

***PEN 5014 – Biomassa como  
fonte de energia –  
Conversão e Utilização***

**Mônica Joelma do Nascimento Anater**

*e-mail: anater@usp.br*

**16 de outubro de 2020**

**Energia da madeira e potencial energético da  
biomassa florestal**

## Teses ligadas ao tema, finalizadas ou em andamento no PPGE/IEE/USP

TEMA	AUTOR	TIPO	STATUS
<b>A produção sustentável de biomassa florestal para energia no Brasil: o caso dos pellets de madeira</b>	Javier Farago Escobar	Doutorado	Finalizado
<b>Lenha e carvão vegetal no Brasil: balanço oferta-demanda e métodos para a estimativa do consumo</b>	Alexandre Uhlig de Oleira	Doutorado	Finalizado
<b>Potencial do uso de biomassa para geração de energia</b>	Ana Paula de Souza Silva	Doutorado	Em andamento
<b>Electricity production estimate form the residual biomass of forestry sector in the state of Paraná, Brazil</b>	João Maurício Pacheco	Doutorado	Em andamento
<b>The wood pellet industry for internal use and export: environmental and socio-economic impacts in Brazil</b>	Roberto Scorssato Sartori	Doutorado	Em andamento
<b>Desempenho ambiental e energético da produção de carvão vegetal para cocção no Brasil</b>	Mônica Joelma do Nascimento Anater	Doutorado	Em andamento
<b>Barreiras e potencial da biomassa florestal como fonte de energia no estado de Mato Grosso</b>	Daniela Higgin	Doutorado	Em andamento

# Importância e situação atual

# A biomassa sólida como energia

- Primeiras energias dominadas pelo homem (1,4 milhões de anos).
- Lenha: base energética da civilização antiga.
  - Cerâmica
  - Fabricação de vidro
  - Fundição de metais
- Largamente utilizada até a Revolução Industrial.
- Segundo a FAO, as principais fontes de energia para mais de dois bilhões de pessoas em países em desenvolvimento.



# Importância atual da biomassa sólida

- O interesse pelos energéticos derivados da biomassa volta a crescer em todo o mundo:
  - Preços do petróleo;
  - Metas para aumentar o uso de fontes renováveis;
  - Acordo de Paris (COP 21): O Brasil se comprometeu a reduzir as emissões de GEE, em 37% até 2025, e, em 43% até 2030, tendo o ano de 2005 como referência.
- Estima-se que a maior parte da demanda de biomassa na União Europeia até 2050 seja abastecida por biomassa sólida, com 4.996 PJ, seguido de outros biocombustíveis com 1.216 PJ, e o biogás com 887 PJ.



**PARIS2015**  
UN CLIMATE CHANGE CONFERENCE  
COP21·CMP11

# Principais pontos positivos do uso de biomassa sólida florestal como fonte de energia

## ***Ambiental:***

Menor geração de poluentes atmosféricos, efluentes líquidos e resíduos sólidos em comparação aos combustíveis fósseis.

## ***Econômico:***

Diminuição da dependência externa de energia;  
Possibilidade de se tornar um exportador.

## ***Social:***

Geração de empregos e renda, tanto na fase agrária quanto na fase industrial.

## ***Técnico***

Balanço energético positivo.  
No caso das florestas, podem ser consideradas como um “estoque de energia”.  
Permite a complementariedade de fontes.

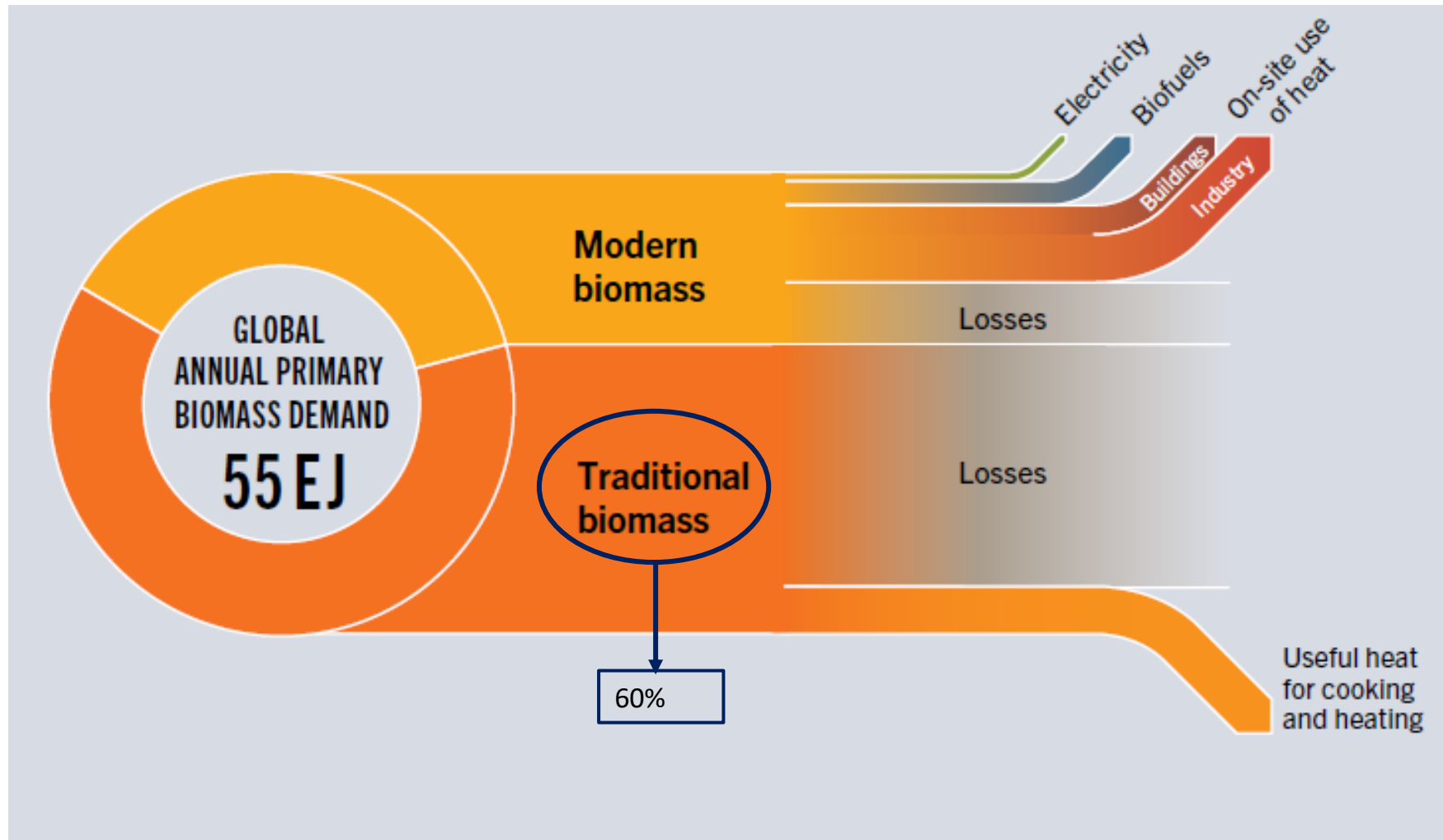
# Uso tradicional e moderno da biomassa

- Tecnologias tradicionais de uso da biomassa:
  - Combustão direta (ineficiente) de madeira, lenha, carvão vegetal, resíduos agrícolas, resíduos de animais e urbanos.
  - Usos: cocção, aquecimento, secagem e produção de carvão.
  - Principalmente África, Ásia, AL/C
- Tecnologias “aperfeiçoadas” de uso da biomassa:
  - Tecnologias mais eficientes de combustão direta de biomassa, biocombustíveis líquidos ou sólidos
  - (fogões e fornos), motores, turbinas, gaseificação entre outros.



[encurtador.com.br/fhlX0](http://encurtador.com.br/fhlX0)

# Uso tradicional e moderno da biomassa



<http://www.fao.org/state-of-forests/en/>



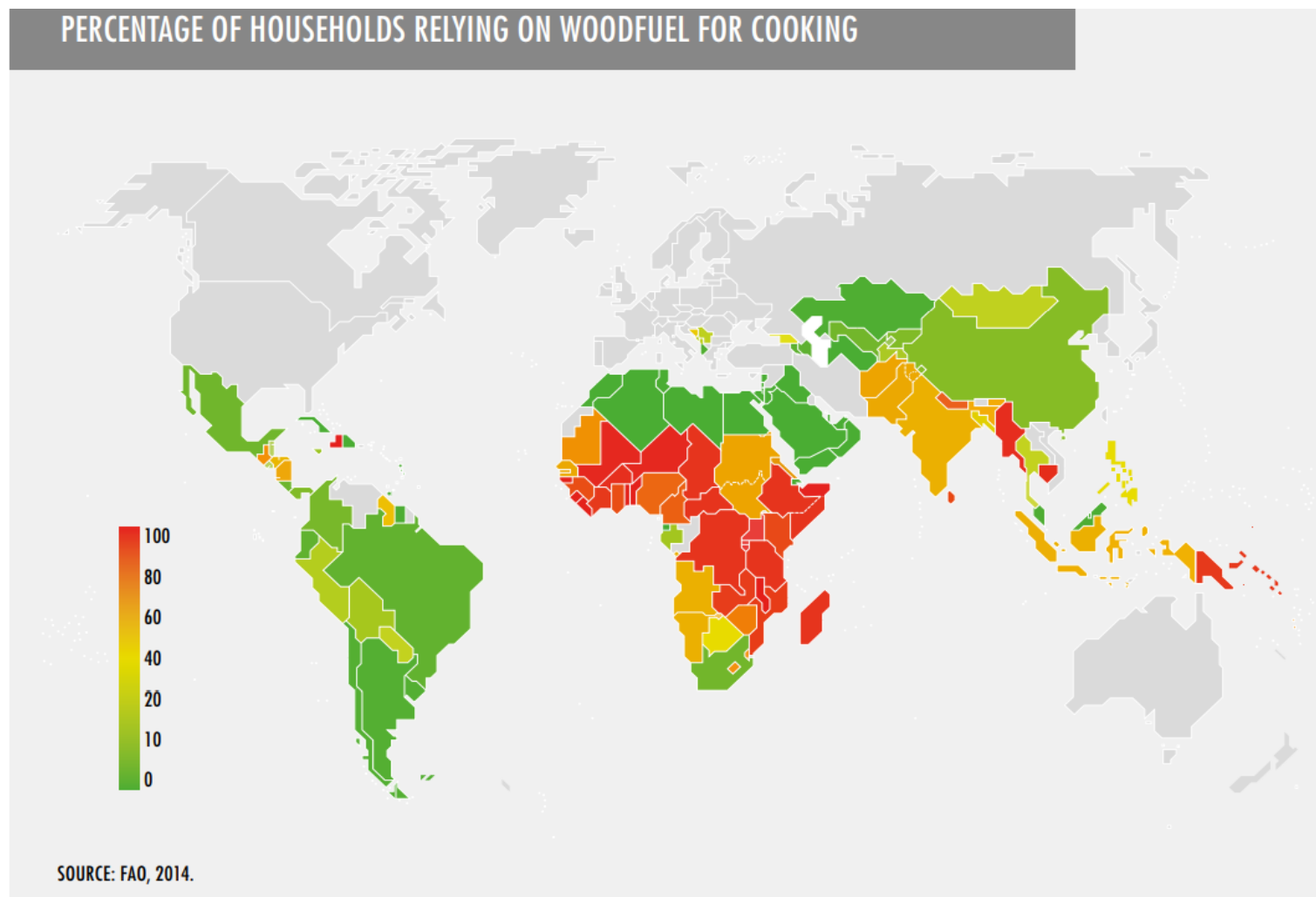
# Uso tradicional e moderno da biomassa

- 2,8 bilhões de pessoas não possuem acesso a formas limpas de energia para cocção (IEA, 2017).
- Milhões de pessoas morrem anualmente pela exposição a particulados ou inalação de fumaça na queima de lenha e carvão vegetal para cocção.
- Mulheres e crianças são as mais afetadas pelo uso desses combustíveis.



<https://www.iea.org/>

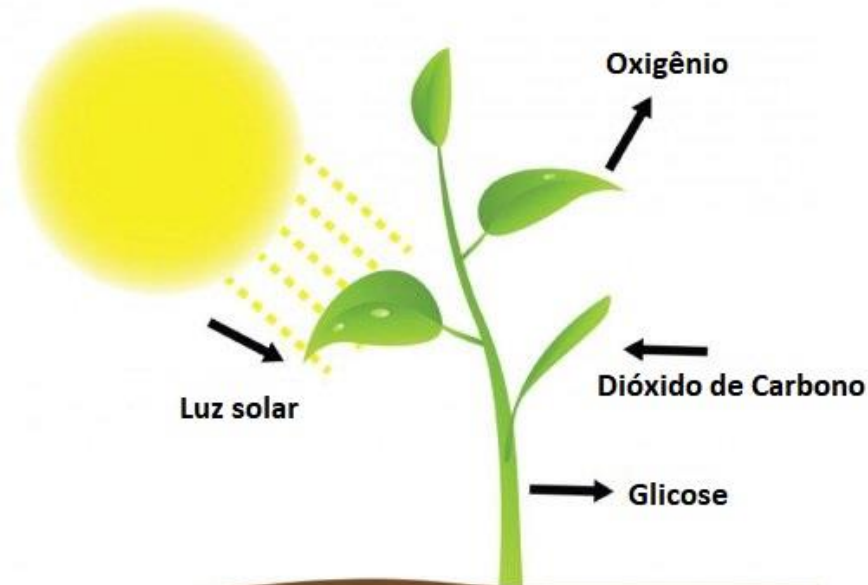
# Maior utilização para uso tradicional



# Definição e classificação

# Biomassa: Definição

Biomassa: Todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizado para produção de energia.



A biomassa é composta por:

- Hemicelulose
- Celulose
- Lignina

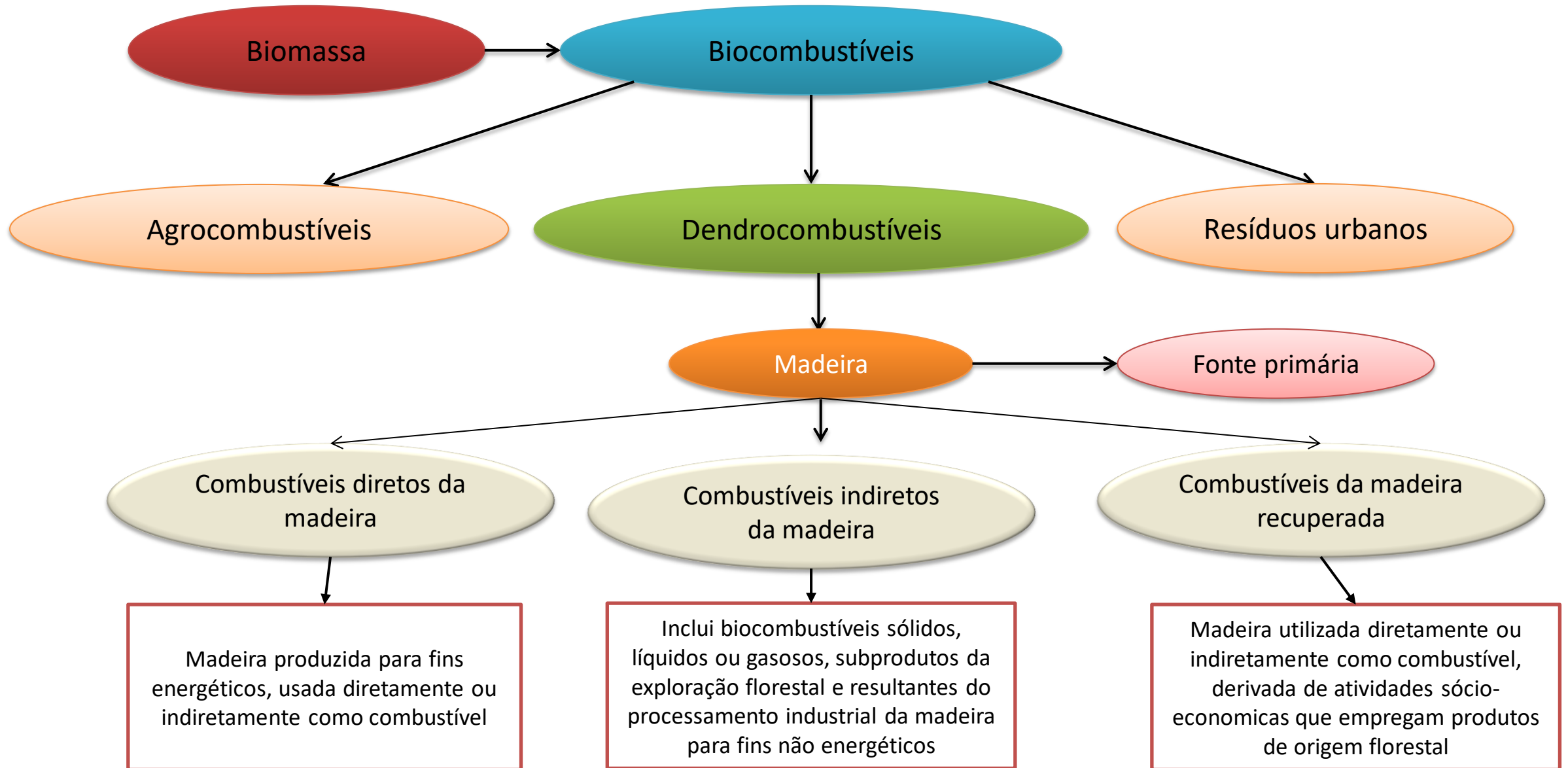
Fonte: <http://www.iee.usp.br/gbio/?q=livro/conceituando-biomassa>

# Biocombustíveis

“Biocombustíveis são derivados de biomassa renovável que podem substituir, parcial ou totalmente, combustíveis derivados de petróleo e gás natural em motores a combustão ou em outro tipo de geração de energia.”



# Dendrocombustíveis: definição





# Exemplos

Diretos



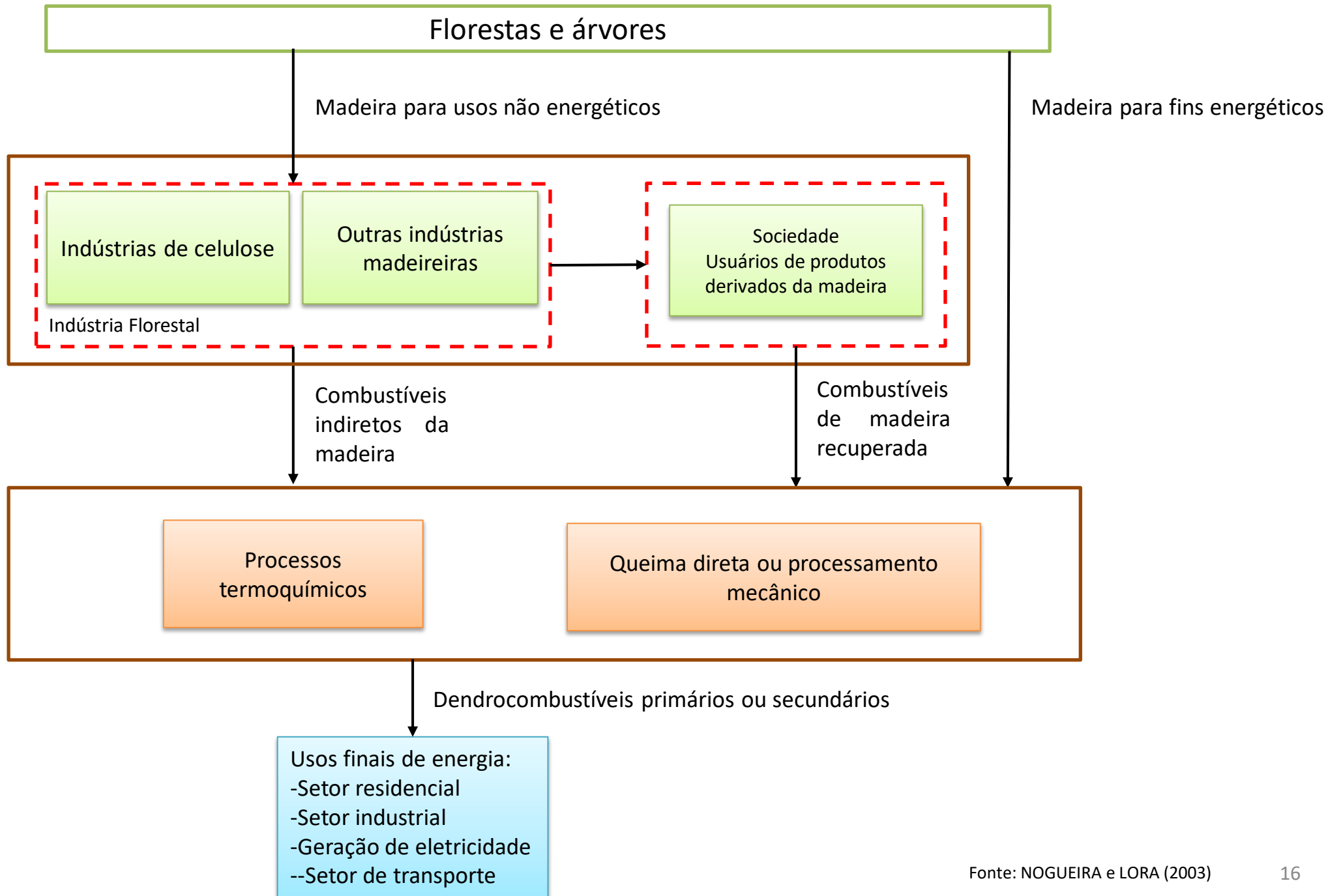
Indiretos



Recuperados



Fluxos de biocombustíveis de madeira





# Poder calorífico de biomassa florestal e agrícola em diferentes teores de umidade

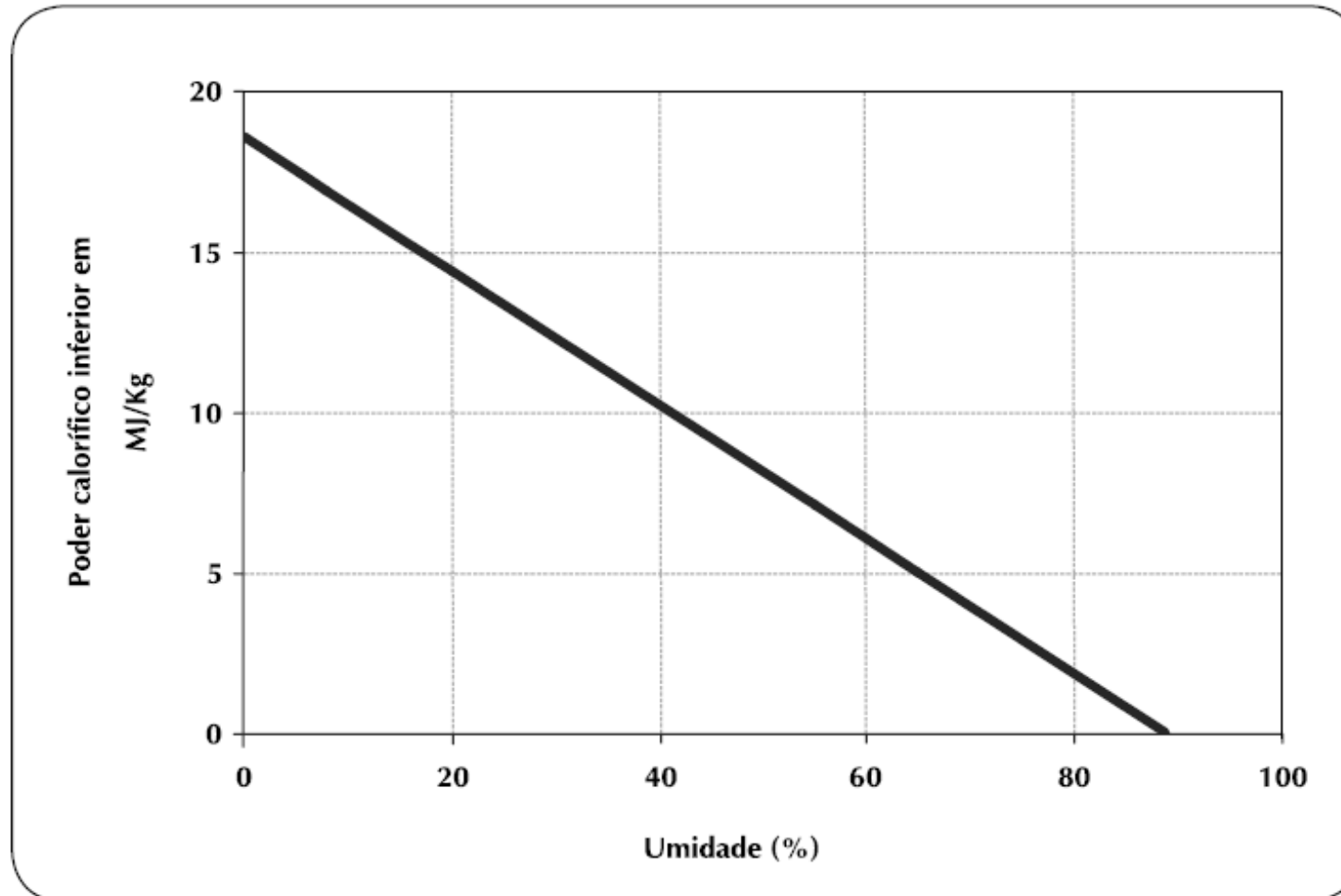
Fatores que influenciam o poder calorífico da biomassa:

- Composição química e tipo de biomassa.
- Teor de umidade.
- Teor de cinzas.

Biomassa	Teor de umidade base úmida (%)	Poder calorífico líquido (kcal/kg)
Carvão vegetal	5	7300
Carvão de resíduos agrícolas	5	6140
Esterco	13	3250
Bagaço de cana	50	2000
Casca de coco	8	4000
Casca de café	23	3200
Casca e palha de palma	35	1900
Palha e casca de arroz	13	3200

Fonte: Brand (2010)

# Poder calorífico da biomassa de madeira como função da umidade



Fonte: Elaboração BNDES, com base em FAO (2004).

# Composição química imediata de diferentes tipos de biomassa na base seca (0% de teor de umidade)

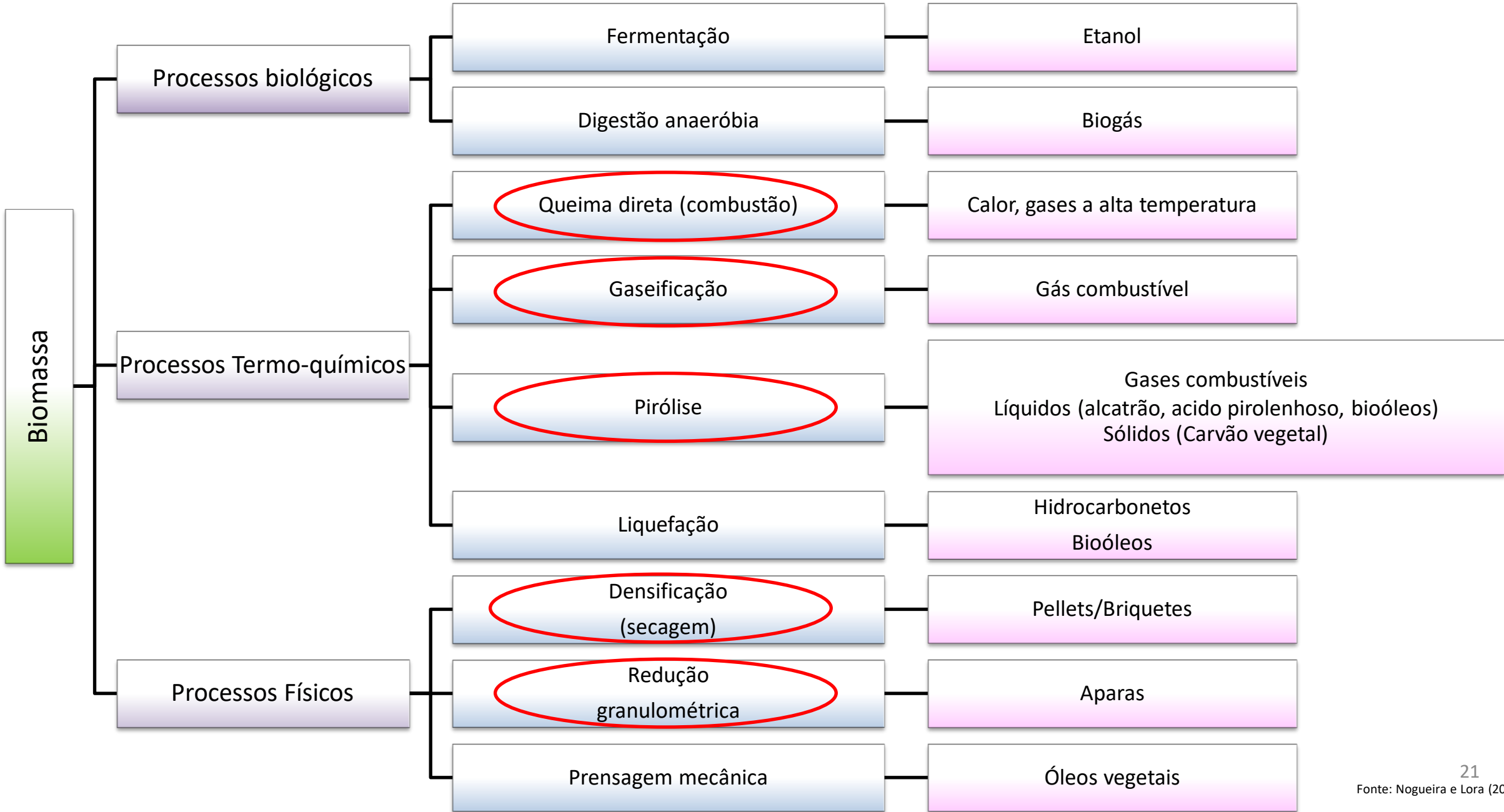
Tipo de biomassa	Composição imediata média (%)			PCS Kcal/kg
	Materiais voláteis	Cinzas	Carbono fixo	
Madeira de coníferas (Gimnospermas)	82,54	0,29	17,7	4700
Madeira de folhosas (Angiospermas)	81,42	0,79	17,82	4600
Casca de arroz	65,47	17,89	16,67	3850
Bagaço de cana	73,78	11,27	14,95	4100
Cama de aviário	62,73	23,40	13,87	3550
Capim-elefante	76,69	5,6	17,7	3600

Fonte: Brand (2010)

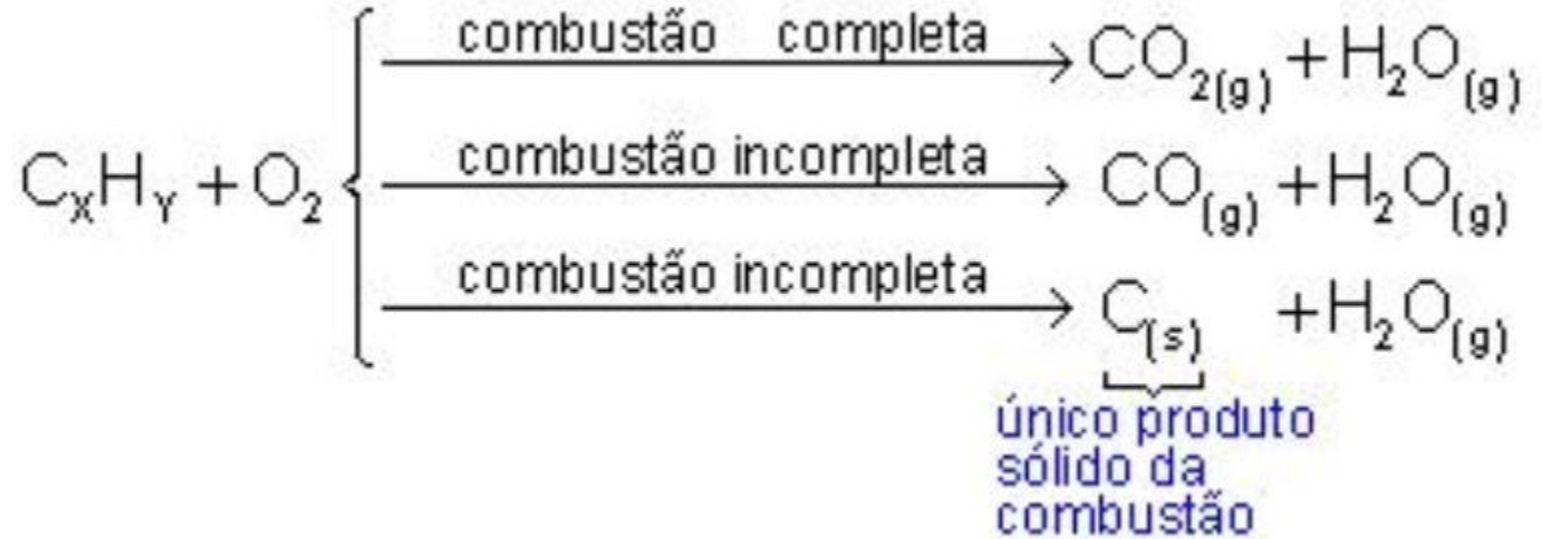
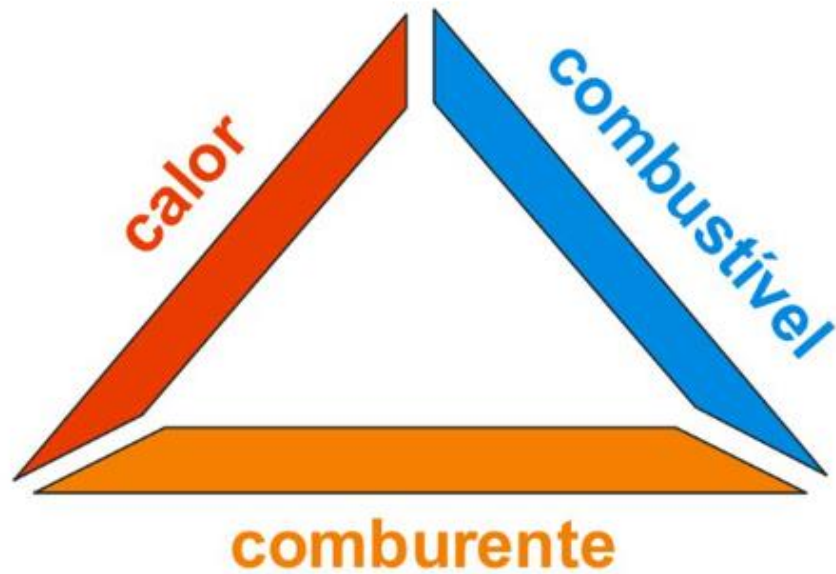
# Tecnologias de conversão energética



# Tecnologias na conversão

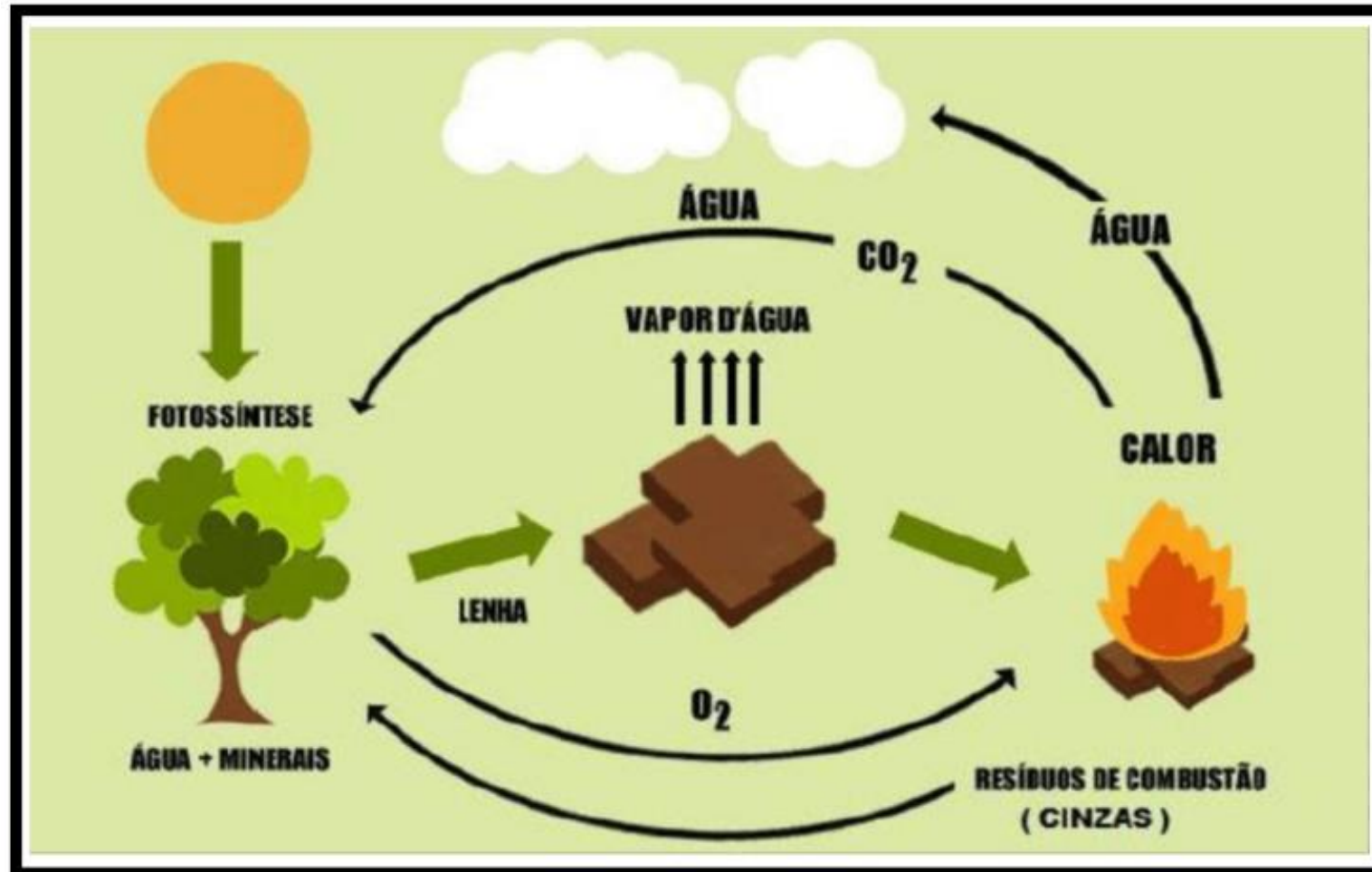


# Combustão



- **Combustão completa** = produz as emissões de partículas finas como dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).
- **Combustão incompleta** = produz gases voláteis como o monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ). Há também, a liberação de outras substâncias, inclusive carcinogênicas e carregando altos níveis de partículas suspensas.

# Ciclo da combustão de biomassa florestal



# Pirólise

- Conhecida como destilação seca da madeira ou carbonização
- **PROCESSO** = aquecer a madeira, normalmente entre 300 °C e 500 °C, em ar rarefeito, até que os compostos voláteis sejam eliminados.
- O carvão proveniente da pirólise possui uma capacidade energética DUAS VEZES MAIOR que a madeira crua e queima em temperaturas muito mais elevadas.
- Além de gás combustível, a pirólise produz alcatrão e ácido pirolenhoso.
- Baixa concentração de oxigênio, tendem a diminuir as emissões de poluentes formados em atmosfera oxidativa, tais como as dioxinas e os furanos.



# Gaseificação

- Processo termoquímico proveniente da conversão por oxidação parcial, com temperatura elevada de uma matéria-prima carbonosa, em um vetor energético gasoso (BRIDGWATER, 1995).
- Os gaseificadores apresentam grandes diferenças de capacidade produtiva, temperatura, pressão, sentido dos fluxos de ar e de alimentação.
- **GÁS DE SÍNTESE OU SYNGAS (SYNTHETIC GAS).**
- É diferente da produção de biogás, onde é gerado gás metano por ação microbiológica (STASSEN, 1995).

# Geração de energia



# Principais tecnologias:

## Ciclo a vapor com turbinas de contrapressão

- É empregado de forma integrada a processos produtivos por meio da cogeração.
- Este processo está maduro do ponto de vista comercial e é o mais disseminado atualmente.

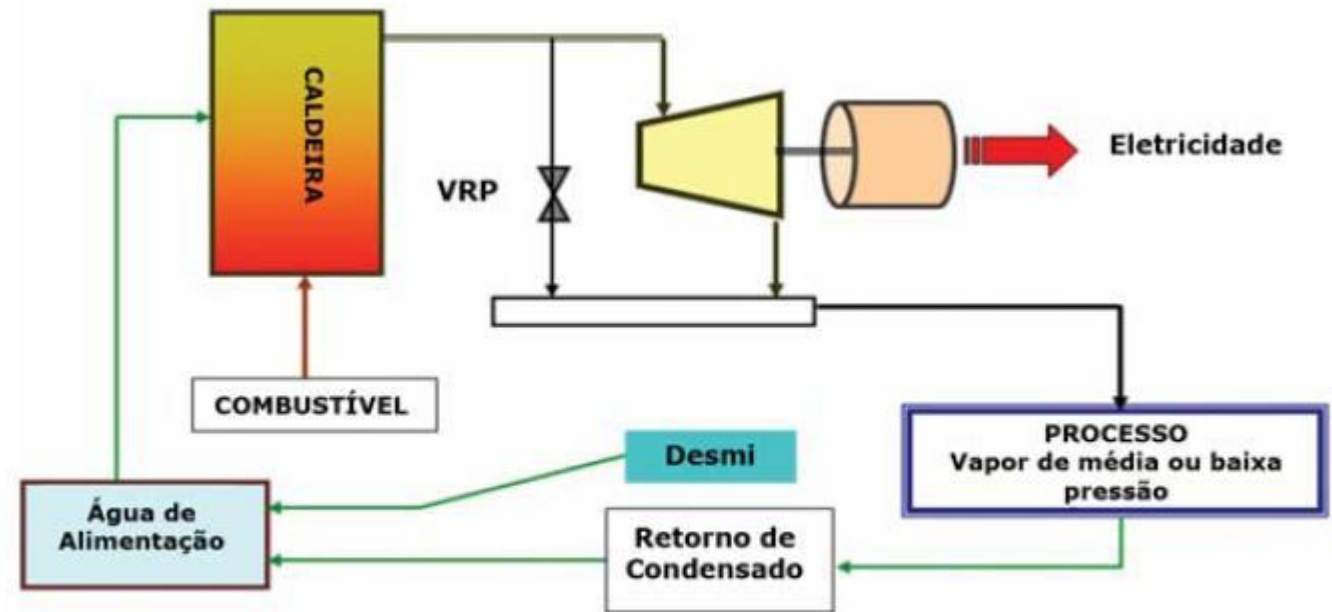


Figura 1 - Sistema com contrapressão

# Principais tecnologias:

## Ciclo a vapor com turbinas de condensação e extração

- Consiste na condensação total ou parcial do vapor ao final da realização do trabalho na turbina para atendimento às atividades mecânicas ou térmicas do processo produtivo.
- Este sistema permite a obtenção de maior volume de energia elétrica. No entanto, sua instalação exige investimentos muito superiores aos necessários para implantação do sistema simples de condensação.

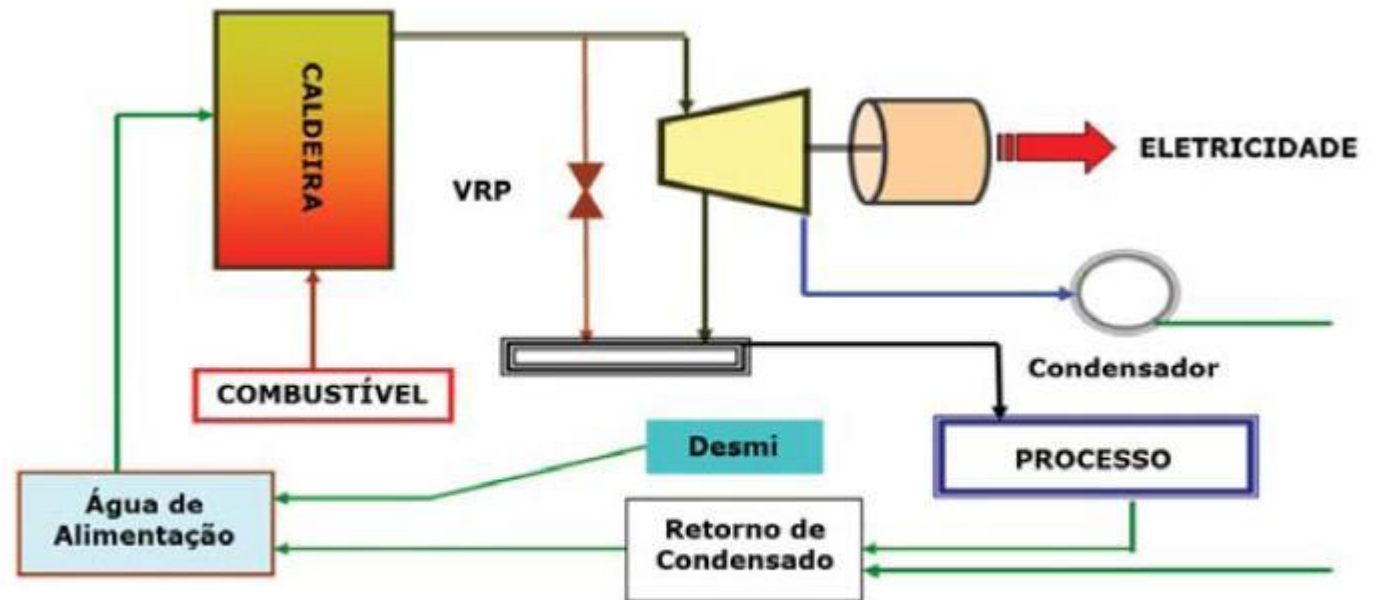
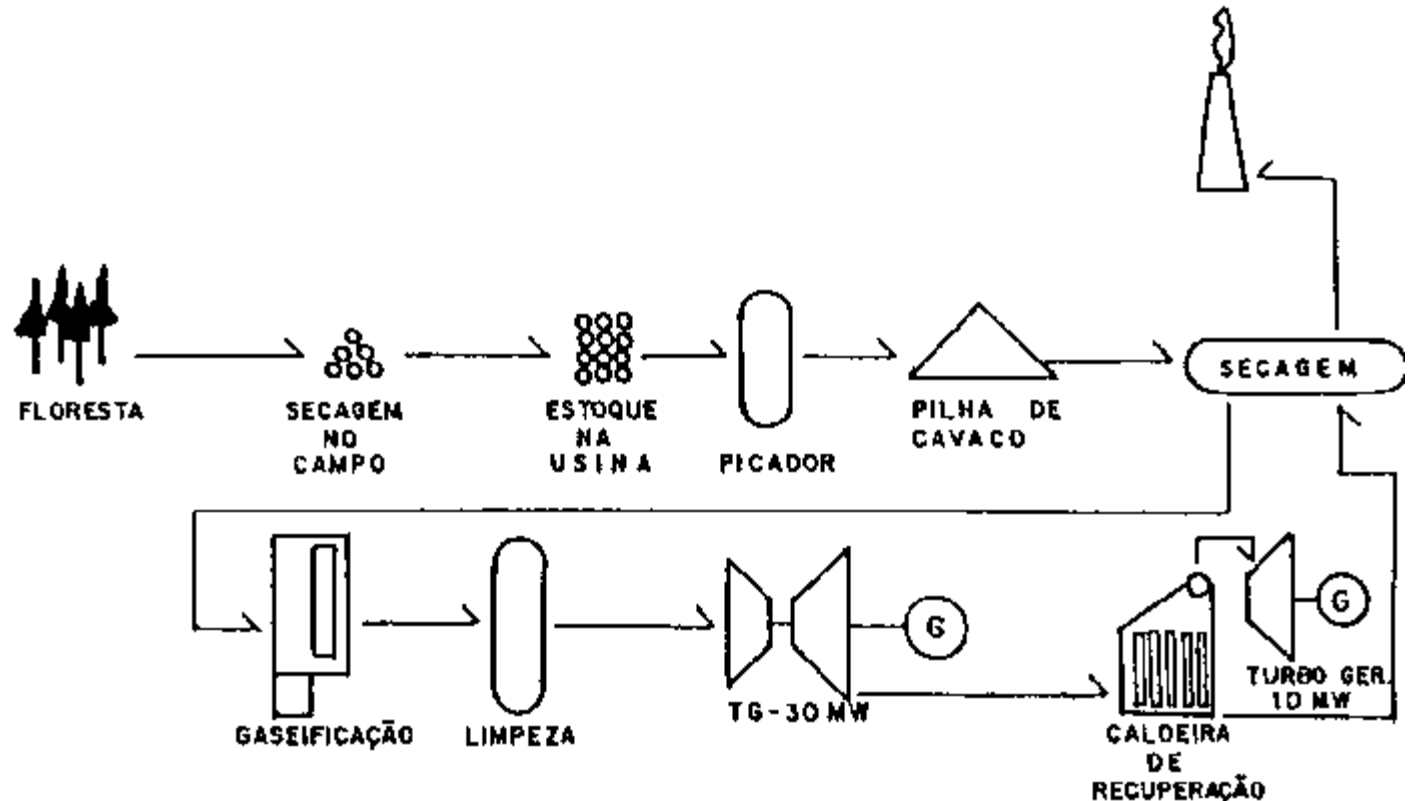


Figura 2 - Ciclo com extração e condensação

# Principais tecnologias:

## Ciclo combinado integrado à gaseificação da biomassa

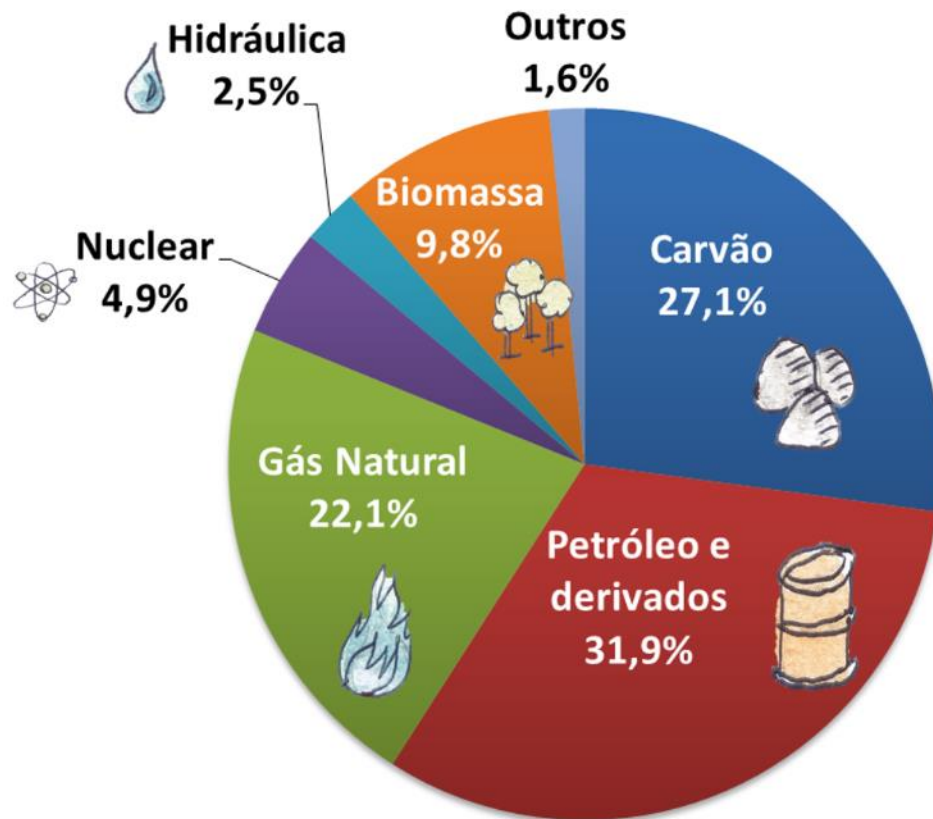
- A gaseificação é a conversão de qualquer combustível líquido ou sólido, como a biomassa, em gás energético por meio da oxidação parcial em temperatura elevada. Esta conversão, realizada em gaseificadores, produz um gás combustível que pode ser utilizado em usinas térmicas movidas a gás para a produção de energia elétrica.
- Maior dificuldade: obtenção de um equipamento capaz de produzir um gás de qualidade, com confiabilidade e segurança, adaptado às condições particulares do combustível e da operação.



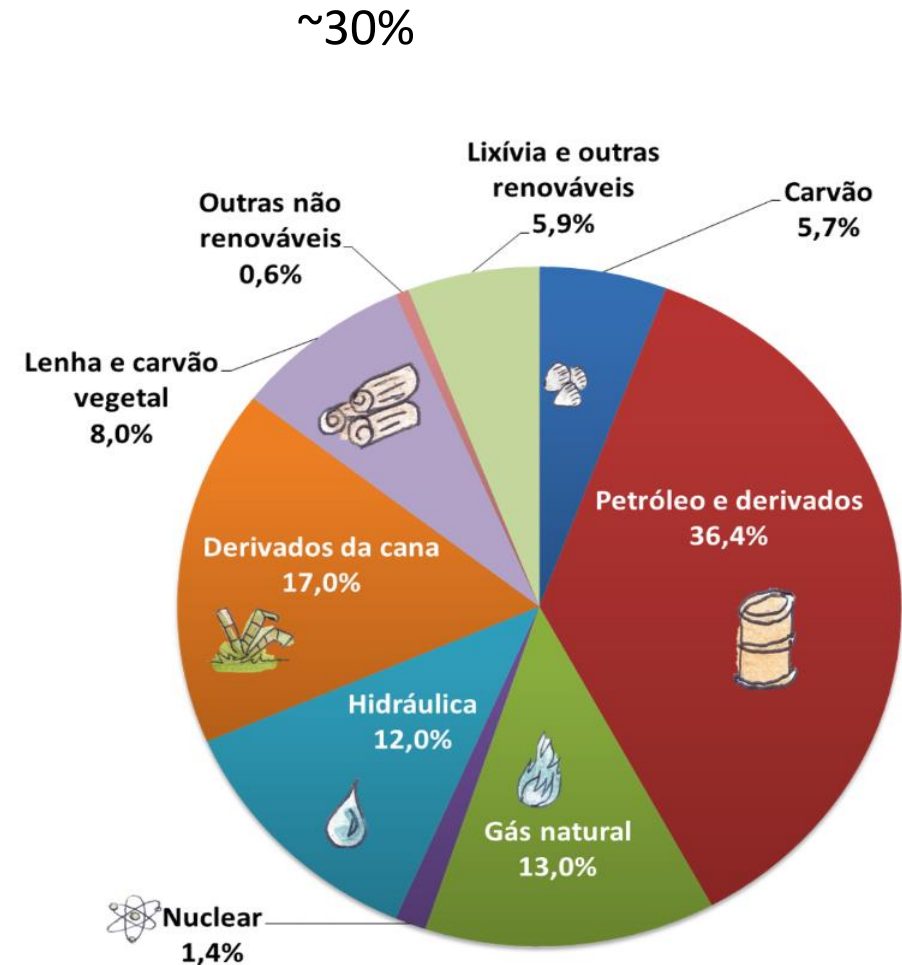
Vídeo: <https://www.youtube.com/watch?v=yZMSQNs9ovA>

# Utilização da biomassa sólida no Brasil e no Mundo

# Matriz energética

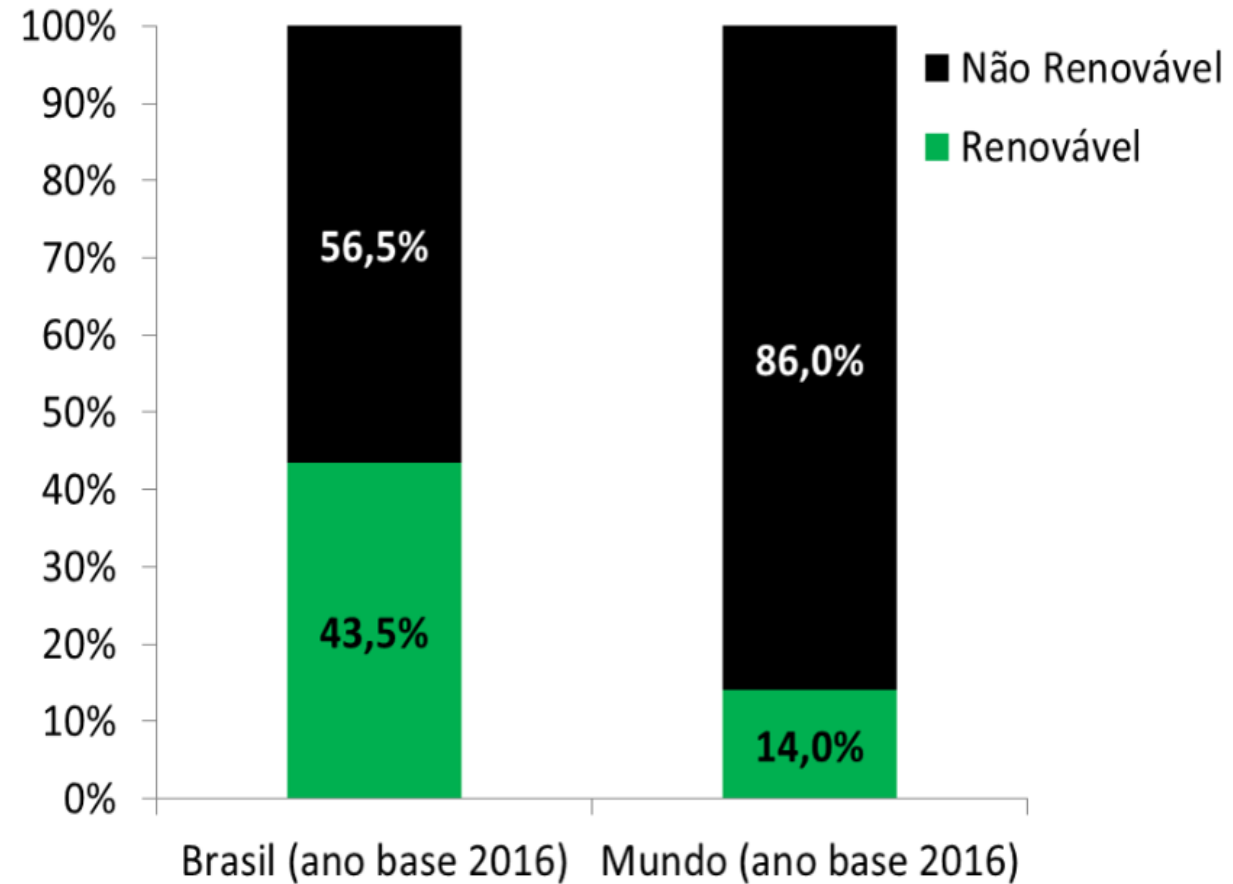


Matriz Energética Mundial 2016 (IEA, 2018)



Matriz Energética Brasileira 2017 (BEN, 2018)

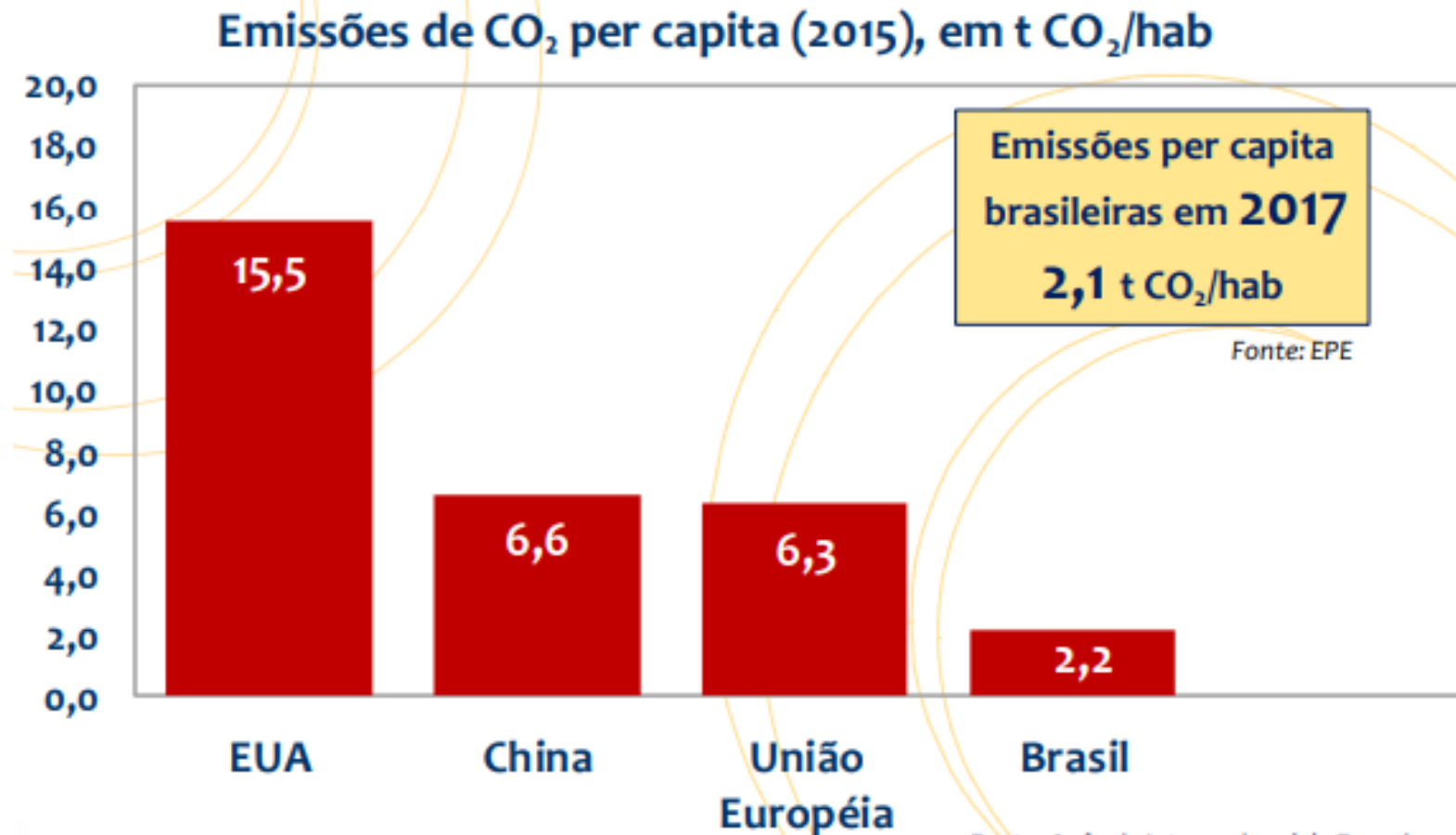
# Matriz energética



Fonte: <http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>

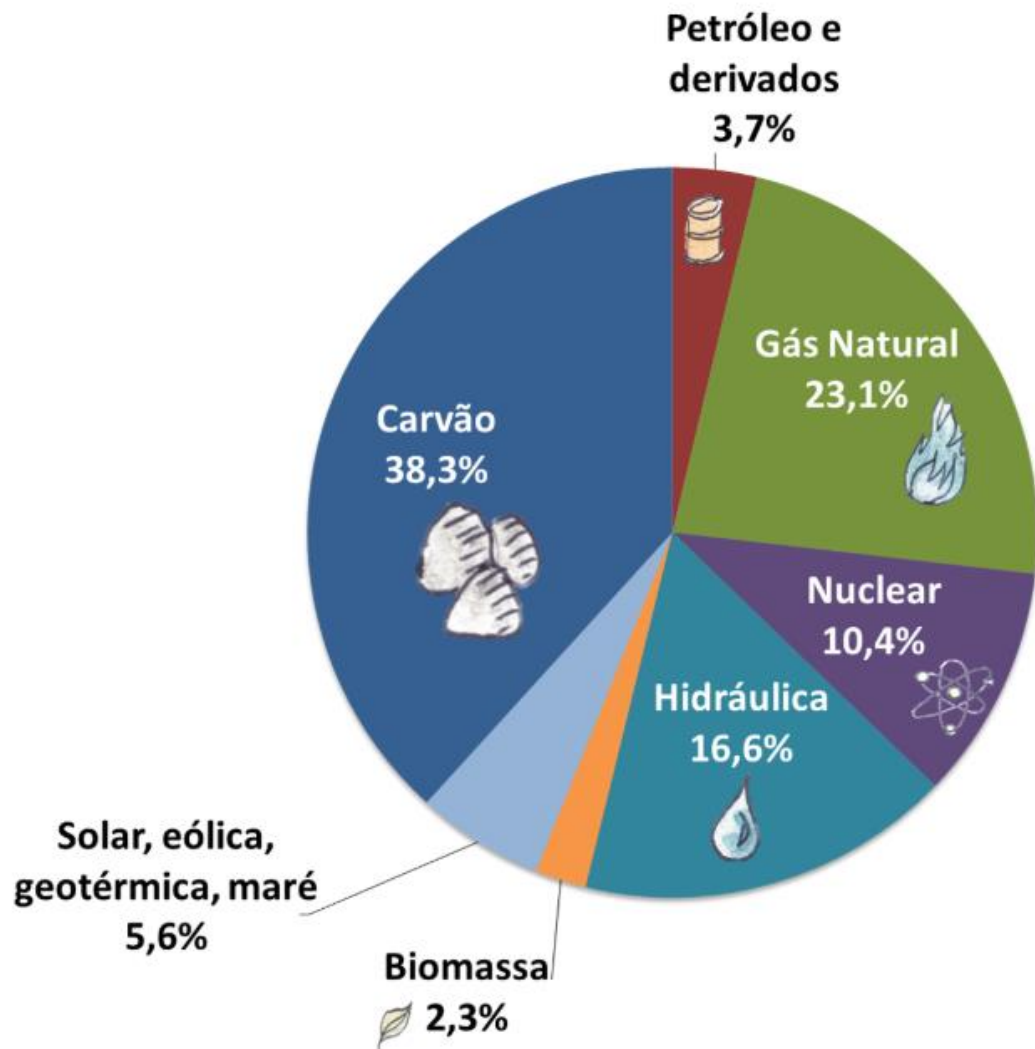


# Emissões no setor energético

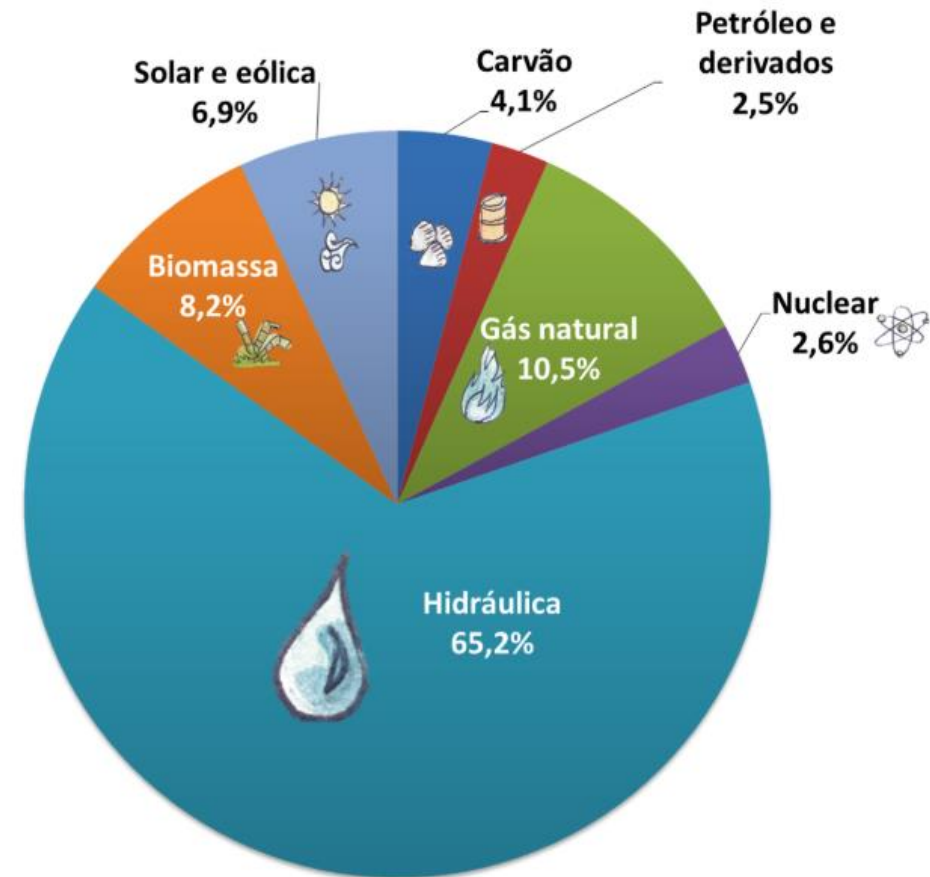


Produzindo e consumindo energia, o brasileiro emite, em média, 7 vezes menos que um americano e 3 vezes menos do que um europeu ou chinês.

# Matriz elétrica

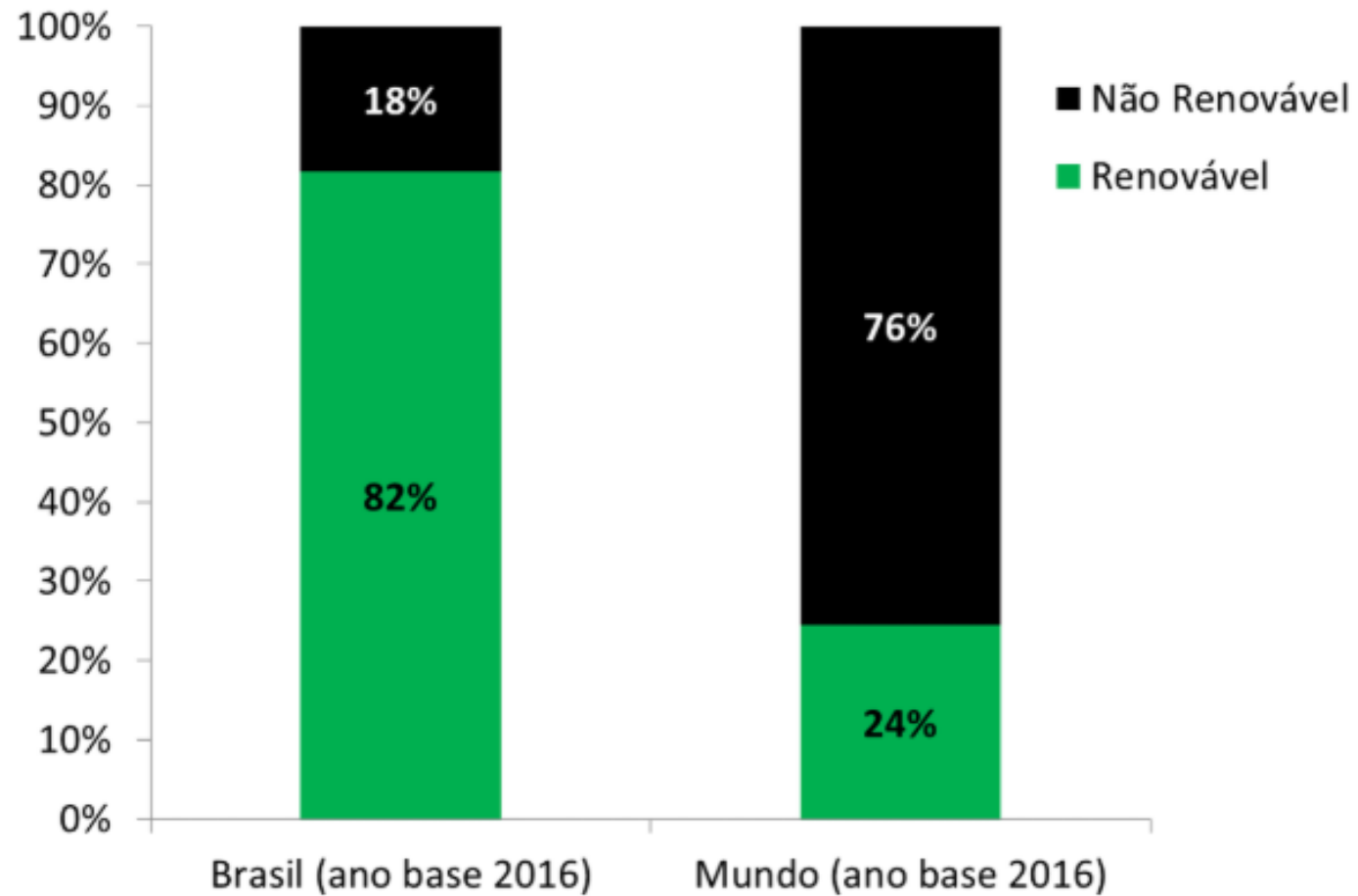


Matriz Elétrica Mundial 2016 (IEA, 2018)



Matriz Elétrica Brasileira 2017 (BEN, 2018)

# Matriz elétrica



Fonte: <http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>

# Contribuição de fontes para geração de energia elétrica

## Total das fontes

Fontes utilizadas no Brasil - Fase: Operação			
Origem	Quant.	Potência Outorgada (kW)	%
<b>Fóssil</b>	2550	34392,17	17
<b>Biomassa</b>	618	17.305,29	8
<b>Nuclear</b>	3	3.340	2
<b>Hídrica</b>	1507	111.338,59	54
<b>Eólica</b>	971	26.365,94	13
<b>Solar</b>	4202	15.258,11	7
<b>Undi-Elétrica</b>	1	50	0
Total	7458	170.045.285	100

## Biomassa

Fontes utilizadas no Brasil - Fase: Operação			
Fonte	Quant.	Potência Outorgada (kW)	%
<b>Floresta</b>	123	4394,59	25
<b>Resíduos sólidos urbanos</b>	27	232,64	1,34
<b>Resíduos animais</b>	14	4.481	0,03
<b>Biocombustíveis líquidos</b>	5	72,38	0,42
<b>Agroindustriais</b>	449	12.601,21	73
Total	566	14.892.772	100

Fonte: Banco de dados da ANEEL – SIGA (2020)

# Contribuição de fontes para geração de energia elétrica

Atualmente há empreendimentos utilizando os seguintes combustíveis - Operação

Combustível	Quantidade	Potência (MW)	%
Licor Negro	21	3.257,13	19,1
Resíduos Florestais	72	841,78	4,93
Capim Elefante	5	68,72	0,22
Biogás	42	261,46	1,13
Bagaço de Cana de Açúcar	427	12.447,09	73
Óleos vegetais	4	72,06	0,03
Carvão Vegetal	8	48,2	0,28
Casca de Arroz	13	53,33	0,36
Total	592	17.049,77	100

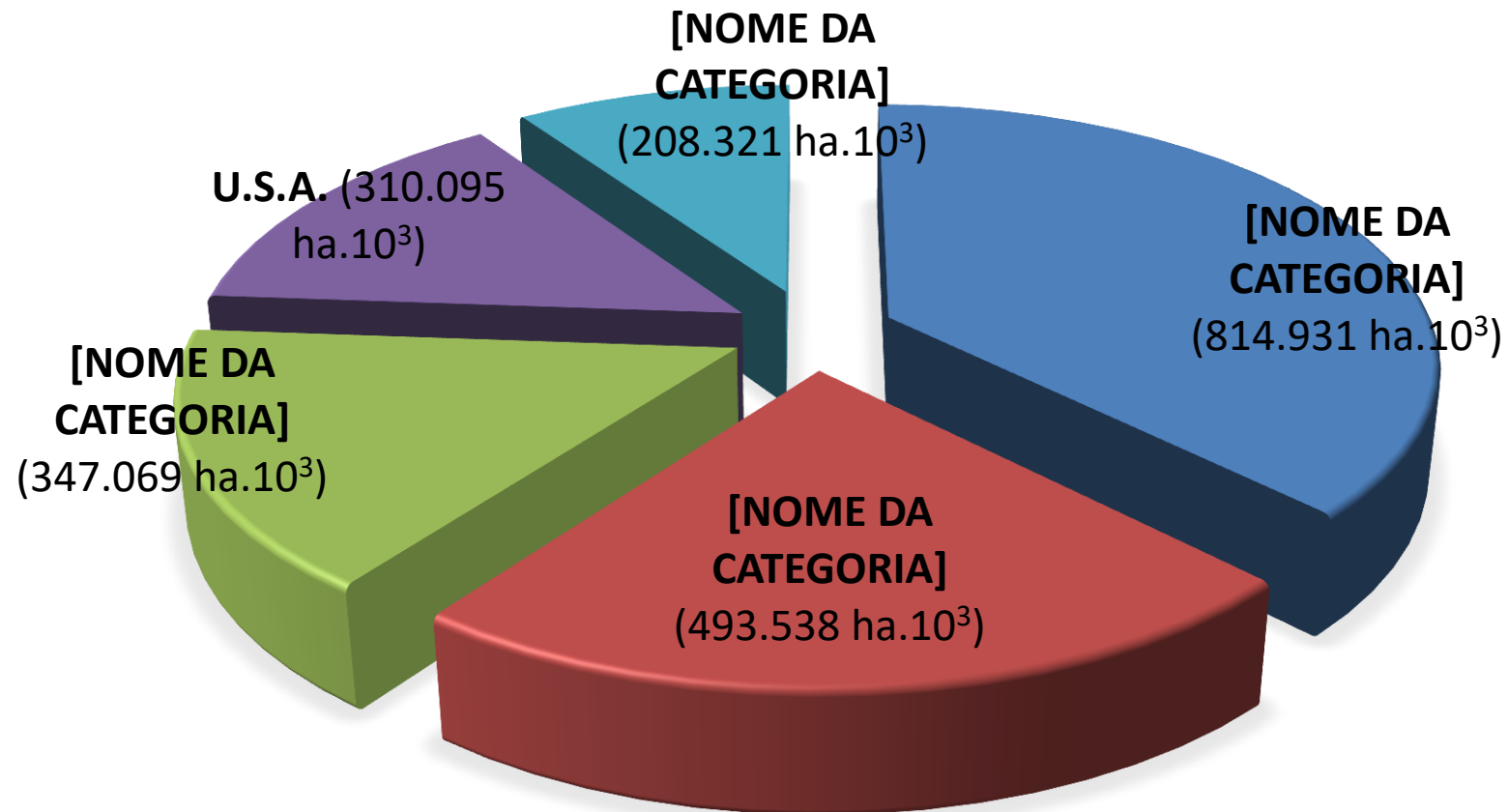
[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/CombustivelPorClasse\\_fn1.cfm](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/CombustivelPorClasse_fn1.cfm)



An aerial photograph of a forest landscape. The right side of the image shows a dense, uniform green forest. A narrow, reddish-brown path or road cuts through the forest, starting from the bottom right and extending towards the center. The left side of the image shows a more varied and darker green forest. The word "Florestas" is overlaid in white text in the center of the image.

# Florestas

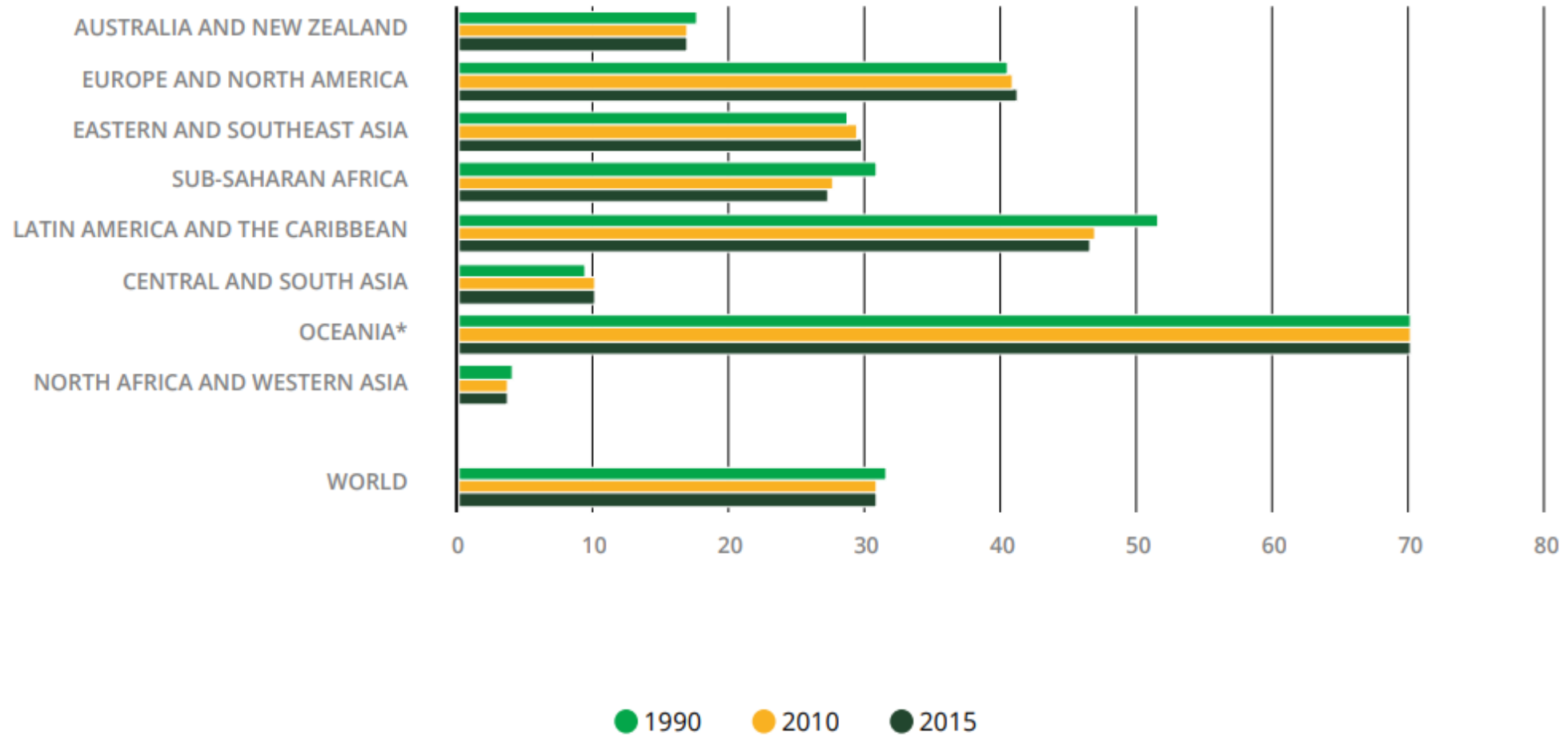
# Países com as maiores áreas florestais no mundo. FAO (2015)



**Brasil = 485,8 milhões de hectares de florestas nativas (FRA 2015);**



## Forest area as a proportion of total land area in 1990, 2010 and 2015



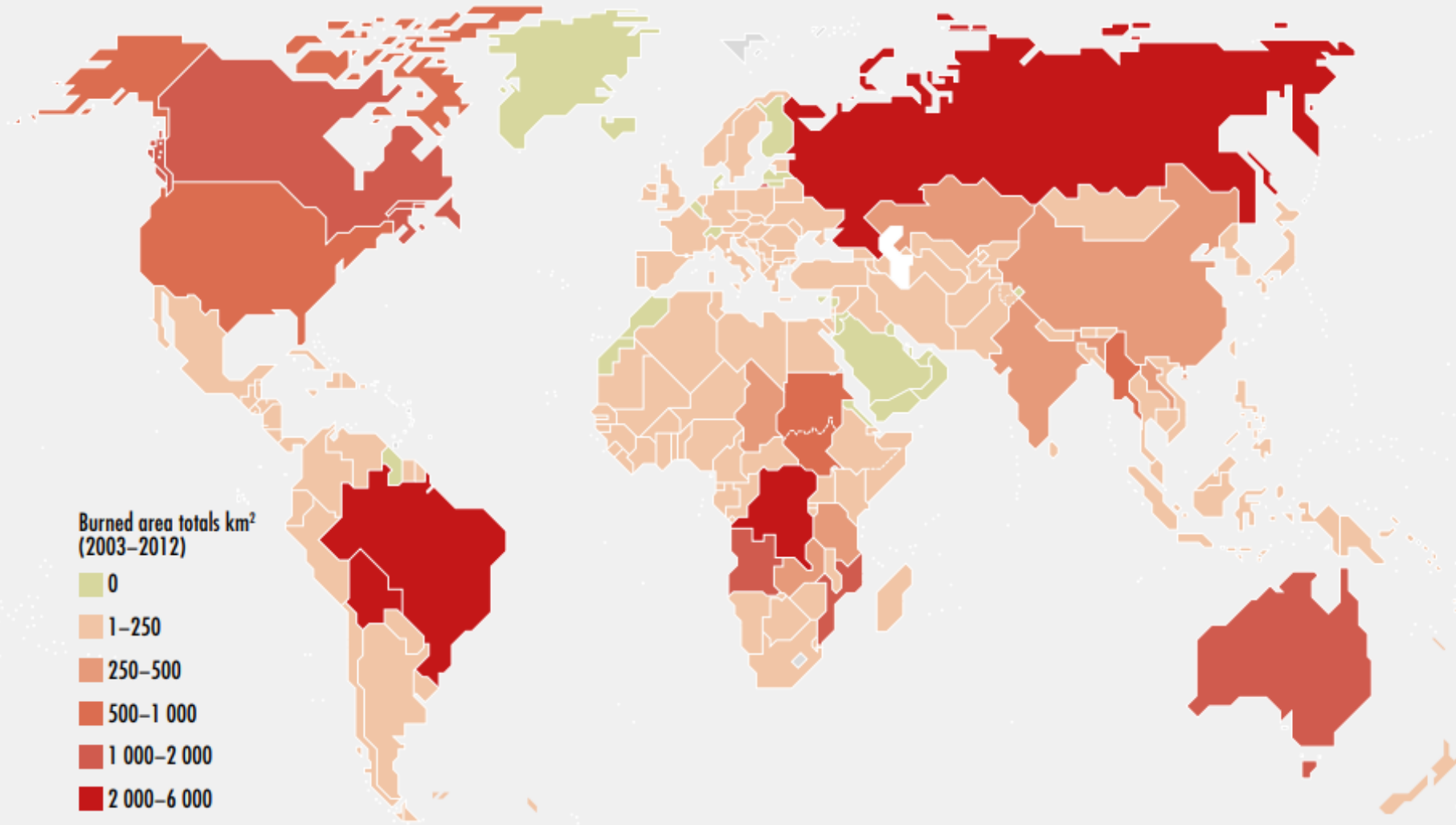
NOTE: \*Excluding Australia and New Zealand.

SOURCE: Based on UN, 2017a.

<http://www.fao.org/state-of-forests/en/>

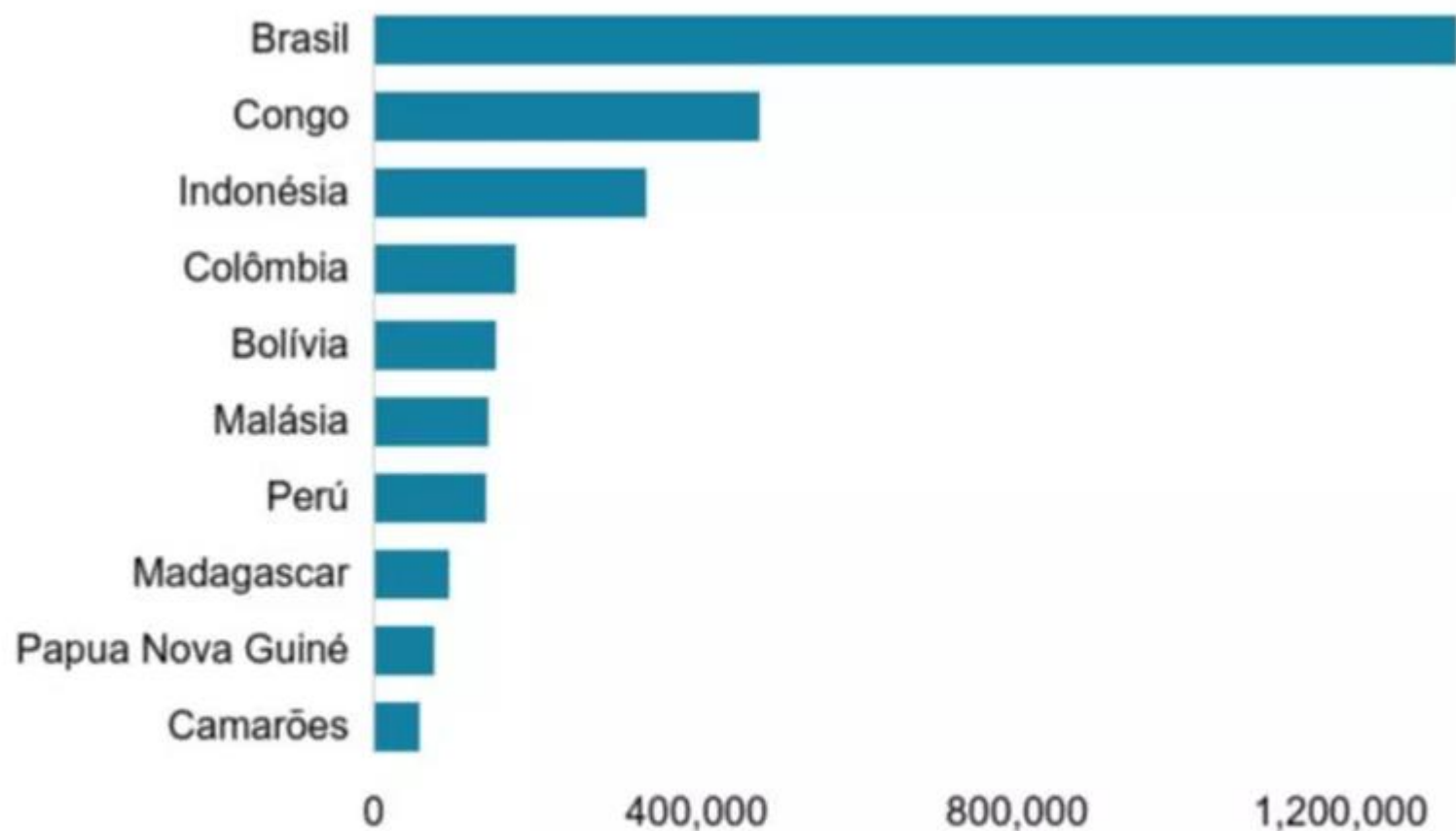


## FOREST AREA BURNED



SOURCE: FAO, based on data from University of Maryland.

## Países com maior perda de floresta primária em 2018



Fonte: World Resources Institute

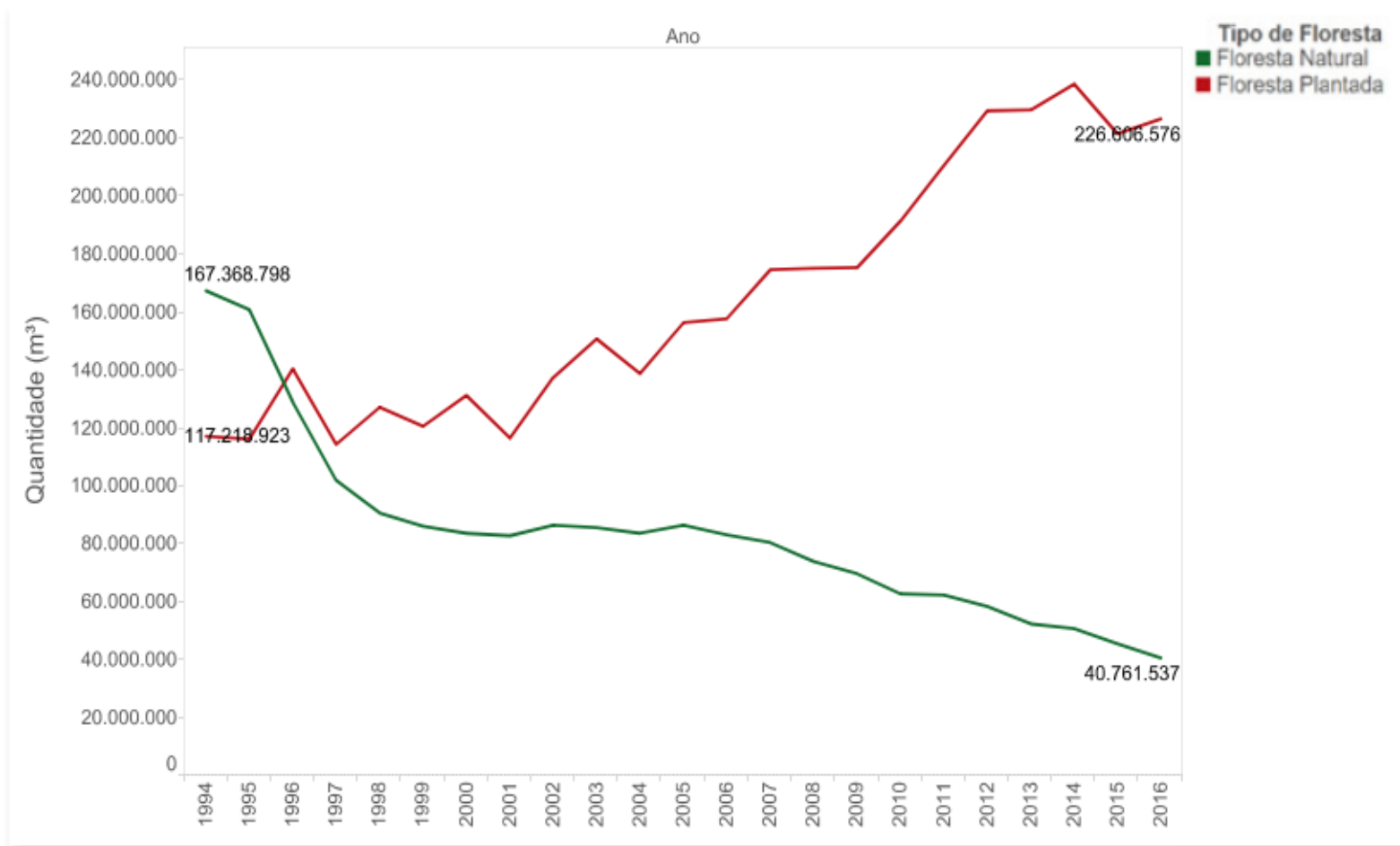


# Área nativa florestas no Brasil

- O Brasil é um país florestal com aproximadamente 58% do seu território coberto por florestas naturais e plantadas - o que representa a segunda maior área de florestas do mundo, atrás apenas da Rússia.

- São estimados 485,8 milhões de hectares de florestas nativas

Evolução da quantidade (m<sup>3</sup>) de madeira extraída, por tipo de floresta.

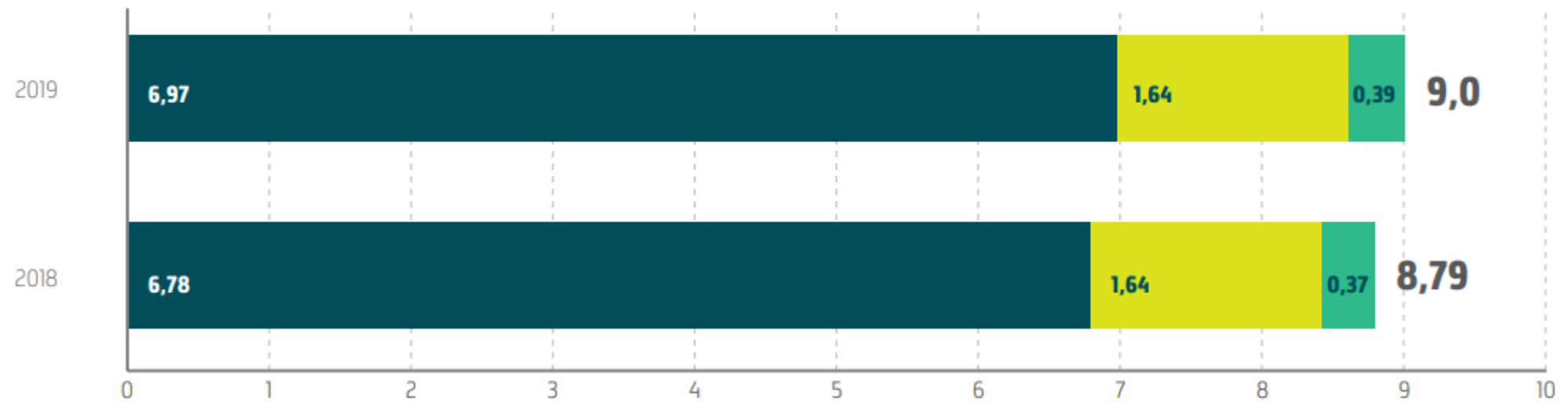


# Área plantada

## ÁREA DE ÁRVORES PLANTADAS

*Area of Planted Trees*

Elaboração: FGV e Ibá. | *Source: FGV and Ibá.*



Milhões de hectares | *Million hectares*

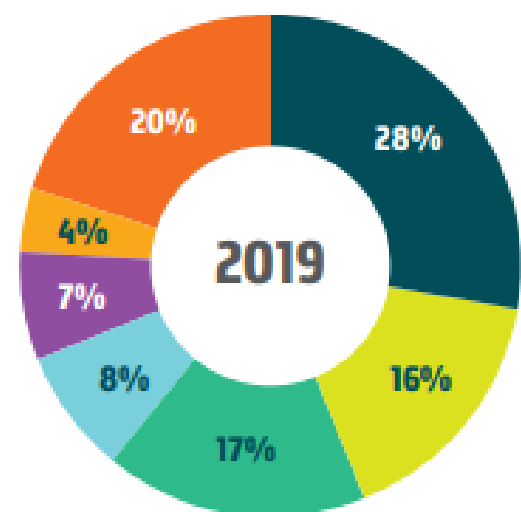
● Eucalipto | *Eucalyptus*    ● Pinus | *Pine*    ● Outros | *Other*

IBÁ (2020)

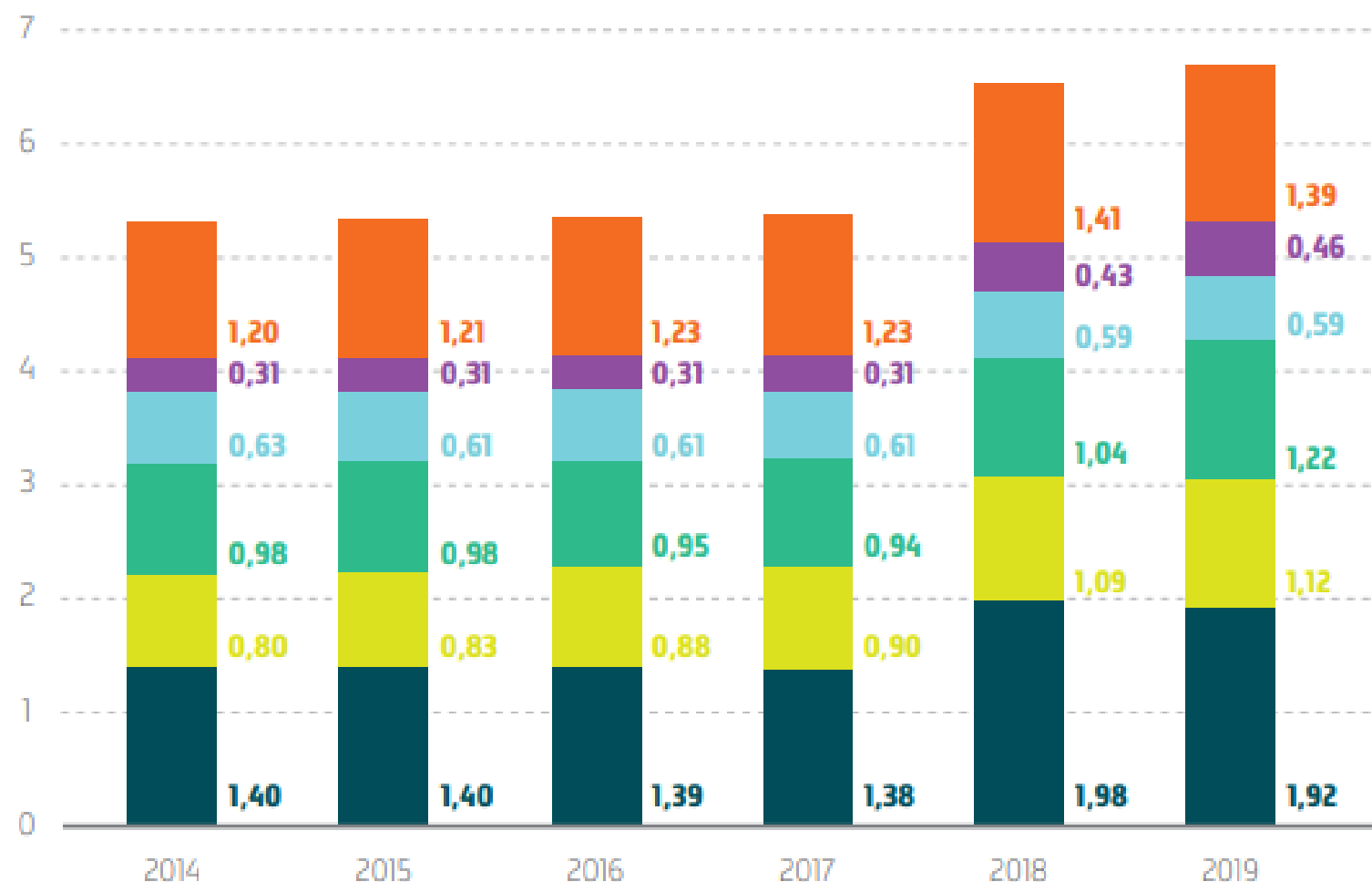
# DISTRIBUIÇÃO E EVOLUÇÃO DA ÁREA COM PLANTIOS DE EUCALIPTO POR ESTADO

*Distribution of and Changes in Area Planted with Eucalyptus (by state)*

Elaboração: FGV e Iba. | Source: FGV and Iba.



- Minas Gerais
- Mato Grosso do Sul
- São Paulo
- Bahia
- Rio Grande do Sul
- Paraná
- Outros

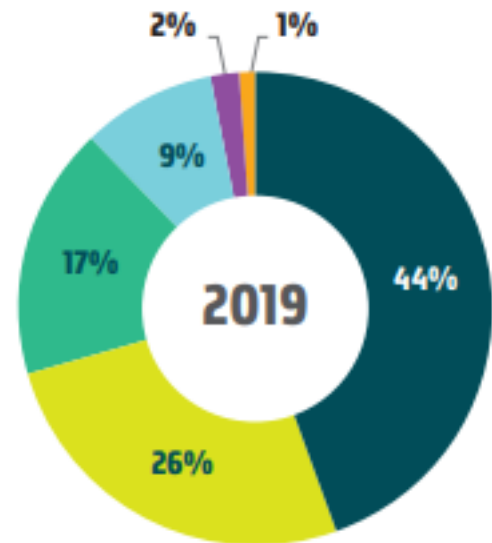


Milhões de hectares | *Million de hectares*

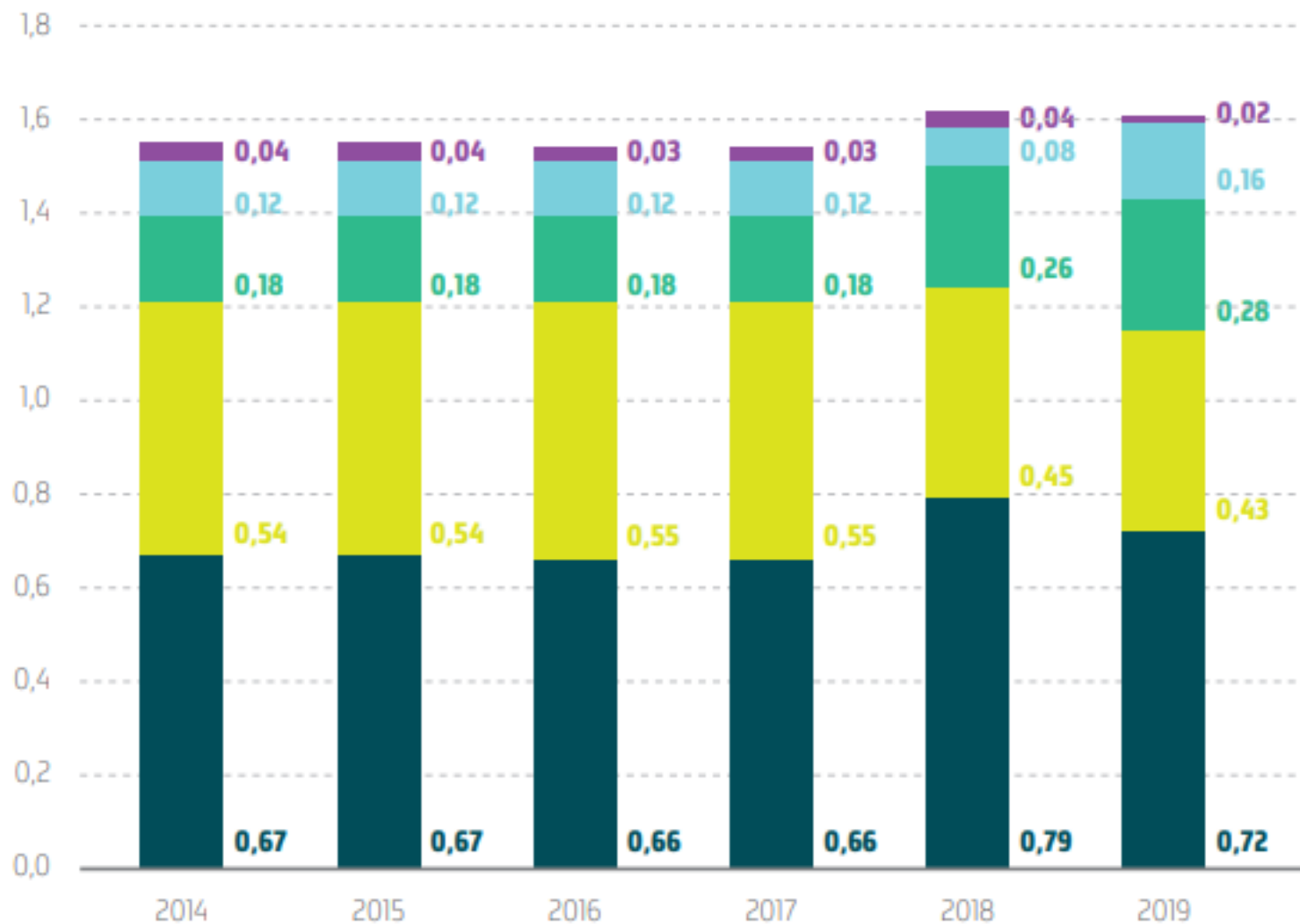
# DISTRIBUIÇÃO E EVOLUÇÃO DA ÁREA COM PLANTIOS DE PINUS POR ESTADO

*Distribution of and Changes in Area Planted with Pine (by state)*

Elaboração: FGV e Iba. | Source: FGV and Iba.



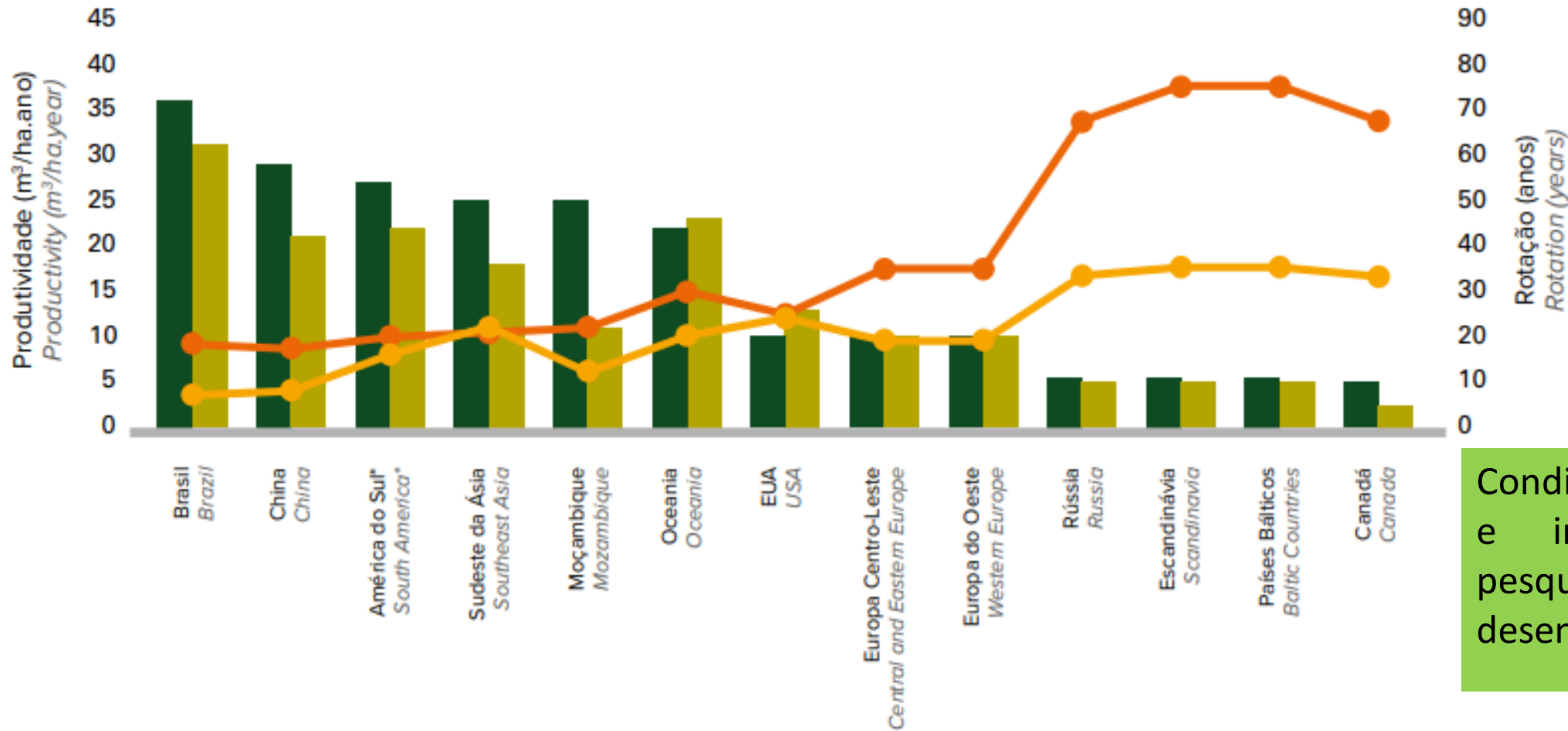
- Paraná
- Santa Catarina
- Rio Grande do Sul
- São Paulo
- Minas Gerais
- Outros



Milhões de hectares | Million hectares

IBÁ (2020)

PRODUTIVIDADE E ROTAÇÃO MÉDIA NO BRASIL VERSUS OUTROS IMPORTANTES PLAYERS MUNDIAIS  
 PRODUCTIVITY AND AVERAGE ROTATION IN BRAZIL VERSUS OTHER SIGNIFICANT PLAYERS WORLDWIDE



Condições de clima, solo e investimentos em pesquisa e desenvolvimento.

Eucalipto / Eucalyptus

Pinus / Pine

Rotação em anos – Eucalipto  
 Rotation in years – Eucalyptus

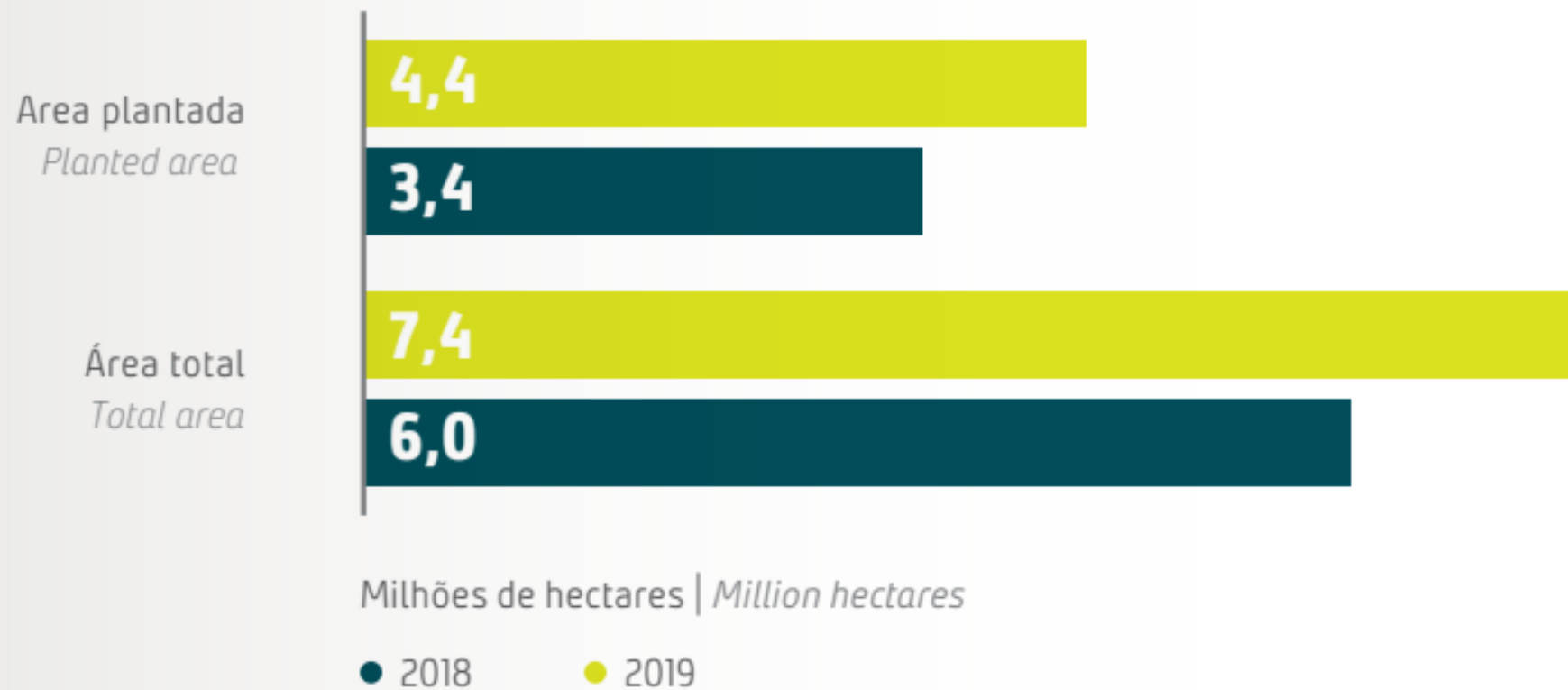
Rotação em anos – Pinus  
 Rotation in years – Pine

(\*) Exceto o Brasil / (\*) Except Brazil.  
<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>

## ÁREA CERTIFICADA EM 2018 E 2019

*Area Certified in 2018 and 2019*

Elaboração: FGV e Ibá. | *Source: FGV and Ibá.*





**Estados Unidos / USA**

- Celulose / Pulp
- Papel / Paper
- Painéis de Madeira / Wood panels
- Serrados / Lumber

**Europa / Europe**

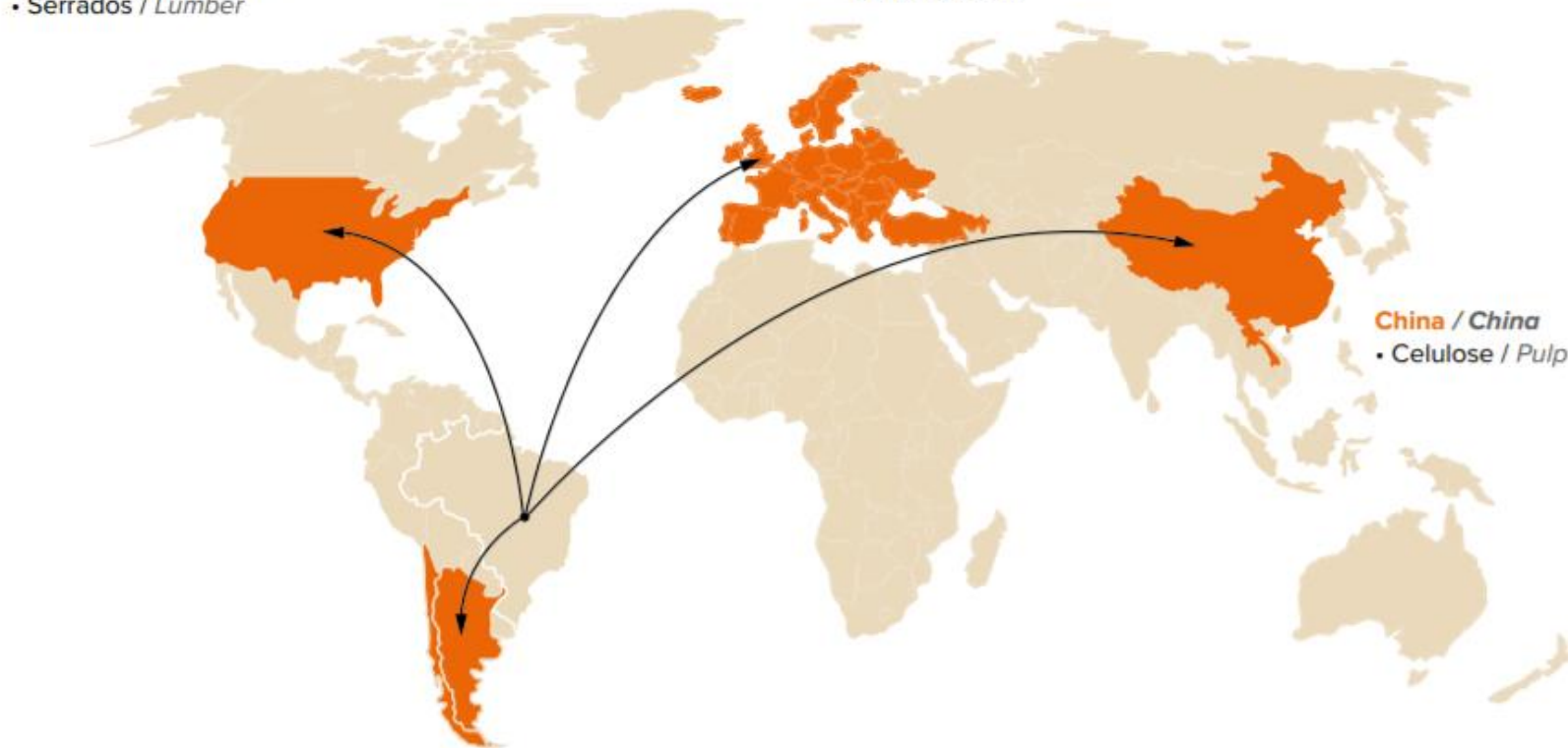
- Celulose / Pulp

**China / China**

- Celulose / Pulp

**Argentina e Chile / Argentina e Chile**

- Papel / Paper



**14%**  
Demais Países  
Other Countries

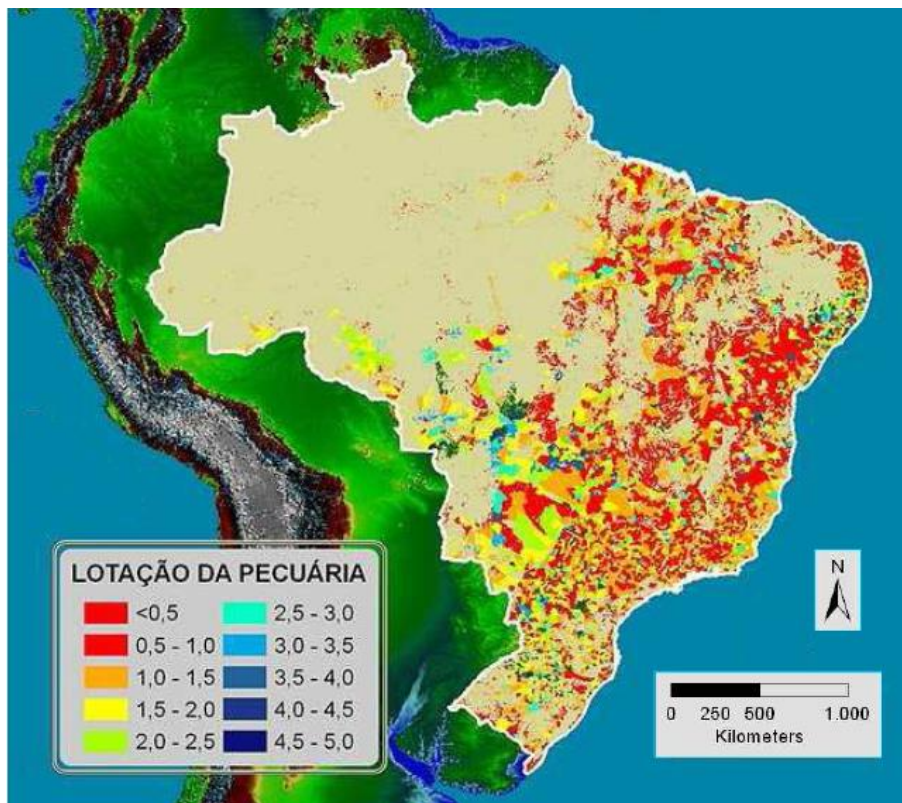
**15%**  
América Latina  
Latin America

**16%**  
Estados Unidos  
United States

**25%**  
Europa  
Europe

**30%**  
China  
China

# Oportunidades: Aproveitamento de terras degradadas



- O uso da terra pela pecuária no Brasil é de baixa densidade
- ~ 1,0 cabeça por hectare

## Milhões de hectares (2015/2016)

Brasil	851
<i>terras aráveis</i>	354,8

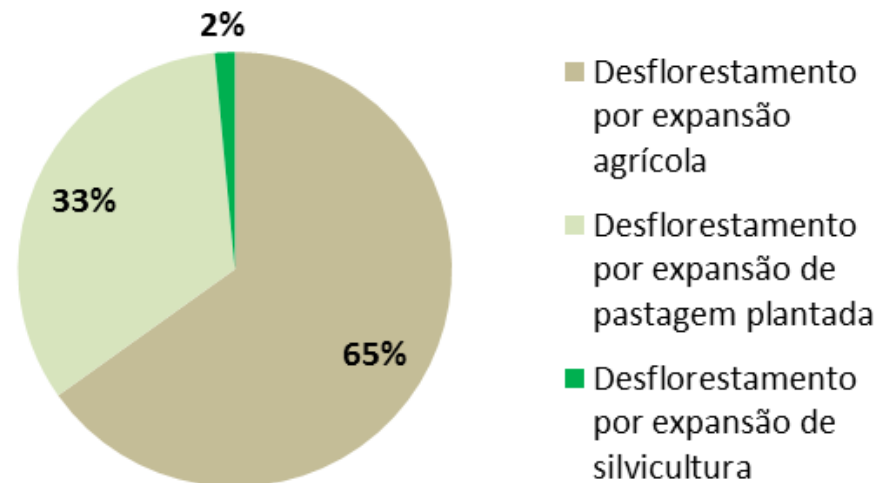
<b>1. Área total cultivada</b>	<b>84,2</b>
Soja	33,2
Milho	15,2
Outros grãos	10,1
Citrus	9,3
Cana de Açúcar	8,6
Produção Florestal	7,8
<b>2. Pastagem (produtiva e degradadas)</b>	<b>168,0</b>
<b>3. Áreas degradadas</b>	<b>140,0</b>

- Até 2030 dos 168 milhões de hectares utilizados para pastagem, **70 milhões** de hectares poderão estar disponíveis para outros fim, onde 30 milhões poderão estar sujeitas a ocupação com outras culturas, entre elas, florestas para energia.

**Nenhum impacto sobre as florestas nativas, mudança no uso da terra ou desmatamento.**

## DESFLORESTAMENTO (FLORESTAS NATURAIS) NO PERÍODO DE 2001 A 2012 NO BRASIL.

Segundo o IBGE, o desflorestamento destas áreas ocorre principalmente em função da **expansão agrícola** com (314.207 Km<sup>2</sup>) e pela **expansão de pastagem** para pecuária com (159.396 Km<sup>2</sup>), representando 65% e 33%, conseqüentemente, do desmatamento de florestas naturais.



O desflorestamento pela expansão da silvicultura (Eucaliptus e Pinus) é de **somente 2% do total nacional** com (7.204 Km<sup>2</sup>), o qual comparado a produção atual de 7.185.943 hectares de florestas plantadas, esse **percentual é baixo (10%)**.

# Oportunidades: Florestas energéticas

## Florestas energéticas de Eucalipto de curta rotação

- (2 a 3 anos) com finalidade exclusiva de produção de biomassa destinada à geração de energia chegam a atingir rendimentos de **45 toneladas de massa seca** por hectare ano.



Espécie	Rotação (corte) (anos)	Espaçamento entre árvores (m)	Plantio (n. árvore/ha)	Produção (t MS/ha.ano)*
<b>Eucalyptus spp. plantio tradicional</b>	5 a 7	3x2 / 3x3	1111 / 3333	20 / 25
<b>Eucalyptus spp. curta rotação</b>	2 a 3	3x0,5 / 3x1,0 /3x1,5	2222 / 6666	40 / 55

[http://www.iee.usp.br/sites/default/files/Javier%20F.%20Escobar%20-%20woodpellets%20Brasil\\_2014.pdf](http://www.iee.usp.br/sites/default/files/Javier%20F.%20Escobar%20-%20woodpellets%20Brasil_2014.pdf)

## Mitos do Eucalipto no Brasil

Atualmente o que se questiona a respeito da é o impacto ambiental causado pelas florestas de eucalipto, como a degradação do solo (empobrecimento e erosão), alteração na biodiversidade (fauna e flora) e, por último, o impacto sobre a umidade do solo (aqüíferos e lençóis freáticos)

### Mitos do Eucalipto

**O eucalipto seca os rios e o lençol freáticos?**

**O eucalipto prejudica o solo?**

**O eucalipto prejudica a biodiversidade?**

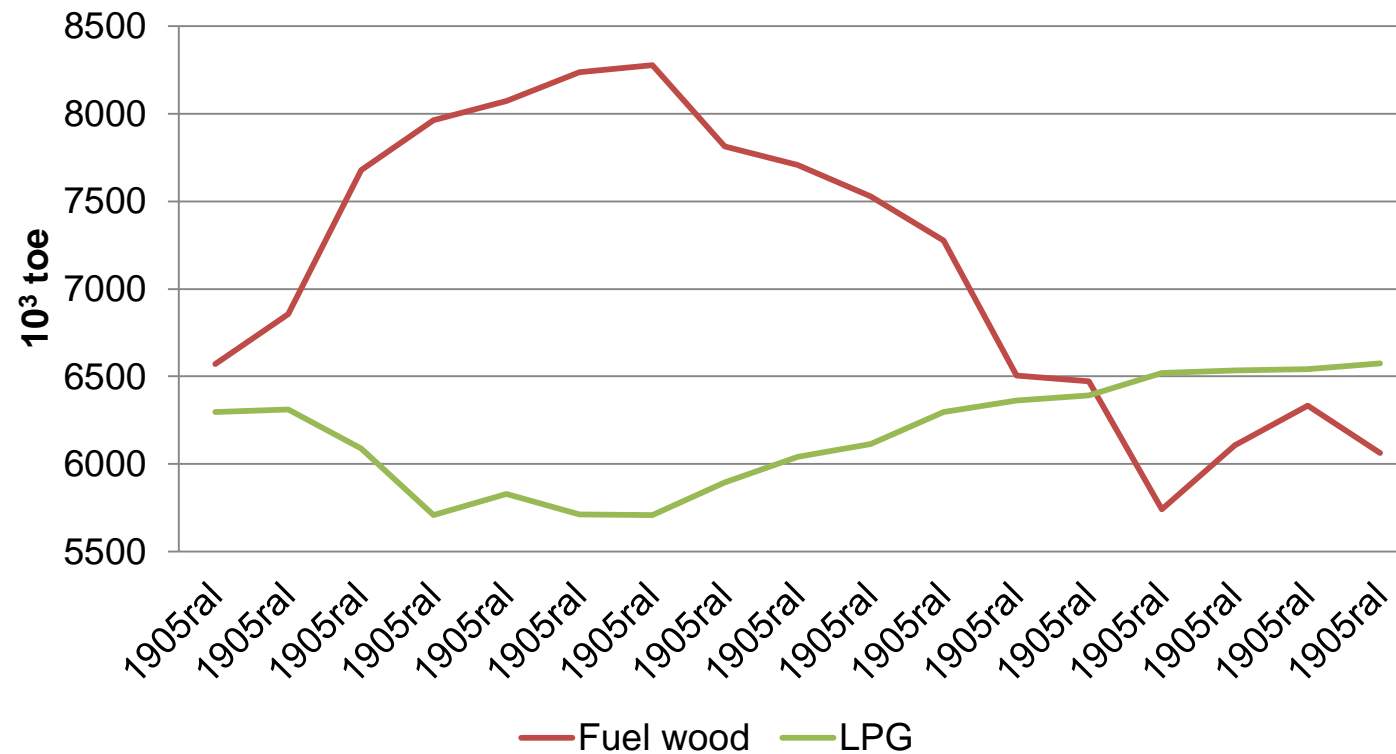
- A faixa pluviométrica média para a plantação de eucalipto no Brasil equivale de 800 a 1200 mm/ano, o ressecamento do solo em florestas de eucalipto depende não somente do consumo de água pelas plantas, mas também da precipitação da região de cultivo. Segundo Poore & Fries, (1985); Lima, (1990); Foelkel, (2005b), somente em áreas de precipitação inferior a 400 mm/ano, pode ressecar o solo, por receberem mais água do que consomem as plantações de eucalipto não ressecam o solo (DAVIDSON, 1993).
- Segundo Silva, et.al., (2004) a estrutura anatômica do eucalipto apresenta mecanismos que economizam água, tais como a presença do tecido foliar coriáceo, alinhamento vertical das folhas, fechamento rápido dos estômatos, baixas taxas de transpiração e elevada razão raiz/parte aérea. As raízes do eucalipto apresentam até 2,5 m de profundidade, por isso não alcançam os lençóis freáticos, retirando do solo uma quantidade de água próxima à consumida por árvores de florestas nativas.
- Além do aproveitamento muito eficiente da água, o eucalipto consome menos água/volume do que outras monoculturas, como cana-de-açúcar ou soja. (CALDER, 1992); (NOVAIS, 1996); (LIMA, 2010).
- A floresta de eucalipto adapta-se facilmente em áreas degradadas, e o plantio respeita segundo legislação, reservas legais e áreas de preservação permanente. Quando o eucalipto é colhido sua casca, galhos e folhas são deixados na própria floresta, protege o solo da erosão, e quando decomposta, reincorpora os nutrientes do solo. (SCOLFORO e MAESTRI, 1998).





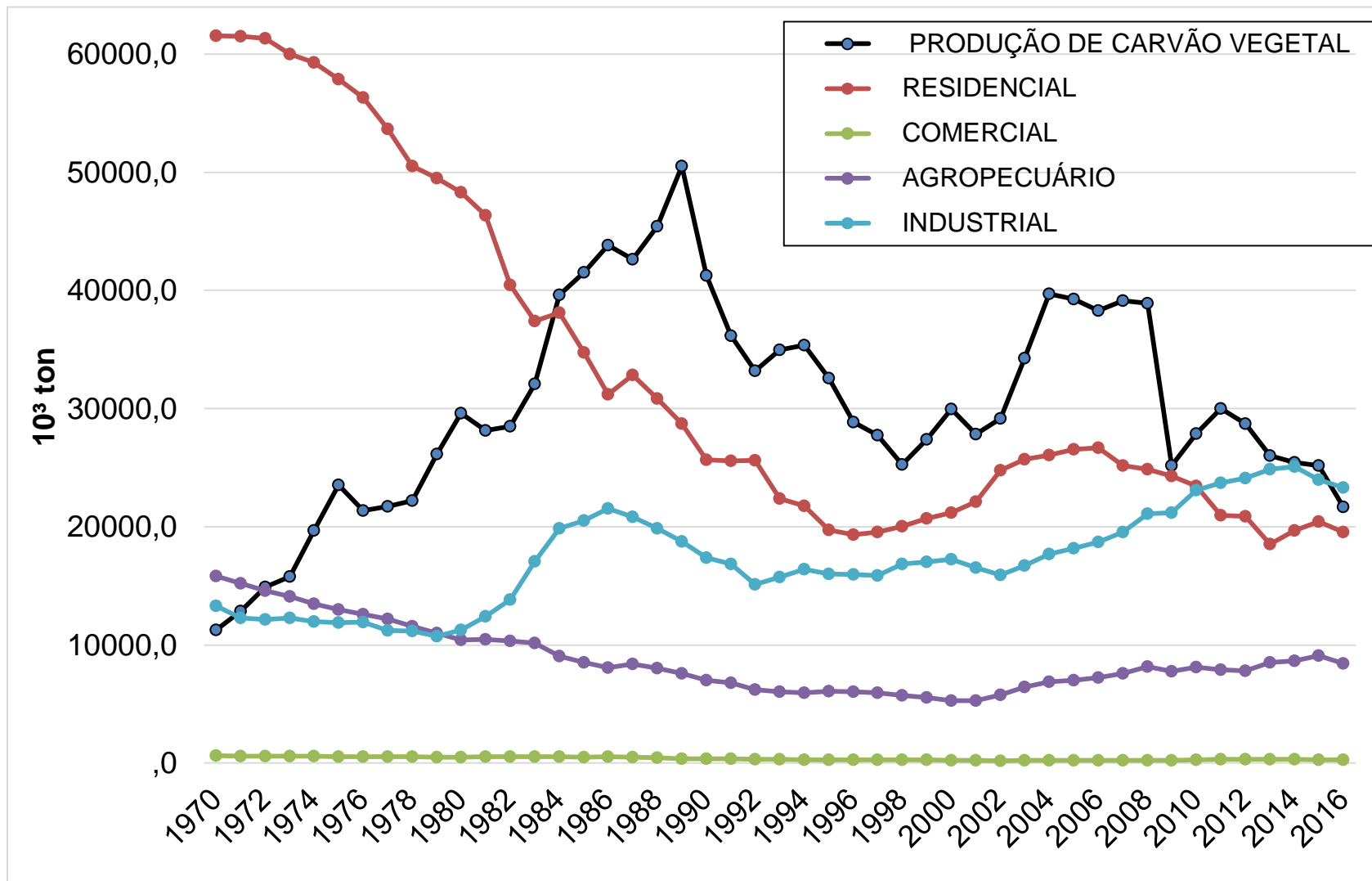
Lenha

Lenha e GLP utilizados em âmbito residencial para cocção no Brasil entre os anos de 2000 e 2015.



Fonte: Elaboração própria com base em dados de (MMA, 2017).

# Utilização da lenha no Brasil



- Em 2018, a produção de lenha alcançou 77,8 milhões de toneladas no Brasil (MMA, 2017).
- 30,6% foi destinado ao setor industrial, para utilização no setor de cerâmica, papel e celulose, entre outros.
- 25,8% foi destinada ao setor residencial.
- 30,5% foi destinado à indústria de transformação, para a conversão da madeira em carvão vegetal

Fonte: Elaboração própria com base nos dados de (MMA, 2017)



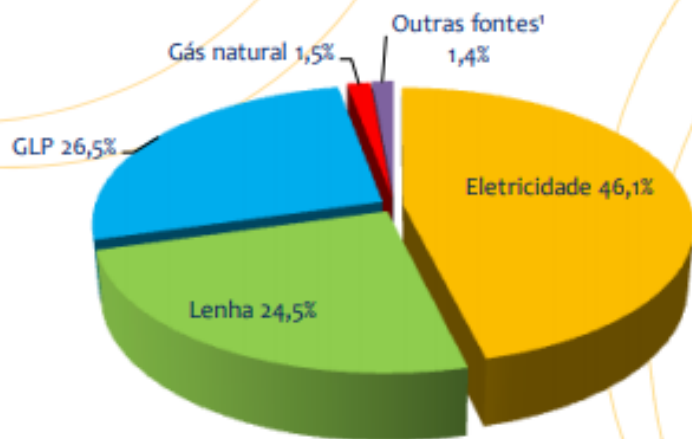
# Consumo residencial de energia

- ↑ Gás natural +6,3%
- ↑ Eletricidade +0,8%
- ↑ Lenha +0,8%
- ↑ GLP +0,5%

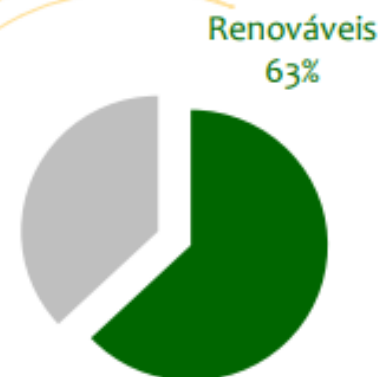
Heterogeneidade no perfil de consumo das famílias. Famílias de renda mais alta aumentaram o consumo de fontes modernas (GLP e eletricidade). Por outro lado, famílias de baixa renda, principalmente em áreas rurais, ainda são dependentes de biomassa tradicional.



2017	25,0 Mtep
2016	24,8 Mtep
↑	0,5%



<sup>1</sup> Querosene e carvão vegetal



# Resíduos florestais







Alguns tipos de resíduos gerados pelo setor florestal. a) **Serragem**; b) **Cepilho (plaina)**; c) **Resíduos sólidos de madeira** (construção, serraria, marcenaria etc.); d) **casca de *Pinus taeda* L.** e) **Licor negro**; f) **Resíduos de colheita florestal de *Pinus taeda* L.**

- Em 2016, do total de resíduos reaproveitados pela indústria, **66% foi destinado à energia** (licor negro) e **34% utilizados em outros segmentos**.
- No mesmo ano, **33,7 milhões de toneladas** de resíduos florestais foram gerados em operações a campo no país e praticamente não foram utilizados (IBÁ, 2017).

## Resíduos de madeira gerado no Brasil

Setor	%
Indústria madeireira	90,7
Construção civil	3,0
Áreas urbanas	6,3

Fonte: Elaboração própria com base em (MMA, 2009); (STC, 2011); (SAE, 2011).

Operação (%)	Floresta Natural		Floresta Plantada	
	Produto	Resíduo	Produto	Resíduo
Corte	30-40	60-70	80-90	10-20
Processamento primário e secundário	10-20	10-20	30-40	40-50
<b>Total</b>	<b>10-20</b>	<b>80-90</b>	<b>30-40</b>	<b>60-70</b>

Fonte: FAO, 2007.

- Viabilidade nos setores que dispõe da matéria prima sem necessidade de transportar
- 50% do total de madeira residual esta na Amazônia, a maior parte dos resíduos é gerado no extrativismo na Amazônia Legal.
- Os estados da região Sul, Sudeste e Centro-Oeste - apresentam o maior potencial de uso de madeira residual com 27,5 a 82,9 MW.

# Poda

- A arborização urbana produz uma enorme quantidade de resíduos de biomassa (poda de árvores e folhas) provenientes dos serviços de manutenção das áreas verde existente nas grandes cidades.
- Sendo assim, há necessidade de discussão da **gestão sustentável destes resíduos** que permitam não só a sua destinação adequada, mas também a sua **valorização energética**.
- Atualmente, existe uma incerteza sobre qual é o volume de resíduos de poda produzida nas grandes cidades, assim como suas características qualitativas, sendo que o levantamento destes dados é um passo fundamental para decidir quais são os destinos e a forma de aproveitamento mais adequado.



## Resíduos de poda urbana

- Estima-se que o custo médio para a disposição em aterros sanitários no Estado é de R\$ 80,00/t
- Estima-se que **aproximadamente 70 mil toneladas por ano de poda urbana** são geradas no Estado de São Paulo.

### Política Nacional de Resíduos Sólidos

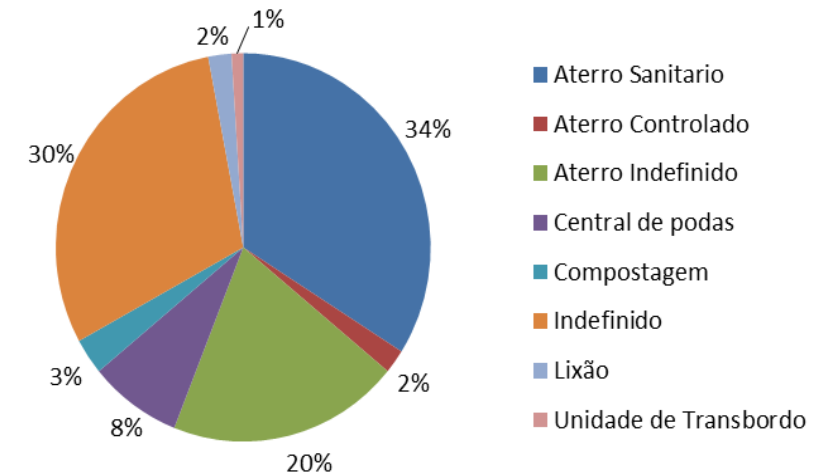
A Lei nº 12.305/10

Institui a responsabilidade gestão integrada e o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos.



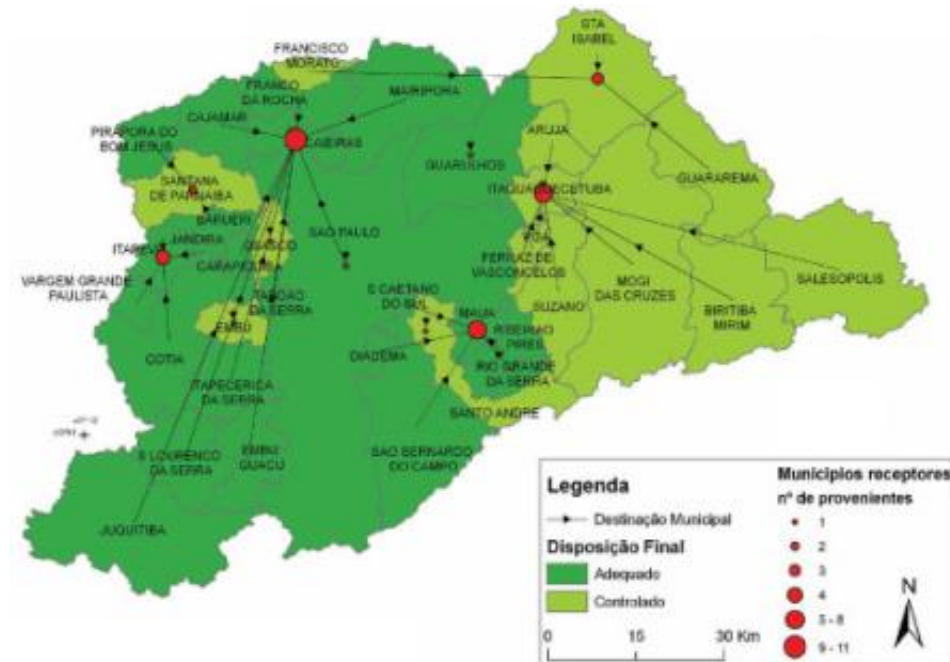
# Cenário Atual - Poda

- Sua maioria é destinada **em aterros**, e percorrendo entre 15 a 30 km até a sua disposição final.



## Município de São Paulo

- O serviço de remoção da poda no município de São Paulo é realizado pela:
- Prefeitura Municipal, que através de empresas concessionárias, realiza a poda, remoção de árvores mortas, doentes ou que representem algum risco ao cidadão;
- Concessionária de energia elétrica (Enel) realiza a poda e remoção de árvores que estão em contato com a fiação.





# Potenciais - Poda

- Esta classe de resíduo possui **grande capacidade de valorização e reaproveitamento energético**, podendo ser destinado ao uso de **tecnologias** relacionadas a processo físico-mecânico (briquetagem e peletização), atingindo taxas de poder calorífico de até 4800 kcal/kg, como também processo termoquímico (pirólise e gaseificação).
- **O potencial energético** dos resíduos de poda e varrição poderia **auxiliar na demanda térmica** dos setores secundários e/ou terciários **do município** que demandem processos térmicos.
- Pizzarias, aquecimento de água, geração de vapor, entre outros.



# Pellets de madeira





Derivados de madeira utilizados na geração de energia.  
**b) pellets; c) briquetes.**

<https://www.youtube.com/watch?v=vfPFKzvNKE4>



# Pellets/Briquetes

- Resíduos de madeira de biomassa vegetal , ou produção agrícola/florestal, podem ser convertidos em pellets de madeira por esmagamento e compressão.
- Uniforme com teor de umidade constante 10%. Alta densidade, energia até 18 MJ/kg ou 4800 kcal, fáceis de manusear, transportar e armazenar.

Volume e Transporte de Quantidades Equivalentes de Energia



<i>Combustível</i>	<b>Poder Calorífico Inferior - PCI</b>	
	(MJ)	(Kcal)
cavaco de madeira (kg)	13	3100
pellets de madeira (kg)	18	4800
gás natural (m³)	35	8447
etanol (l)	22	5100
óleo diesel (l)	38	9160

Fonte: ABIPEL e [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/106/106131/tde-23032017-171758/publico/TESE\\_Javier\\_Farago\\_Escobar\\_IEEUSP.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/106/106131/tde-23032017-171758/publico/TESE_Javier_Farago_Escobar_IEEUSP.pdf)

## Aplicações dos pellets no Brasil



### Queimadores e Aquecedores

- Hotel
- Motel
- Lavanderia
- Pizzaria
- Academia
- Aquecimento de piscinas
- Aquecimentos de Parques
- Secadores Industriais

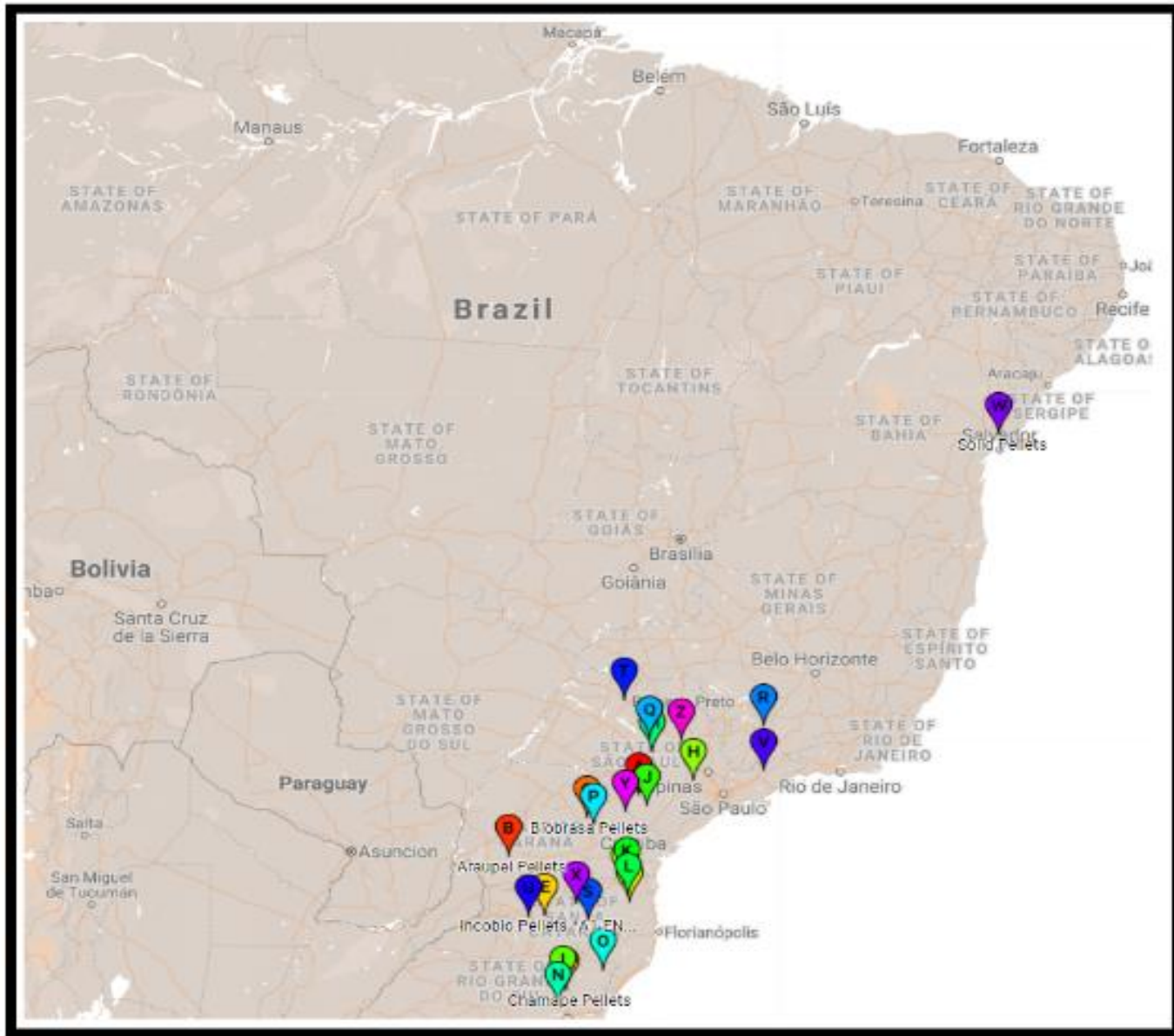


No inverno, as águas são aquecidas por pellets de madeira



Granulado higiênico de madeira, produto desenvolvido para gatos para ser utilizado no lugar da areia higiênica.





Produção de apenas 35% da capacidade instalada

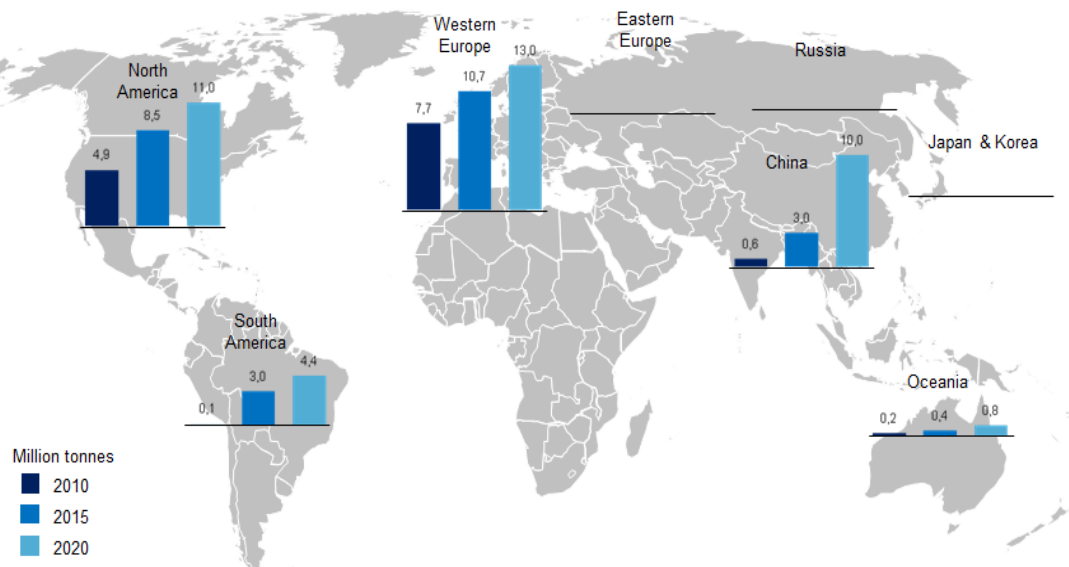
Capacidade instalada (t/ano): 200.750  
Produção (t/ano): 75.000

Localização geográfica das produtoras de pellets no Brasil

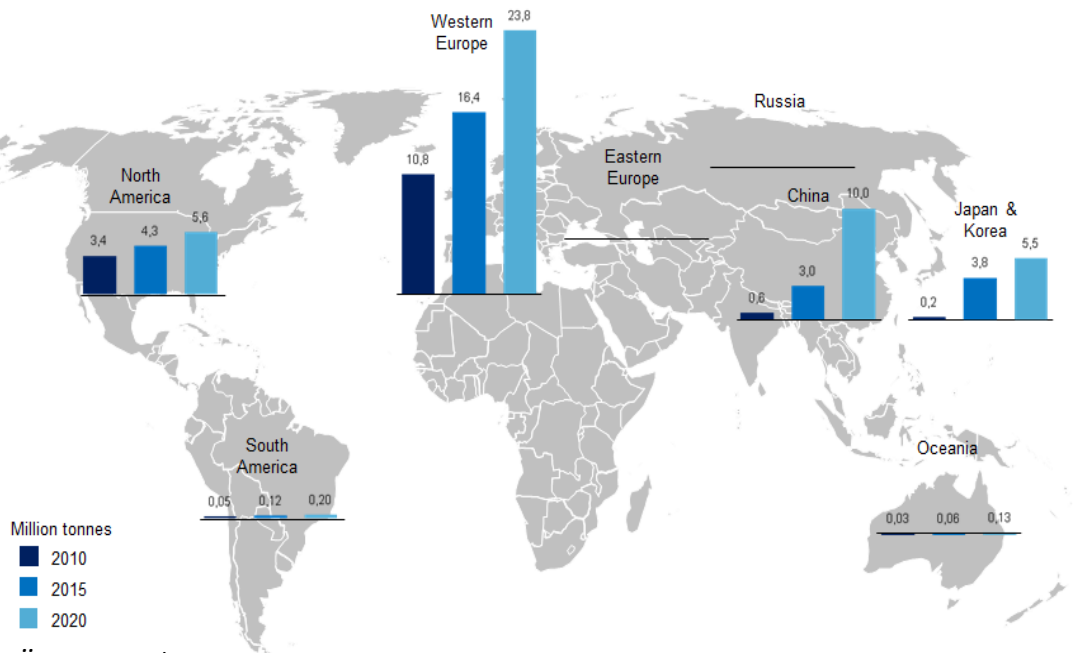


# Os pellets de madeira no mundo

## Produção



## Consumo

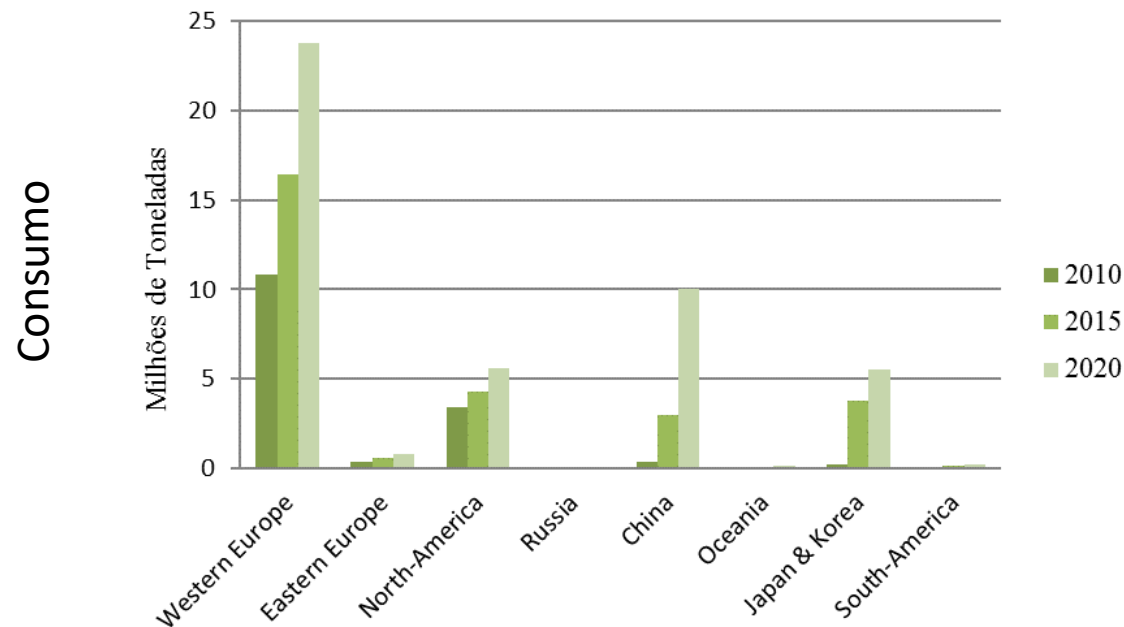
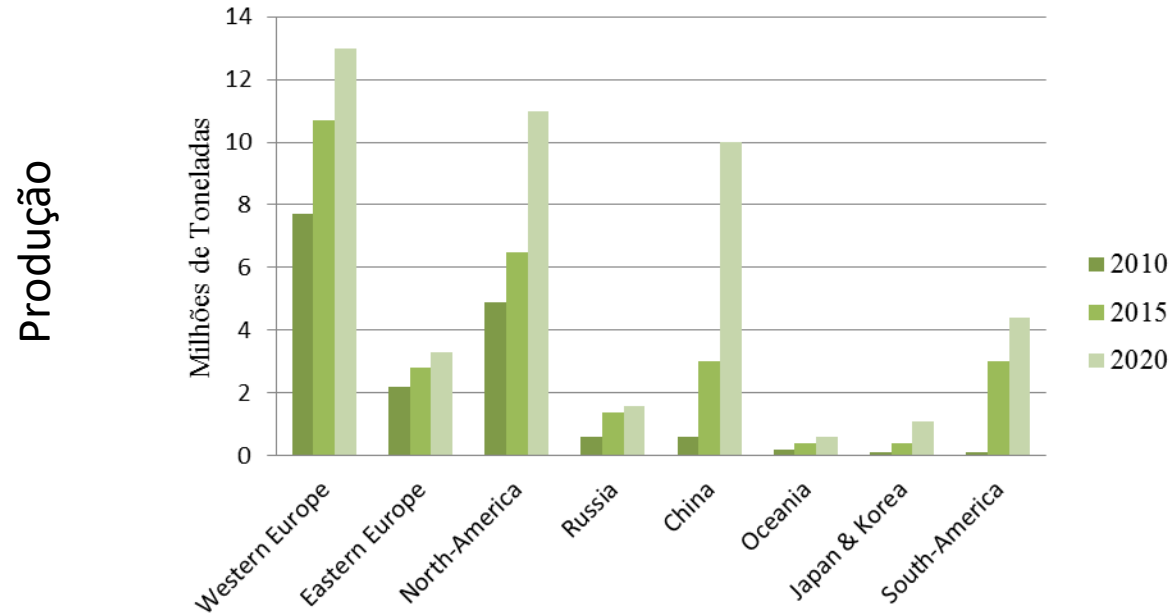


fonte: (PÖYRY, 2010)

- O setor **residencial**, os pellets competem diretamente com o óleo combustível, o gás natural e a energia elétrica, em usos finais que são o aquecimento de água e a calefação.

-O segmento de geração **termoelétrica** é o maior demandante de pellets combustível na Europa, pois muitas companhias de geração estão **reduzindo suas emissões** de dióxido de carbono a partir de substituições parciais com pellets em sua matriz energética.

## SITUAÇÃO ATUAL - Os pellets de madeira no mundo



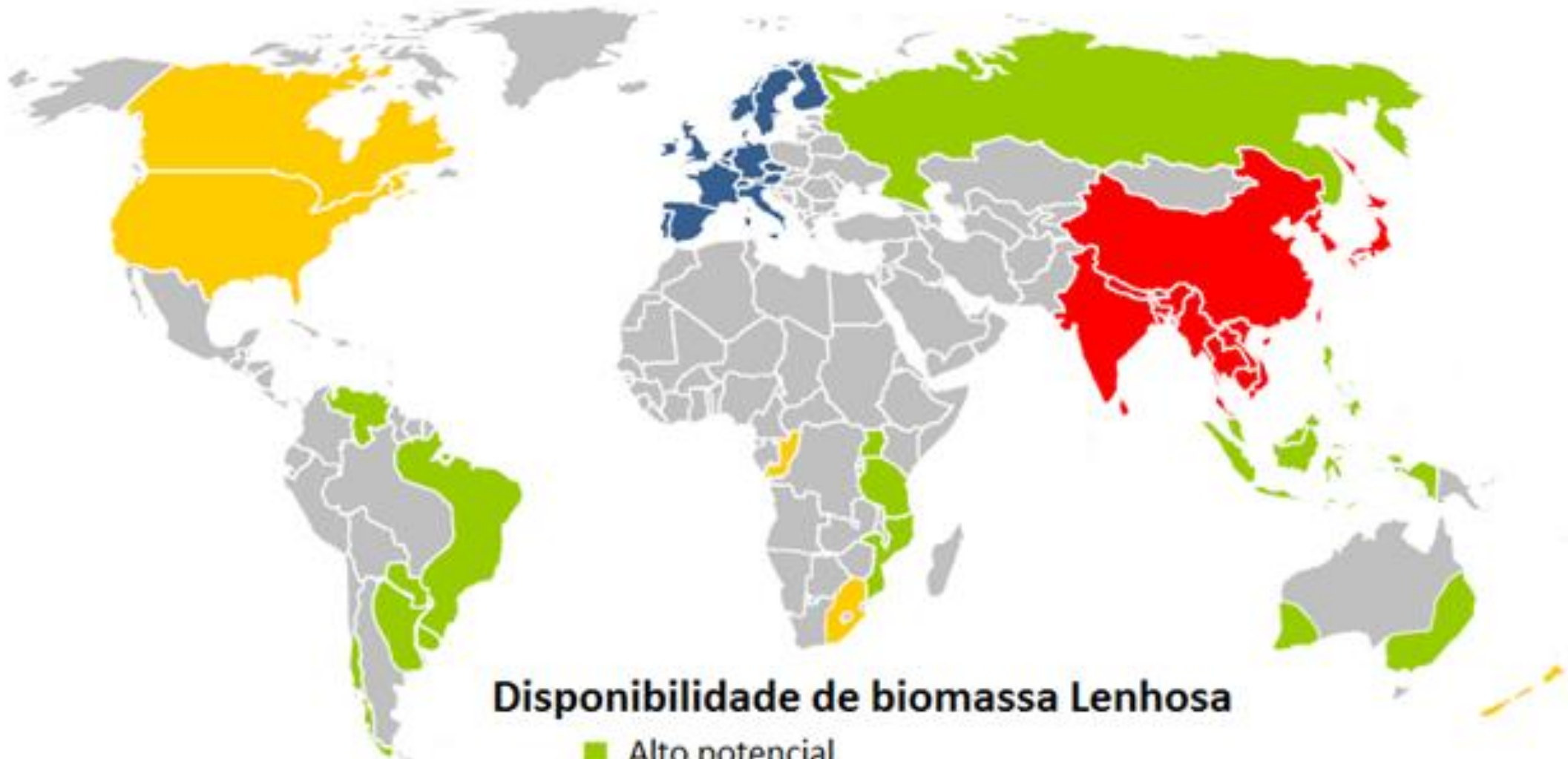
**28 milhões de toneladas** para ambos os setores são consumidos ao ano (doméstico e industrial)

A **União Europeia** consome, de longe, o maior volume **16 MMt** em 2016.

A atual produção em ordem de grandeza para **exportação é dos EUA, Canadá, Leste Europeu, China e Rússia.**

**Atual consumidores emergentes, Japão e Coréia.**

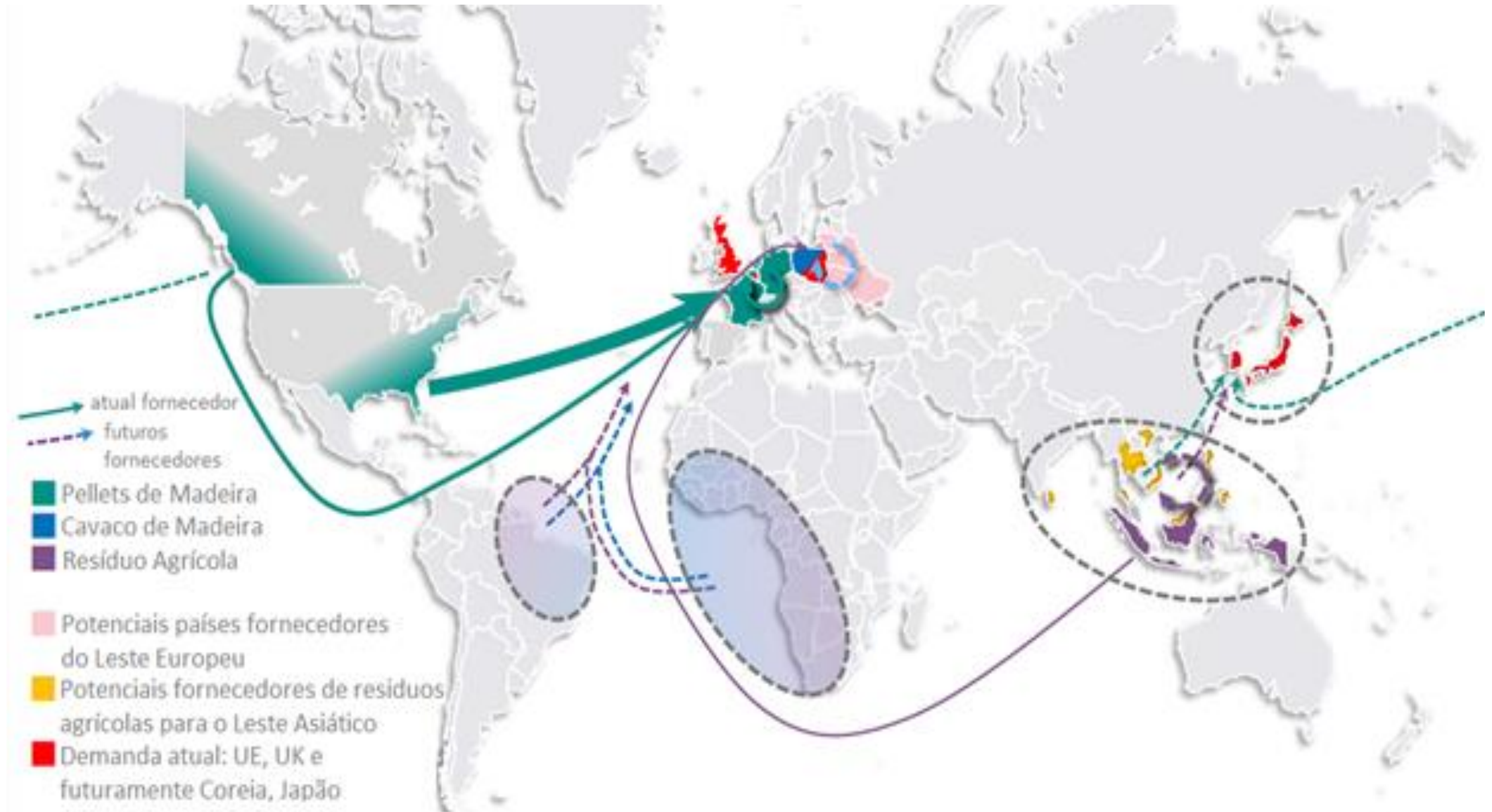
**Espera-se crescimento** do mercado mundial de pellets de aproximadamente **41 MMt** a partir de 2020.



### Disponibilidade de biomassa Lenhosa

- Alto potencial
- Potencial estável
- Potencial estável, com alta demanda
- Déficit de biomassa

## SITUAÇÃO ATUAL - Os pellets de madeira no mundo





## O caso da Alemanha e do Reino Unido



- **Alemanha** está apostando na biomassa florestal como fonte de energia de base renovável com plantações de *Eucalyptus* em Madagascar e no Norte da África desde 2009 para atender a demanda de energia renovável. (GTZ, 2009); (GTZ, 2010).

- Drax a maior termoelétrica a carvão do **Reino Unido** 4000 MW.
- Em Abril de 2013 a primeira unidade com pellets de madeira já foi concluída, com expectativas de ampliação das demais usinas até 2020.
- será necessário **2.3 milhões** de toneladas de pellets ao ano.
- Pretende parar de queimar carvão completamente em 2023
- Redução de até 70% do CO<sub>2</sub> gerado até o momento.



# Normas e Padrões de qualidade



Áustria norma M M 7135

Suécia norma SS 187120

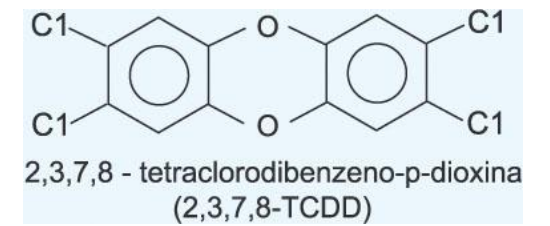
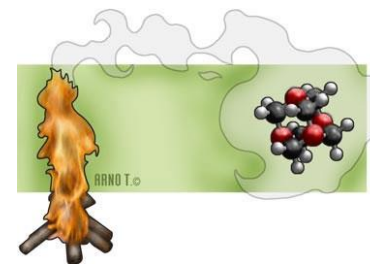
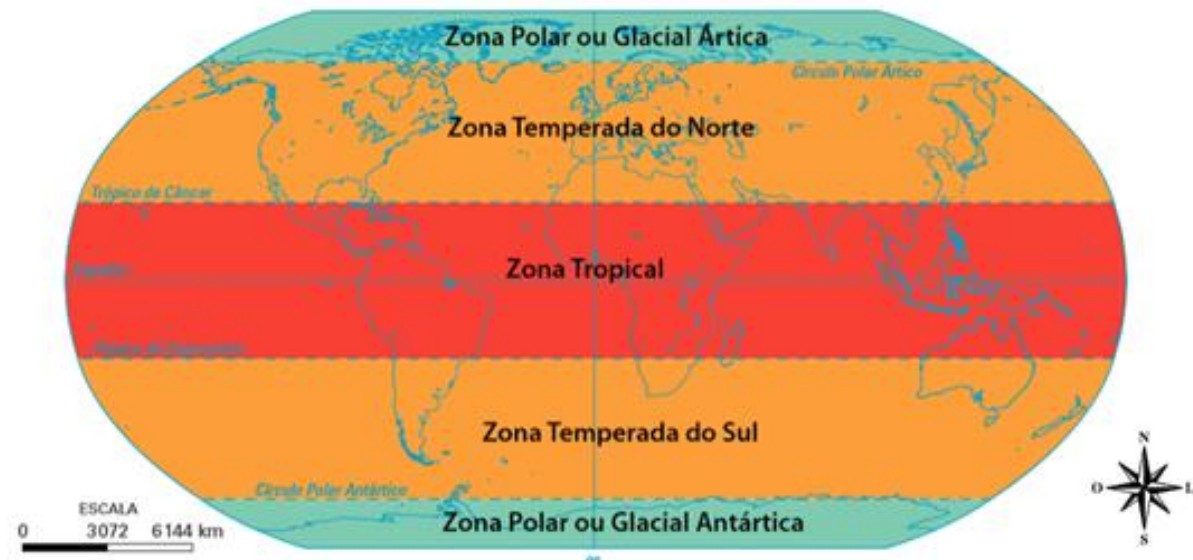
Alemanha norma DIN 51731



Não existem normas brasileiras para pellets

# Pellets/Briquetes

- Projeção de crescimento exponencial do mercado.
- Problema: Segundo Escobar (2016) a concentração de cloro nos pellets de eucaliptos brasileiros é até 5 vezes superior ao permitido pelas normas internacionais.
- Segundo o autor o problema central consiste que no Brasil, diferentemente dos atuais produtores, esta localizado na zona tropical do planeta, região onde a precipitação de água é proveniente majoritariamente dos oceanos com alta evaporação - com concentrações molares de íons inorgânicos dissolvidos na chuva de até 85%, contendo o elemento cloro, em suas altas taxas de (NaCl)
- Dioxinas e organoclorados.





**Teor de cinzas cloro e enxofre aceitáveis na norma internacional para o mercado de bicomcombustível sólido na forma de pellets.**

<b>Material*</b>	<b>Média do teor de cinzas (%)</b>
<b>Pellets Madeira Pinus</b>	<b>0,3</b>
<b>Pellets Madeira Eucalipto</b>	<b>0,5</b>
<b>Pellets de bagaço de cana</b>	<b>2,0</b>
<b>Pellets de (palha/ponta) de cana</b>	<b>10,0</b>
<b>Pellets Bambu</b>	<b>2,0</b>
<b>Pellets Casca de Arroz</b>	<b>17,0</b>
<b>Pellets de palha de milho</b>	<b>6,0</b>
<b>Pellets de Casca de amendoim</b>	<b>6,0</b>
<b>Pellets de Fibra de coco</b>	<b>2,5</b>

# PROBLEMÁTICA

Teor de cinzas, cloro e enxofre aceitáveis na norma internacional para o mercado de bicomcombustível sólido na forma de pellets.

Norma e Padrão do pellets combustível	Unidade	Cloro (Cl)	Enxofre (S)	Teor de cinzas	
<b>Uso residencial</b>	<i>(Enplus)</i> -A1	w-%	$\leq 0,02$	$\leq 0,04$	$\leq 0,7$
	<i>(Enplus)</i> -A2	w-%	$\leq 0,03$	$\leq 0,05$	$\leq 1,2$
	<i>(Enplus)</i> -B	w-%	$\leq 0,03$	$\leq 0,05$	$\leq 2,0$
<b>Uso industrial</b>	<i>(ISO18122)</i> -I1	w-%	$\leq 0,03$		$\leq 1,0$
	<i>(ISO18122)</i> -I2	w-%	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$	$\leq 1,5$
	<i>(ISO18122)</i> -I3	w-%	$\leq 0,06$		$\leq 3,0$
<b>Brazilian</b>	<i>Pinus ssp.</i>	w-%	$\leq 0,02$	$\leq 0,04$	$\leq 0,3$
<b>Wood Pellets</b>	<i>Eucalyptus ssp.</i>	w-%	$0,02 \geq 0,1$	$\leq 0,05$	$\leq 0,5$
	<i>short rotation Eucalyptus ssp.</i>	w-%	$0,02 \geq 0,1$	$\leq 0,05$	$\leq 2,7$

No Brasil a taxa de cloro presente na madeira de eucalipto é em média cinco vezes superior ao permitido pelas normas Enplus

# Pellets/Briquetes

Remover o cloro e outros inorgânicos, tais como metais alcalinos, da madeira do gênero *Eucalyptus*.



Teste qualitativo com  $\text{Ag}^+$  em meio  $\text{HNO}_3$  dil

**Patente** no Instituto Nacional da Propriedade Industrial – INPI (BR 10 2016 023862 5).

- Projeção de potencial de produção de pellets:
- Até 150km dos portos: 40,65 milhões de toneladas por ano.
- Até 300 km dos portos: 124,95 milhões de toneladas por ano.

<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/106/106131/tde-23032017-171758/pt-br.php>

# Carvão vegetal



## Carvão vegetal

O carvão vegetal é obtido através do processo chamado de **pirólise lenta**, ou carbonização, que converte a lenha em um combustível mais homogêneo, com maior densidade energética e menor teor de umidade.

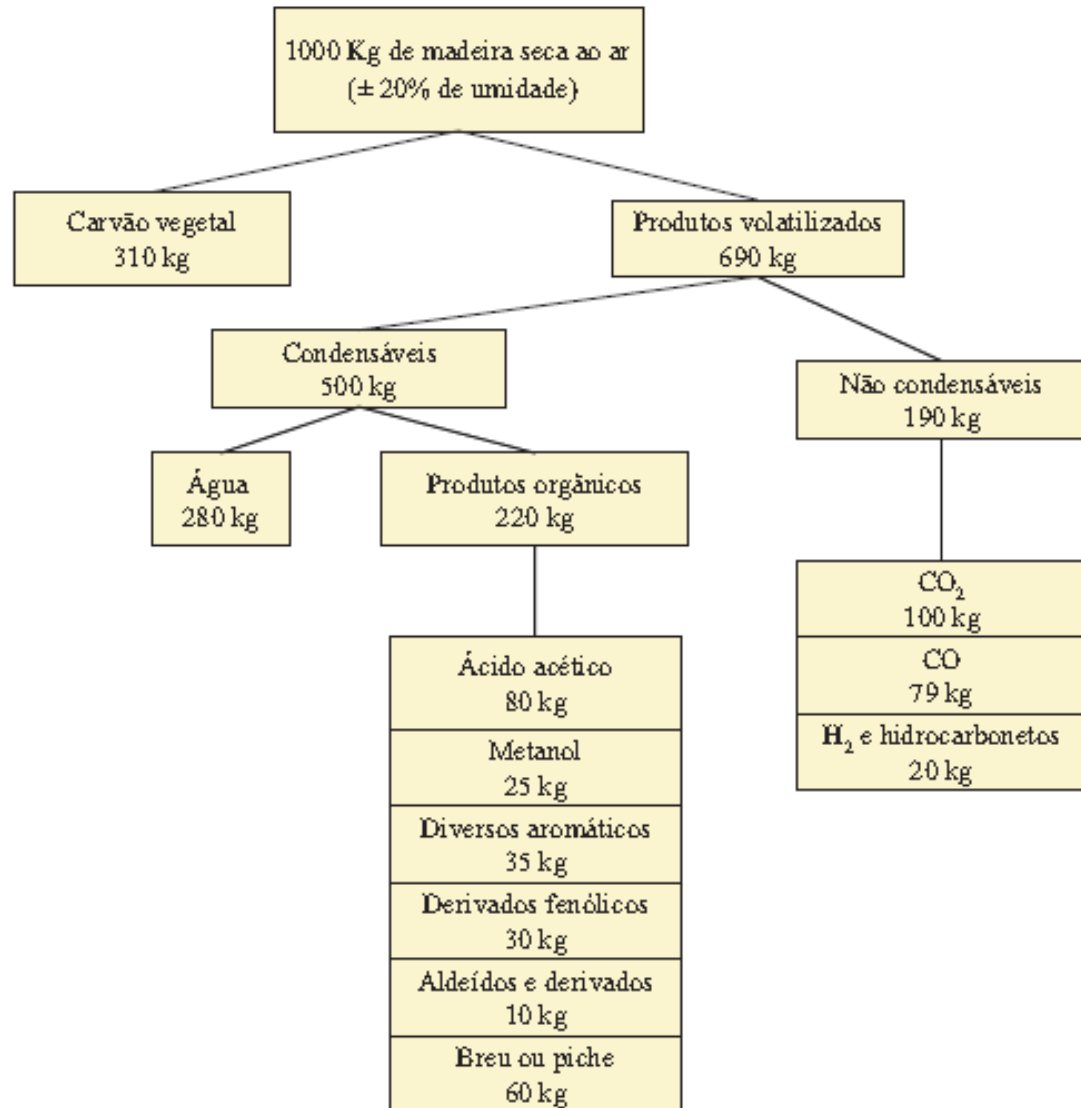
### Características das tecnologias para pirólise da biomassa

Tecnologia	Tempo de residência	Taxa de aquecimento	Temperatura máxima (°C)	Produto principal
Carbonização	Horas-dias	Muito pequena	400	Carvão vegetal
Convencional	5-30 min	Pequena	600	Gás e líquido
Rápida	0,5 - 5 s	Intermediária	650	Gás e líquido
Flash	<1 s	Alta	<650	Gás e líquido
Ultrarrápida	< 0,5 s	Muito alta	1000	Gás e líquido
(Gaseificação)				
A vácuo	2 - 30 s	Intermediária	400	Gás e líquido

TABELA 2 - CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA E DO CARVÃO VEGETAL

MADEIRA	CARVÃO VEGETAL
50% de C	87% de C
6% de H	2% de H
43% de O	4% de O
1% de cinzas	7% de cinzas
Teor de umidade aproximado 30%	Teor de umidade máxima 7%

# Carbonização



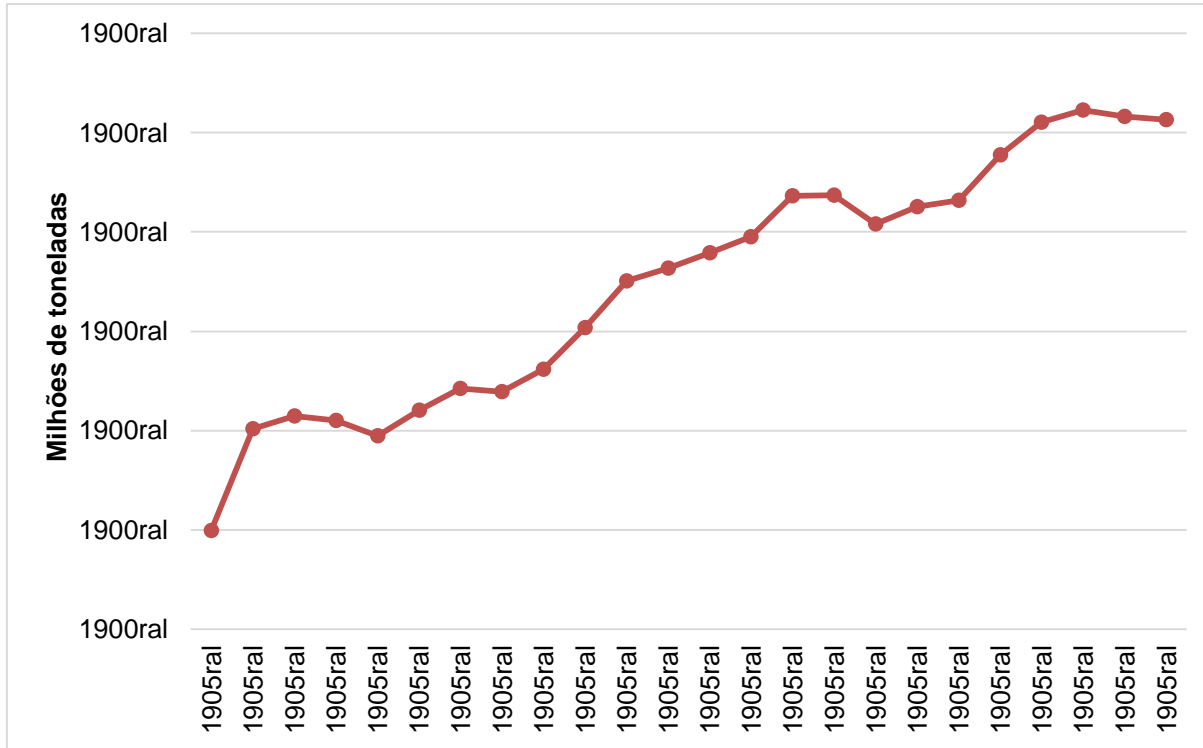
## Subprodutos

- Os produtos se separam em três camadas distintas.
  - Primeira camada(10%) predomina óleos vegetais;
  - Segunda camada que varia entre (60 e 75%) é de Ác.Pirolenhoso ;
  - Terceira camada predomina o alcatrão (20 a 30%).

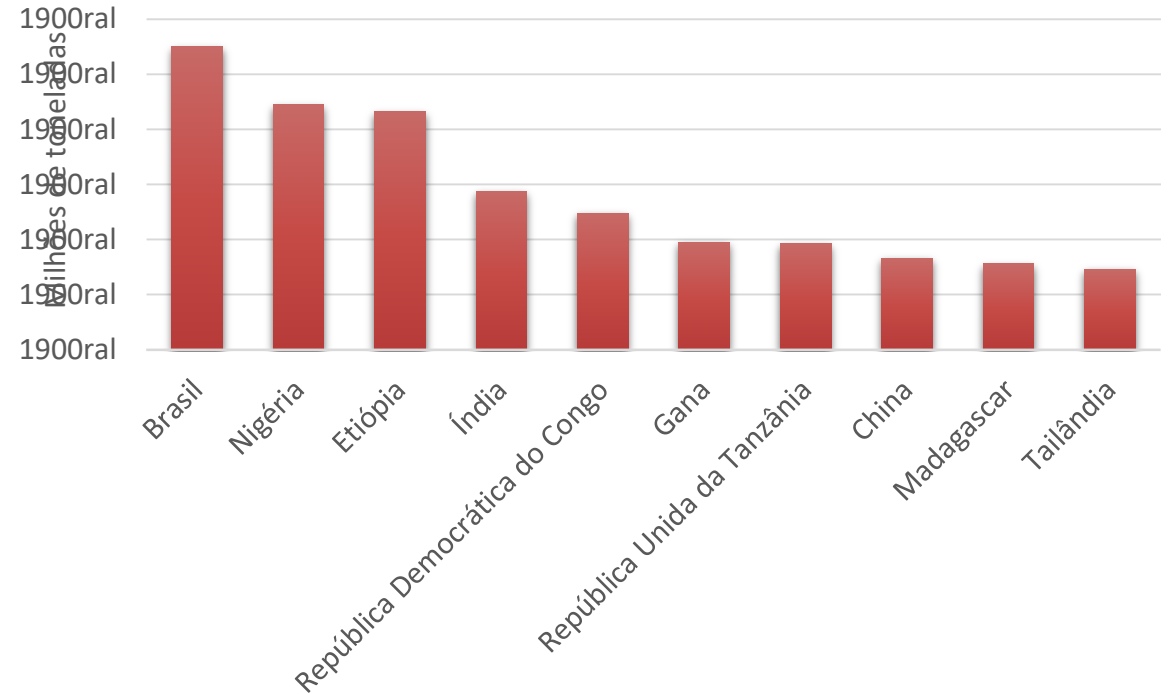


# Carvão vegetal no mundo

Produção histórica de carvão vegetal no mundo.



Principais países produtores de carvão vegetal.



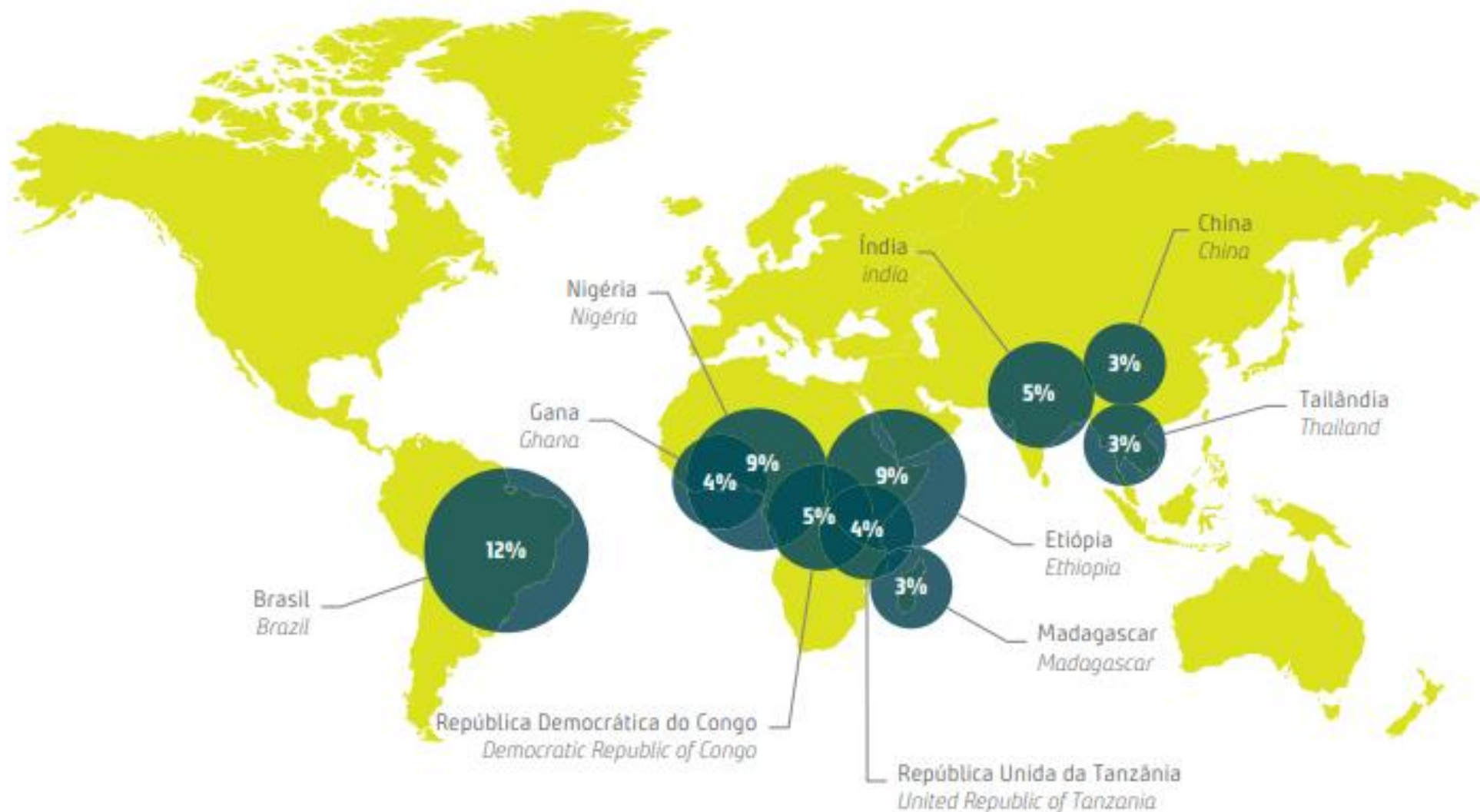
Fonte: Elaboração própria a partir de dados de FAO (2017).



## PARTICIPAÇÃO NA PRODUÇÃO MUNDIAL DE CARVÃO VEGETAL EM 2019

Share of Global Wood Charcoal Production in 2019

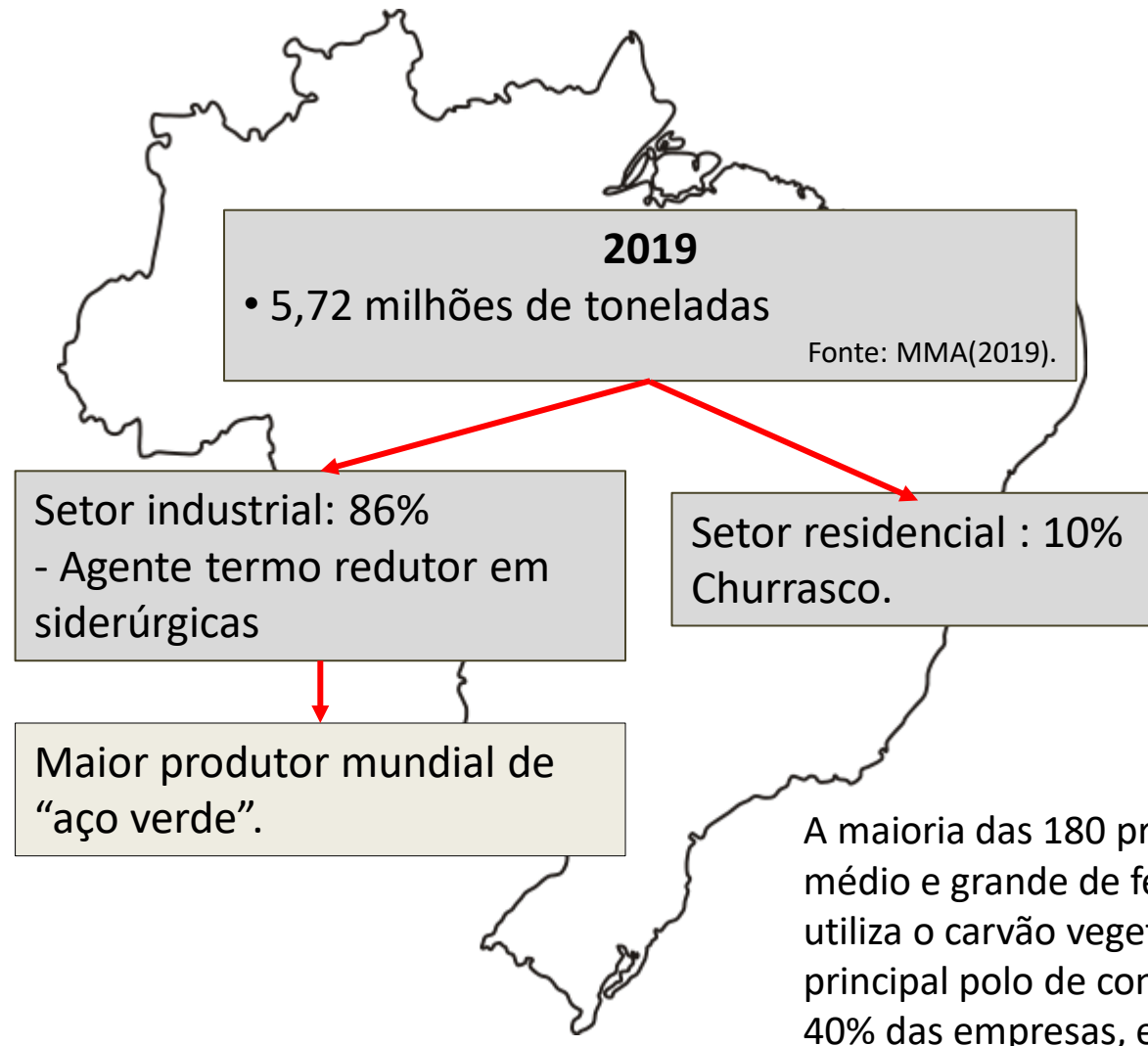
Elaboração: FGV. Fonte: Iba, FAO. | Prepared by FGV. Source: Iba, FAO.



\*Dados estimados a partir do modelo Autorregressivo Integrado de Média Móvel - ARIMA(p,q,d)

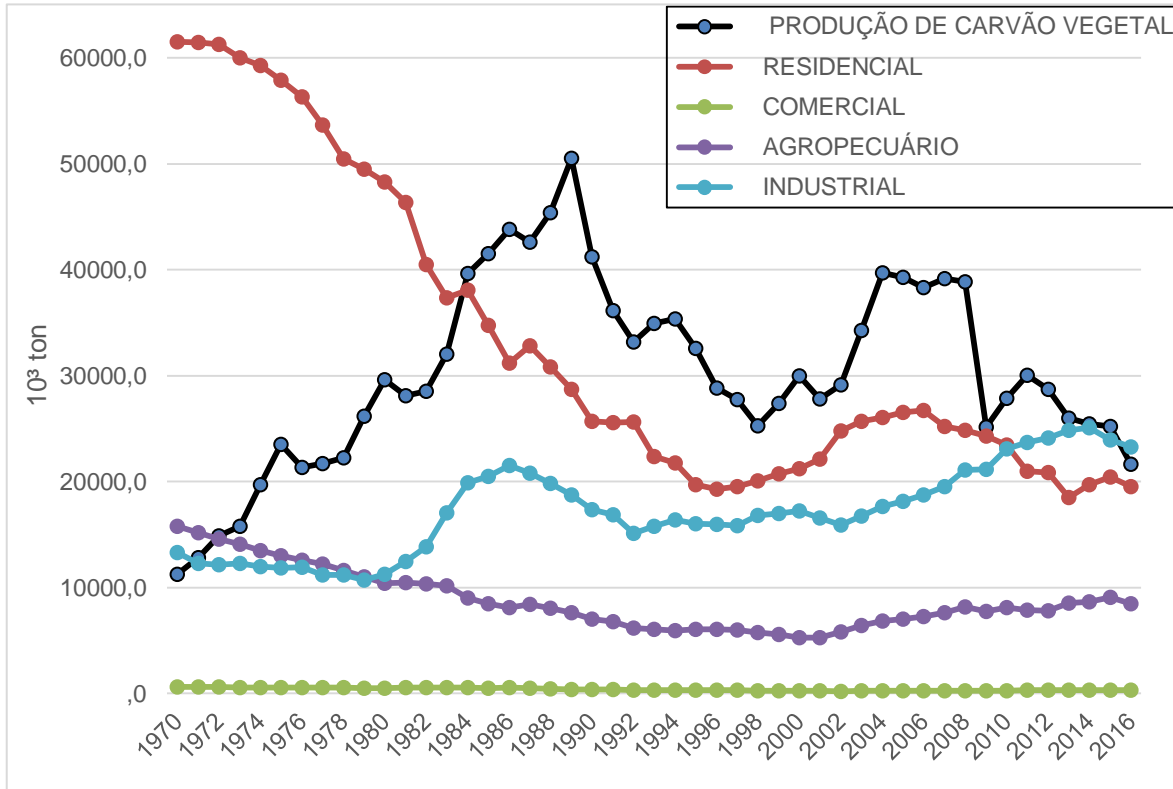
\*Estimated Data from the Autoregressive Integrated Moving Average model (ARIMA) (p,q,d)

# Brasil: o maior produtor mundial

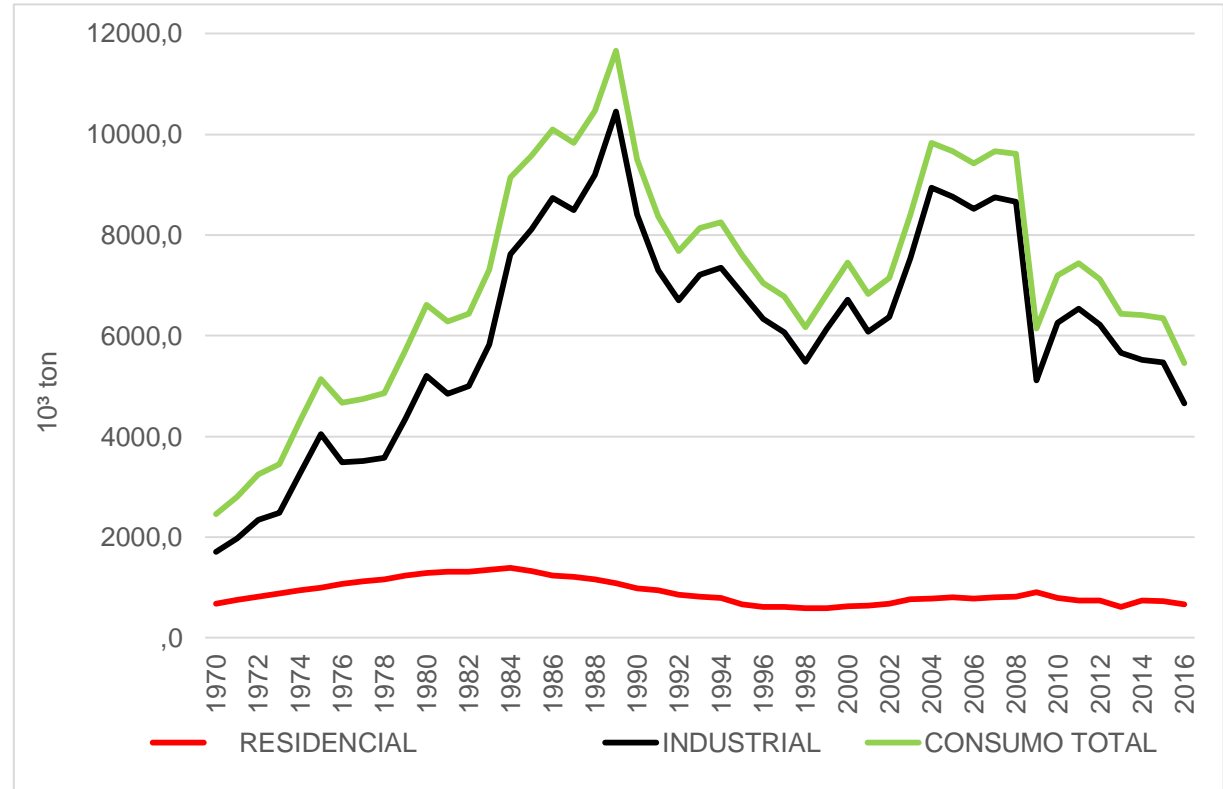


# Carvão vegetal no Brasil

Utilização da lenha por setor no Brasil (1970-2016)



Evolução do consumo de carvão vegetal nos principais setores brasileiros.



- Crescimento do setor siderúrgico brasileiro a partir dos anos 1940 (BARROS, 2015);
- Alta demanda não planejada;
- Por muitas décadas, a falta de planejamento, de fiscalização e de políticas públicas voltadas ao setor resultou na consolidação de uma cadeia produtiva ineficiente no Brasil.

# Carvão vegetal

- Controvérsias na origem da madeira para carvão vegetal:
  - IBA (2020): 95% do carvão vegetal utilizado nas indústrias teve origem de florestas plantadas.
  - ESCOBAR (2016) o percentual de carvão produzido a partir de florestas plantadas no Brasil é de apenas 40%.
- Pela alta utilização de carvão vegetal pelas siderúrgicas, há interesse nos programas para diminuição de utilização de florestas nativas e maiores investimentos em tecnologias de maior eficiência na transformação.

Exemplo de fornos do tipo de rabo-quente e retangulares.



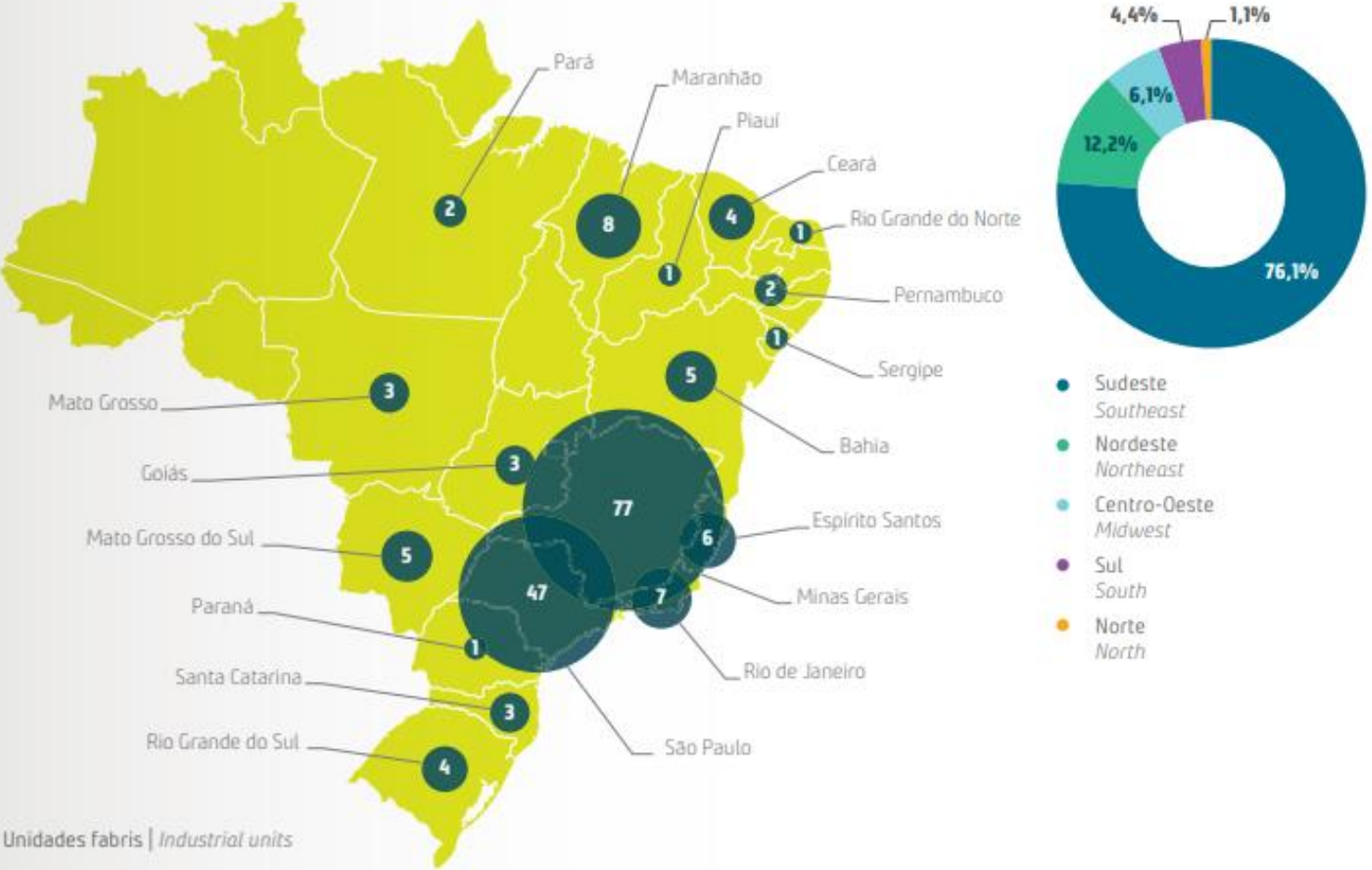


# O setor industrial

## PRINCIPAIS POLOS DE CONSUMO DE CARVÃO VEGETAL NO BRASIL

Main Centers of Wood Charcoal Consumption in Brazil

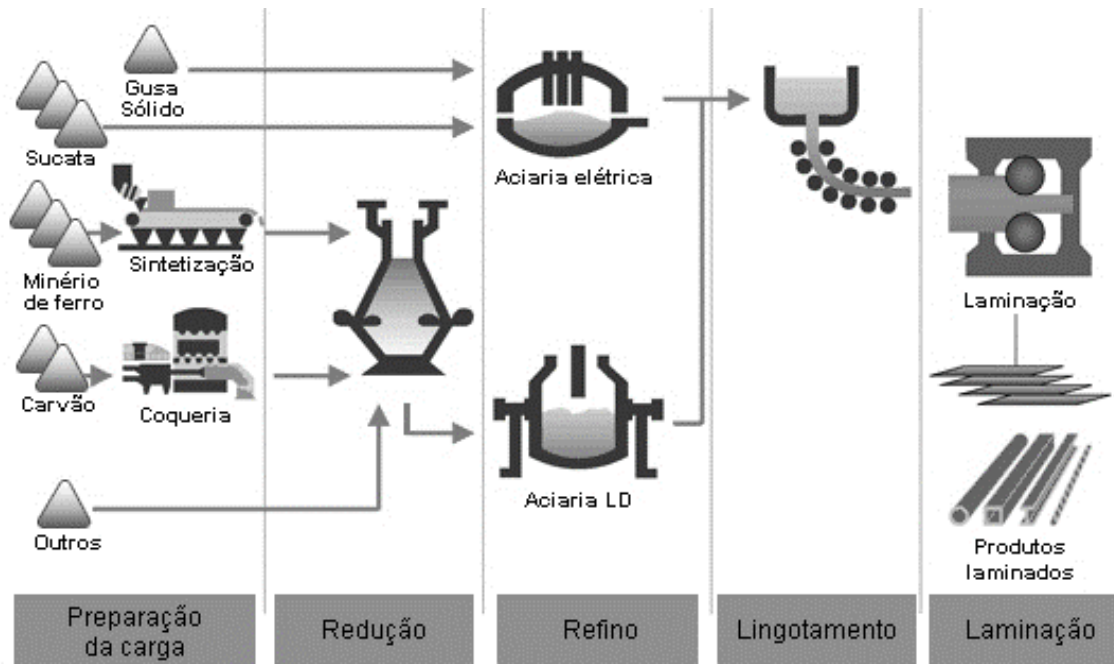
Elaboração: FGV Fonte: Ministério da Economia - RAIS | Prepared by FGV. Source: Ibrá and the Ministry of the Economy - RAIS.



Unidades fabris | Industrial units

# O setor industrial

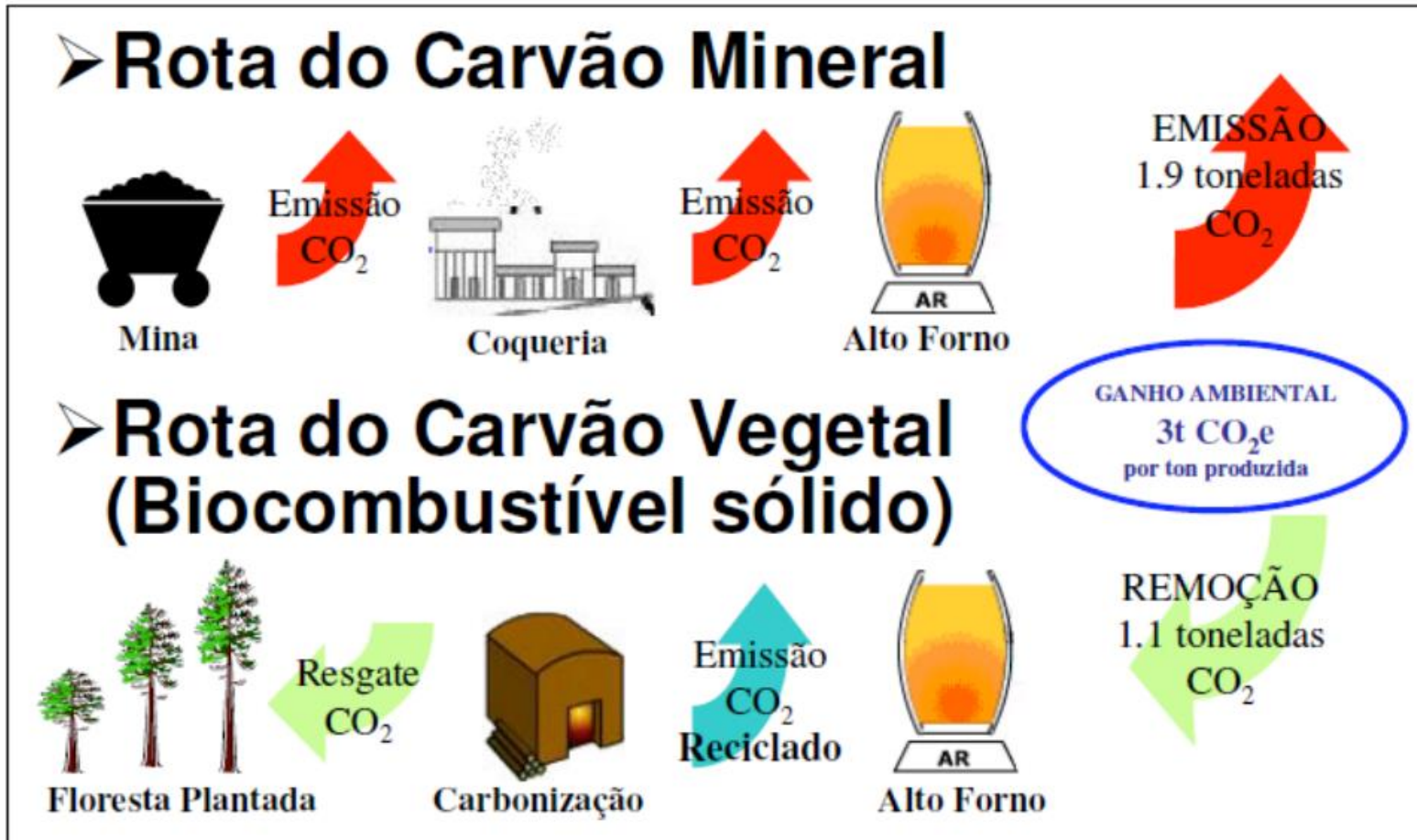
Fluxograma simplificado de produção de aço.





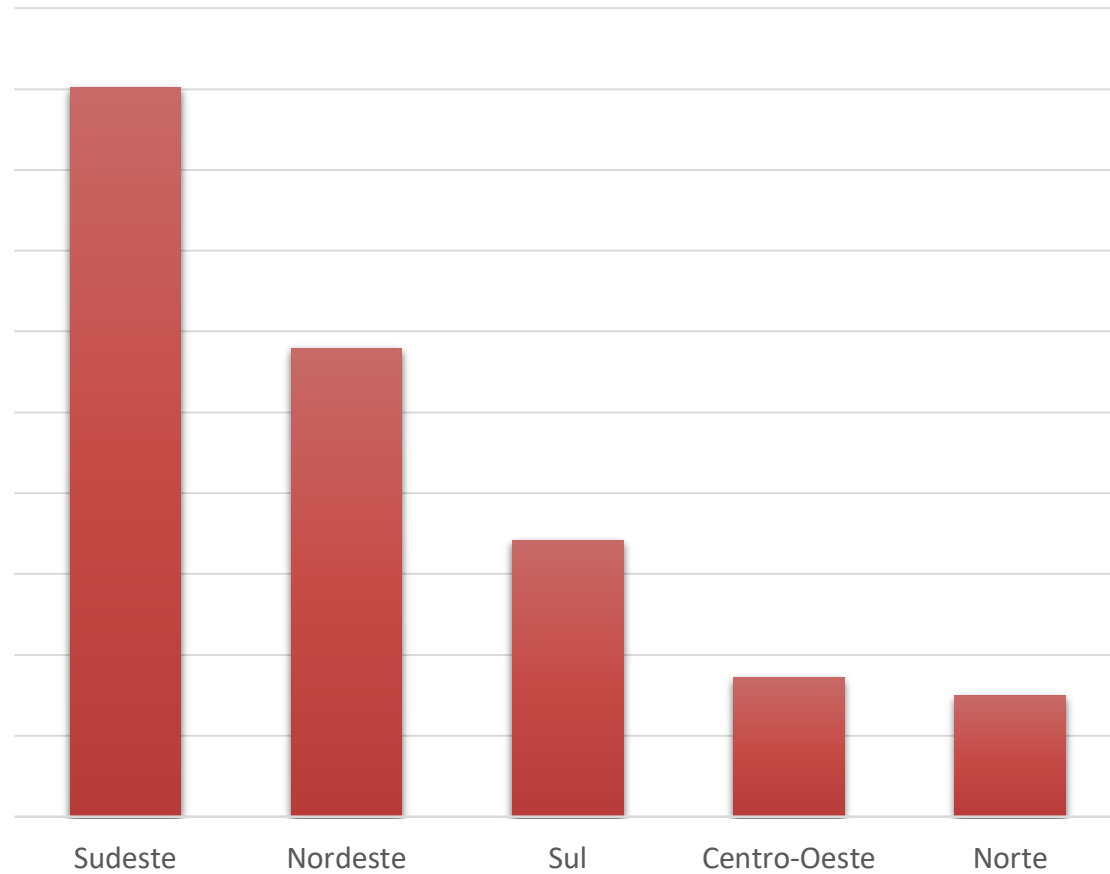
# O setor industrial

Redução de emissões de CO<sub>2</sub> pelo uso de carvão vegetal em siderúrgicas

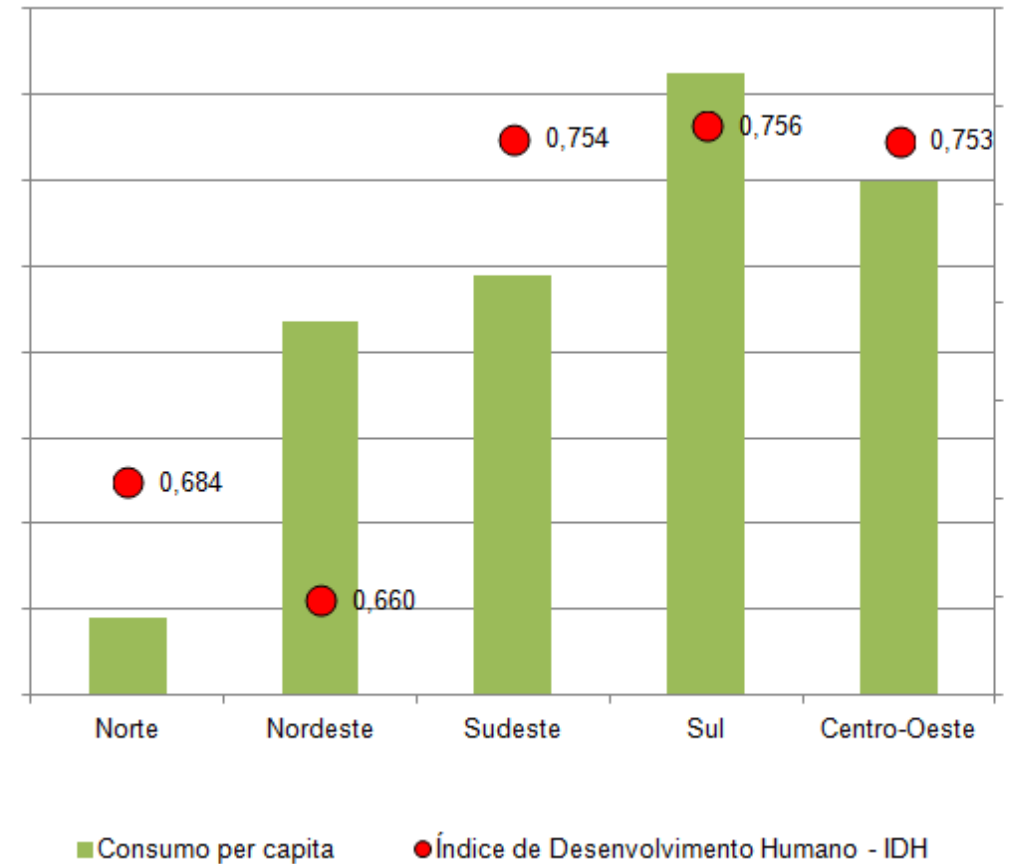


# Setor residencial

Consumo residencial de carvão vegetal nas regiões brasileiras em 2016.



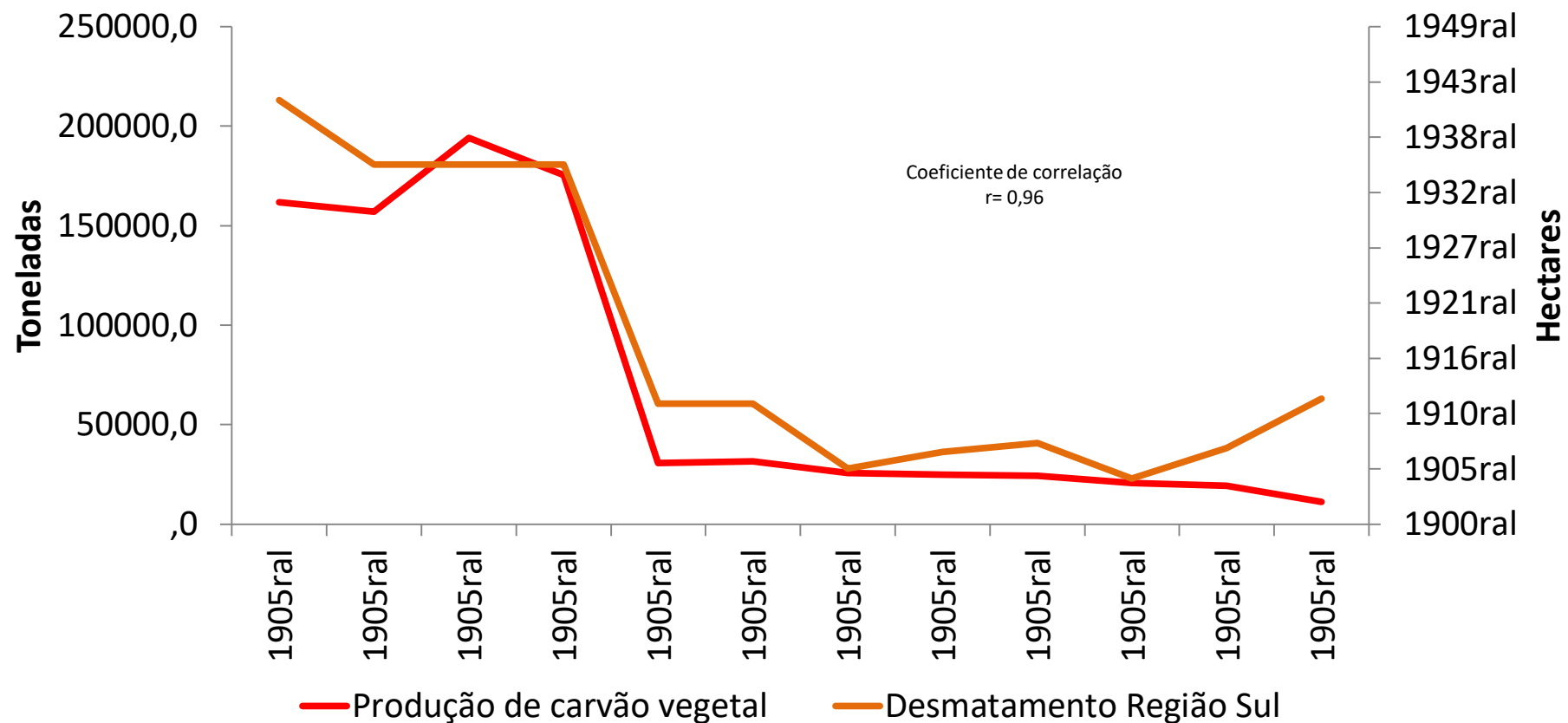
Relação entre consumo per capita de carvão vegetal (em tep/pop) e o índice de desenvolvimento humano (IDH) nas regiões brasileiras.



Fonte: Elaboração própria com base em dados de (MMA, 2017) e (PNUD; IPEA; FJP, 2013).

# Setor residencial na região Sul

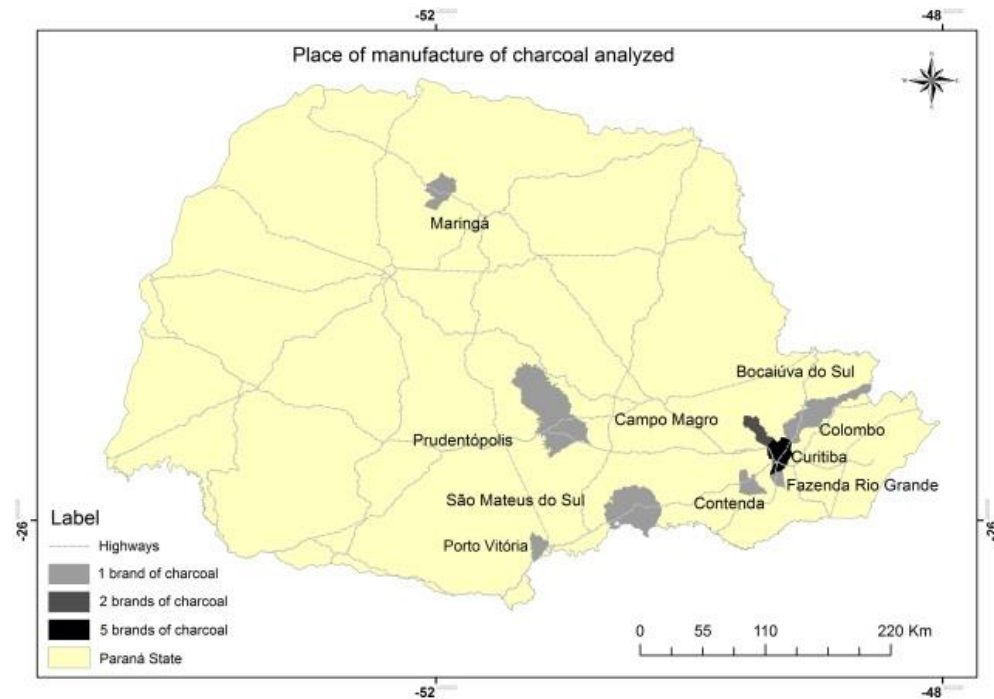
Produção de carvão vegetal por extrativismo e desmatamento médio (por períodos) do Bioma Mata Atlântica na região Sul do Brasil.



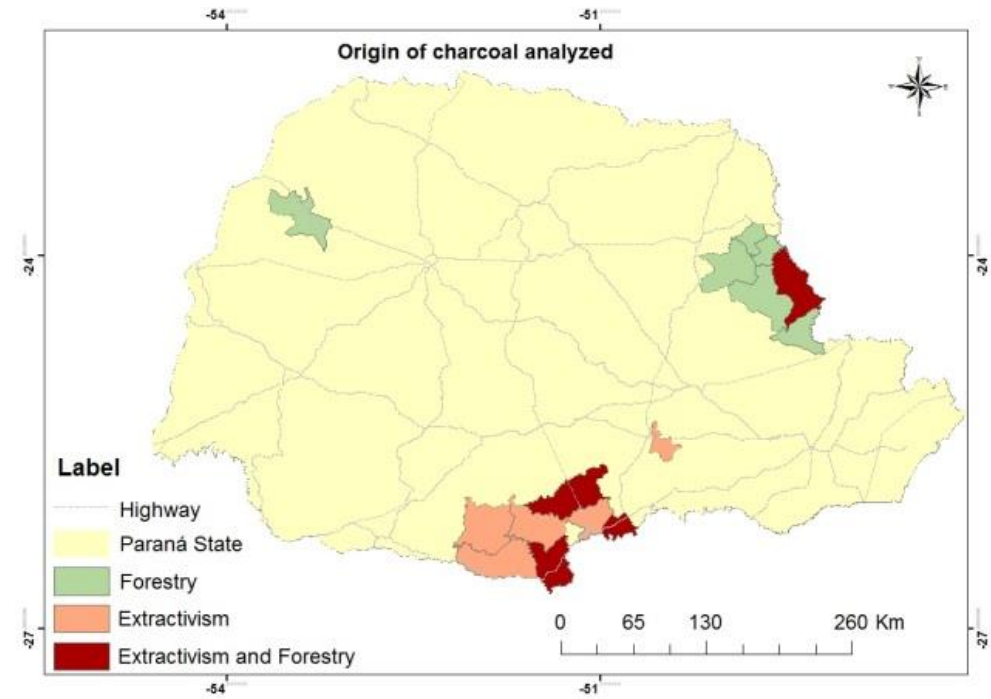
Fonte: Elaboração própria por dados de (IBGE, 2015) e (SOSMA E INPE, 2014). Obs: O Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica (2017) fornece dados do desmatamento do bioma em períodos de tempo, por isso alguns valores entre anos são constantes, pois se refere a valores médios entre períodos fornecidos.

# Setor residencial na Região Sul

Local de fabricação descrita na embalagem do carvão vegetal paranaense.

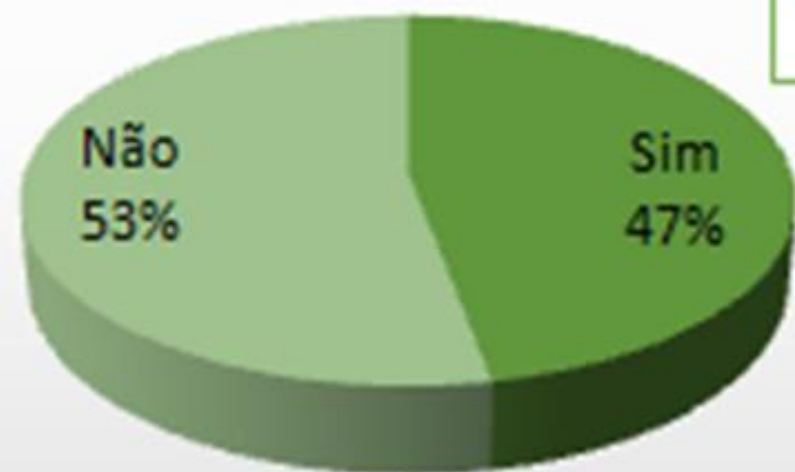


Maiores produtores de carvão vegetal por extrativismo e por florestas plantadas no estado do Paraná.



Fonte: Elaboração própria a partir de dados de Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (IPARDES, 2015)

## Presença de tiços e/ou impurezas



7 marcas

Selo Premium  
Ausência de tiços e impurezas



# Setor residencial na região Sul

**Tabela 2.** Resumo dos principais estudos brasileiros sobre qualidade de carvão vegetal para uso doméstico.

AUTOR	CIDADES ESTUDADAS	ESTADO	QUALIDADE
(BRAND et al., 2015)	Lages, Urubici, Campo Belo do Sul, Capão Alto, Cerro Negro, Anita Garibaldi e Curitiba	SC	Baixa
(OLIVEIRA et al., 2015)	Palotina, Altônia, Toledo e Ouro Verde do Oeste	PR	Baixa
(ANATER, 2017)	Curitiba	PR	Baixa
(GARCIA et al., 2017)	Itapeva	SP	Baixa
(ROSA et al., 2012)	Alegre, Jerônimo Monteiro e Cachoeiro do Itapemirim	ES	Regular
(COSTA et al., 2017)	Cuiabá	MT	Regular
(CARVALHO, 2013)	Biguaçu	SC	Boa
(BASSO, 2017)	Região dos Campos Gerais	PR	Boa



# Produção de carvão vegetal no Brasil: Principais tecnologias

- O sistema de produção de carvão vegetal pode ser contínuo ou descontínuo. Os sistemas descontínuos são mais empregados enquanto os processos contínuos possuem maior eficiência, porém, devido ao alto custo e elevada sofisticação tecnológica, são pouco aplicados (NOGUEIRA; LORA, 2003).
- Os fornos variam de acordo com a finalidade do carvão vegetal, custo de mão de obra e de construção, facilidade de condução de processo de carbonização, entre outros fatores.

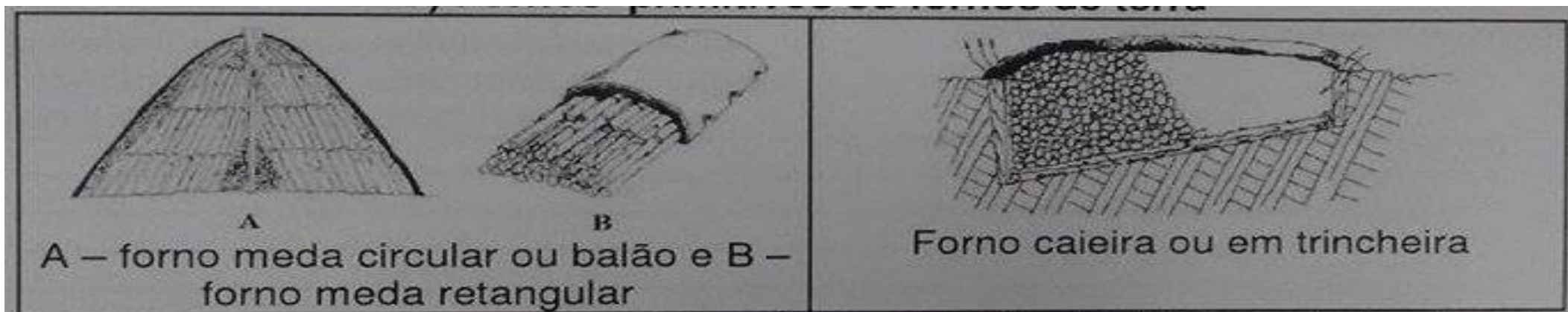
Exemplo de fornos do tipo de rabo-quente e retangulares.



# TIPOS DE FORNOS

## Fornos primitivos ou de terra

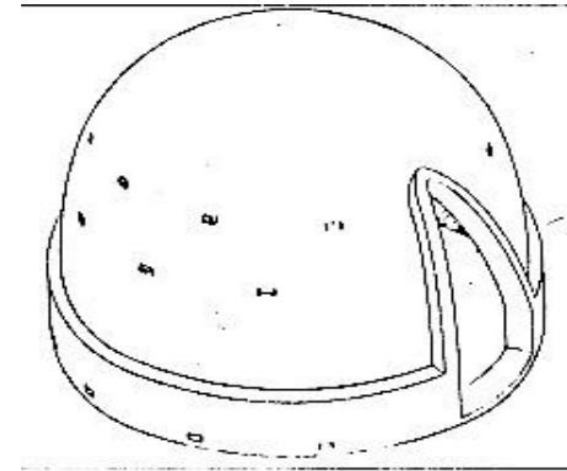
- Possuem um baixo custo de implantação
- Baixo rendimento
- Difícil condução da carbonização
- Intensivo uso de mão de obra
- Contaminação de carvão com terra.



# TIPOS DE FORNOS

## Forno de superfície rabo quente ou meia laranja:

- Mais comum e o mais usado no Brasil;
- Rendimento máximo 30% (20 a 25%).
- Característica :várias fissuras para a entrada de ar.
- A sua capacidade volumétrica 9 m<sup>3</sup> (mais usual no Brasil), até 50 m<sup>3</sup>



# TIPOS DE FORNOS

## Forno Mineirinho

- Versão melhorada do rabo-quente.
- Entradas de ar são substituídas por uma chaminé.
- Aumenta o controle da carbonização.
- Rendimento máx 40% (30-35%).



Fonte: Pinheiro (2009)



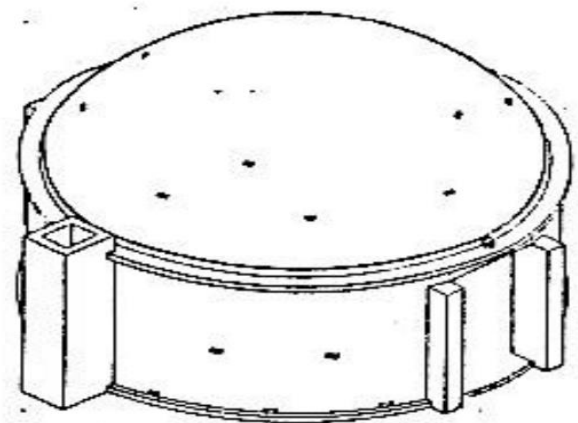
# TIPOS DE FORNOS

## Forno de superfície colmeia:

- Ciclo total de 10 dias;
- Indústrias de ferro gusa.
- Menor exploração de mão –de-obra (siderúrgicas);
- Carvão de plantios.
- Rendimento máx de 35% (25 – 30%).



Fonte: Pinheiro (2009)

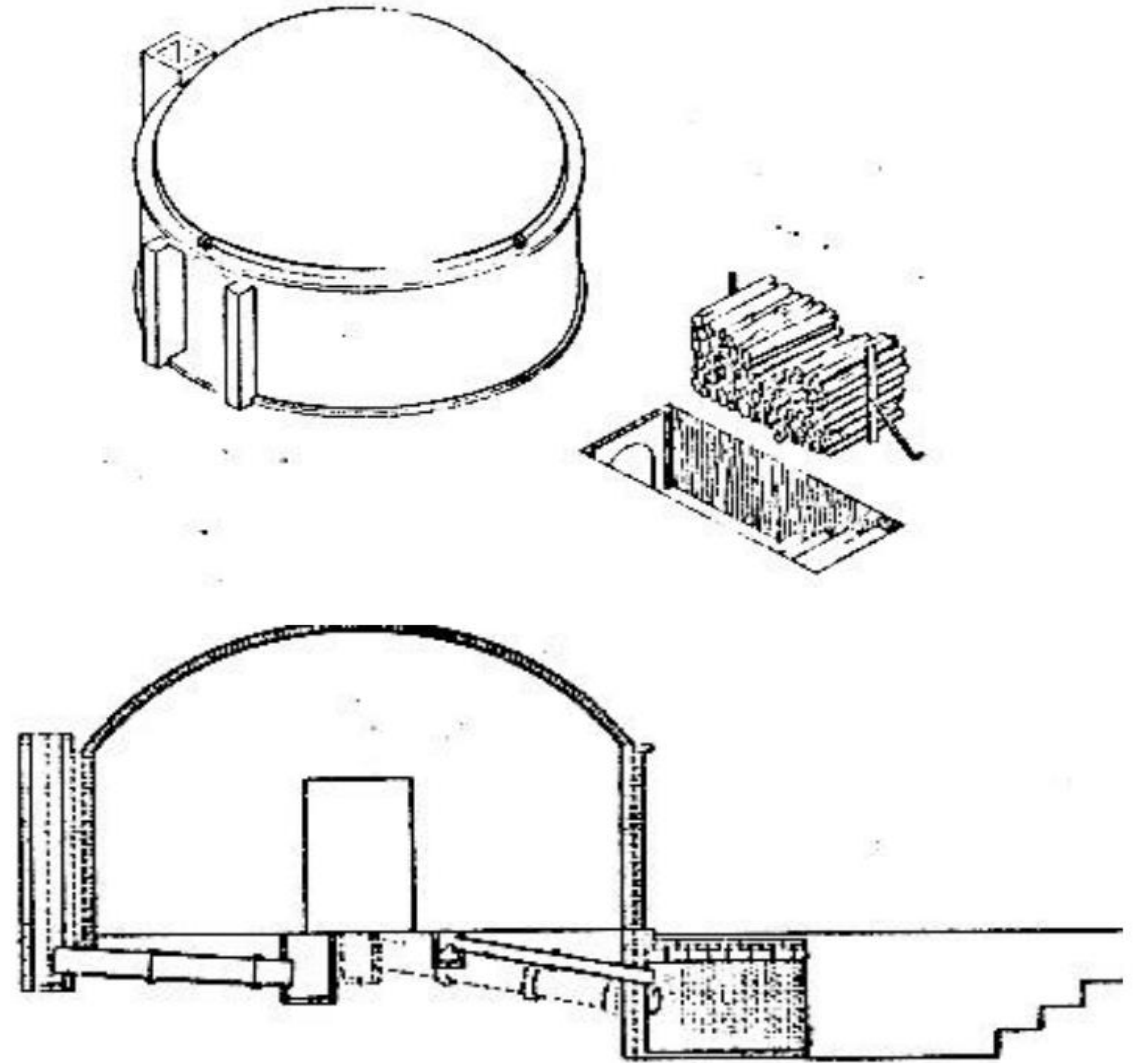


Fonte: FCTMG (1982).

# TIPOS DE FORNOS

## Forno de superfície com câmara de combustão externa:

- Adaptação do forno colmeia.
- Produtividade 30% maior.
- A câmara é mantida acesa durante todo o processo de carbonização.
- A carbonização é conduzida mediante o controle da combustão na câmara, não havendo necessidade de orifícios no corpo do forno para a entrada de ar.
- Quando comparada à produtividade do forno colmeia convencional, é 30% mais elevada.



Fonte: FCTMG (1982).



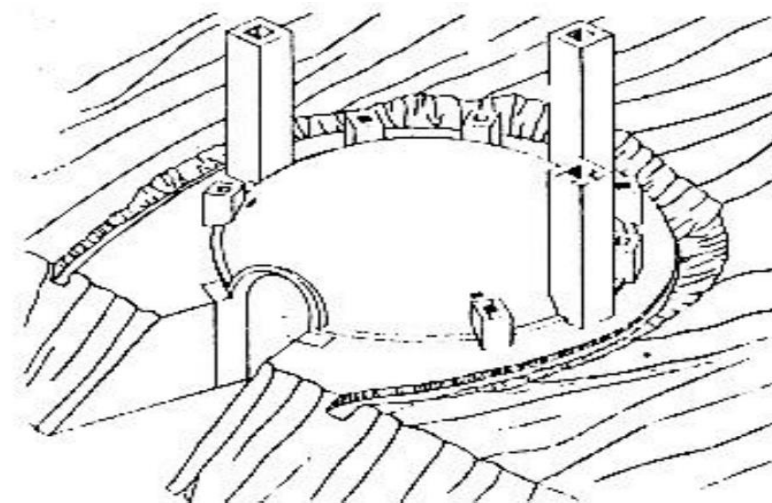
# TIPOS DE FORNOS

## Forno de encosta ou baranco (superfície):

- Construído em terreno firme e acidentado.
- Baixa capacidade de carga e lento resfriamento.
- Ciclo total de 10 dias,
- Rendimento máximo de 35%, (25 e 30%).



Fonte: Pinheiro (2009)



Fonte: FCTMG (1982).

# TIPOS DE FORNOS

## Forno convencional retangular

- Mecanização parcial;
- Comporta grandes quantidades de matéria-prima.
- Rendimento de 27%;
- Ciclo de carbonização- 12- 15 dias.
- Fornos de grande capacidade volumétrica;
- Podem possuir sistema de recuperação de alcatrão.

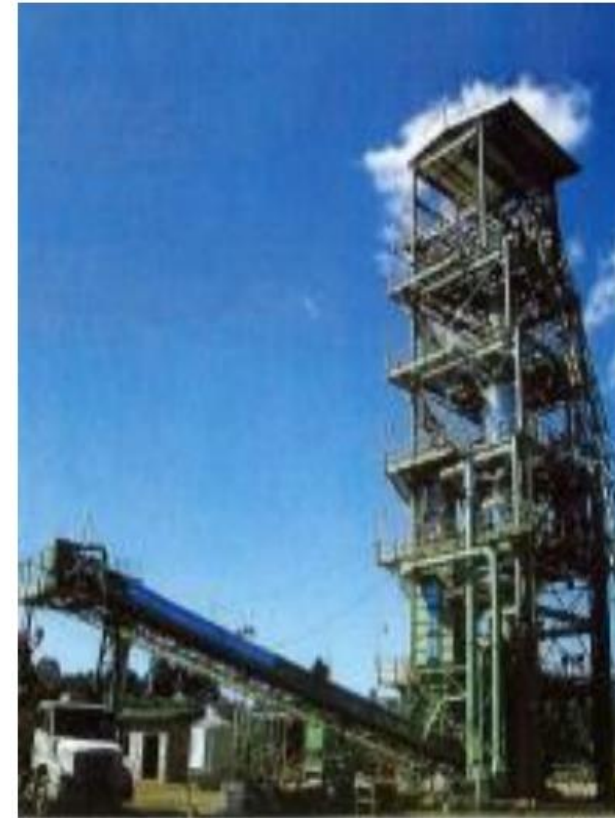
MIRANDA (2013).



# TIPOS DE FORNOS

## Forno metálico do tipo retorta

- Construído com chapas metálicas;
- Grande capacidade (escala industrial);
- Fonte externa de calor.
- Rendimento de 30%.
- Custo elevado.
- Carbonização contínua.
- Alta qualidade de carvão vegetal gerado.
- Utiliza queima dos gases gerados no processo para a produção de calor.

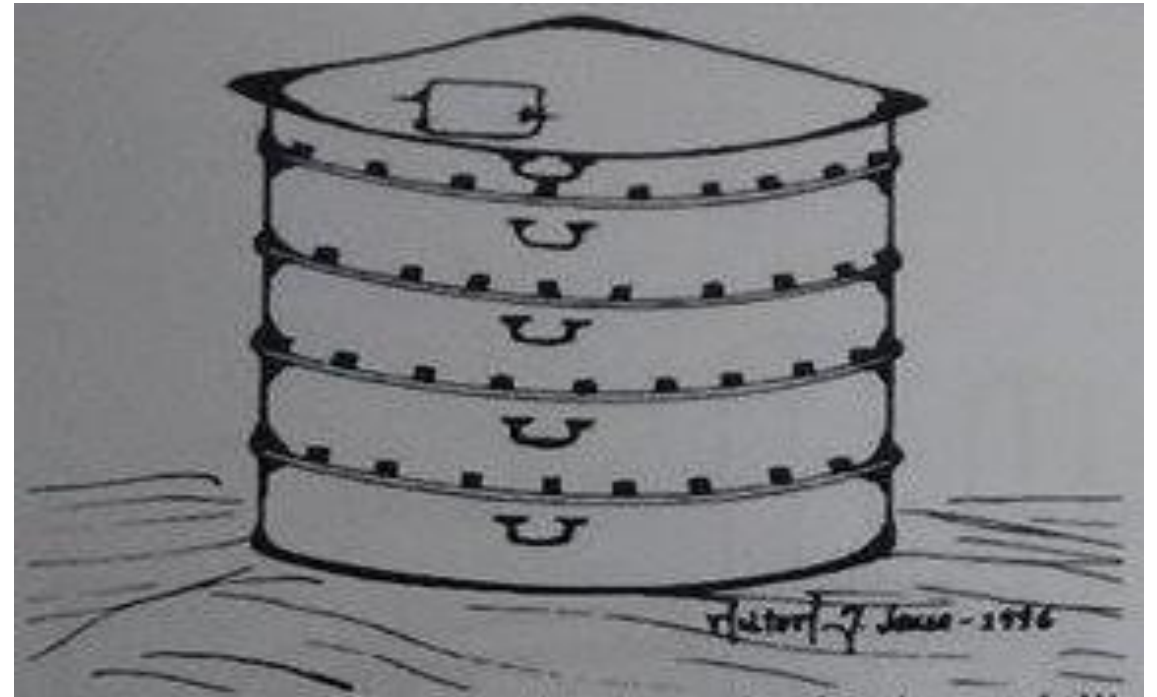


Fonte: Pinheiro (2009)

# TIPOS DE FORNOS

## Forno metálico de batelada (portátil):

- Grande perda de calor, forma cilíndrica de aço e portátil.
- Ciclo completo de carbonização de 5 dias.
- Baixo rendimento.



Fonte: FCTMG (1982).



# Novas tecnologias

Entre os reatores de carbonização inovadores recentes, encontra-se o **processo DPC (Dry-Pirolysi- Carbonization)**, ainda em fase de comprovação na escala industrial.

Vídeo: <https://www.youtube.com/watch?v=2tCeW2cWhc8&list=PLkfTez9s7xVVqgl6T221rJc8gsxaxr2QW&index=2>

Resumo de informações de alguns fornos para produção de carvão vegetal

Parâmetro	Unidade	Tipo de forno				
		Rabo- quente	Retangular	Bricarbrás	DPC	Ondatec
Capacidade de produção	t/forno/ano	4	875	600	1000	3000
Investimento	R\$/t/ano	-	238	532	334	700
Rendimento gravimétrico (carvão vegetal)	%	24-29	35	35	40	40
Ciclo de produção	Horas	168	312	24	72	3

Devido aos altos custos de investimentos, esses fornos possuem ainda pouca adesão no cenário brasileiro

# RESUMINDO

## PEQUENOS PRODUTORES

- Produção tradicional;
- Lenha de florestas nativas;
- Baixa eficiência;
- Baixa qualidade;
- Fornos de fácil construção com baixo rendimento;
- Sem coleta de materiais voláteis.
- Sem acesso a avanços tecnológicos;
- Mão de obra com baixa qualificação;
- Muitas vezes, não possuem acesso às leis trabalhistas.

## GRANDES PRODUTORES

- Produção moderna;
- Lenha de floresta plantada;
- Lenha mais homogênea;
- Fornos de maior capacidade, podendo ou não possuir coleta de materiais voláteis;
- Acesso as tecnologias;
- Mão de obra mais qualificada;
- Rígidas fiscalizações;
- Maior eficiência produtiva.



# Conclusões

- O Brasil tem lugar de destaque na utilização de biomassa sólida para uso energético.
- Há alta capacidade de expansão de produção e de uso biomassa assim como de aproveitamento de resíduos (madeireiros, agrícolas e urbanos).
- Tecnologias aperfeiçoadas: necessárias para expansão e uso eficiente de biomassa sólida.



# Obrigada!

*Mônica Joelma do Nascimento Anater*

[anater@usp.br](mailto:anater@usp.br)