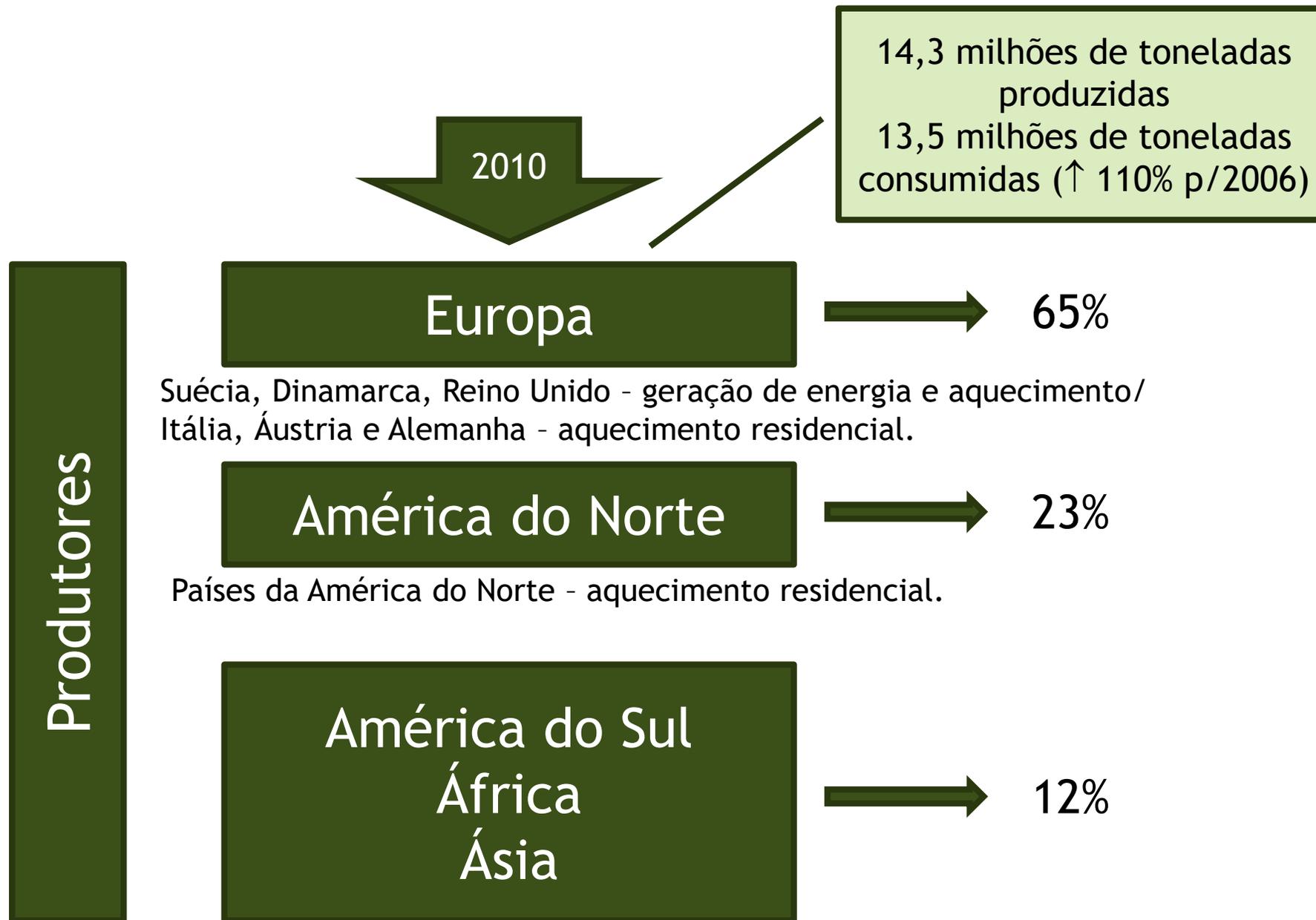
peletes



características



- Diâmetro: variando entre 4 e 10 mm
- Comprimento: variável $\leq 5 \times$ diâmetro)
- densidade superior $1,10 \text{ kg/dm}^3$
- umidade $< 12\%$



PELETES

Produção Mundial

2007 - 18 milhões ton/ano
2017 - 33 milhões ton/ano

Produção Brasil

2007 - 57 mil ton/ano
2017 - 471 mil ton/ano

FAO, 2020

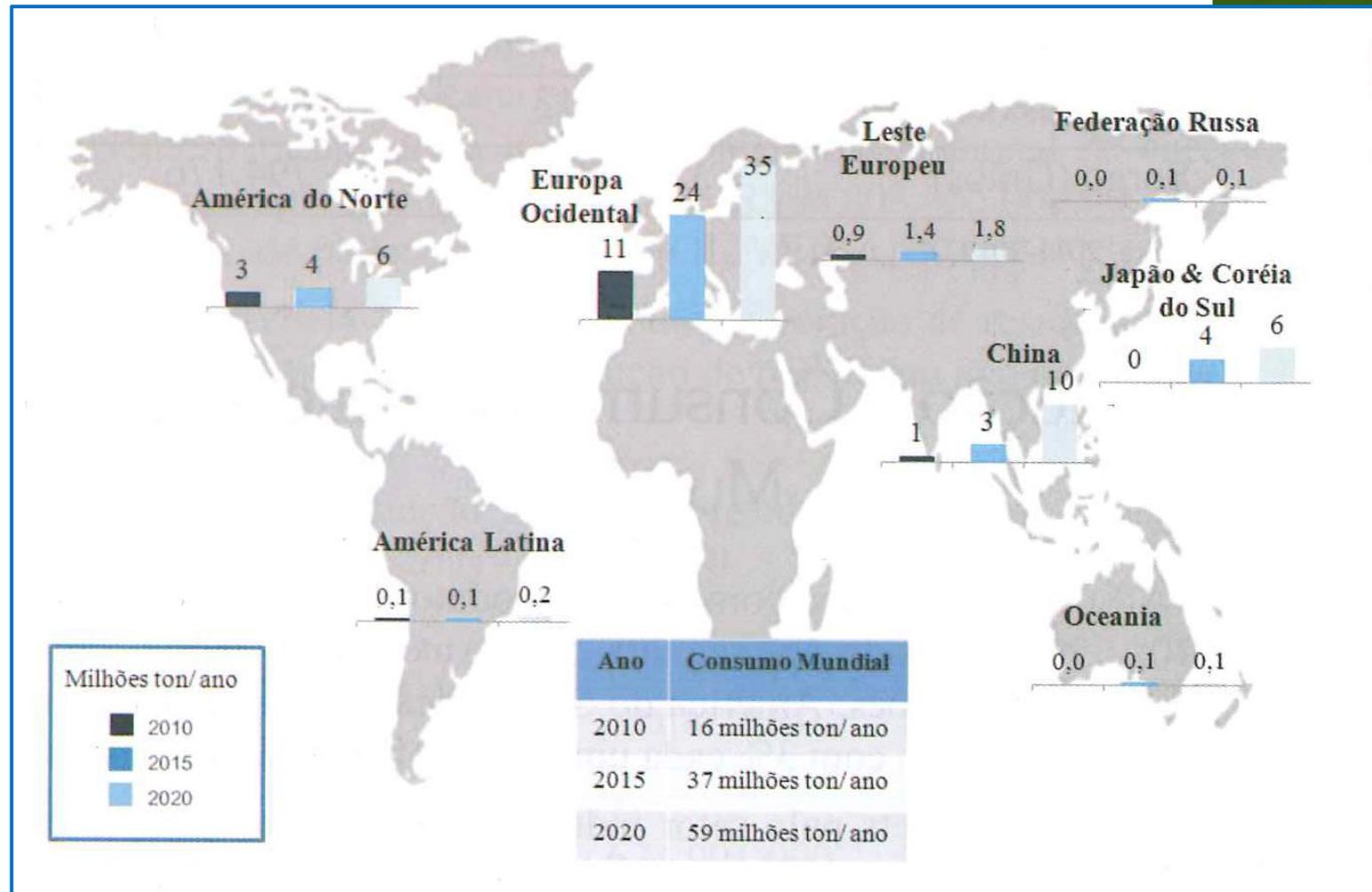


Figura: Consumo mundial de peletes, em milhões de toneladas/ano.
Fonte: SANTOS et al., 2013.

PELETES

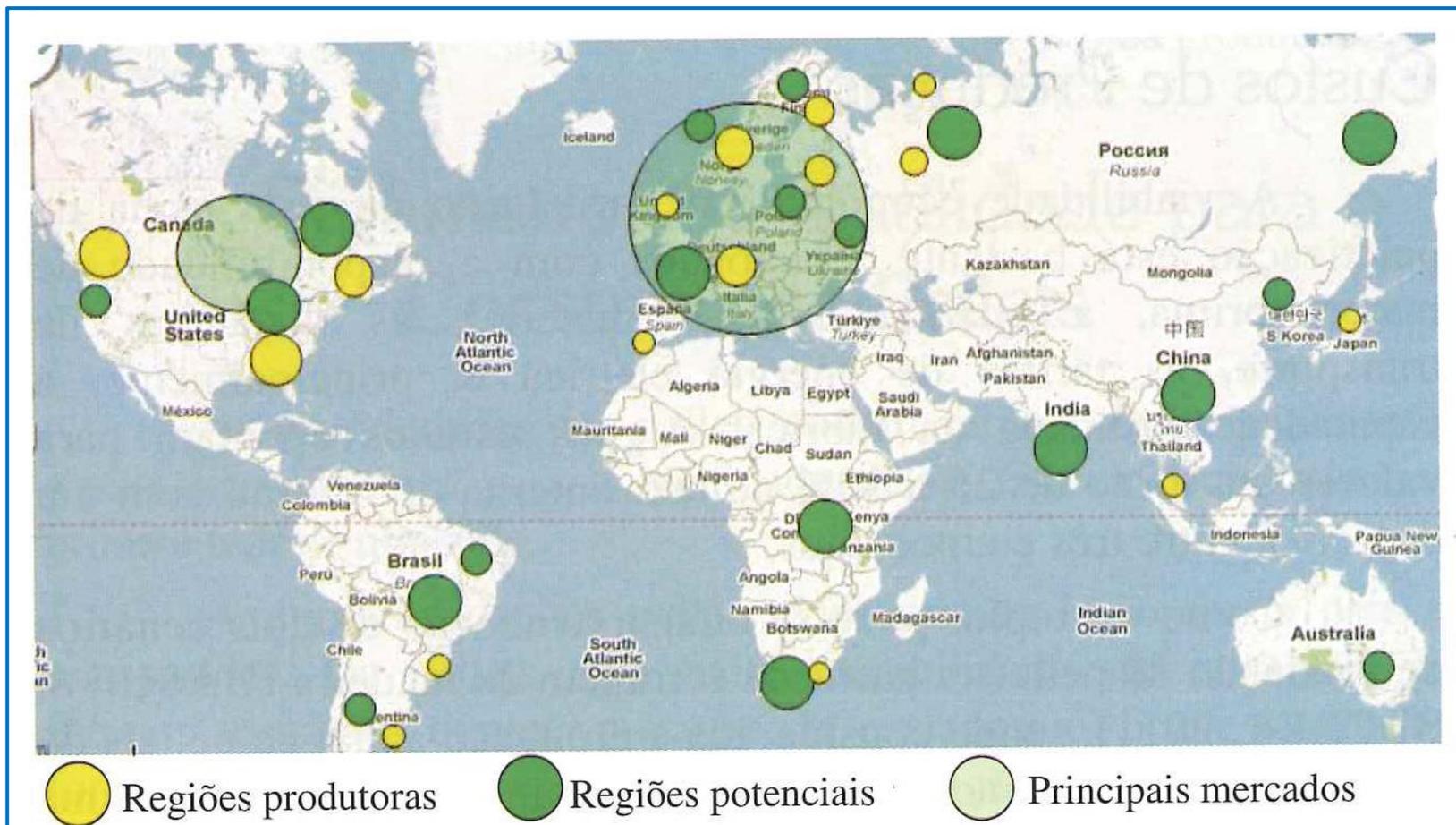


Figura: Perspectivas atuais e futuras para o mercado de peletes.
Fonte: SANTOS et al., 2013.

Normas

Alemanha - DIN-52731 e DINplus

Austria - O''Norm-M-7135

Suíça - Swiss pelet equivalente a DIN

Suécia - SS-187120

DINplus = Din51731 +

O''Norm-M-7135

Mais rigorosos padrões de
qualidade da Europa

ASPECTOS TÉCNICOS DA BRIQUETAGEM E PELETIZAÇÃO

PRÉ-TRATAMENTO DA MATÉRIA PRIMA



trituradores moinhos secadores

- ✓ Dependendo das condições iniciais, pode ser necessário triturá-la para diminuir o tamanho das partículas ou secá-la para reduzir o teor de umidade.
- ✓ Para melhorar o desempenho energético do equipamento de compactação, pode ser instalado um sistema de pré-aquecimento da matéria-prima.

ASPECTOS TÉCNICOS DA BRIQUETAGEM E PELETIZAÇÃO

Prensa Peletizadora

A prensa peletizadora consiste em um ou mais rolos que giram contra uma matriz dotada de vários furos de pequeno diâmetro.

A matéria-prima é colocada entre o rolo e a matriz e a passagem do rolo provoca a extrusão do material através dos furos.

Ao sair da matriz, os peletes são cortados com uma faca posicionada na saída dos furos e os peletes, resfriados e caem diretamente nas embalagens de comercialização.

ASPECTOS TÉCNICOS

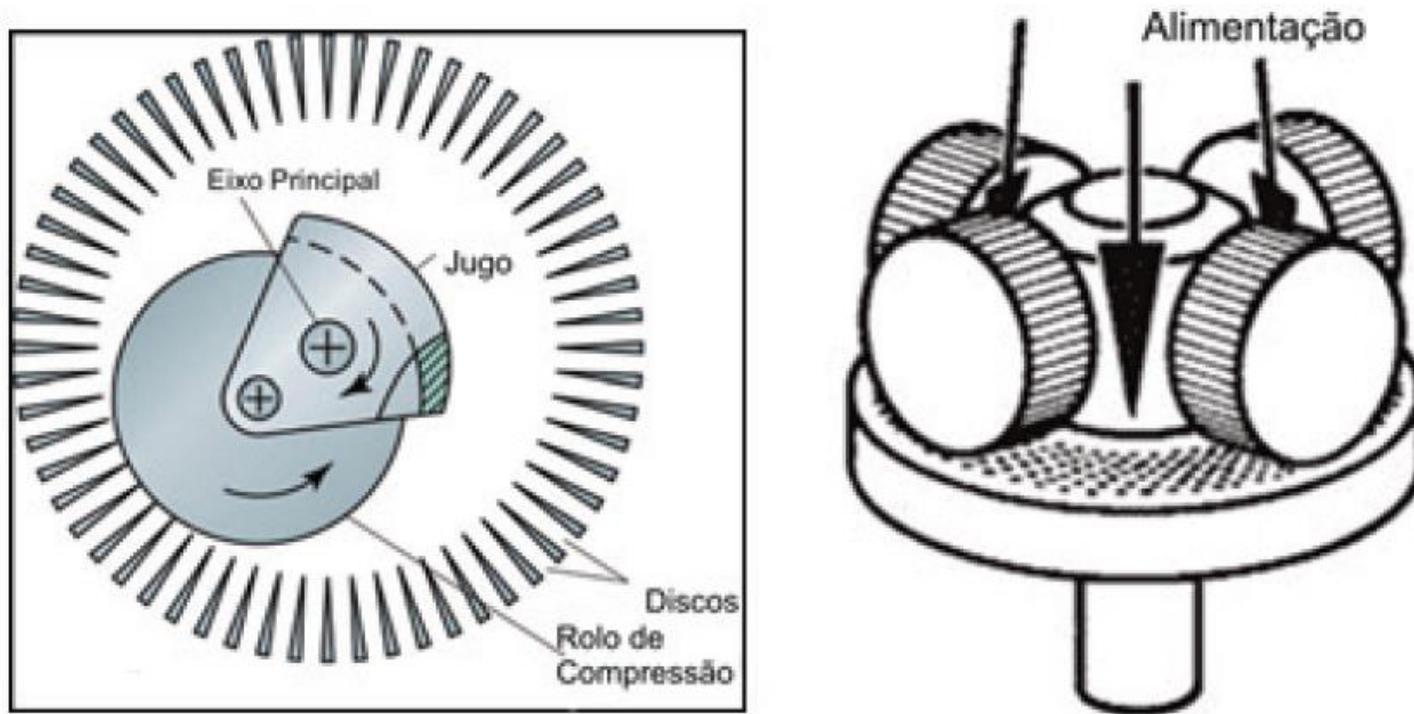


Figura: Modelo de peletizadora de matriz cilíndrica (esquerda) e matriz plana (direita).
Fonte: Embrapa. apud TUMULURU et al, 2011 e GAVIRIA, 2012.

PELETES



Figura: Modelo de peletizadoras.



<https://www.youtube.com/watch?v=MbEZJyv61Lg&t=6s>

6 PIRÓLISE

Benefícios

- ✓ Aproveitamento de resíduos;
- ✓ Concentração de energia;
- ✓ Transforma passivos ambientais em biocombustíveis sólidos;
- ✓ Carboquímica

CARBONIZAÇÃO

→ pirólise lenta



Tratamento da biomassa a temperaturas acima de 250 °C e inferior a 500 °C na presença controlada de oxigênio.

Degradação:

Resistência térmica dos constituintes químicos da madeira - relacionada a estrutura.

- Hemicelulose (200 - 260 °C);
- Celulose (200 - 260 °C);
- Lignina inicia-se em 150 °C e se mantém até 500 °C.

CARVÃO

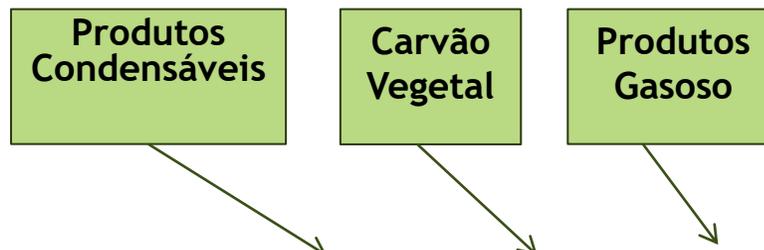
Fases	Temperatura (°C)	Características	Observações
I	Até 110	Secagem da madeira - liberação de água	
II	110 - 250	180 °C - liberação de água de constituição pela decomposição da celulose e hemicelulose (pouca massa é perdida até 250 °C)	Madeira semicarbonizada
III	250 - 350	Intensificação da decomposição da celulose e hemicelulose - formação de gases, óleo e água (expressiva perda de massa)	O carvão tem ~75% de carbono
IV	350 - 500	Redução da liberação de voláteis e gases combustíveis - fixação de carbono.	

Fonte: Rezende, 2006.

Carbonização da madeira

Concentra carbono e expulsa oxigênio pela ação do calor - ↑ conteúdo energético

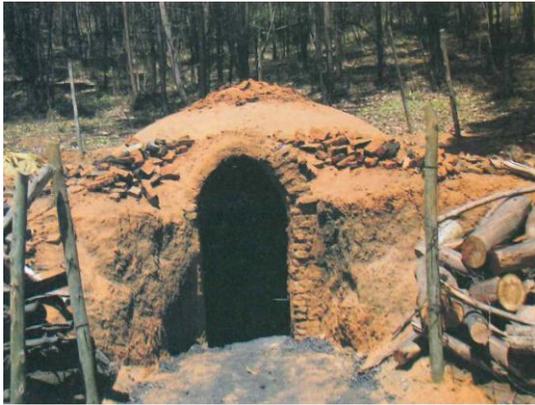
3 produtos básicos formados durante a destilação



		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%

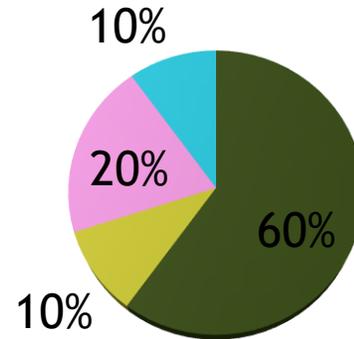
Figura: Rendimentos dos produtos típicos obtidos por diferentes formas de pirólise de madeira (base seca).

CARVÃO



Forno de encosta

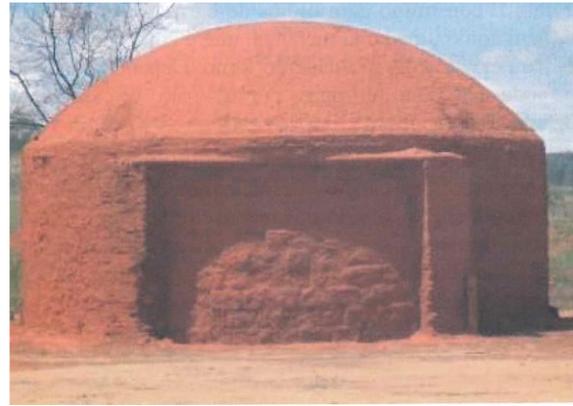
Tecnologias de Produção de Carvão no Brasil



- rabo quente
- superfície
- retangulares
- outras tecnologias



Forno rabo-quente

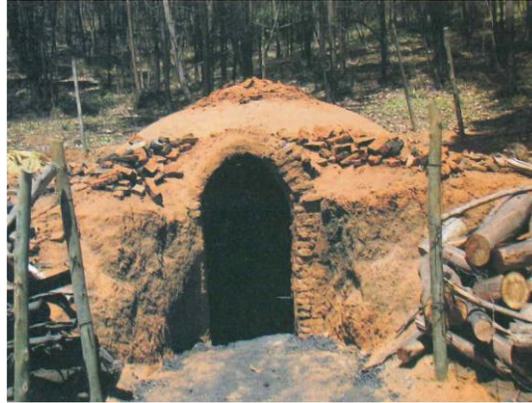


Forno de superfície



Forno retangular

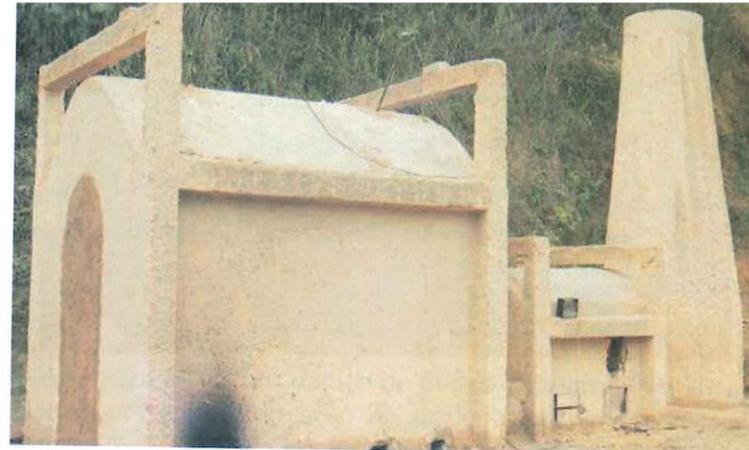
CARVÃO



Forno de encosta



Forno circular com queimador



Forno MF1-UFV

CARVÃO

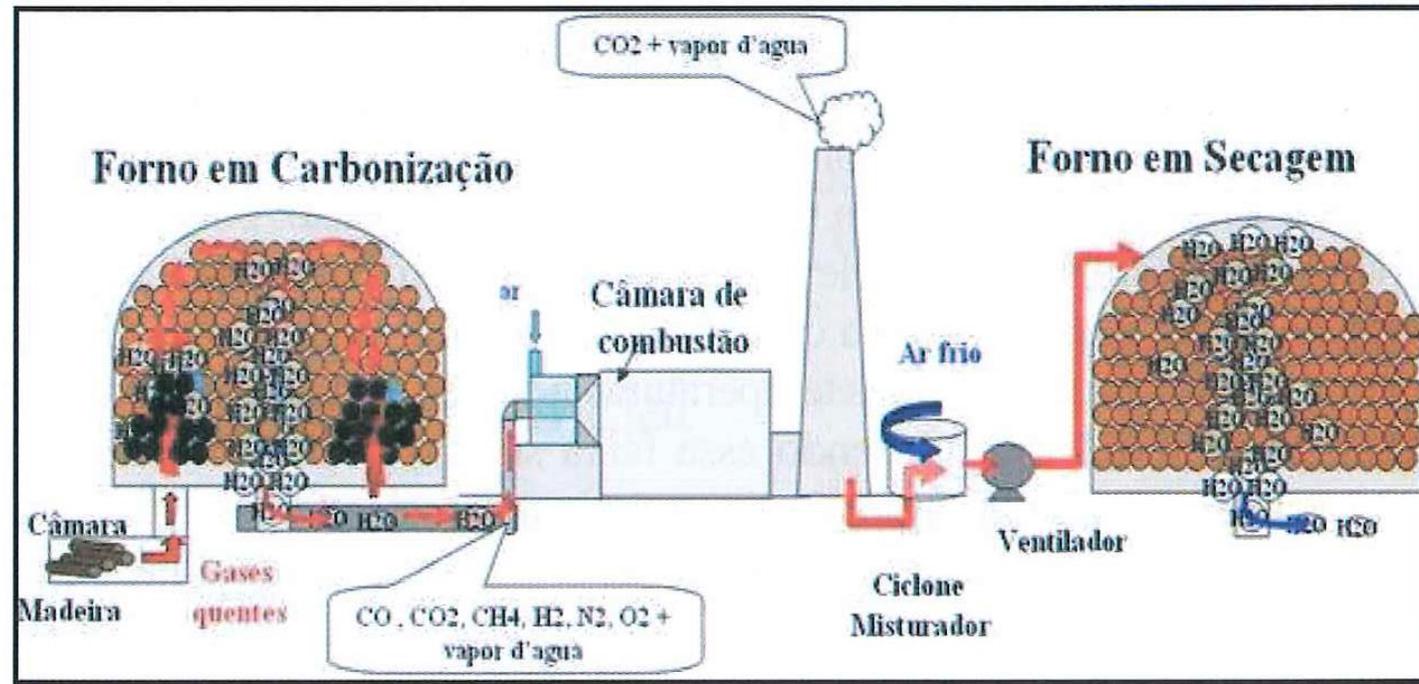
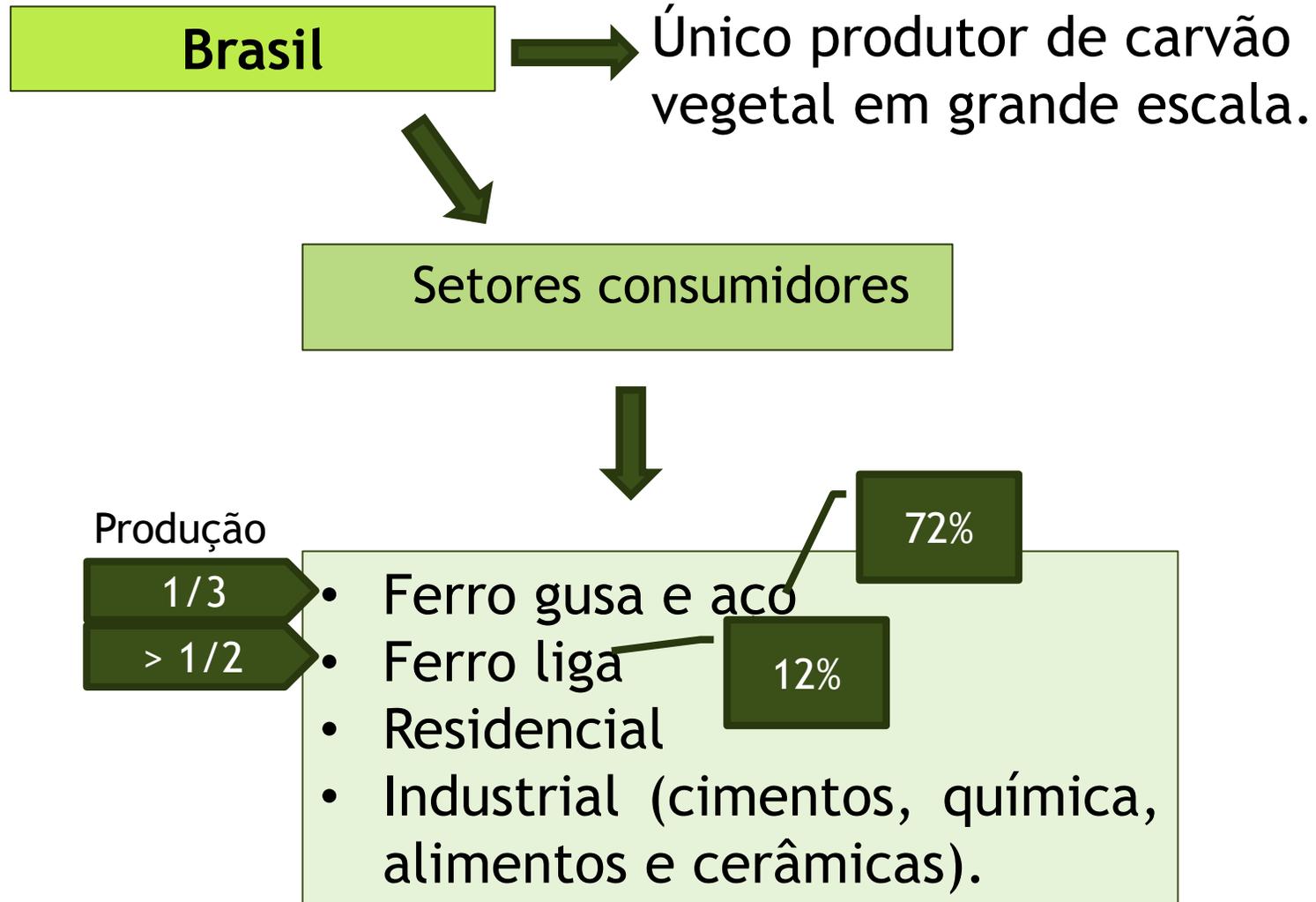
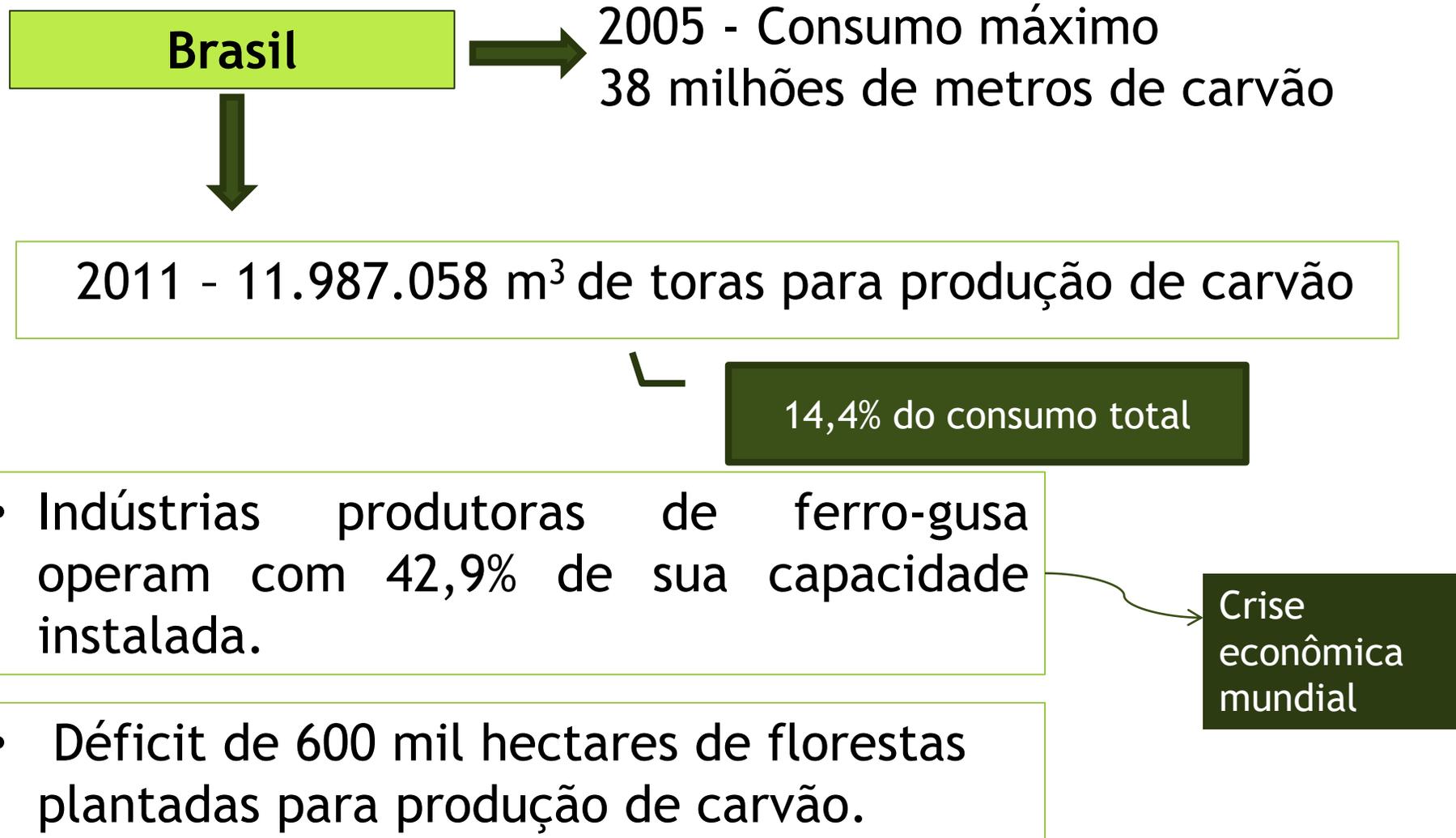


Figura: Sistema de carbonização da madeira com aproveitamento de gases.





CARVÃO



Fatores que afetam o rendimento e a qualidade do carvão produzido



- Temperatura de reação;
- Taxa de aquecimento;
- Pressão.

%C fixo eleva-se com o aumento da temperatura de carbonização.

Quando a taxa de aquecimento aumenta o rendimento gravimétrico tende a diminuir - carvão mais friável

Parâmetro de pouca influência - sistemas trabalham a pressão atmosférica.

CARVÃO

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

Figura: Utilizações dos produtos da destilação seca da madeira. (BRITO; BARRICHELO, 1981).

BIOMASSA TORRADA

- Características
- Produção e consumo
- Parâmetros de Qualidade



Reference



230 °C torrefaction



250 °C torrefaction



270 °C torrefaction

BIOMASSA TORRADA

TORREFAÇÃO



Mild Pyrolysis - pirólise suave



Pré-tratamento da biomassa a temperaturas de 200 a 300 °C na ausência de oxigênio.

Absorve 1 a 6% umidade

- A biomassa é completamente seca;
- Perde a estrutura fibrosa;
- Sólido hidrofóbico;
- Friável;
- Aumenta a poder calorífico.

- OH

BIOMASSA TORRADA

Tabela. Características físico-químicas e energéticas dos biocombustíveis.

Parâmetro	Unidade	Madeira	peletes de madeira	peletes de madeira torrada	Carvão vegetal	Carvão mineral
Umidade	%	30-40	7-10	1-5	1-5	10-15
Poder calorífico	MJ/Kg	9-12	15-16	20-24	30-32	23-28
Voláteis	%	70-75	70-75	55-65	10-12	15-30
Carbono fixo	%	20-25	20-25	28-35	85-87	50-55
Densidade	Kg/m ³	200-250	550-750	750-850	~200	800-850
Densidade energética volumétrica	MJ/m ³	2,0-3,0	7,5-10,4	15,0-18,7	6,0-6,4	18,4-23,8

BIOMASSA TORRADA

Parâmetros que influenciam a torrefação



- Temperatura de reação,
 - Taxa de aquecimento,
 - Teor de oxigênio,
 - Tempo de residência,
 - Pressão,
 - Tipo de matéria-prima, umidade e granulometria das partículas.
- 10%

BIOMASSA TORRADA

ETAPAS DE CONVERSÃO DA BIOMASSA DURANTE A TORREFAÇÃO

- I) Despolimerização da hemicelulose - emissão de voláteis e gases
- II) Transição vítrea/amolecimento da linina

Subprodutos:

- Água de reação
- Compostos orgânicos voláteis ($\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$, HCO_2H , CH_3OH etc.)
- Não condensáveis (CO , CO_2 , bases de hidrocarbonetos)

BIOMASSA TORRADA

Amostra	Unidade %	Voláteis % ↓	Carbono fixo % ↑	Cinzas % ↑	PCS MJ/Kg ↑
Talhos de algodão (in natura)	1,19	76,92	19,19	2,70	19,32
Talhos de algodão (torrado a 200°C)	5,24	44,34	41,89	8,44	23,94
Talhos de algodão (torrado a 250°C)	6,70	36,13	44,48	12,69	25,54
Talhos de algodão (torrado a 300°C)	6,10	31,16	48,00	14,74	25,03
Palha de trigo (in natura)	3,3	71,59	18,73	6,30	17,81
Palha de trigo (torrado a 200°C)	6,51	39,01	38,98	15,50	19,84
Palha de trigo (torrado a 250°C)	4,83	28,21	43,66	23,30	20,85
Palha de trigo (torrado a 300°C)	4,78	14,84	55,43	24,94	21,67

Fonte: adaptado de Wang et al., 2011.

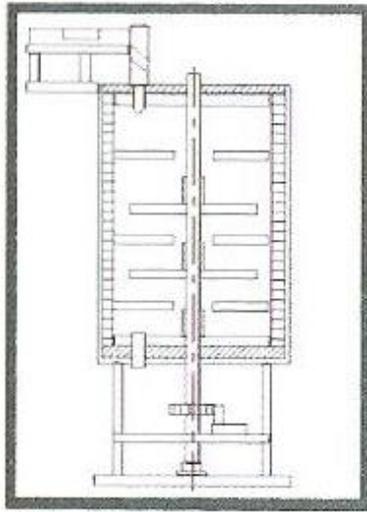
BIOMASSA TORRADA

Tecnologias

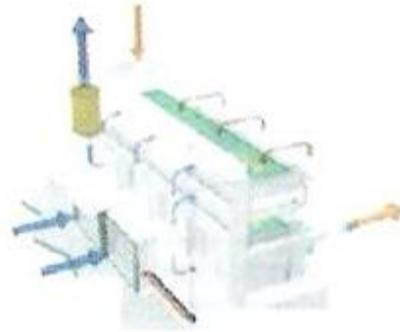
Ainda em desenvolvimento

- 50-60 empresas estão desenvolvendo esta tecnologia;
- Aplicação em tecnologias já testadas em outros casos (secagem, pirólise e combustão);
- Projetos limitados a escala laboratorial e piloto (pouca atenção a eficiência e exotermicidade do processo);
- Requer bom controle dos processos para bom desempenho o qualidade do produto;
- Eficiência energética do sistema depende da integração térmica dos componentes;
- > 10 unidades em etapa de demonstração e as primeiras comerciais estão em operação;
- A partir de 2016 aplicação em escala industrial 60 - 100 x 10³ t/ano.

BIOMASSA TORRADA



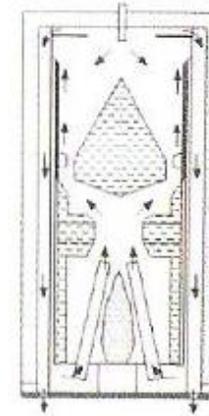
Fomalha de soleiras múltiplas



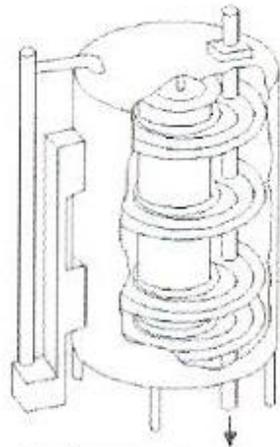
Reator de cinta oscilante



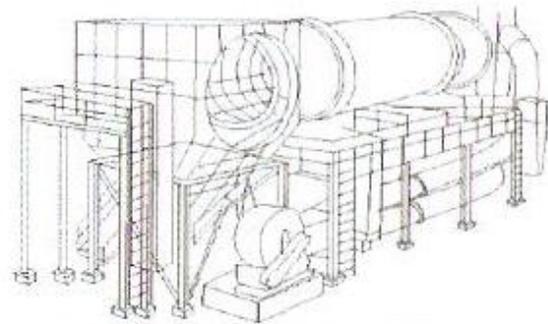
Reator de leito em movimento



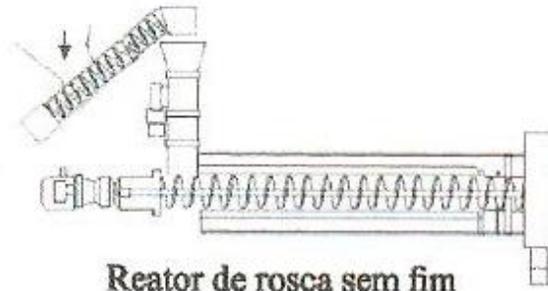
Reator de leito de torrefação



Turbosecador



Reator de tambor rotativo



Reator de rosca sem fim



Reator de microondas

Figura: Representação esquemática das principais tecnologias de torrefação.
Fonte: Meyer, 2011.

Rotas para uso/conversão energética da madeira.



ANEXOS

- NORMAS

- ASPECTOS TÉCNICOS DA BRIQUETAGEM E PELETIZAÇÃO

ANEXO - NORMAS

Alemanha

O Instituto Alemão de Normas, *Deutsches Institut für Normung* - DIN,

- DIN 51731: Teste para combustíveis sólidos, madeira compactada sem tratamento. Exigências e testes. ^{Normas}
- DIN EN 15270: Queimadores de peletes em pequenos aquecedores. Definições, exigências, testes e características.
- DIN 66165: Procedimento para análise de tamanho de partículas, análise de peneiras.

A norma DIN Plus (baseada na DIN EN 15270) é a mais importante certificação mundial de qualidade para peletes de madeira.

NORMAS

Áustria

ÖNORM é o Instituto Normativo Austríaco

- ÖNORM M7135 é a norma padrão - estabelece exigências e especificações para a madeira ou casca comprimida em seu estado natural para a formação de peletes e briquetes e também estabelece características para peletes não derivados de biomassa nem provenientes de madeira.
- Normas que tratam da logística M7136 e armazenagem de peletes M7137.

NORMAS

Áustria

O Ministério Federal do Meio Ambiente Austríaco criou uma regra ambiental especial para os combustíveis de biomassa, em que apenas são permitidas matérias-primas de madeira natural.

- ÖNORM M 7135: Especificações de peletes e briquetes de madeira com ou sem casca.
- ÖNORM M 7136: Exigências de qualidade para logística e transporte de peletes.
- ÖNORM M 7137: Exigências de armazenamento para consumidores finais de peletes de madeira.

NORMAS

Suécia

A Suécia foi um dos primeiros países a estabelecer a qualidade dos peletes na norma SS187120 (*Swedish Standards - SS*).

Essa norma inclui três categorias na qualidade dos peletes, dependendo dos parâmetros considerados.

A norma SS187121 trata exclusivamente de briquetes.

NORMAS

Itália

A norma italiana CTI-R04/05 (*Comitato Termotecnico Italiano - CTI*) estabelece os parâmetros de qualidade de peletes derivados de biomassa.

A norma classifica os peletes nas seguintes categorias, dependendo de sua composição:

- ✓ A1
- ✓ A2
- ✓ A3

NORMAS

A1

Tronco de árvore decídua ou conífera sem casca; madeira sem tratamento da indústria de processamento de madeira; madeira não tratada e madeira sem casca depois de ter sido usada; ou mistura desses materiais.

A2

Materiais não incluídos na categoria A.1; biomassa herbácea.

A3

A Materiais não incluídos na categoria A.2.

NORMAS

França

Não ter norma oficial para peletes de madeira, o governo estabeleceu um controle de qualidade efetuada pela ITEBE (*International Association of Bioenergy Professionals*), que classifica peletes de acordo com seu uso (fogão, caldeiras e incineradores).

NORMAS

Europa

O Comitê Europeu de Normalização (*European Committee for Standardisation* - CEN) tem um mandato da Comissão Europeia para o desenvolvimento de normas para combustíveis sólidos no Comitê Técnico TC 335.

Estas normas incluem parâmetros e orientações pertinentes à densidade de partículas e teor de umidade, à resistência ao esmagamento ou dureza, ao tamanho de partículas (comprimento e diâmetro), composição química, teor de cinzas, e capacidade calorífica entre outras (BIOMASS ENERGY CENTRE, 2012).

NORMAS

Europa

O comitê técnico CEN/TC 335 apresenta todas as propriedades relevantes de biocombustíveis sólidos, incluindo toda a instrução normativa referente à análise desses biocombustíveis sólidos, incluindo lascas de madeira, peletes de madeira, toras, serragem e fardos de palha.

As normas publicadas e elaboradas por esse comitê estão relacionadas na Tabela seguinte.

NORMAS

Tabela. Normas técnicas estabelecidas pelo CEN - Comitê Europeu de Normalização.

Norma europeia	Título
BS EN 14774-1,-2,-3:2009	Biocombustíveis sólidos – Determinação de teor de umidade – Método da estufa.
BS EN 14775:2009	Biocombustíveis sólidos – Determinação do teor de cinzas
BS EN 14918:2009	Determinação de poder calorífico
BS EN 14961:2010	Especificações de combustíveis e classes
BS EN 15103:2009	Determinação da densidade aparente
BS EN 15148:2009	Determinação de matéria volátil
BS EN 15210-1:2009	Determinação de durabilidade mecânica de péletes

CEN/TS 14588:2004	Terminologia, definições e descrições
CEN/TS 14778-1, -2:2005	Métodos de amostragem, plano de amostragem e preparação de amostras
CEN/TS 14779:2005	
CEN/TS 14780:2005	Métodos para preparação de amostras
CEN/TS 14780:2005	
CEN/TS 14104:2005	Determinação de carbono, hidrogênio e nitrogênio total – Métodos instrumentais.
CEN/TS 15105:2005	Métodos para determinação de solúveis em água na forma de sódio, potássio e cloro.
CEN/TS 15149-1, -2, -3:2006	Métodos para determinação de distribuição de tamanho de partículas
CEN/TS 15150:2005	Métodos para a determinação da densidade da partícula
CEN/TS 15210-2:2005	Determinação de durabilidade mecânica de briquetes
CEN/TS 15234:2006	Qualidade assegurada de combustíveis
CEN/TS 15298:2006	Determinação do teor total de enxofre e cloro
CEN/TS 15290:2006	Determinação de elementos majoritários (Al, Ca, Fe, Mg, P, K, Si, Na e Ti)
CEN/TS 15297:2006	Determinação de elementos minoritários (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, V e Zn)
CEN/TS 15370-1:2006	Método para determinação de comportamento de fusão de cinzas.

NORMAS

Estados Unidos da América

As normas para biomassa densificada para utilização como combustível são regulamentadas pelo PFI (*Pellet Fuel Institute*) (PELLET FUEL INSTITUTE, 2011) nos Estados Unidos.

Normas do PFI discutem especificações para o uso doméstico e industrial, mas não especificamente de briquetes e peletes.

NORMAS

Estados Unidos da América

O PFI propõe a utilização das seguintes normas da ASTM para caracterização dos peletes:

- ASTM E 873 Método de teste padrão para determinação de densidade aparente de biocombustíveis de biomassa particulada densificada (Standard Test Method for Bulk Density of Densified Particulate Biomass Fuels).
- ASTM E 871 Método de teste padrão para determinação de umidade em combustíveis de madeira particulada (Standard Test Method for Moisture Analysis of Particulate Wood Fuels).

NORMAS

- ASTM D 1102 Método de teste padrão para determinação de cinzas em madeira (Standard Test Method for Ash in Wood).
- ASTM E 776 Método de teste padrão para determinação de formas de cloro em combustível derivado de descartes (Standard Test Method for Forms of Chlorine in Refuse-Derived Fuel).
- ASTM D 4208 Método de teste padrão para determinação de cloro total em carvão mineral através de bomba de combustão / método do eletrodo de íon seletivo (Standard Test Method for Total Chlorine in Coal by the Oxygen Bomb Combustion/Ion Selective Electrode Method).

NORMAS

- ASTM D 6721 Método de teste padrão para determinação de cloro em carvão mineral por microcoloumetria hidrolítica oxidativa (Standard Test Method for Determination of Chlorine in Coal by Oxidative Hydrolysis Microcoulometry).
- ASTM E 711 Método de Teste Padrão para poder calorífico superior de combustível derivado de resíduo com bomba calorimétrica (Standard Test Method for Gross Calorific Value of Refuse-Derived Fuel by the Bomb Calorimeter).

ASTM E 29 Prática padrão para o uso de dígitos significativos em dados de teste para determinar a conformidade com as especificações (Standard Practice for Using Significant Digits in Test Data to

NORMAS

- ASTM C 702 Prática padrão para a redução de amostras de agregados para teste de tamanho (Standard Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size).
- ASTM D 1857 Método de Teste Padrão para fusibilidade de carvão e de cinzas de coque (Standard Test Method for Fusibility of Coal and Coke Ash).
- IEEE/ASTM SI10-2002 Padrão para o uso do Sistema Internacional de Unidades (SI): o moderno sistema métrico (Standard for the Use of the International System of Units (SI): The Modern Metric System)

NORMAS

Tabela. Especificações técnicas de briquetes e peletes segundo normas austríacas, suecas, alemãs e europeias.

Especificação	Áustria Önorm M7135	Suécia SS187120	Alemanha DIN 51735/DIN Plus	Europa GEN GENTS14961:2005 Anexo A	
Origem	Péletes de madeira Madeira	Péletes de casca Casca	Grupo 1 Grupo 2 Grupo 3	5 classes de tamanho Madeira sem tratamento químico e sem casca	
Tamanho (mm)	Péletes: Ø= 4-20 L= máx. 100	Briquetes: Ø= 20-120 L= máx. 400	Ø= Max. 4 Ø= Max. 5 Ø= Max. 6	L Ø HP1 > 300 HP2 150-300 HP3 100-150 HP4 < 100 HP5 < 50	Ø D06: Ø ≤ 6±0,5 L ≤ 5xØ D08: Ø ≤ 8±0,5 L ≤ 4xØ
Densidade aparente (kg/m³)	-	-	≥ 600 ≥ 500	A ser definido	
Finos (%) < 3 mm	-	-	≤ 0,8 ≤ 1,5	Max. 1 F1.0 ≤ 1,0 % F2.0 ≤ 2,0 %	
Densidade da unidade (kg/dm³)	≥ 1	-	-	1-1,4	
Teor de umidade (%)	≤ 12	≤ 18	≤ 10	≤ 12 < 12 M10 ≤ 10	

NORMAS

Tabela. Especificações técnicas de briquetes e peletes segundo normas austríacas, suecas, alemãs e europeias.

Especificação	Áustria Önorm M7135		Suécia SS187120			Alemanha DIN 51735/DIN Plus	Europa CEN CEN/TS14961:2005 Anexo A
Teor de cinzas (%)	≤ 0,5 (base seca)	≤ 6,0 (base seca)	≤ 7,0	≤ 1,5	> 1,5	< 1,5	A0.7 ≤ 0,7
Poder calorífico (MJ/kg)	≥ 18,0 (base seca)		≥ 16,9			17,5 – 19,5	16,9
Enxofre (%)	≤ 0,04 (base seca)	≤ 0,08 (base seca)	≤ 0,08			≤ 0,08	≤ 0,05 ≤ 0,05 %
Nitrogénio (%)	≤ 0,3 (base seca)	≤ 0,6 (base seca)		< 0,3			N0.3 ≤ 0,3 N0.5 ≤ 0,5 N1.0 ≤ 1,0 N3.0 ≤ 3,0 N3.0+ > 3,0 (valor real a ser indicado)
Cloro (%)	≤ 0,02 (base seca)	≤ 0,04 (base seca)	≤ 0,03			< 0,03	Categorias: Cl 0.03 Cl 0.07 Cl 0.10 Cl 0.10+ (se Cl > 0,10 % o valor real deverá ser estabelecido)

Continua

NORMAS

Tabela. Especificações técnicas de briquetes e peletes segundo normas austríacas, suecas, alemãs e europeias.

Especificação	Áustria Önorm M7135	Suécia SS187120	Alemanha DIN 51735/DIN Plus	Europa CEN CEN/TS14961:2005 Anexo A
Arsênio (ppm)			< 0,8	
Cádmio (ppm)			< 0,5	
Cromo (ppm)			< 8	
Cobre (ppm)			< 5	
Mercurio (ppm)			< 0,05	
Chumbo (ppm)			< 10	
Zinco (ppm)			< 100	
EOX Halogénios Orgânicos extraíveis (ppm)			< 3	
Aditivos	Máx. 2%, somente natural	A ser acordado		< 2w-% de base seca. Somente produtos da biomassa essencialmente agrícola e florestal que não são quimicamente modificados são aprovados para ser adicionado. Tipo e quantidade dos aditivos devem ser indicados

Continua...

NORMAS

Tabela. Especificações técnicas de briquetes e peletes segundo normas austríacas, suecas, alemãs e europeias.

Especificação	Áustria Önorm M7135	Suécia SS187120	Alemanha DIN 51735/DIN Plus	Europa CEN CEN/TS14961:2005 Anexo A
Ponto de fusão das cinzas	A ser indicado			
Durabilidade	<2,3			DU97,5 ≥ 97,5

Tabela. Especificações técnicas de briquetes e peletes segundo norma norte-americana, italianas e francesas.

Especificação	EUA PFI				Itália CTI-R 04/5			França ITEBE		
	Super Premium	Premium	Standard	Utility	A.1	A.2	A.3	Fogão	Caldeira	Caldeira grande ou Incinerador
Tamanho (mm)		Ø = 5,84 - 7,25			Ø = (6-8)±0,5 L = -	Ø = (6-8)±0,5 L = < 50	Ø = (10-25)±1,0 L = -	Ø = 6±1 L = 10-30	Ø = 8-10±1 L = 10-15	Ø = > 16 L = > 16
Índice de durabilidade	≥ 96,5		≥ 95,0							
Comprimento (maior que 3,8 cm)	≤ 1,0									

Continua...

NORMAS

Tabela. Especificações técnicas de briquetes e peletes segundo norma norte-americana, italianas e francesas.

Especificação	EU A		Itália			França			
	PFI		CTI-R	04/5		ITEBE			
Densidade aparente (kg/m ³)	640-737	609-737	620-720	600-720	≥660	> 660	> 680		
Densidade de partícula (kg/dm ³)						1,2-1,4	.		
Finos (%)	≤ 0,5	≤1,0	≤ 1		.				
< 3 mm									
Teor de umidade (%)	≤ 8,0	≤10,0	≤ 10%	< 10%	≤ 15%	< 10	.		
Teor de cinzas (%)	≤0,5	≤1,0	≤2,0	≤8,0	≤ 0,7	< 1,5	.	< 10	.
Capacidade calorífica (MJ/kg)				> 4039	> 3870		> 4052	.	
Enxofre (%)				≤0,5	.		< 0,08	.	
Nitrogênio (%)				≤0,3	.		< 0,3	.	
Cloro (%)		≤ 0,03		≤0,03	.	.	< 0,3	.	
Sódio (ppm)							< 300	.	
Aditivos				Baridos	.	.		.	

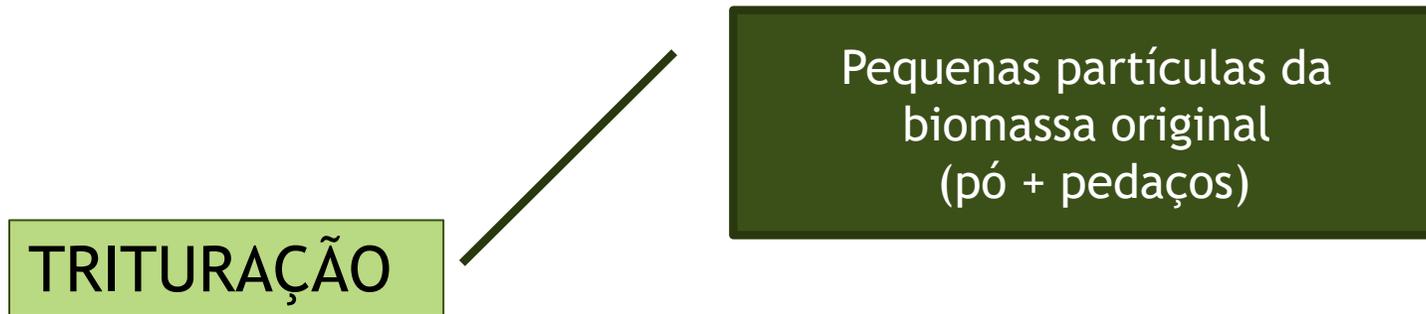
NORMAS

Tabela. Requisitos de qualidade para peletes, de acordo com normas europeias.

Parâmetro	DINplus	DIN-51731	O'-Norm M-7135	Swan Label		SS-187120			Swiss Pellet
				G1	G2	C1	C2	C3	
Diâmetro (mm)	4-10	4-10	4-10	≤6	≤8	≤25	≤25	≤25	5-7
Comprimento (mm)	5xD ^a	≤50	5xD	5xD	5xD	4xD	5xD	6xD	<50
Densidade (kg.dm ⁻³)	≥1,2	≥1-1,4	≥1,12	0,63-0,7	0,7-0,78	≥0,6 ^c	≥0,5 ^c	≥0,5 ^c	≥1,15-1,4
Umidade (%)	≤10	≤12	≤10	< 9	< 9	≤10	≤12	≤12	≤10
Cinzas (%)	≤0,5	≤1,5	≤0,5	≤0,5	≤0,5	≤0,7	≤1,5	≤1,5	≤0,5
Poder calorífico (MJ.kg ⁻¹)	≥18	15,5-19,5	≥18	≥16,9	≥16,9	≥16,9	≥16,9	≥15,1	≥18
Enxofre (%)	≤0,04	≤0,08	≤0,04	≤0,04	≤0,04	≤0,08	≤0,08	-	≤0,04
Nitrogênio (%)	≤0,30	≤0,30	≤0,30	≤0,30	≤0,30	-	-	-	≤0,30
Cloro (%)	≤0,02	≤0,03	≤0,02	≤0,02	≤0,02	≤0,02	≤0,02	-	≤0,04
Finos/ Abrasivos (%)	≤2,3	-	≤2,0	≤2,0 ^b	≤2,0 ^b	≤0,8 ^b	≤1,5 ^b	≤1,5 ^b	≤3,8
Durabilidade mecânica (%)	≥97,5	-	≥97,5	≥97,5	≥97,5	-	-	-	-
Aditivos (%)	< 2,0	-	< 2,0	-	-	TS	TS	TS	-

G1, G2: representam diferentes grupos de pellets; C1, C2 e C3: representam classes de pellets, por regulamentos suecos; D: diâmetro do pellet; TS: tipo e quantidade devem ser especificados; ^a: no máximo 20% dos pellets podem ter comprimento maior que 7,5 mm x diâmetro; ^b: % de peso das partículas <3,15mm; ^c: densidade da matéria-prima (kg.dm⁻³).

ANEXO - ASPECTOS TÉCNICOS DA BRIQUETAGEM E PELETIZAÇÃO



- ✓ O triturador deve ser adequado a quantidade de massa a ser triturada;
- ✓ O tamanho da matéria-prima de entrada e o tamanho de partícula ideal.

ASPECTOS TÉCNICOS DA BRIQUETAGEM E PELETIZAÇÃO

SECAGEM

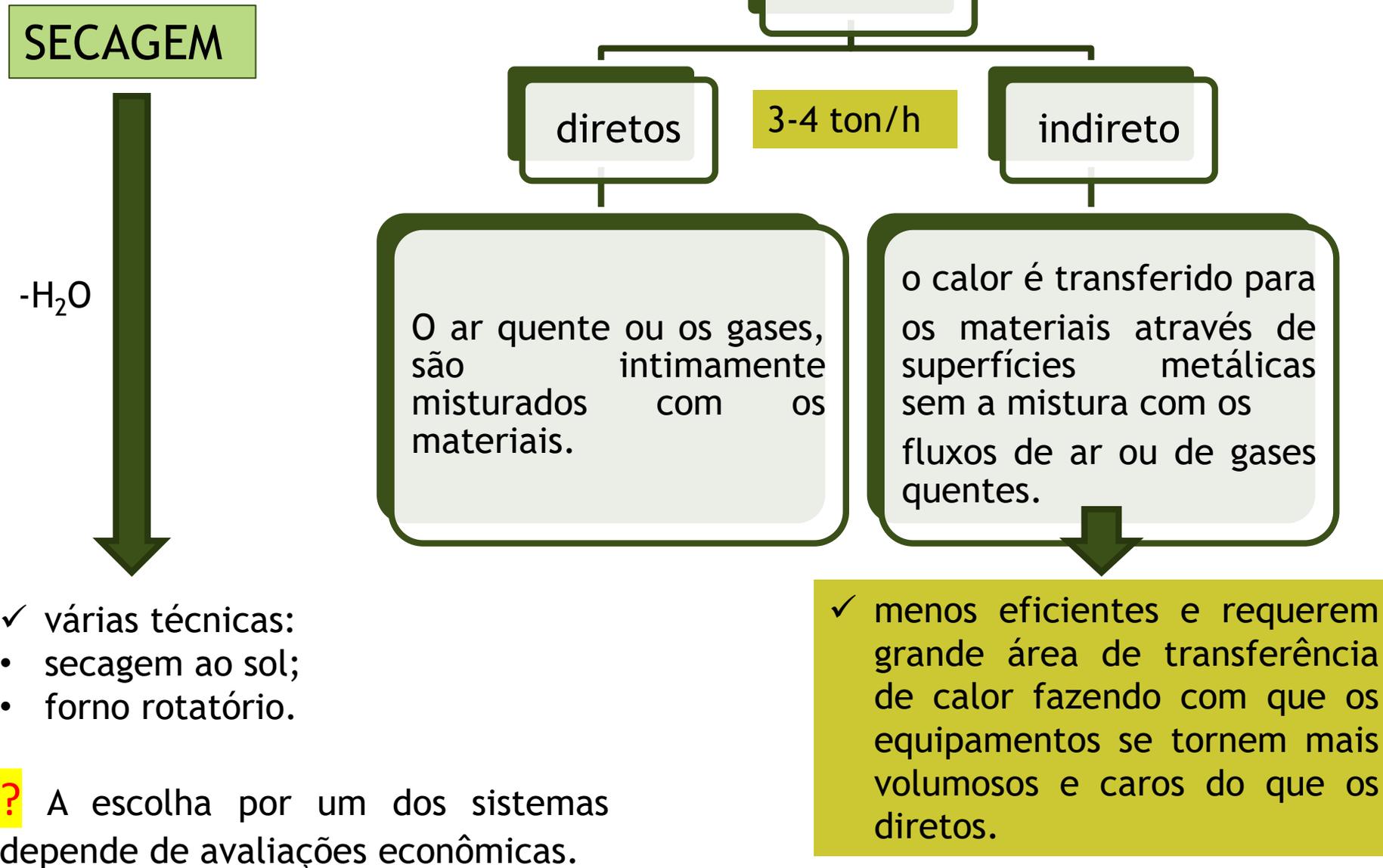
- ✓ O teor de umidade é uma variável importante no processo de compactação.



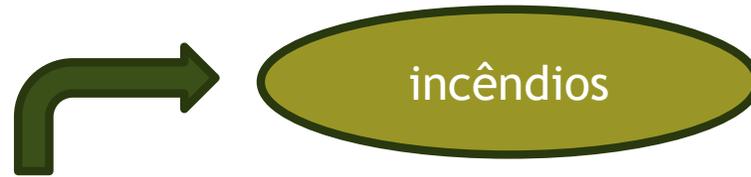
Facilita a gelatinização do amido, fragmentação de proteína, solubilização de fibras durante a densificação.

- ✓ O teor de água ideal, para a maioria das biomassas, está entre 5-10%
→ **produto mais denso, estável e durável.**
- ✓ Serragem e palha de trigo → estudos sugerem teores de umidade entre 15 e 23% (DEMIRBAS et al., 2004).

ASPECTOS TÉCNICOS DA BRIQUETAGEM E PELETIZAÇÃO



ASPECTOS TÉCNICOS DA BRIQUETAGEM E PELETIZAÇÃO



- ✓ evitar acúmulos dentro do sistema → por meio do controle da temperatura e velocidade de fluxo de vapor quente.

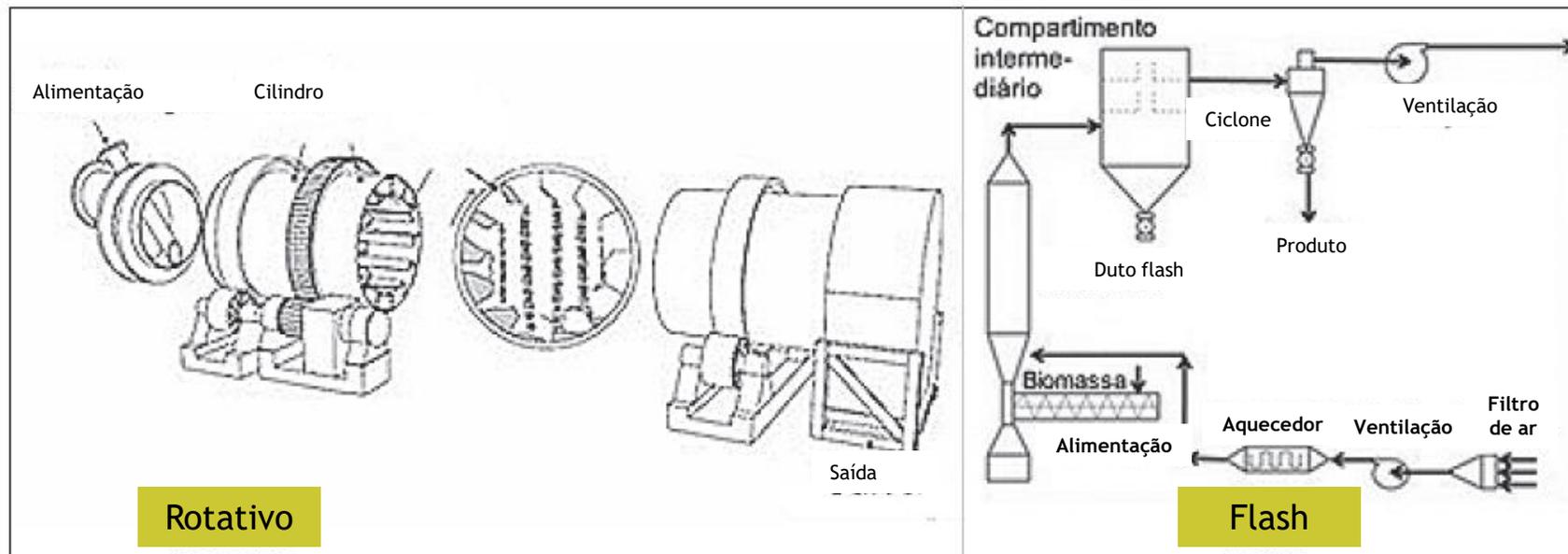
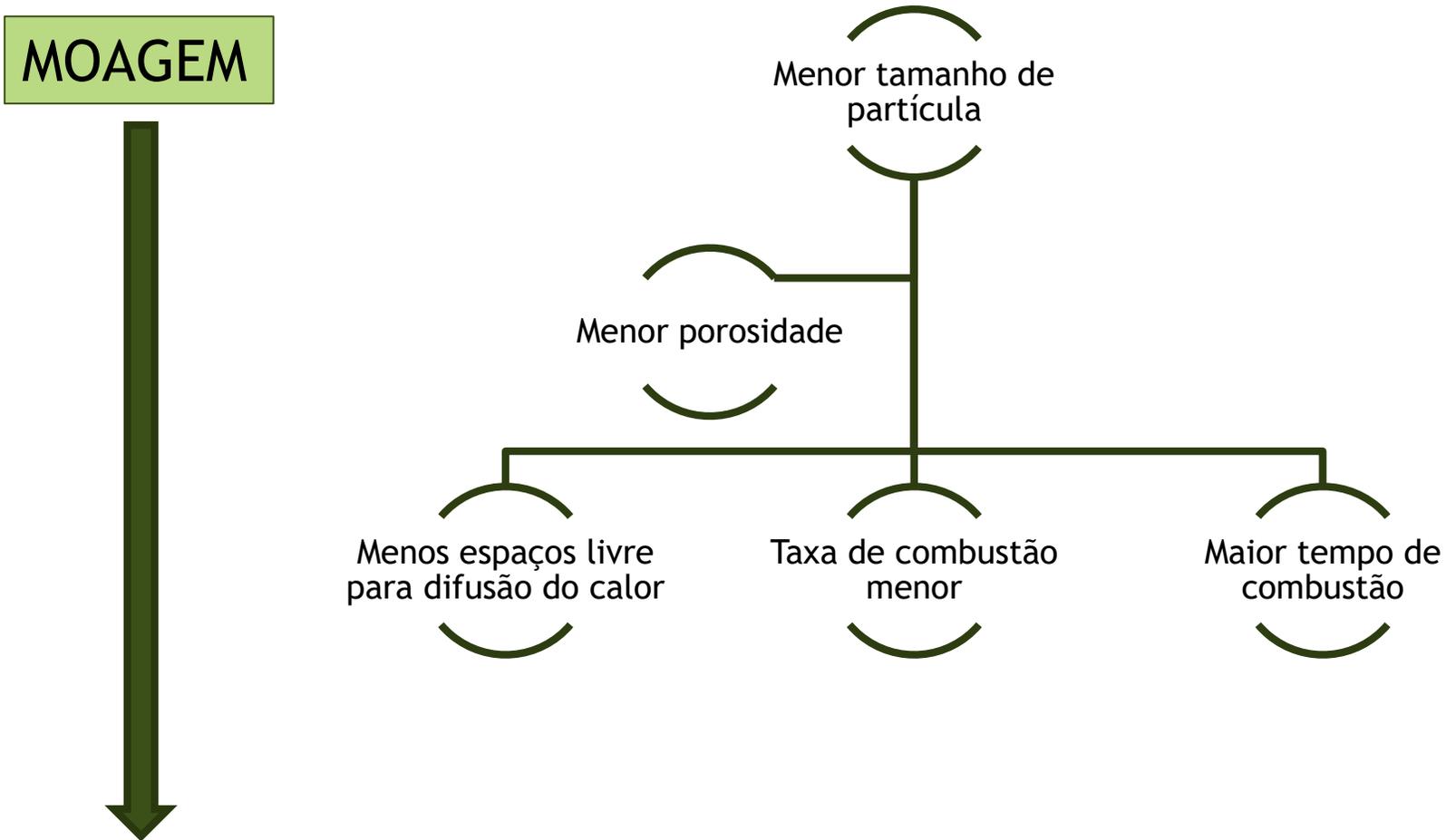


Figura: Secador do tipo rotativo e “flash”.

Fonte: Fernandes et al., 2009; GEA PROCESS ENGINEERING INC., 2012.

ASPECTOS TÉCNICOS DA BRIQUETAGEM E PELETIZAÇÃO



✓ o tamanho de partícula final deverá ser ajustado de acordo com o equipamento empregado no processo de compactação.

ASPECTOS TÉCNICOS DA BRIQUETAGEM E PELETIZAÇÃO

MOAGEM



os moinhos de martelos → os mais empregados
moinho de facas, de esferas picotador/triturador

Partículas de diferentes tamanhos

- Melhora o empacotamento das partículas
- aumenta a resistência de briquetes e peletes

Partículas muito finas <1 mm

- Não adequadas para extrusora de rosca
- Menos densas
- Mais coesas
- Pouco fluídas

Partículas de 6-8 mm

- 10 - 20 % de finos
- Bons resultados na briquetagem

ASPECTOS TÉCNICOS DA BRIQUETAGEM E PELETIZAÇÃO

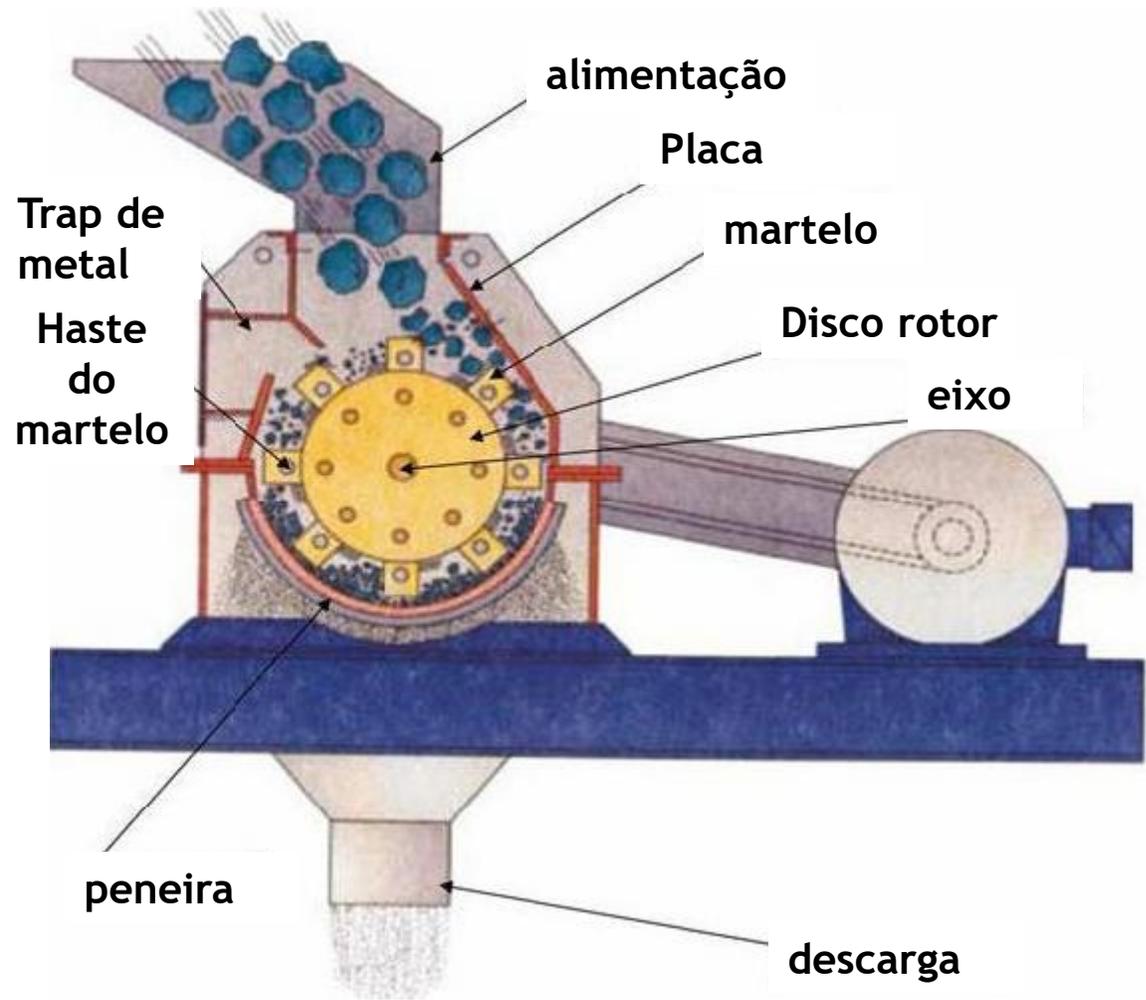
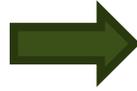


Figura. Moinho de martelo.

Fonte: <<https://www.google.com.br>>

ASPECTOS TÉCNICOS DA BRIQUETAGEM E PELETIZAÇÃO

CLASSIFICAÇÃO



peneiramento

Com telas metálicas, que estão disponíveis em vários tipos e tamanhos.

- ✓ As peneiras (tipo fechado) → poeira e um arranjo de autolimpeza.
- ✓ Vários tamanhos de malha de telas podem ser usados, dependendo do tipo de material a ser peneirado.

Ex:

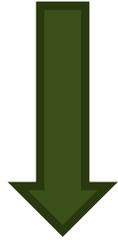
- Para serragem → tela de abertura 10 mm pode ser utilizada;
- Para casca de café, de arroz e de amendoim, telas com diferentes tamanhos podem ser empregadas → retirar os materiais estranhos tais como pedras e peças de aço etc.,

ASPECTOS TÉCNICOS DA BRIQUETAGEM E PELETIZAÇÃO

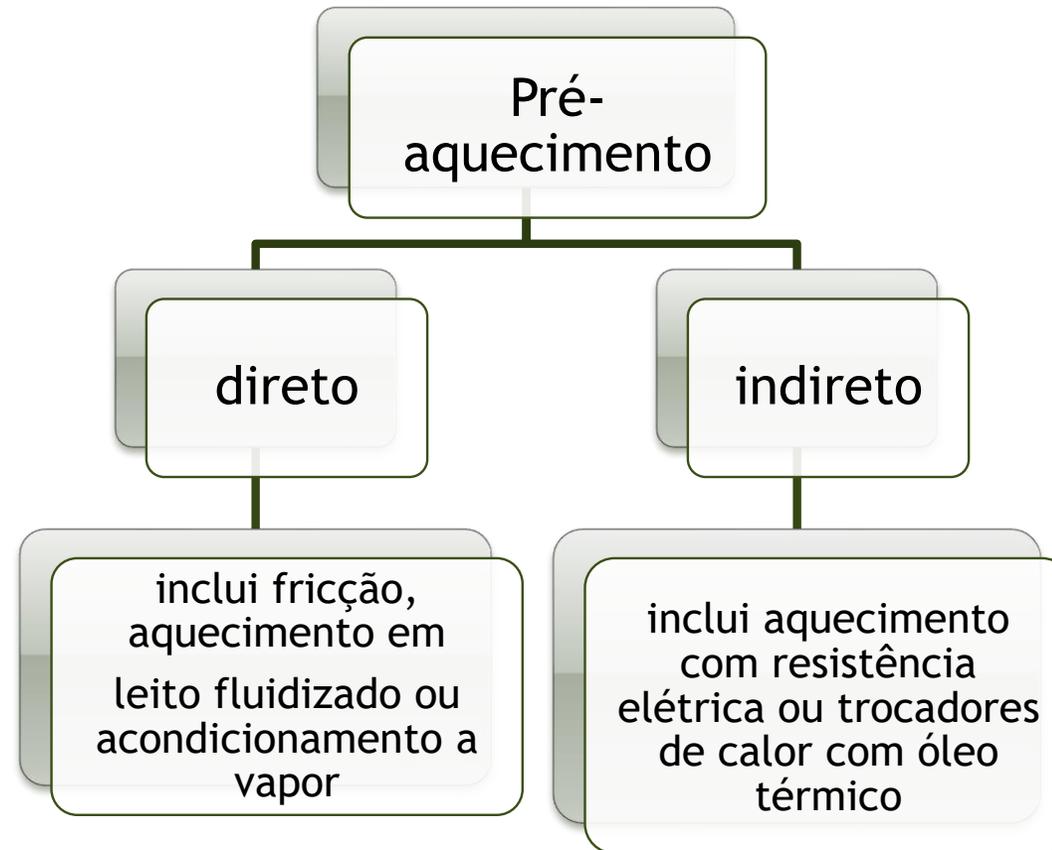
Pré-aquecimento



Para ativar os ligantes naturais, como a lignina, ou aqueles adicionados à biomassa, tais como o amido ou mesmo o alcatrão vegetal.



A temperatura máxima no pré-tratamento deve estar restrita a faixa de 250 a 300°C de modo a evitar danos à biomassa.



ASPECTOS TÉCNICOS DA BRIQUETAGEM E PELETIZAÇÃO

Pré-aquecimento

Vantagens do pré-aquecimento:

- O aumento da densidade final do produto.
- O aumento da resistência do produto final.
- A redução da energia requerida para processar cada kg de produto formado no processo de briquetagem ou de peletização.

ASPECTOS TÉCNICOS DA BRIQUETAGEM E PELETIZAÇÃO

Equipamentos de compactação

- ✓ Os equipamentos de compactação mais comuns têm sido adaptados de processos industriais existentes nas áreas de alimentação animal e de farmácia.
- ✓ A grande diversidade da composição da biomassa e a complexidade do material demandam muitas adaptações que, às vezes, são feitas em escala piloto ou mesmo na planta de briquetagem ou de peletização.

ASPECTOS TÉCNICOS DA BRIQUETAGEM E PELETIZAÇÃO

Prensa Peletizadora

A prensa peletizadora consiste em um ou mais rolos que giram contra uma matriz dotada de vários furos de pequeno diâmetro.

A matéria-prima é colocada entre o rolo e a matriz e a passagem do rolo provoca a extrusão do material através dos furos.

Ao sair da matriz, os peletes são cortados com uma faca posicionada na saída dos furos e os peletes, resfriados e caem diretamente nas embalagens de comercialização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEN - Balanço Energético Nacional.2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-521/Relato%CC%81rio%20Si%CC%81ntese%20BEN%202020-ab%202019_Final.pdf>. Acesso em: 07 set. 2020.
- Biocombustíveis, Vol. 1e Vol. 2. Ed. Interciência, 2012.
- Cortez, L.A.B.; Lora, E.E.S.; Olivares Gómez, E. Biomassa para energia. Campinas, SP: Ed. Unicamp, 2008.
- FAO - Statistic Pocket 2019. 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/economic/ess/ess-publications/anuario-estadistico/es/#.X1Pt_XlKjIV>. Acesso em: Acesso em: 07 set. 2020.
- KLOCK, U. **Química da Madeira**. Curitiba, 1995. 65 p. Universidade Federal do Paraná. Disponível em:<<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/quimicadamadeira/Quimica%20da%20Madeira%202013.pdf>>. Acesso em: 13 set. 2017.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ◉ Nogueira, L.A.H. Dendroenergia: fundamentos e aplicações, 2ª Ed., 2003
- ◉ SANTANA, et al. Biomassa para química verde. - Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2013. Disponível em: <http://files.download-de-livros-gratis.webnode.com/200000179-582f05a1fb/livro_biomassa.pdf>. Acesso em: 07 set. 2020.
- ◉ SANTOS, F., COLODETTE, J. QUEIROZ, J. H. Bioenergia e Biorrefinaria: Cana-de-Açúcar e Espécies Florestais. Viçosa, MG: Os Editores, 2013.
- ◉ OKAMURA, Layssa Aline et al. Obtenção sustentável de gás de síntese: prospecção das tecnologias disponíveis baseada em patentes e artigos. Cadernos de Prospecção, Curitiba, v. 6, n. 1, p.27-35,2013.
- ◉ QUITETE, C. P. B.; SOUZA, M. M. V. M. Remoção do alcatrão de correntes de gaseificação de biomassa: processos e catalisadores. Química Nova, Vol. 37, No. 4, 689-698, 2014.