



Bases conceituais da ação do calor na madeira

Patrick Rousset, Cirad/SFB



Há 750.000 anos, homens pré-históricos reuniram-se ao redor do fogo, próximo a um lago no Oriente Médio, para fabricar armas e cozinhar alimentos. Tratava-se da mais antiga utilização do fogo na Europa e na Ásia



Homo erectus durcit sur les braises la pointe d'un épieu (Fonte <http://prehisto.ifrance.com/feu.htm>)

Il y a 750.000 ans, des hommes préhistoriques se réunissaient autour d'un feu, à proximité d'un lac du Moyen-Orient, pour fabriquer des armes et faire cuire de la nourriture. Il s'agirait de la plus ancienne utilisation du feu en Europe et en Asie.

1930/40

Na área energética a torrefação iniciou-se já no século XX na França, em especial no final da década de 1930 e início da década de 1940, período da Segunda Guerra Mundial, quando foram propostos diferentes processos de obtenção de combustíveis torreficados, como alternativa aos derivados do petróleo

1940

← Dupont : Le bois carburant. In: forestiers SNdeàludc, editor. Le bois carburant; 1941, p. 19.

Ao final da guerra a distribuição do petróleo na Europa se estabilizou e as tecnologias alternativas foram aos poucos abandonadas

1945

← Stamm AJ. Heat-stabilized wood. Industrial and engineering chemistry 1946;38:630.

1961

← Cheffer TC, Eslyn WE. Effect of heat on the decay resistance of wood. Forest products journal 1961;46:485.

1970/80

uma nova crise dos preços do combustível fóssil na década de 1970 e 1980, estimulou o avanço na pesquisa e desenvolvimento de fontes renováveis de energia.

1982

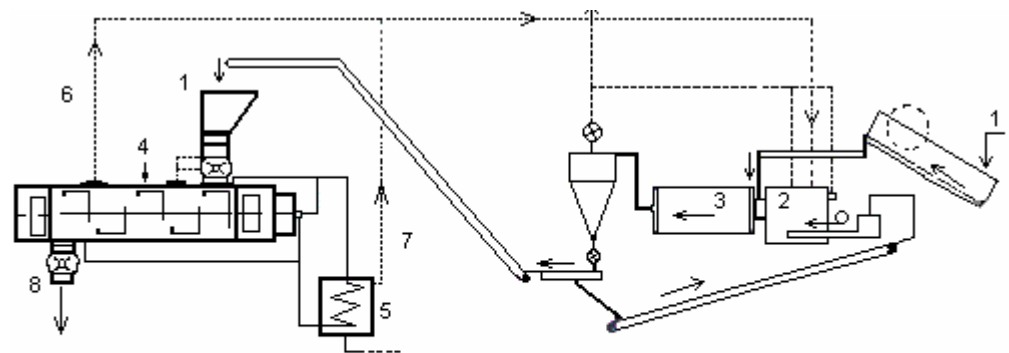
← Schowb Y, Bourgeois J. Le bois torréfié, réducteur d'avenir? Economie et forêt 1982;xxxiv:419.

1985

← Doat J. Le bois torréfié. Bois et Forêts des Tropiques 1985;208.
Bourgeois J, Guyonnet R. Torrefied Wood from Temperate and Tropical Species. In: Egneus H, editor. Biomass 84: Elsevier; 1985.

1991

← Girard P, Shah N. Developpement of torrefied wood, an alternative to charcoal for reducing deforestation. Tecnical Series 1991;20:101.



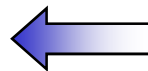
Planta de torrefação da PECHINEY Eletrometalurgia (fonte Cirad).

- 1. Alimentador de madeira
- 2. Caldeira
- 3. Secador
- 4. Forno de Torrefação
- 5. Caldeira
- 6. Reciclagem de gás da torrefação
- 7. Reciclagem de gases quentes
- 8. Descarga de madeira torrificada

1985 -
2005

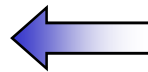
Paralelamente, os resultados das pesquisas mostraram algumas propriedades de grande interesse para a construção civil : o aumento da estabilidade dimensional, o aumento da resistência a ataques de organismos xilófagos (bactérias e fungos), a diminuição da higroscopicidade.

1993



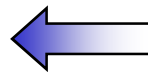
Contribution a l'etude des traitements thermiques du bois (20-300 C): transformations chimiques et caracterisations physico-chimiques. Saint-Etienne: Ecole nationale Superieure des Mines de Saint-Etienne; 1993, p. 237.

1998



BRE-CT-5006 EB. Upgrading of non durable wood species by appropriate pyrolysis thermal treatment.: EC-Industrial & Materials Technologies Programme (Brite-EuRam III),; 1998, p. 17.

2002



Militz H. Thermal treatment of wood: European processes and their background. In: Preservation TIRGoW, editor. The International Research Group on Wood Preservation-Document no IRG/WP 02-40241; 2002.

1985 -
2000

Desenvolvimento de processos de tratamento da madeira para uso na construção civil, desenvolvidos basicamente na Finlândia, França, Alemanha e Países Baixos



Processo Plato (Holanda)



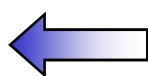
Processo Retitech (França)



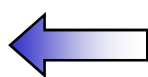
Fonte Spin

2000/09

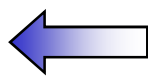
Nova estimulo na pesquisa e desenvolvimento de fontes renováveis de energia.

2002

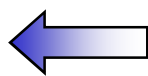
Lipinsky SE. Enhanced wood fuels via torrefaction. Fuel Chemistry Division Preprints 2002;47.

2005

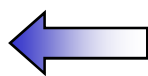
Bergman PCA, Boersma AR, Zwart RWR, Kiel JHA. Torrefaction for biomass co-firing in existing coal-fired power stations "BIOCOAL". Petten, Netherland: Energy research Centre of the Netherlands (ECN); 2005, p. 45.

2006

Prins MJ, Ptasinski KJ, Janssen FJJG. More efficient biomass gasification via torrefaction. Energy 2006;31:3458.

2007

Almeida G. Valorização energética de resíduos madeireiros mediante a termorretificação. Piracicaba: FAPESP; 2007, p. 57.

2006/09

Projeto Torbigap (Françes), Amazon (ANR/Finep)

Retificação: O processo de torrefação é um meio para a retificação (construção) ou melhorar as características físicas da madeira para a construção.

Redução: O alto teor de carbono fixo da madeira torrada apresenta potencialidade para ser aplicada como redutor na indústria eletrometalúrgica.

Combustível industrial : Pelas características da biomassa torrada esta apresenta-se como um ótimo combustível; outra alternativa é o uso na co-combustão com carvão mineral, o que proporcionaria benefícios ambientais pela redução de emissões de dióxido de enxofre.

Gaseificação e síntese de biocombustíveis de segunda geração : Devido ao alto grau de padronização da madeira torrada, o uso desta nos gaseificadores facilita a regulação e otimização destes.

Chips de madeira torrada antes da injeção em co combustão com carvão (Fonte Weinstein, 2006)



- Tratamento térmico se efetua em um intervalo de temperatura entre 200 e 300°C sem O₂
- Madeira torrificada = produto intermediário entre a madeira seca e o carvão

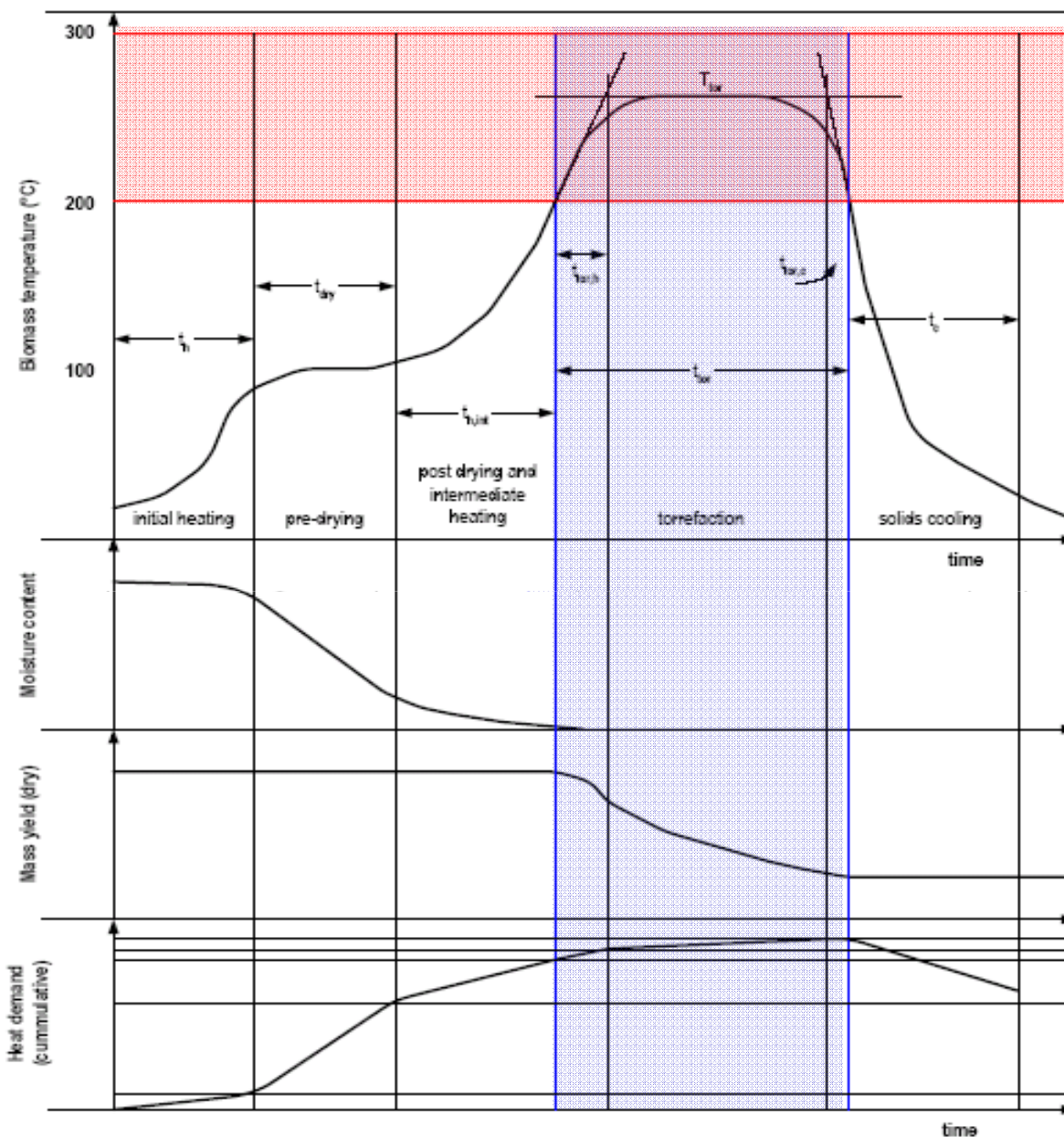
| Properties | unit | Wood Torrefied biomass | |
|---|-------------------|------------------------|------------|
| Moisture content | % wt. | 35% | 3% |
| Calorific value (LHV) | | | |
| as received | MJ/kg | 10,5 | 19,9 |
| dry | MJ/kg | 17,7 | 20,4 |
| Mass density (bulk) | kg/m ³ | 550 | 230 |
| Energy density (bulk) | GJ/m ³ | 5,8 | 4,6 |
| Pellet strength | | - | - |
| Dust formation | | moderate | high |
| Hygroscopic nature | | water uptake | hydrofobic |
| Biological degradation | | possible | impossible |
| Seasonal influences (noticable for end-user) | | high | poor |
| Handling properties | | normal | normal |

Temperatura

Umidade

Rendimento gravimétrico

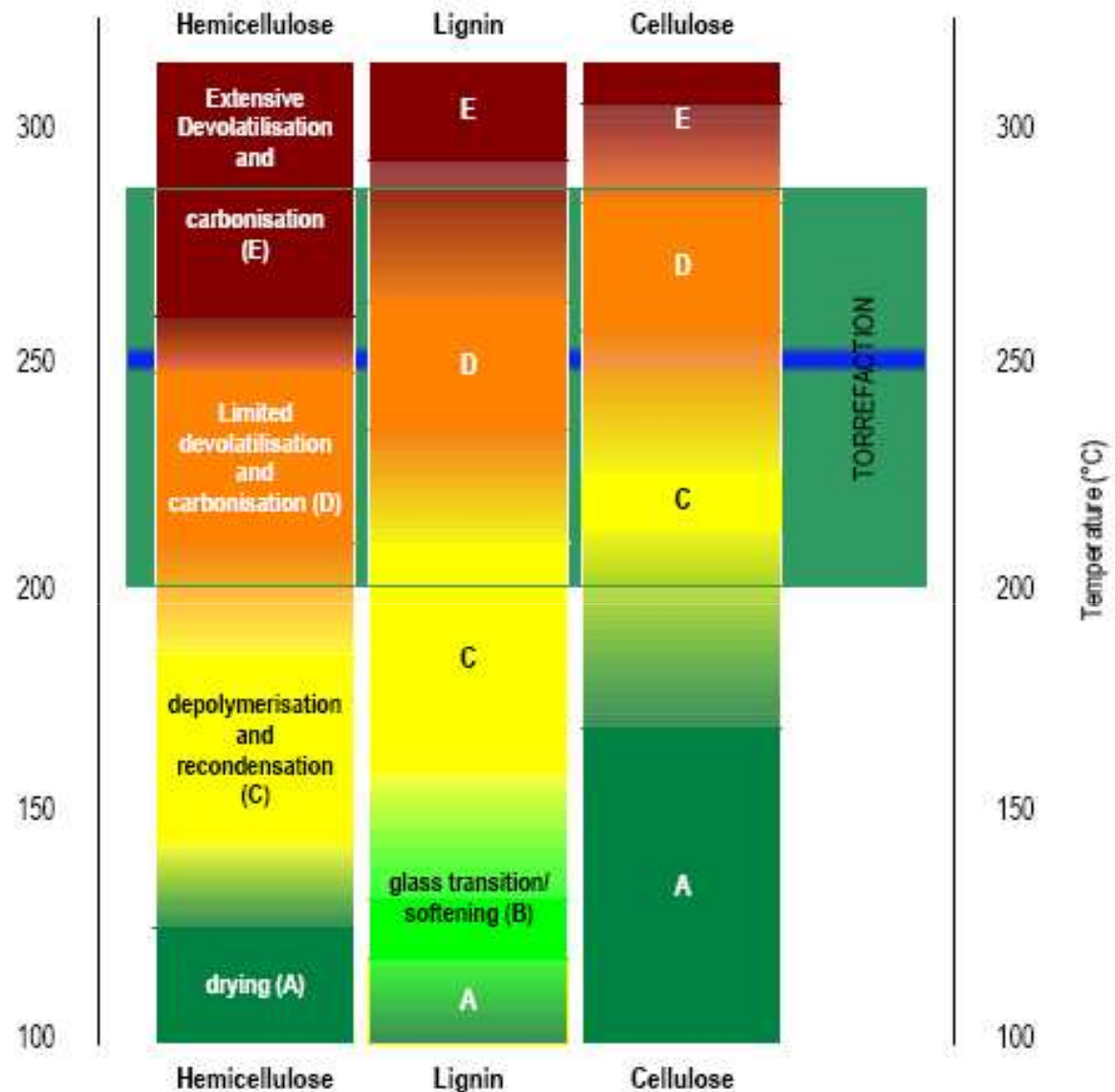
Energia de aquecimento



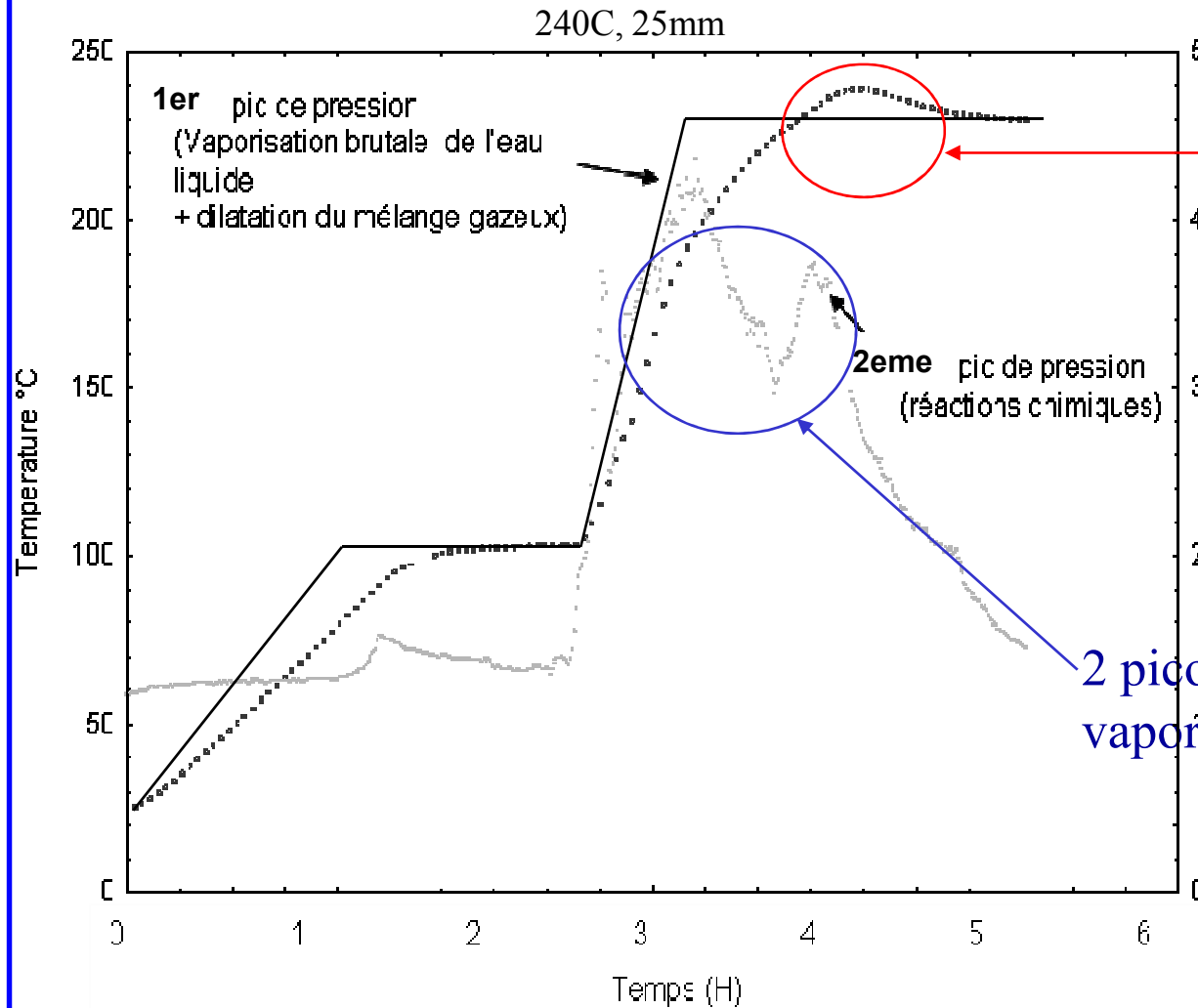
Evolução dos parâmetros durante a torrefação

A pirólise é um processo complexo com reações endo. e exotérmicas função das temperaturas

- A zona (A) = fase de secagem
- Quando $T \uparrow$, as reações mudam para as zonas (C) e (D) = fase de depolimerização/recondensação e devolatilização/carbonização
- Zona (E) = intensa devolatilização



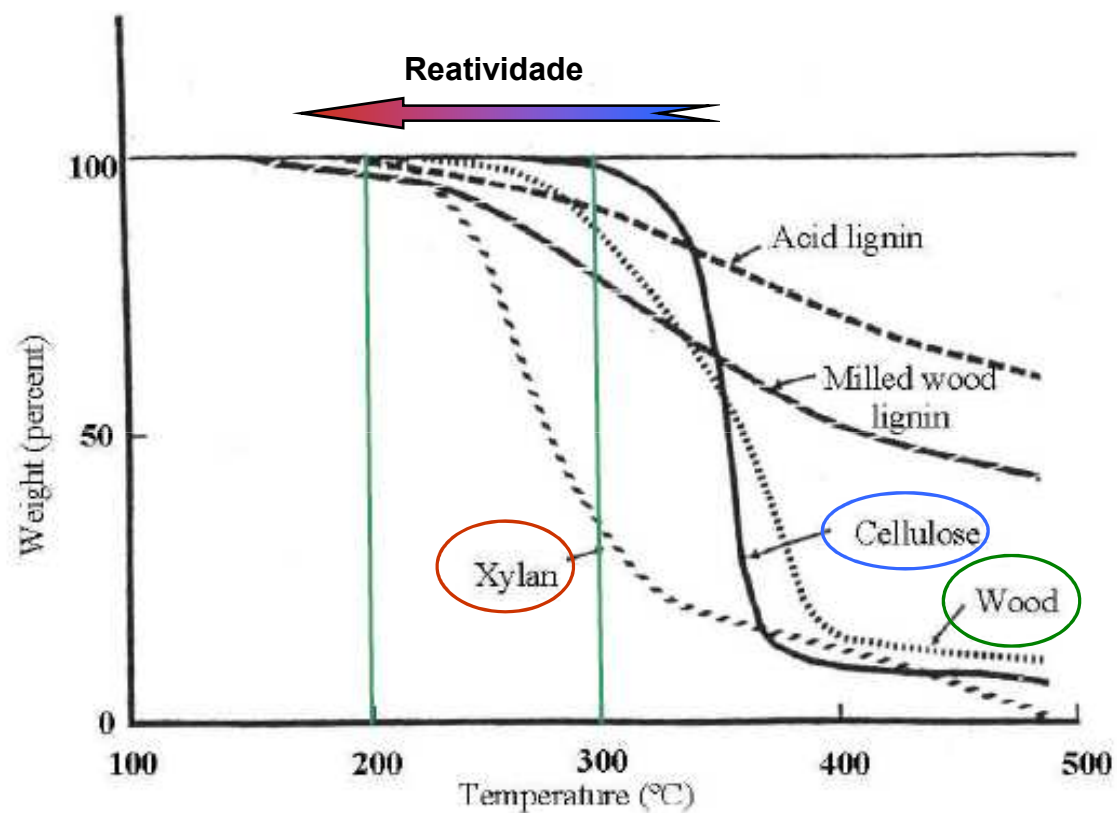
Fenômenos químicos dos componentes lignocelulósicos durante o tratamento térmico (Bergman, 2005)



(Fonte:Rousset, 2004)



ATG de Celulose, Hemicelulose, Lignina = madeira

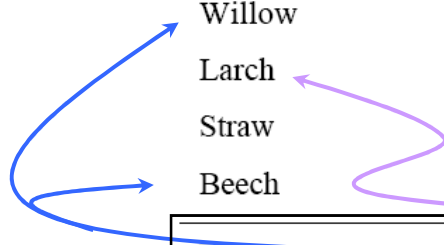


Os estudos mostram (Rousset, 2004) que a decomposição térmica da madeira será controlada pela reação mais lenta, a degradação da celulose.

Fonte: Shafizadeh, 1971

Função das composições tipos

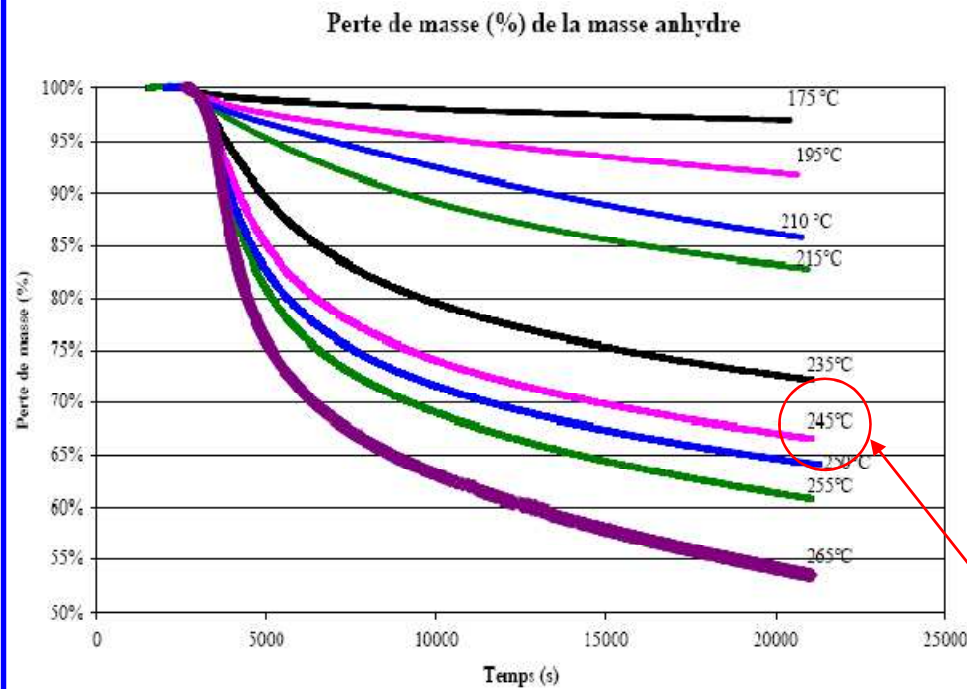
| Biomass | Lignin | Cellulose | Hemicellulose |
|---------|------------|------------|---------------|
| Willow | 25% | 50% | 19% |
| Larch | 35% | 26% | 27% |
| Straw | 14.2% | 34% | 27.2% |
| Beech | 11.6-22.7% | 33.7-46.4% | 17.8-25.5% |



| Polymer | Deciduous | Conifer |
|--|-----------|---------|
| Lignin (wt%) | 18-25 | 25-35 |
| Cellulose (wt%) | 40-44 | 40-44 |
| Hemicelluloses (wt%) | 15-35 | 20-32 |
| Composition hemicelluloses | | |
| 4-O methyl glucuronoxylan (wt%) | 80-90 | 5-15 |
| 4-O methyl glucuronoarabinoxylan (wt%) | <1 | 15-30 |
| Glucomannan (wt%) | 1-5 | 60-70 |
| Galactoglucomannan (wt%) | <1 | 1-5 |
| Arabinogalactan (wt%) | <1 | 15-30 |
| Other galactose polysaccharides (wt%) | <1 | <1 |
| Pectin (wt%) | 1-5 | 1-5 |

Hidrolise
C5
C6

Perdas de massa

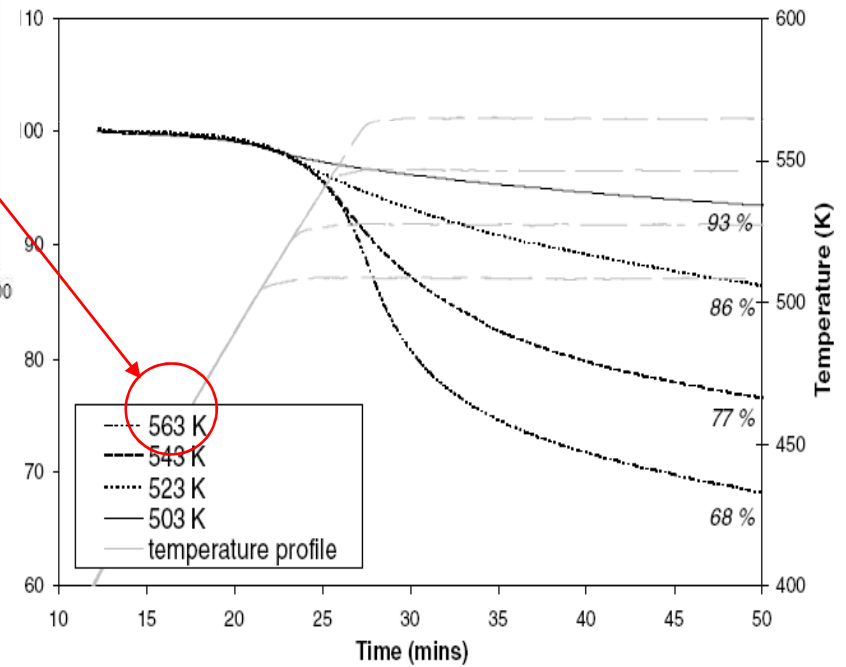


Perda de massa (*Fagus*) com ATG na atmosfera neutra (Rousset, 2004)

Rendimento 68% :

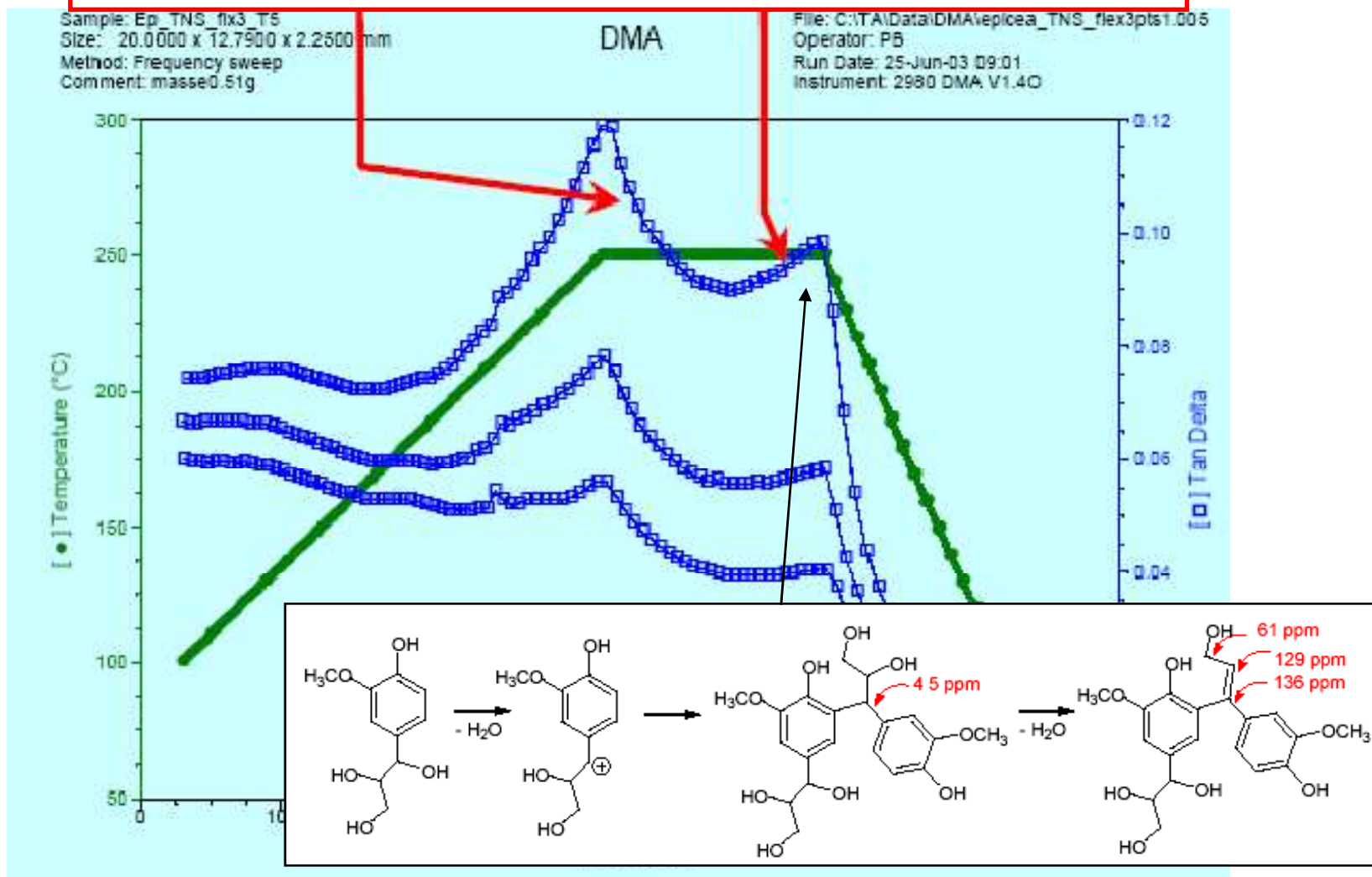
T.madeira (245°) < T.res.agricola (290°).

Exemplo de resultados em função do tipo de biomassa : madeira ou res.agricola.



Perdas de massa de « reed canary grass » com ATG (Bridgeman, 2008)

Degradação e re-estruturação das macromoléculas durante o tratamento térmico (DMA)



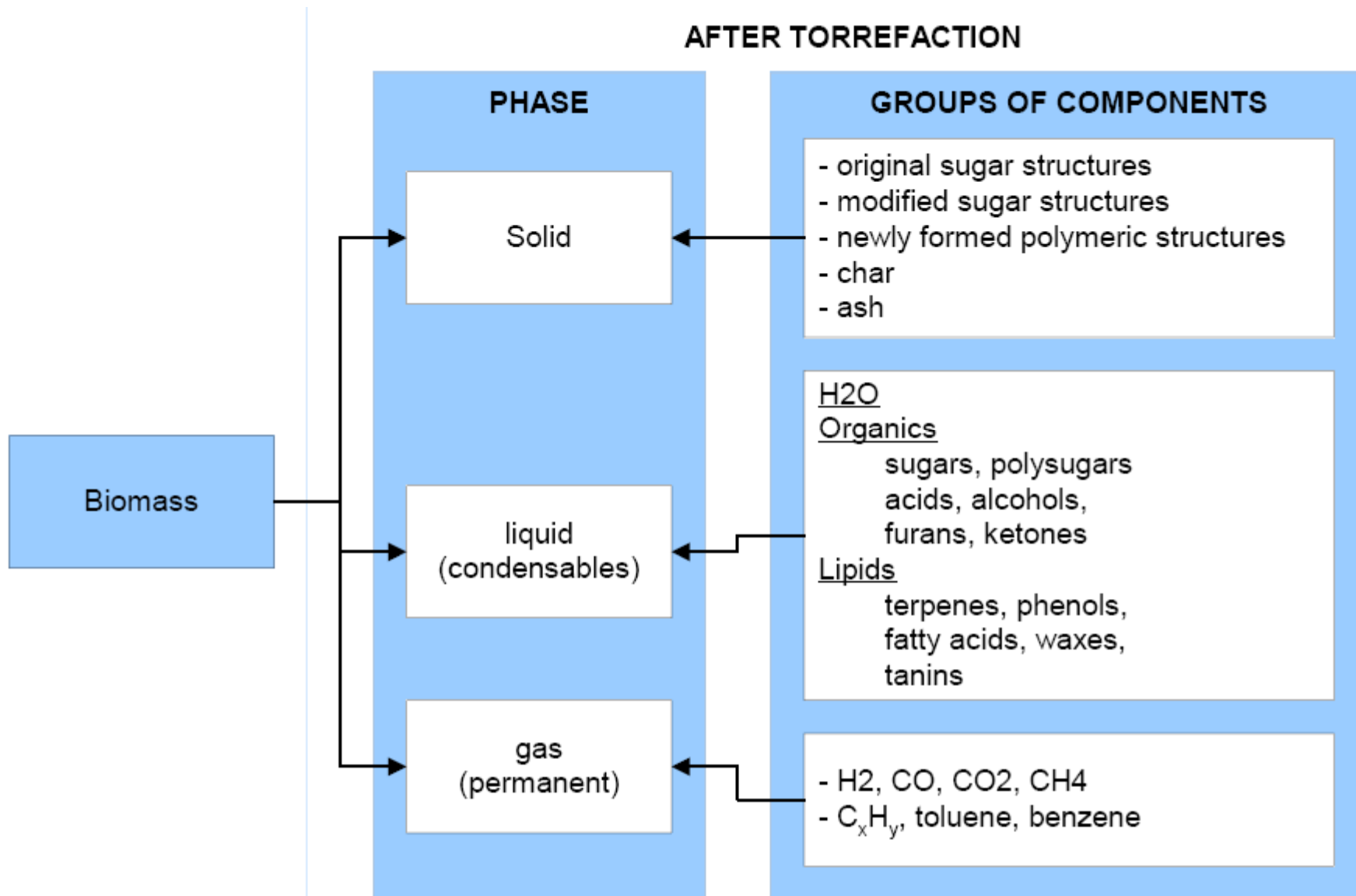
Perré, 2007

Chanrion, 2002

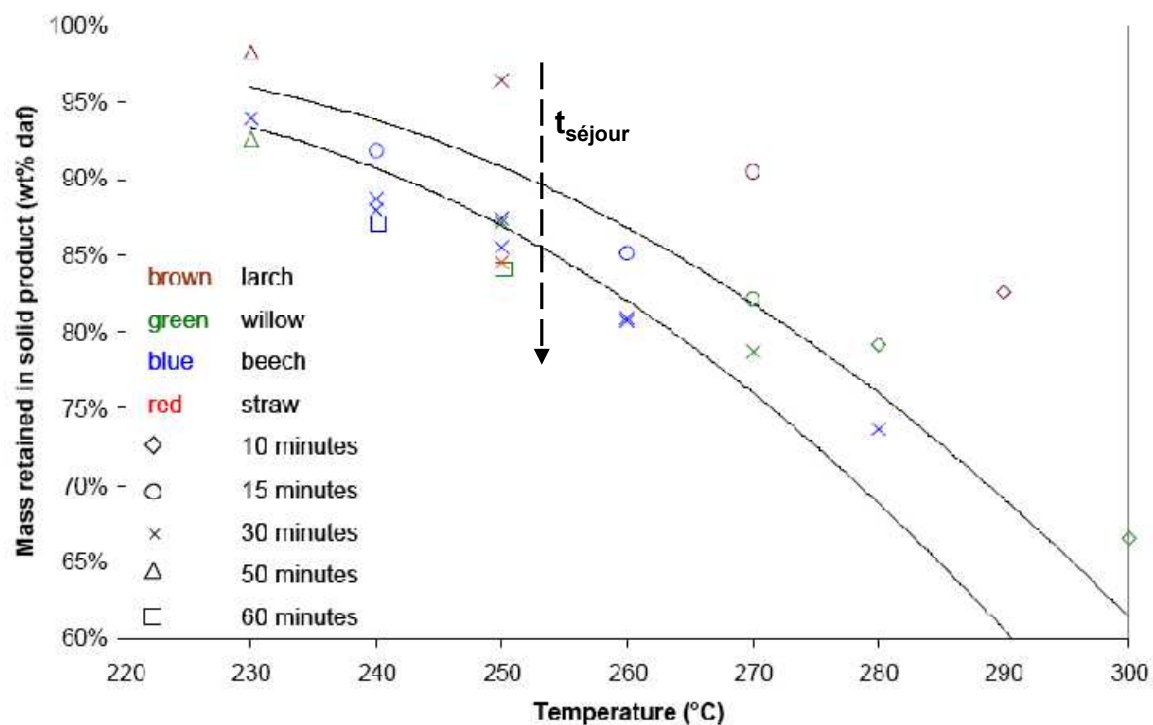
Se lembrar:

As modificações químicas devidas ao tratamento termico são:

- degradação das hemiceluloses explicando a estabilidade dimensional da madeira
- Reticulação das lignines. Algumas ligações químicas se formam entre as moléculas
- A celulosa é o componente mais estável



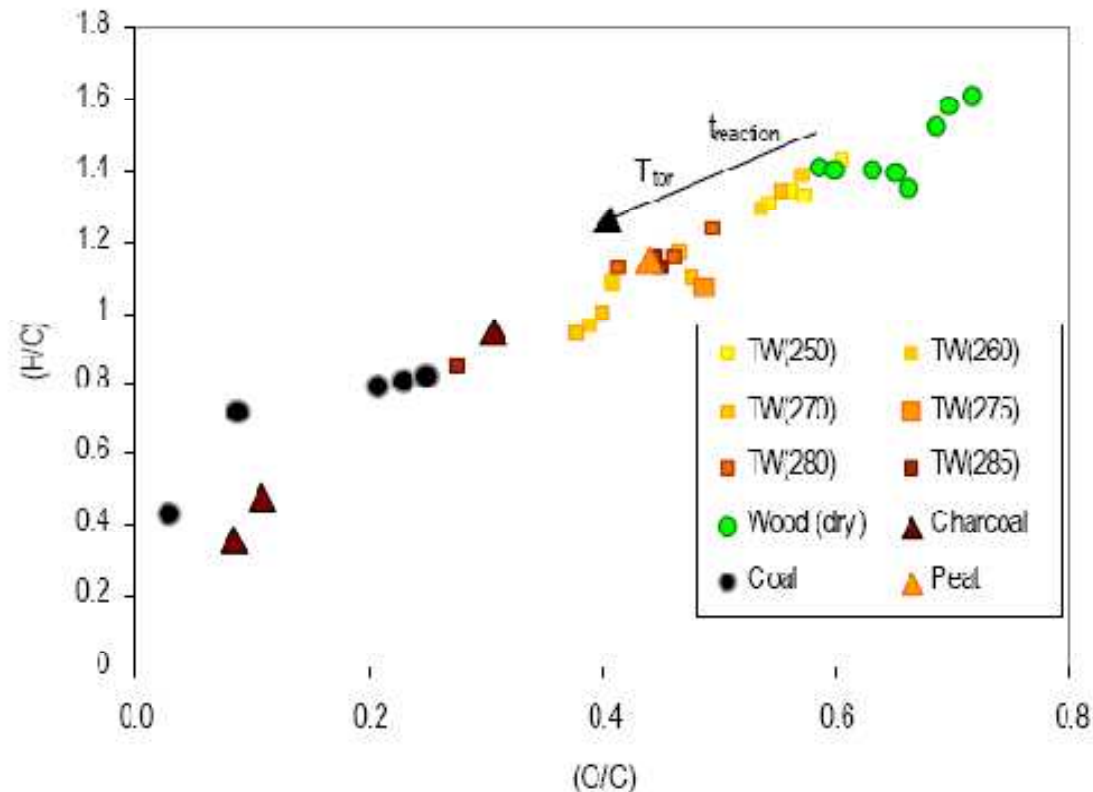
Resíduo sólido



Massa do residuo ↘ { Quando t(min) ↗
 { Quando T(°C) ↗

Produtos da torrefação

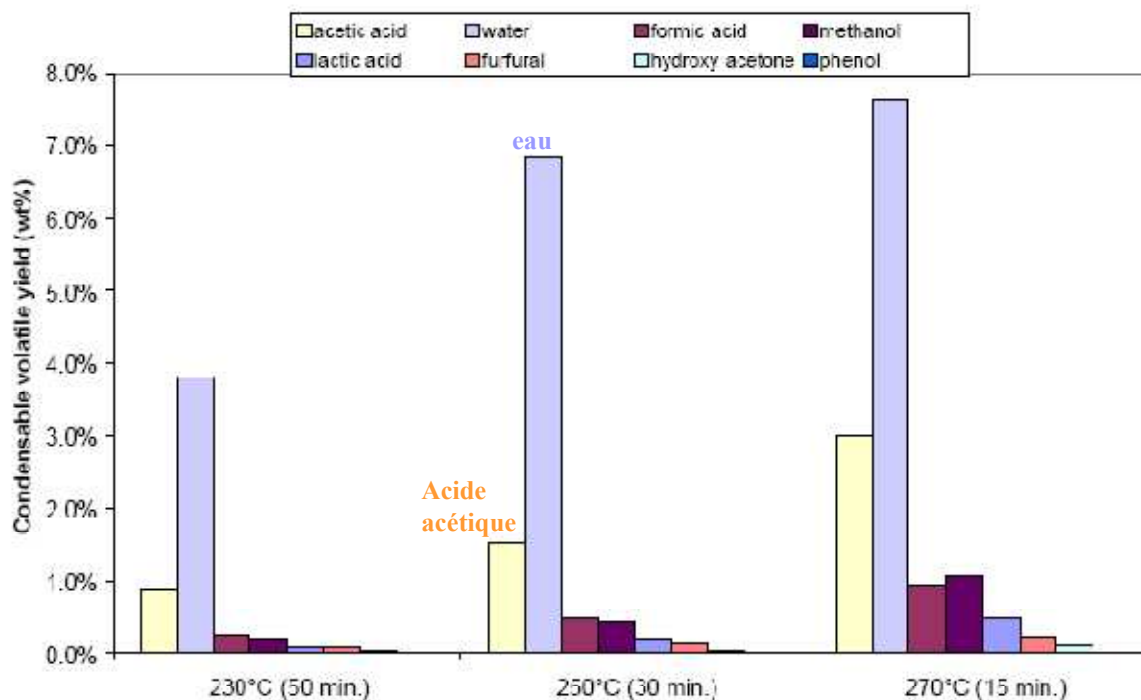
Resíduo sólido



Van Krevelen diagram for torrefied wood (TW) produced at different conditions, untreated wood, coal, charcoal and peat samples. Coal and peat data is taken from Ullmann (1999). Wood and torrefied wood from Bourgois and Doat (1984), Girard and Shah (1989) and Pentananunt et al. (1990)

Enriquecimento em carbono → Emissões de O e H > as emissões de C durante o processo (Fonte: Bergman, 2005)

Os condensáveis

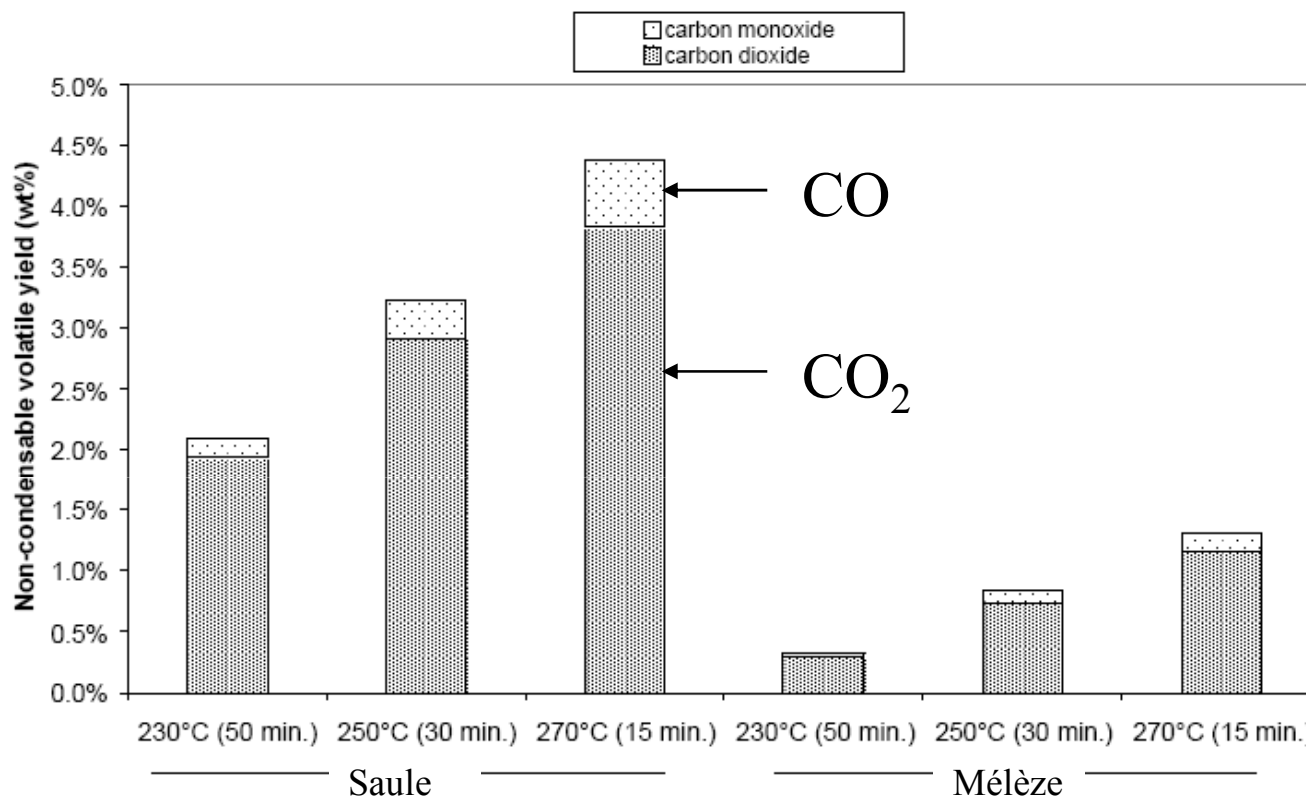


Product yields of condensable volatiles formed in torrefaction of willow at different conditions

(Bergman, 2005)

Massa de condensáveis ↗ com t°

Os incondensáveis



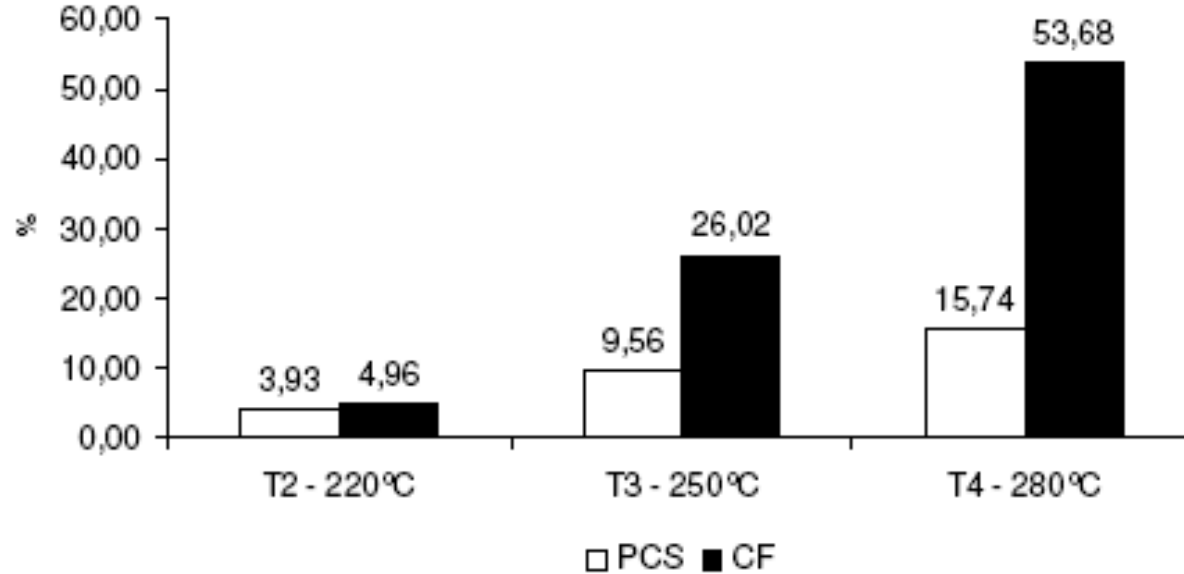
Product yields of non-condensable volatiles formed in torrefaction at different conditions, for willow and larch

(Bergman, 2005)

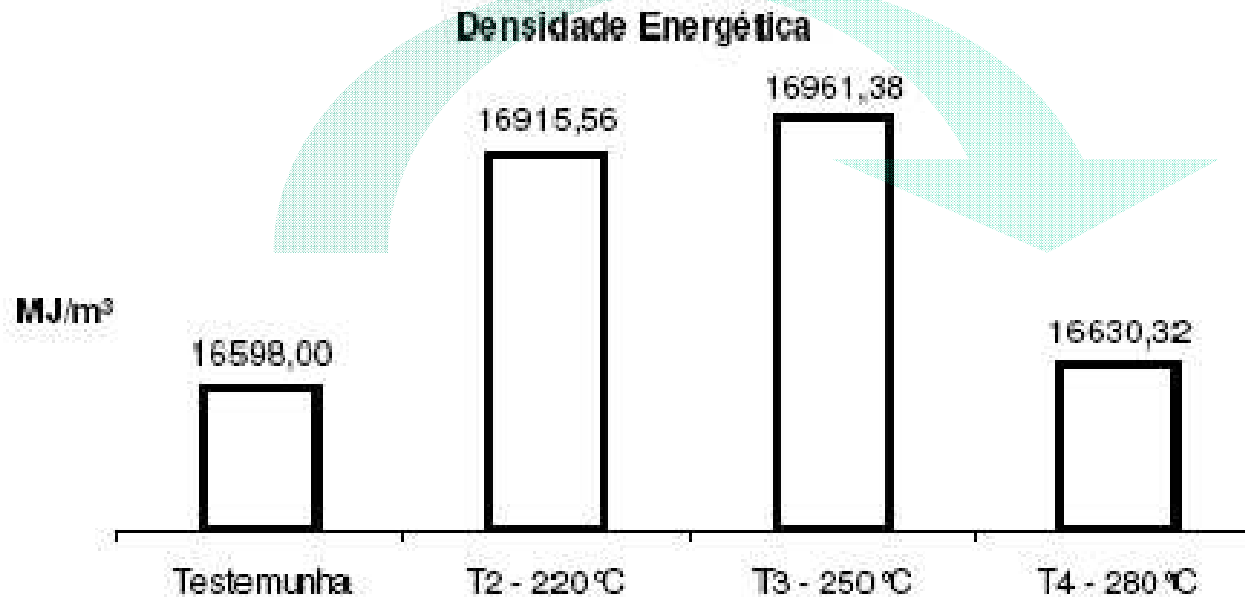
Essencialmente CO₂

Massa dos incondensáveis  com temperatura

Poder calorífico



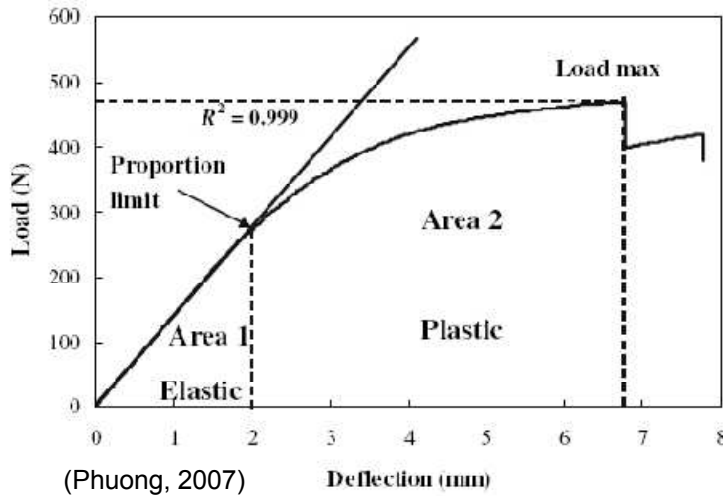
Ganhos percentuais em Poder Calorífico Superior e Carbono Fixo da madeira, de *Eucalyptus grandis* sob três tratamentos



Densidade energética da madeira de *Eucalyptus grandis* sob três tratamentos térmicos.

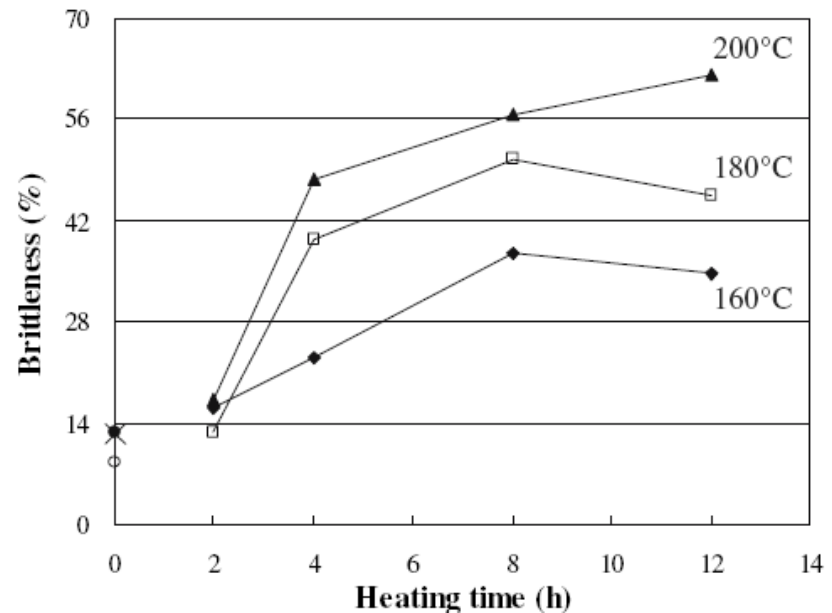
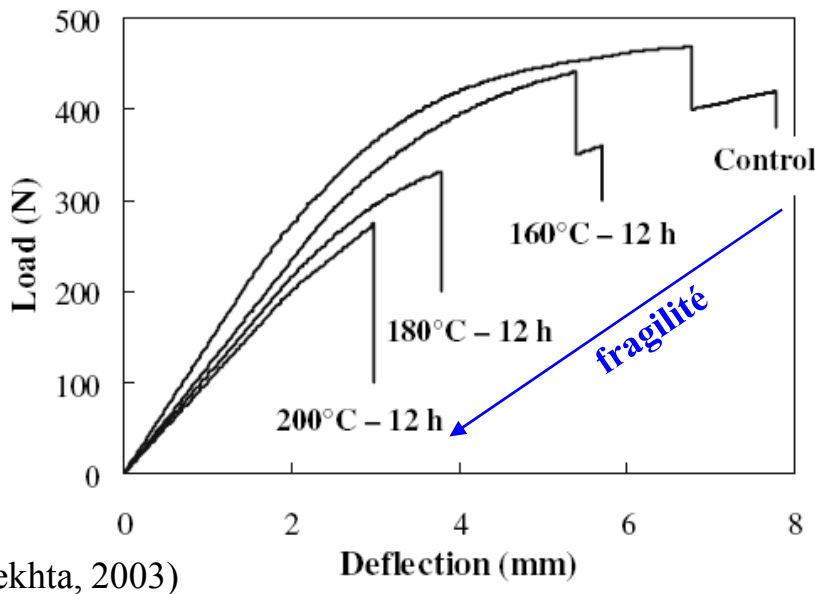
(Rodrigues, 2009)

- Não existe normas
- Geralmente medido pelo ensaio de compressão : ruptura da fibra em função da carga

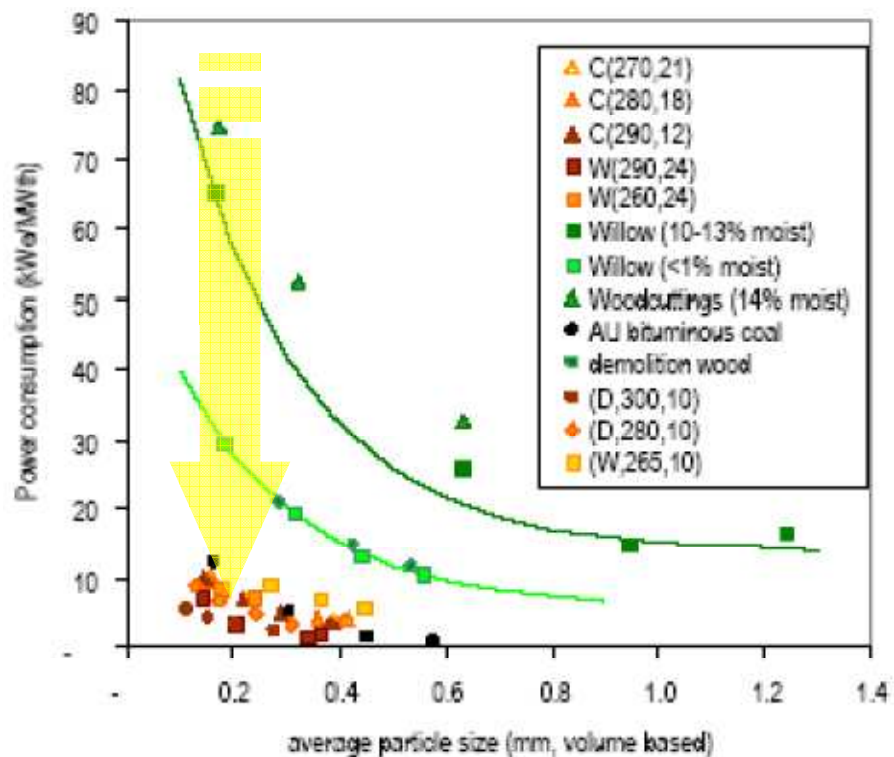


$$\text{Brittleness} = \frac{\text{Area 1}}{\text{Area 1} + \text{Area 2}} \times 100(\%)$$

Fragilidade ↗ com t° e tempo



Size reduction results of coal, biomass feedstock, and various torrefied biomass samples



- **Redução** importante do consumo quando a biomassa está tratada
- **Redução** varia numa faixa de **70 a 90%**
- Grande **similaridade** da biomassa tratada com coque
- Consumo função da granulometria: C \nearrow D \searrow

Consumo energético versus a granulometria (Bergman, 2005)



Obrigado pela atenção

Merci

Patrick Rousset, Cirad/SFB

