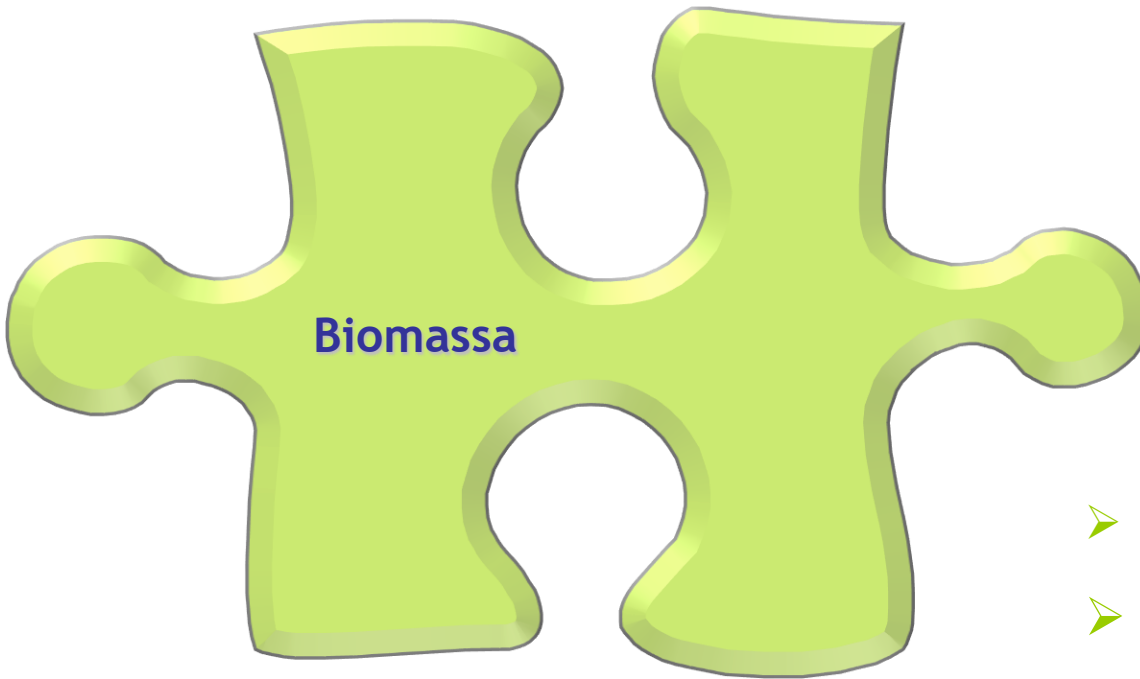




Hinc patriam sustinet

Instituto Superior de Agronomia
Universidade Técnica de Lisboa



- Biomassa
- Parâmetros de qualidade
- Resíduos florestais



Solar
Eólica
Geotérmica
Hídrica
Oceânica

Biomassa

Biocombustíveis sólidos:

lenha, carvão, pellets, briquetes, resíduos sólidos

Biocombustíveis líquidos:

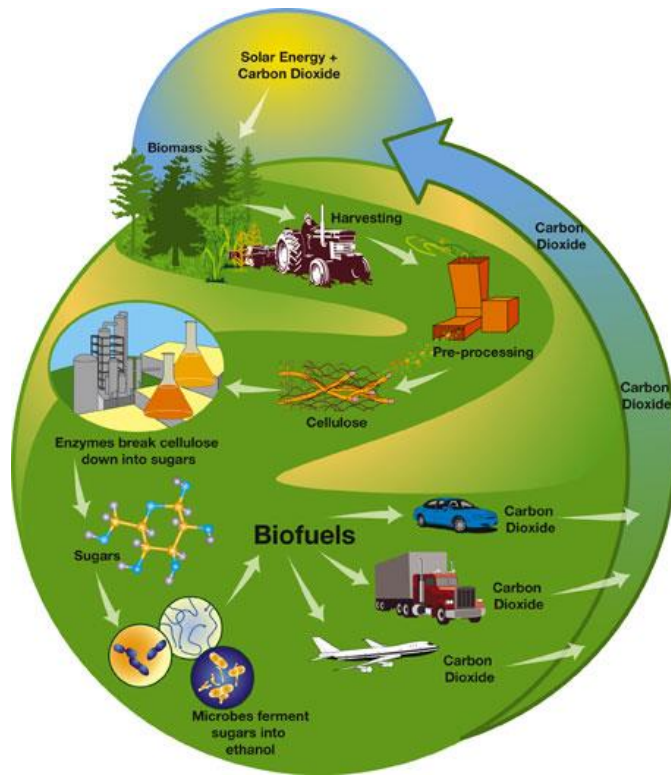
biodiesel, etanol, metanol

Biocombustíveis gasosos:

biogás



O QUE É A BIOMASSA?



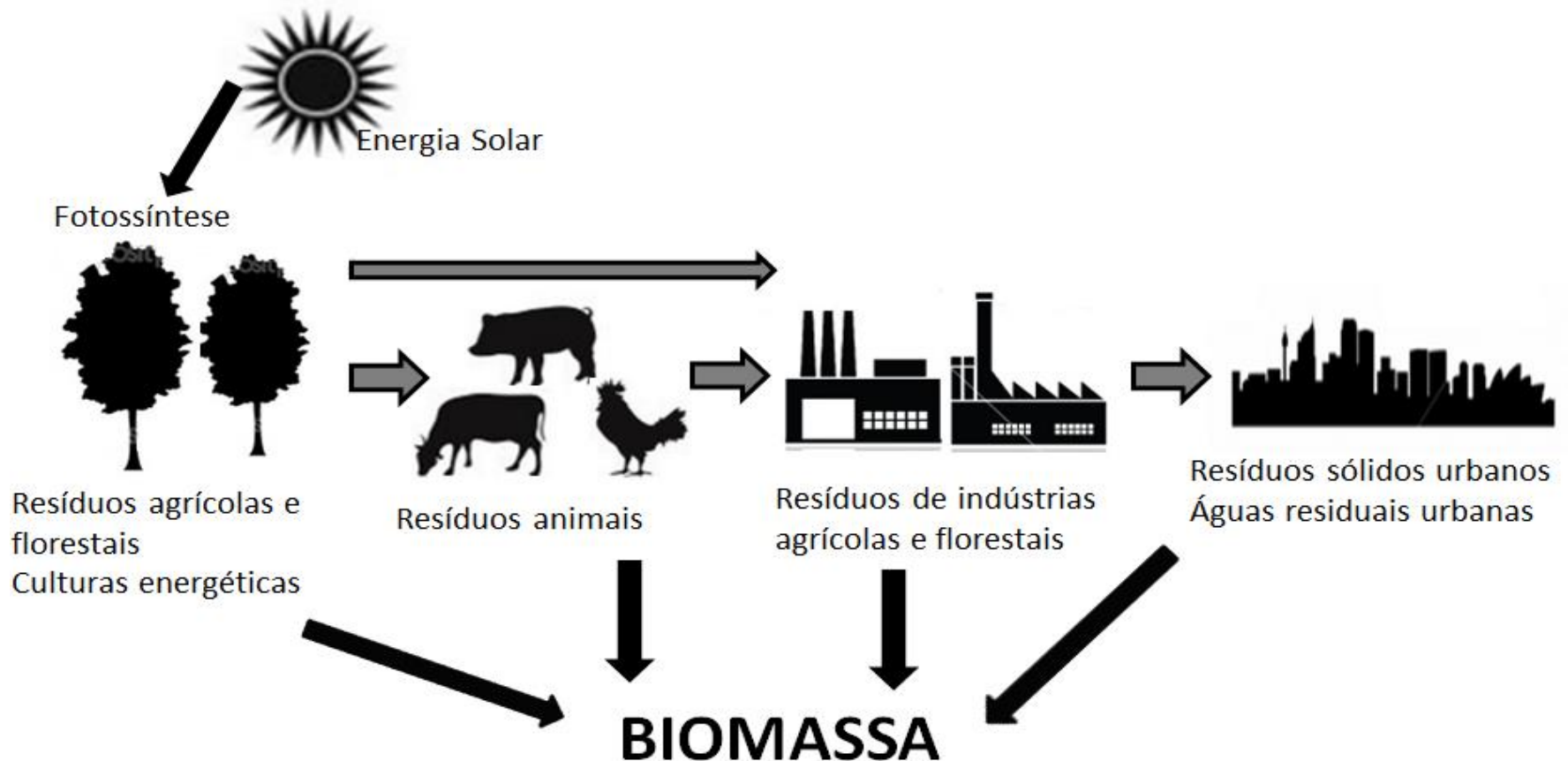
BIOMASSA - aplica-se a toda fracção biodegradável de produtos e resíduos provenientes da agricultura (incluindo substâncias vegetais e animais), da silvicultura e das indústrias conexas, bem como a fracção biodegradável dos resíduos industriais e urbanos.

(Directiva 2003/30/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 8/5/2003)

[www.jgi.doe.gov/education/bioenergy/co2cycle.jpg]

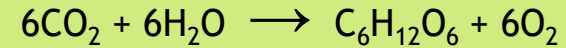


Num conceito mais simples podemos dizer que **biomassa** é o material biológico usado como **combustível** para produzir **calor** ou **electricidade**.





FOTOSSÍNTESE



A **biomassa vegetal** é formada pela combinação de CO_2 da atmosfera e H_2O na fotossíntese, que produz os hidratos de carbono - a **energia solar** é armazenada nas ligações químicas dos componentes estruturais da biomassa.

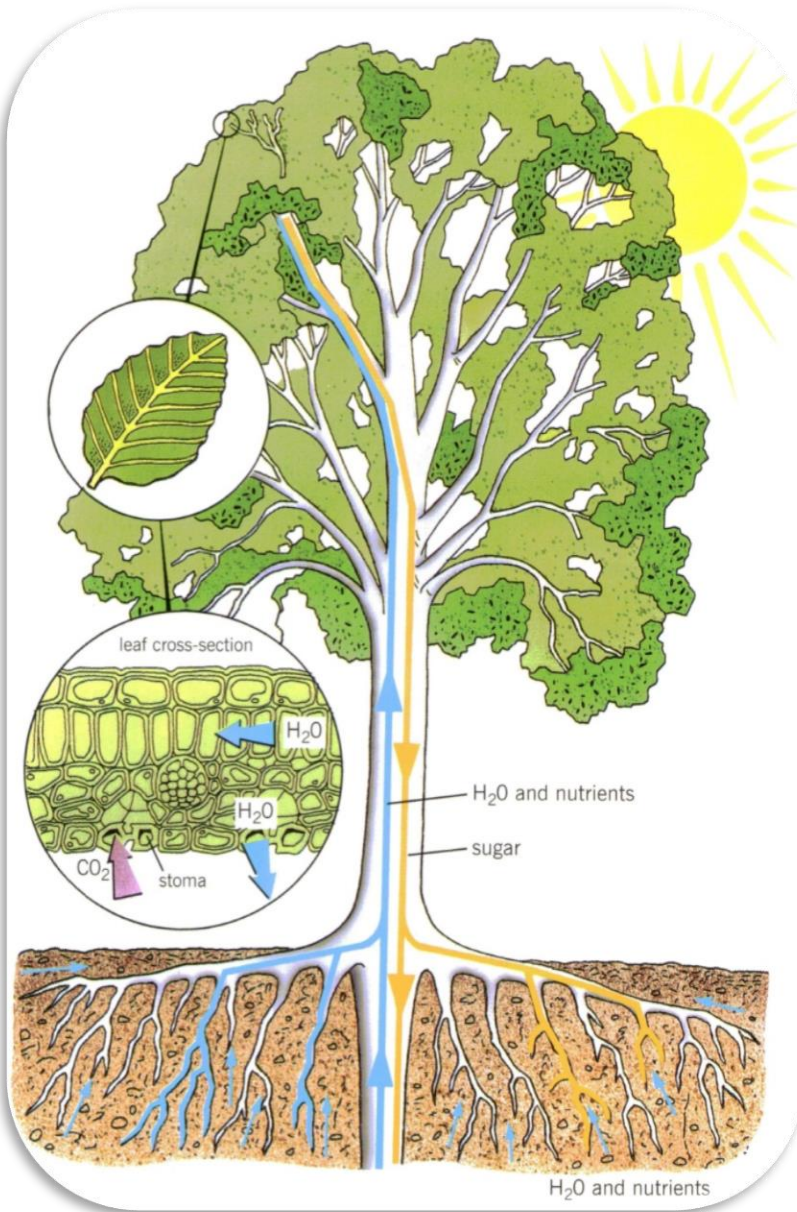
A acumulação de 1kg de

- lípidos = 37,7 MJ
- hidratos de carbono = 17,6 MJ
- proteínas 12,6 MJ

Factores que afectam a fotossíntese

radiação solar
temperatura
disponibilidade hídrica

[Nogueira e Lora, 2003]

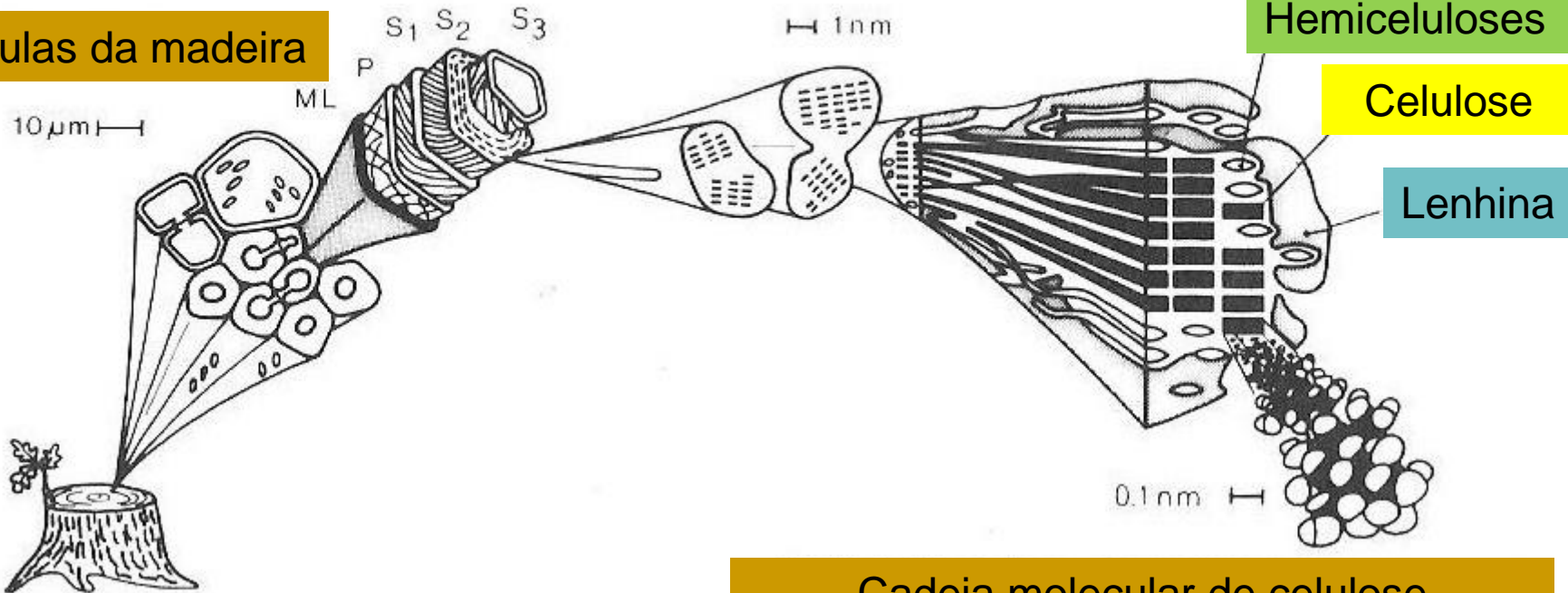




Paredes celulares

Fibrilhas

Células da madeira



Cadeia molecular de celulose

[How Wood is Composed of Cellulose. Hoffman, P. and Jones, M. A.]



ANATOMIA DO TRONCO

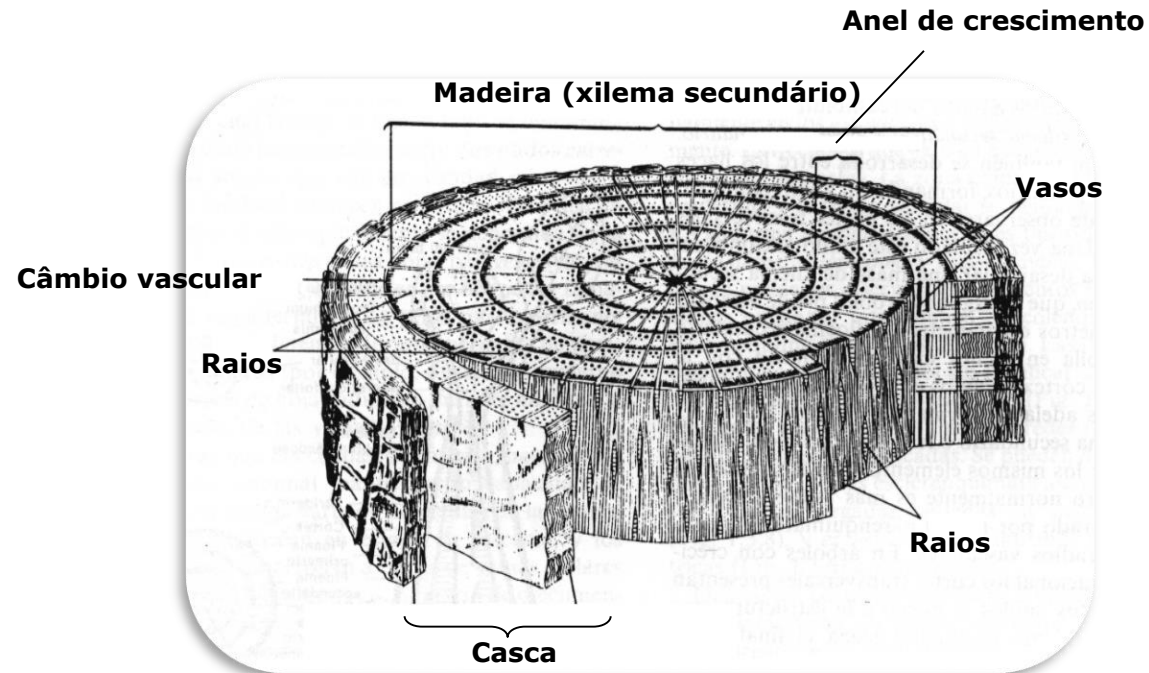
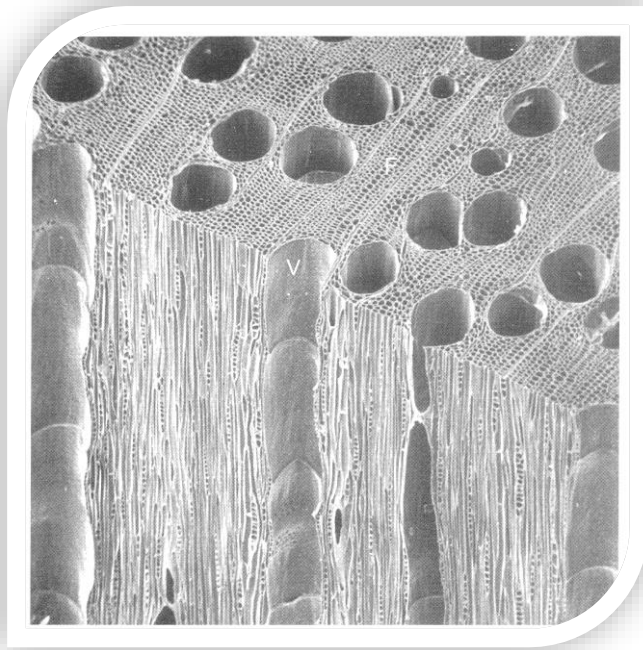


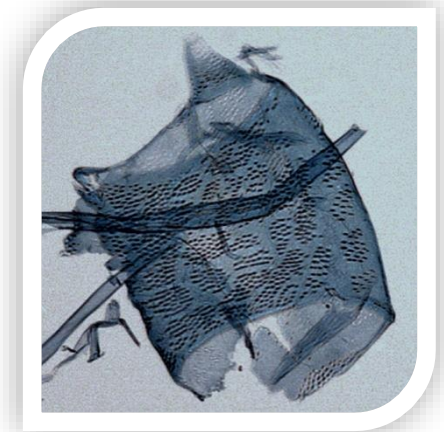
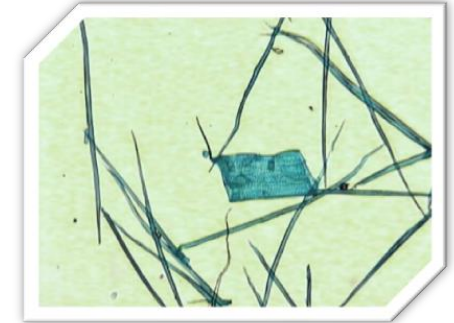
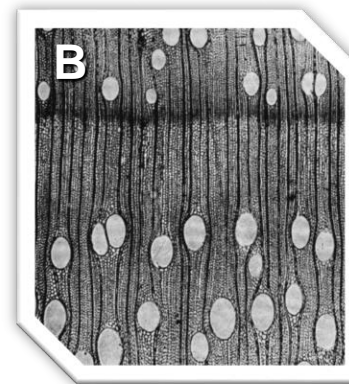
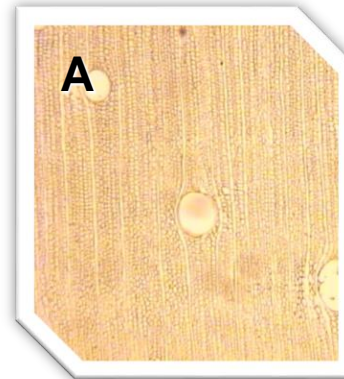
Diagrama esquemático de um tronco com crescimento secundário resultante da actividade dos meristemas secundários. [Fahn, 1975]



Tipos de células: elementos de vaso, fibras, parênquima radial e axial



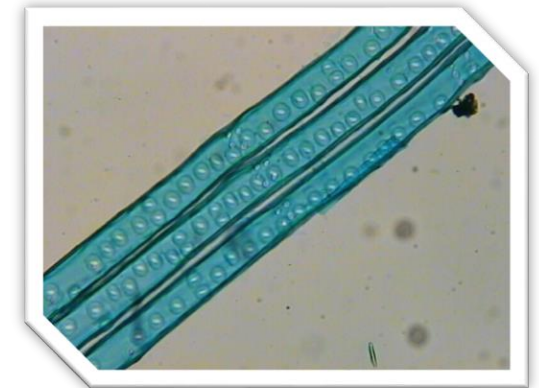
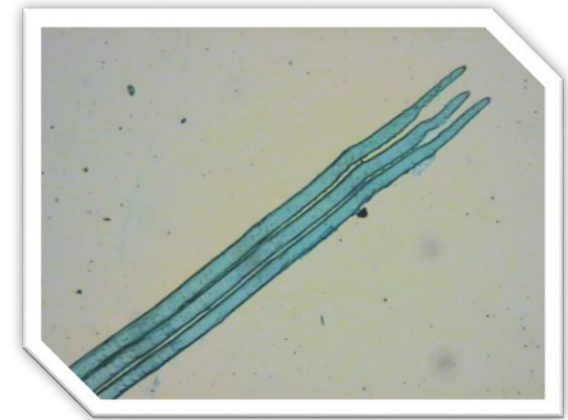
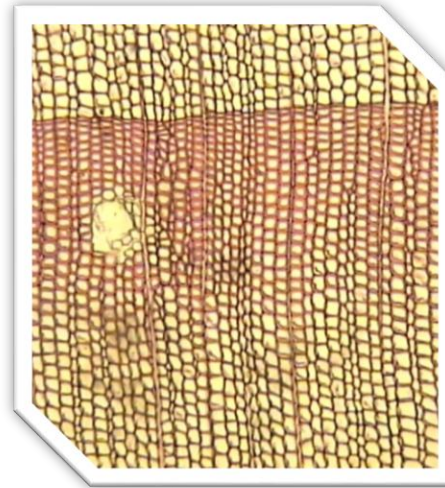
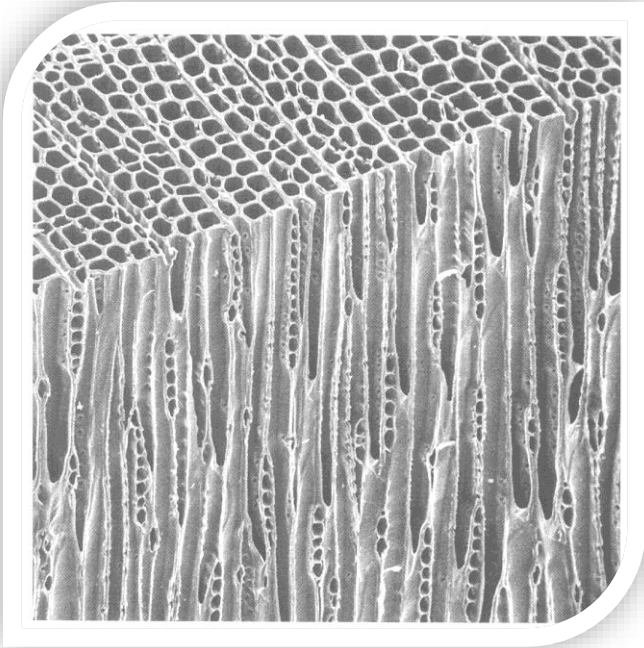
Arranjo estrutural do lenho de uma folhosa (*Eucalyptus delegatensis*) onde se podem observar os elementos de vasos (V), fibras (F) e raios uniseriados. [Butterfield, 2003]



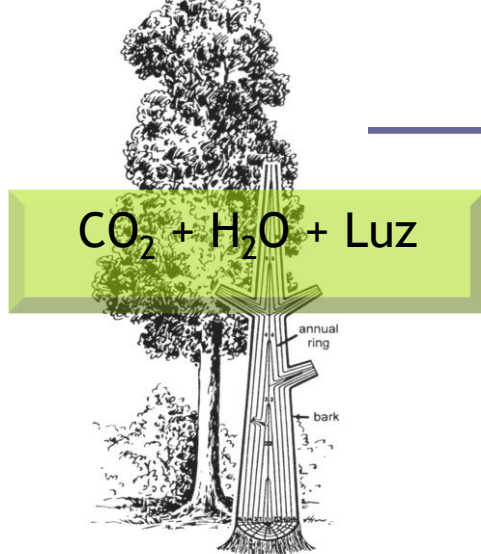
Lenho da *Eucalyptus globulus* (A) onde não é possível visualizar os anéis de crescimentos anuais, ao contrário do que acontece com a *Eucalyptus gigantea* (B)



Tipos de células: traqueídos, traqueídos dos raios, parênquima radial e axial



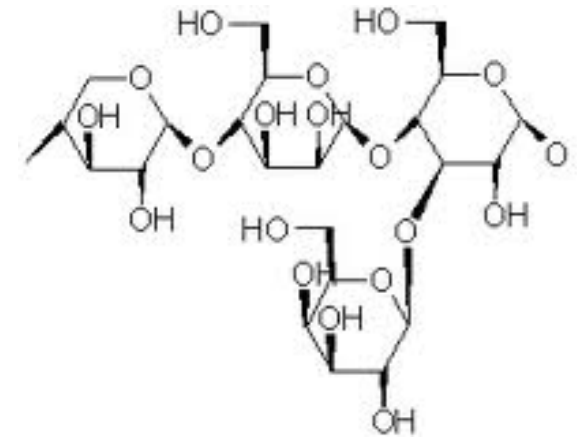
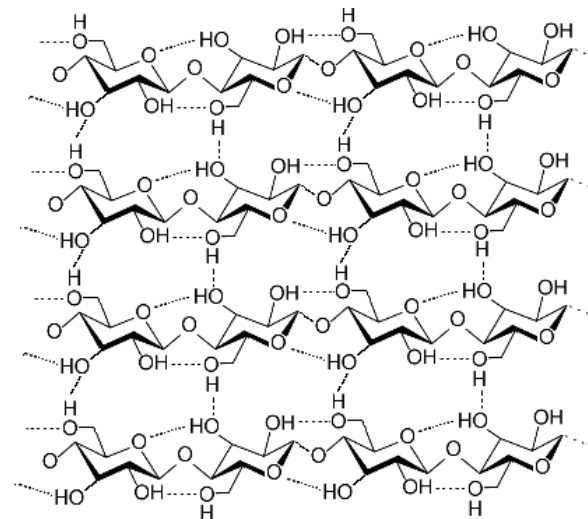
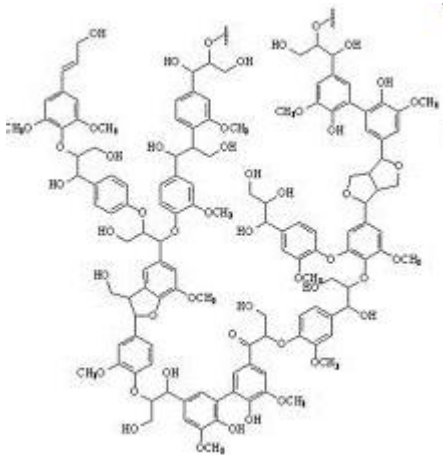
Arranjo estrutural do lenho de uma resinosa (*Dacrycarpus dacrydioides*) onde se podem observar os traqueídos dispostos axialmente e raios uniseriados. [Butterfield, 2003]

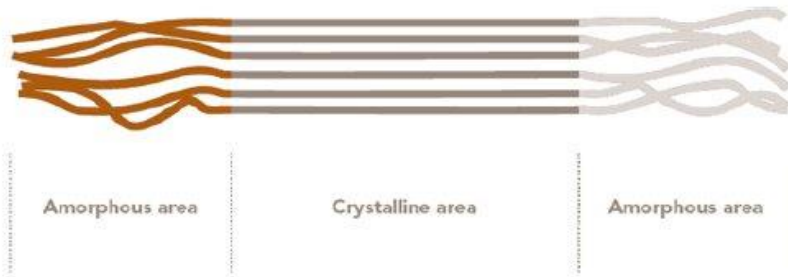
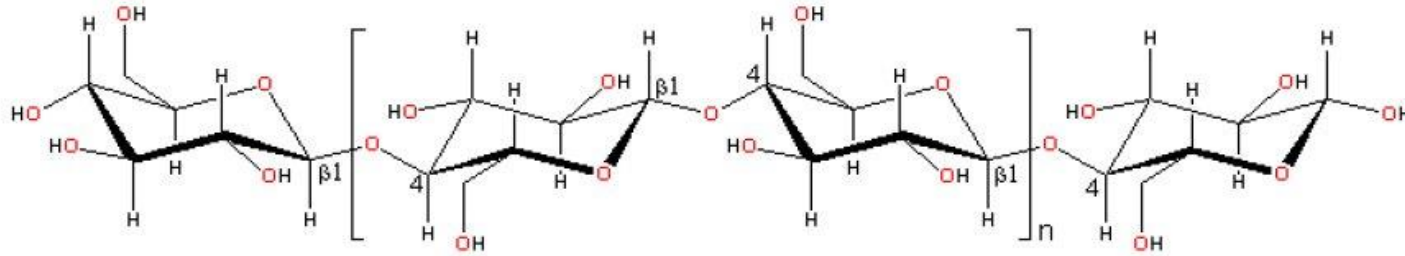


Lenhina

Celulose

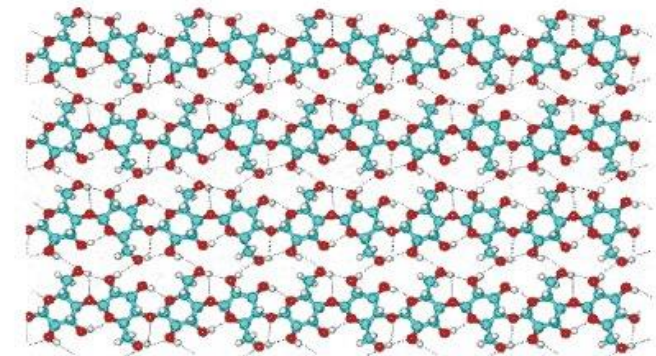
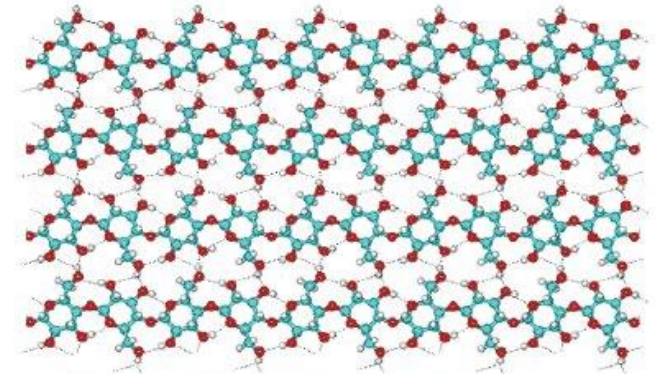
Hemiceluloses





As unidades de β -D-glucopiranosose estão ligadas entre si por ligações éter, ditas glicosídicas.

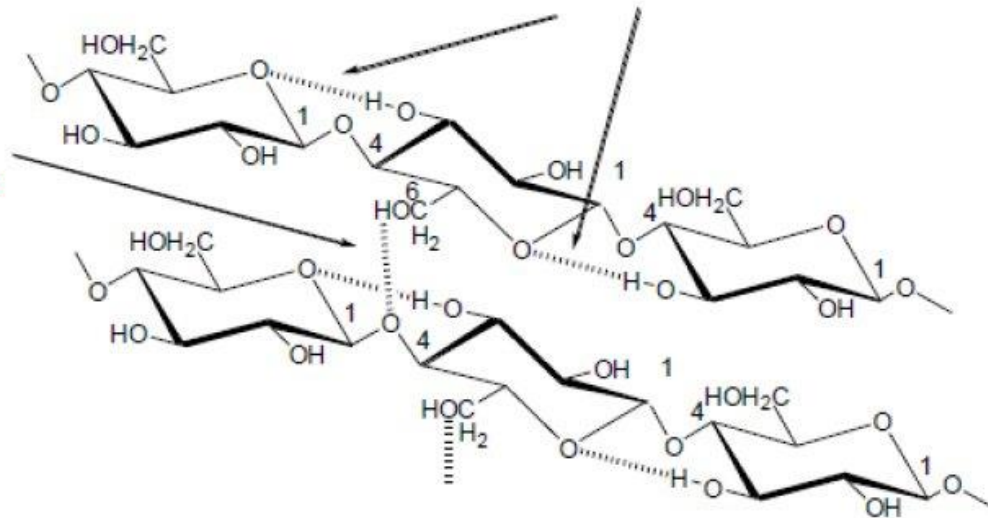
Os feixes de cadeias moleculares são unidos por pontes de hidrogênio intermoleculares dando origem às fibrilas





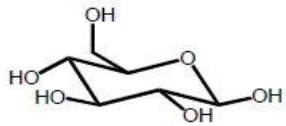
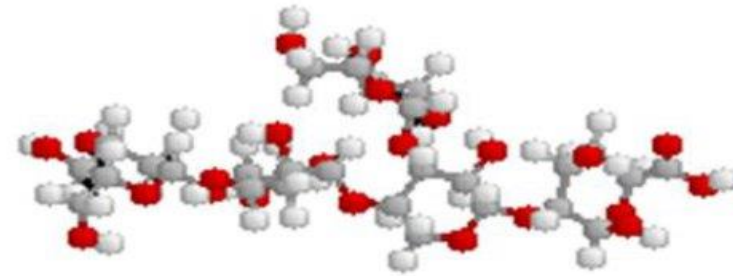
Ligações intramoleculares

Ligações intermoleculares

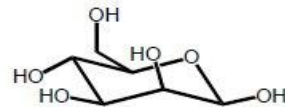




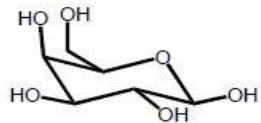
Hemiceluloses



β -D-Glucose
 β -D-Glucopiranosose
 β -D-Glup



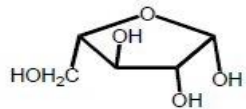
β -D-Manose
 β -D-Manopiranosose
 β -D-Manp



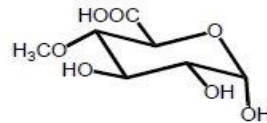
β -D-Galactose
 β -D-Galactopiranosose
 β -D-Galp



β -D-Xilose
 β -D-Xilopiranosose
 β -D-Xilp



α -L-Arabinose
 α -L-Arabinofuranose
 α -D-Araf

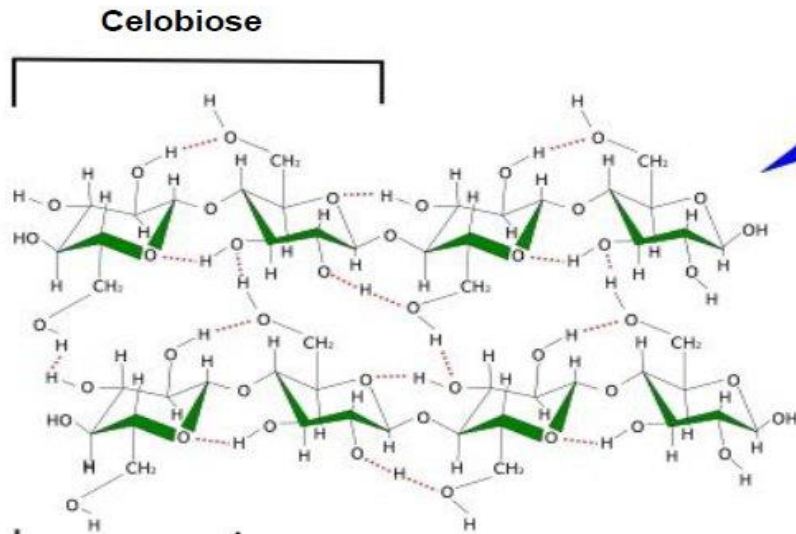


Ácido α -D-4-O-Metilglucurónico
Ácido α -D-4-O-Metilglucopiranosilurónico
 α -D-4-O-Me-GlupA

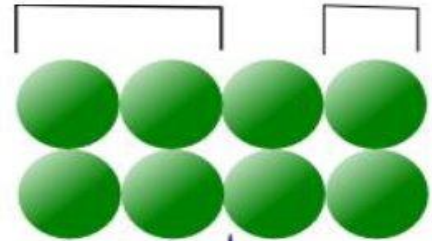
As hemiceluloses são heteropolímeros, ou seja são polissacáridos constituídos a partir de vários açúcares:

Os açúcares que constituem as hemiceluloses são hexoses e pentoses na forma cíclica, maioritariamente na forma de anel pirano (hexagonal), “piranósidos”, e também de anel furano (pentagonal), “furanósidos”.

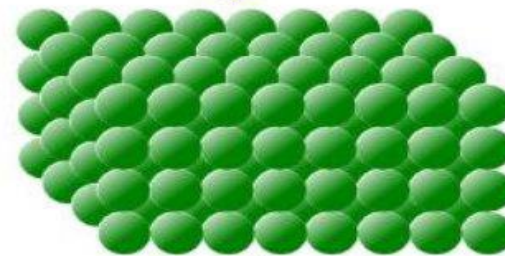
Representação estrutural dos principais açúcares (monossacáridos) constituintes das hemiceluloses



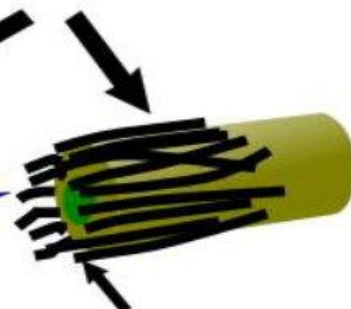
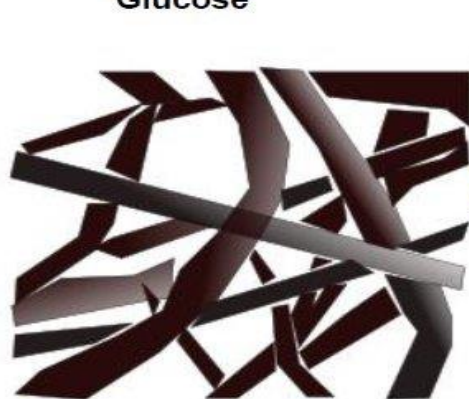
Celobiose **Glucose**



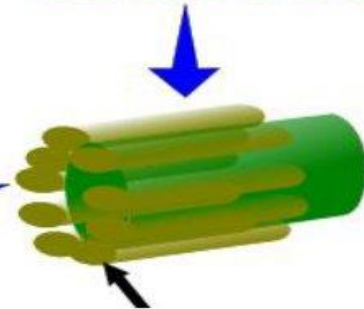
Celulose cristalina



Fibra celulósica



Hemicelulose

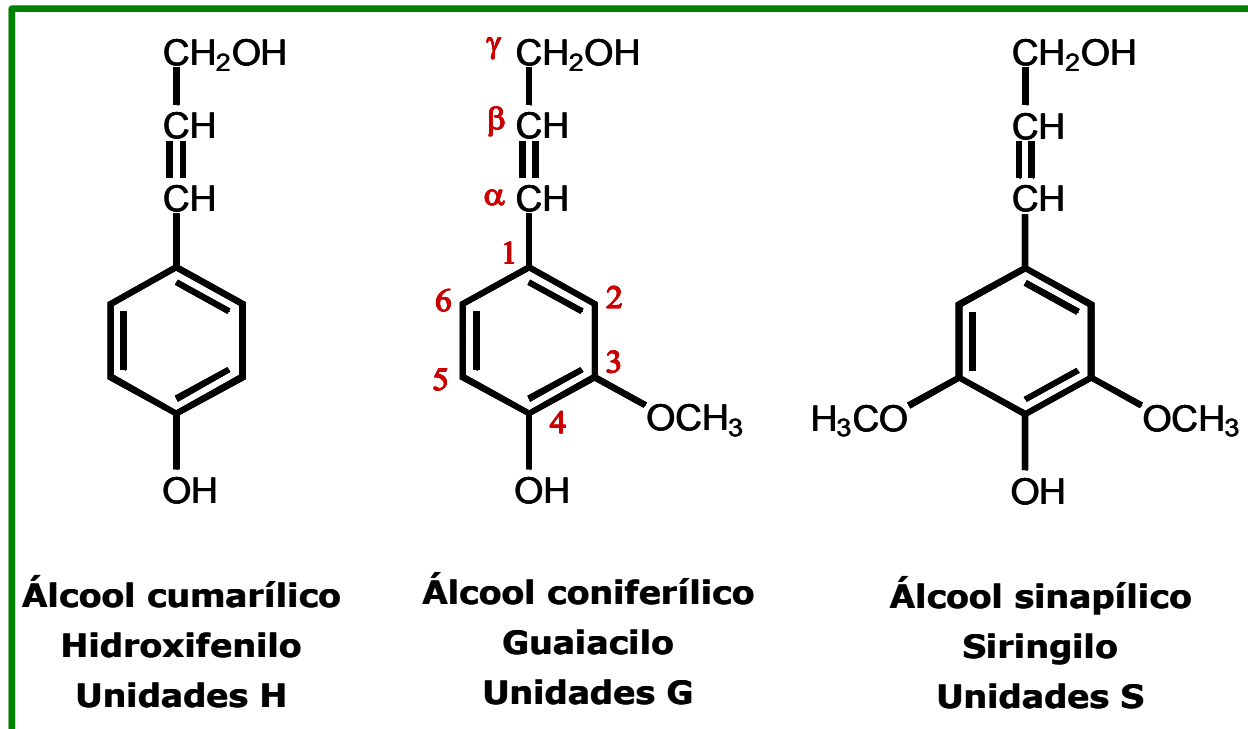


Celulose amorfa

As estruturas primárias formadas pelas pontes de hidrogénio, são as fibrilas, que formam por sua vez as camadas da parede celular.



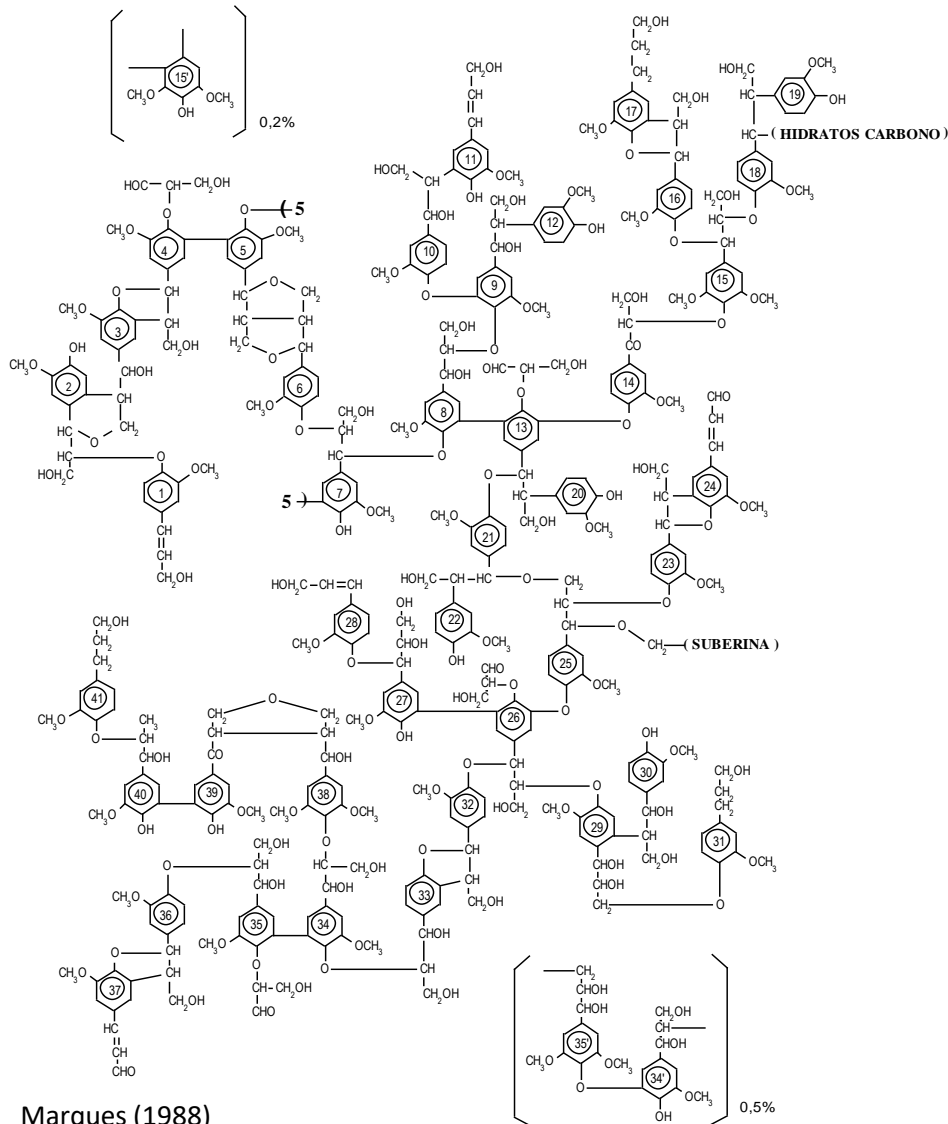
- ✓ Polímero aromático, heterogéneo, ramificado
- ✓ Constituído por três unidades fenilpropanólicas (ou monómeros de lenhina)



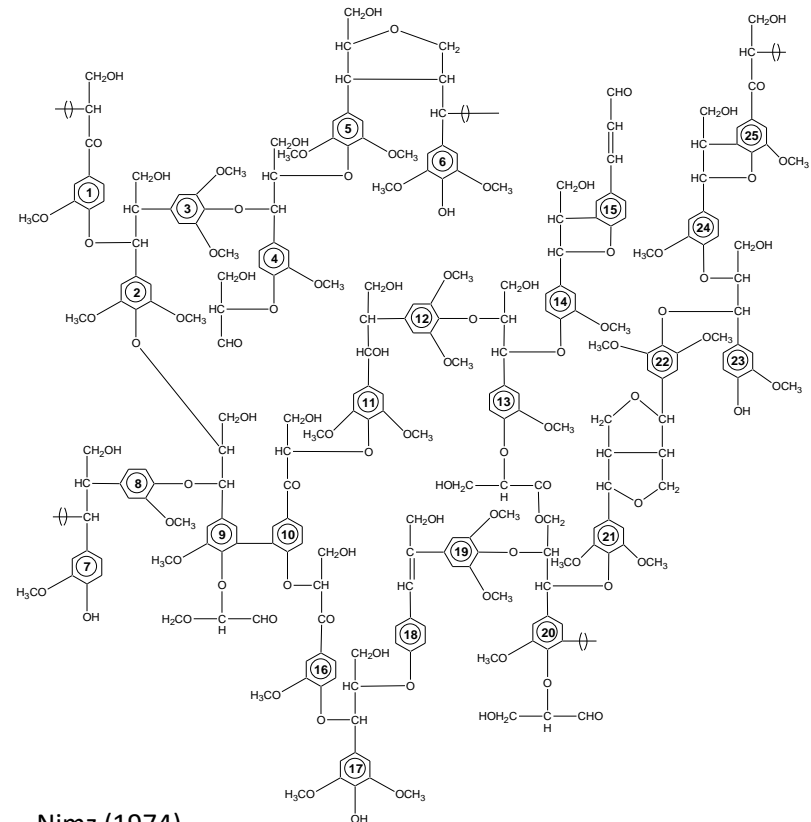
- ✓ Os carbonos no anel fenólico são designados de 1 a 6; carbonos na cadeia propanólica designados por α , β , γ



Modelos de lenhina de folhosas

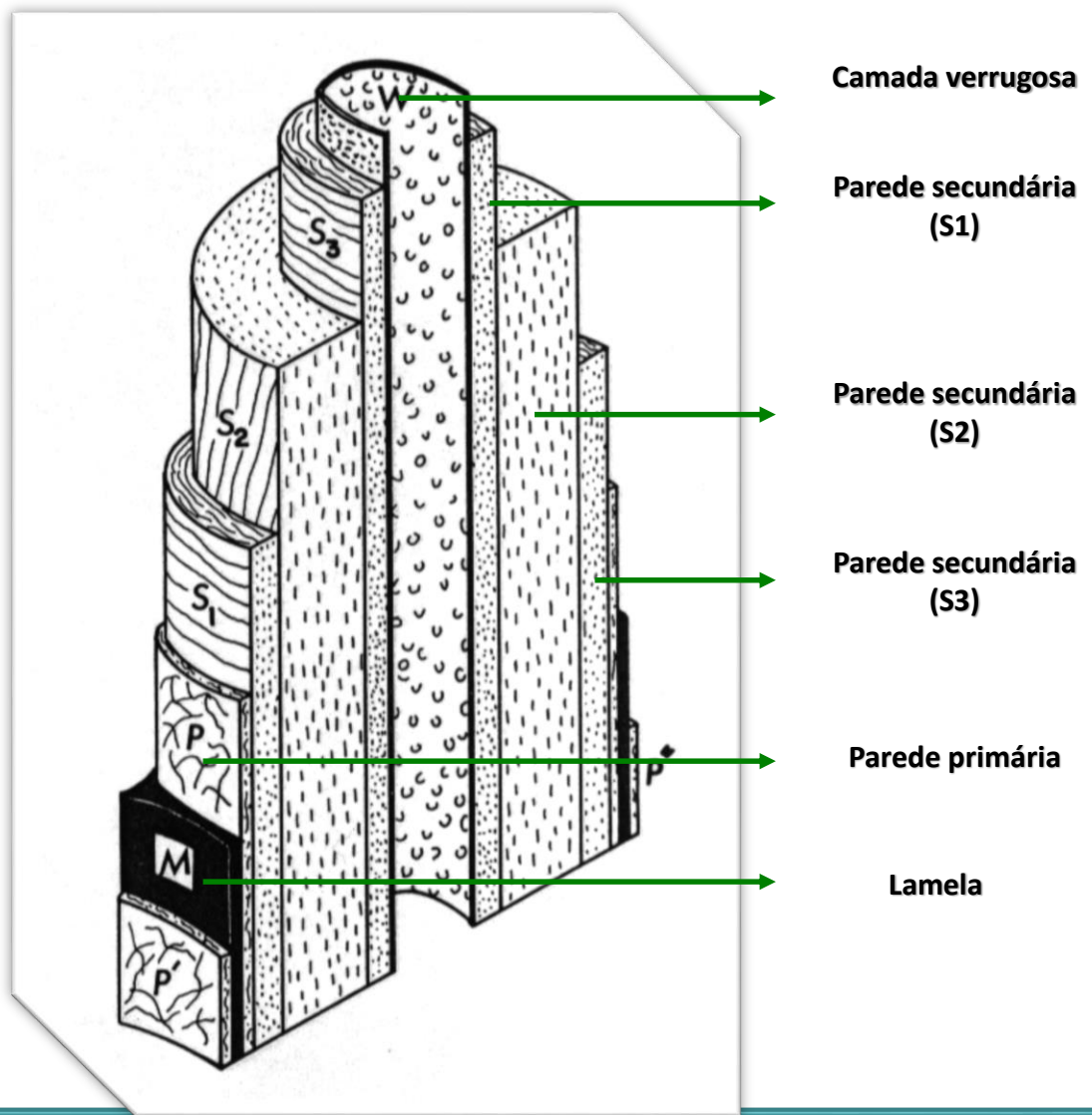
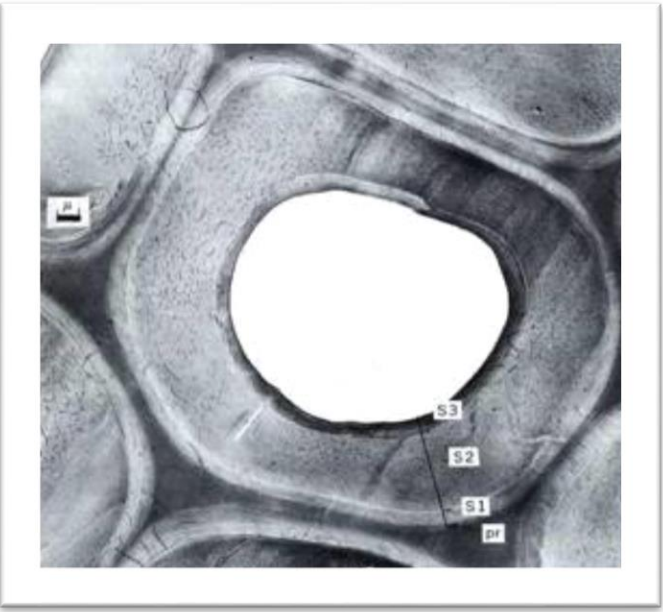
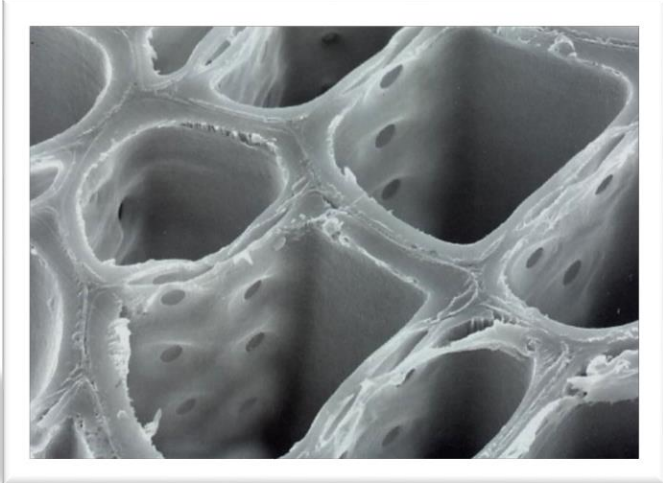


Marques (1988)



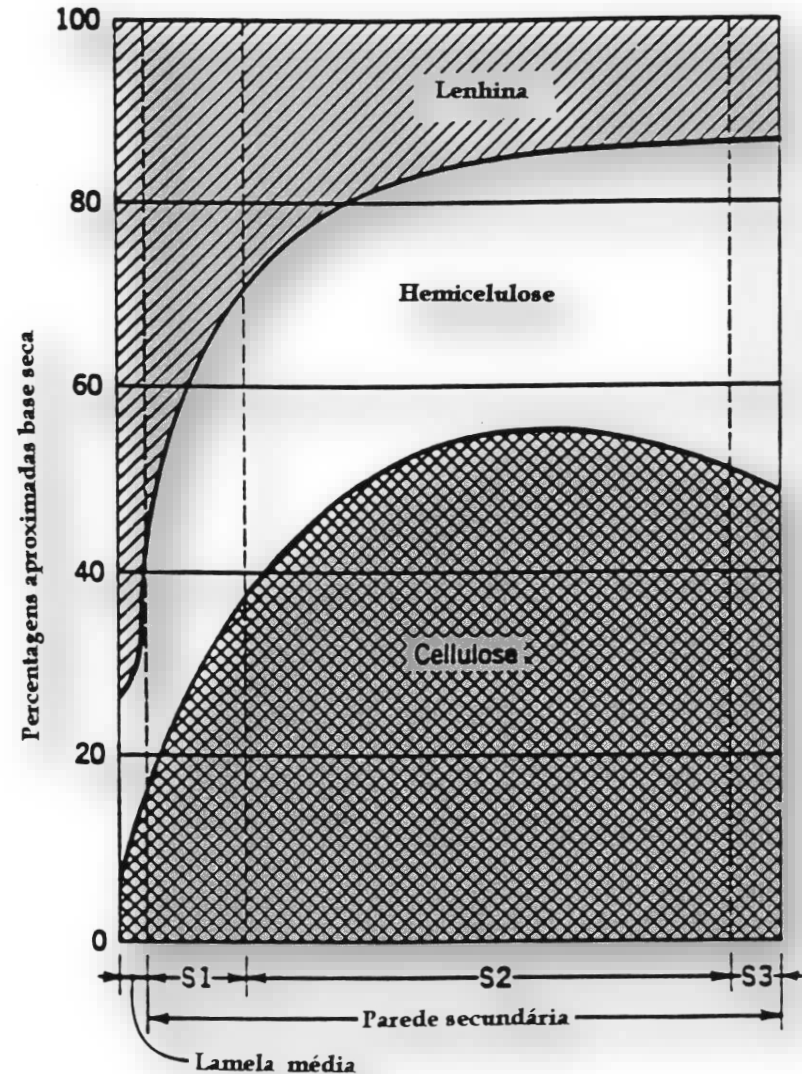
Nimz (1974)

PAREDE CELULAR





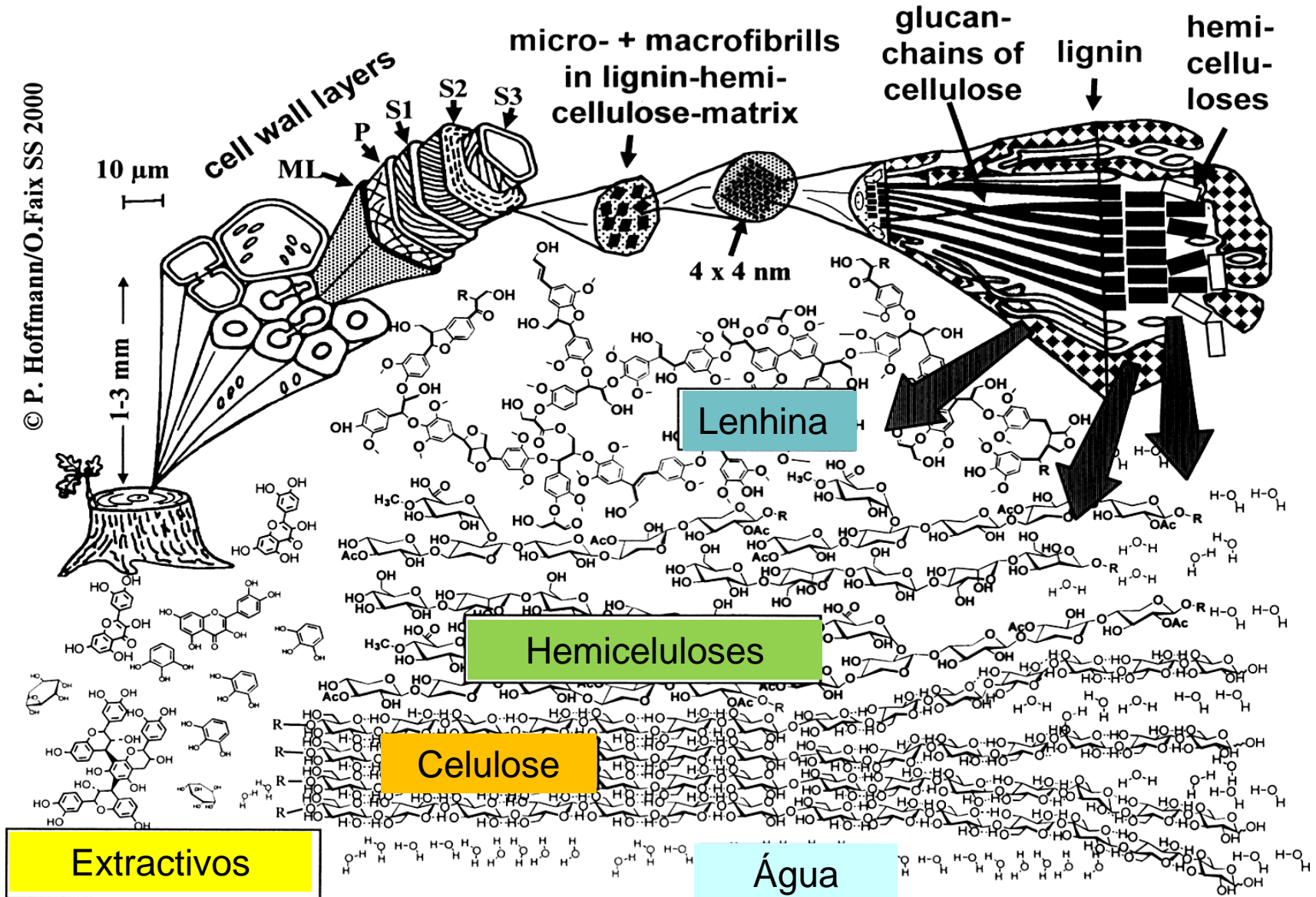
Distribuição dos componentes macroestruturais ao longo da parede celular





Biomassa vegetal

© P. Hoffmann/O.Faix SS 2000





A **composição química** dos materiais lenhocelulósicos corresponde à composição química das suas **paredes celulares**

	Holocelulose				
	CINZAS (%)	EXTRACTIVOS (%)	LENHINA (%)	CELULOSE (%)	HEMICELULOSES (%)
Madeira Folhosas	< 1	2	20	39	35
Madeira Resinosas	1	3	28	41	24
Palha trigo	7	12	17	40	28
Palha arroz	16	18	12	30	25
Bagaço de cana	2	18	19	34	29

[Rowell, 2005]

A **energia química** da biomassa armazenada nas ligações químicas dos componentes estruturais pode ser libertada por combustão directa ou convertida através de outros processos (físicos, termoquímicos ou biológicos) em outras fontes energéticas mais vantajosas .



Propriedades energéticas de alguns materiais biomassa

Biomassa		Fóssil	
	kcal/kg		kcal/kg
Celulose	3 797	Turfa	3 439
Lenhina	5 995	Coque	7 308
Amido	3 797	Óleo pesado	9 649
Açúcar	3 797	Óleo leve	10 055
Carbono	8 049	Óleo diesel	10 750
Casca	4 991	Petróleo	10 800
Madeira	4 394		kcal/m³
Lenha	3 300	Gás natural	8 622
Carvão vegetal	6 800	Propano	21 997
		Butano	28 446

[Brand, 2010]



A **composição química imediata** reporta o conteúdo percentual em carbono fixo (CF), materiais voláteis (V) e cinzas.

Voláteis – expressa a facilidade de queima; é inversamente proporcional ao carbono fixo

Valores médios da composição imediata de alguns materiais lenhocelulósicos

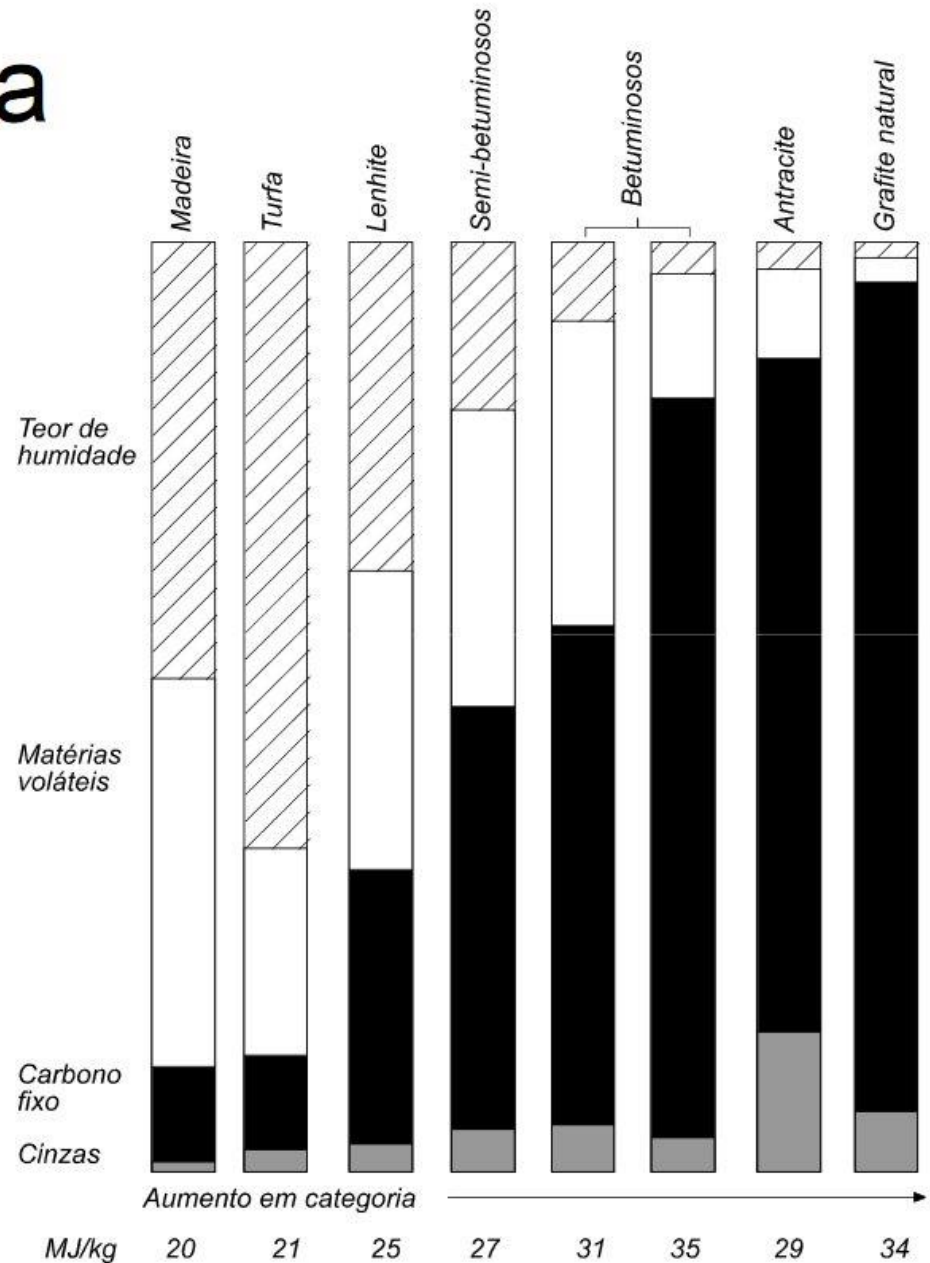
	%			PCS (kcal/kg)
	Materiais voláteis (V)	Carbono fixo (CF)	Cinzas	
<i>Coníferas</i>	82,5	17,7	0,29	4 700
<i>Folhosas</i>	81,4	17,8	0,79	4 600
<i>Casca de arroz</i>	65,4	16,7	17,9	3 850
<i>Bagaço de cana</i>	73,8	14,9	11,3	4 100
<i>Casca de coco</i>	67,9	23,8	8,2	4 500
<i>Carolo de milho</i>	80,1	18,5	1,4	4 500
Ramas de algodão	73,3	21,2	5,5	4 370
Cama de aviário	62,7	13,9	23,4	3 550
Capim-elefante	76,7	17,7	5,6	3 600

[Brand, 2010]

Análise Imediata

Nesta análise caracteriza-se a composição do combustível em:

- Humidade
- Voláteis
- Carbono fixo
- Cinzas





A **composição química elementar** reporta o conteúdo percentual dos diferentes elementos que constituem um combustível. É geralmente apresentado os valores de (C, H, O, S e N e cinzas).

Valores médios da composição elementar de alguns materiais lenhocelulósicos

	%						PCS
	C	H	O	N	S	Cinzas	kcal/kg
Coníferas	49,3	5,9	44,4	0,06	0,03	0,30	4 700
Folhosas	49,0	5,8	43,9	0,30	0,01	0,72	4 600
Casca de arroz	38,3-40,9	4,0-4,3	35,8-38,6	0,40	0,02-0,5	18,3-18,6	3 850
Cana-de-açúcar	44,0-47,9	6,0-6,7	44,0-48,0			1-2,5	4 639
Bagaço de cana	44,8-47,0	5,3-6,5	39,5-35,8	0,4-4,1	0,01	9,8	4 100
Casca de coco	48,2	5,2	33,2	2,9	0,12	10,25	4 500
Carolo de milho	46,6	5,9	45,5	0,5	0,01	1,4	4 500
Ramas de algodão	47,0	5,4	40,9	0,65	0,021	5,89	4 370
Cama de aviário	37,5	5,1	31,8	3,7	0,45	21,6	3 550
Capim-elefante	41,2	5,5	45,9	1,8	-	5,6	3 600
Etanol	50,0	13,0	36,9				

[Brand, 2010]

Base das análises

A composição dos combustíveis sólidos para ambas as análises pode ser expressa em três bases:

- As received* (A_r - incluindo humidade e cinzas)
- Dry basis* (D_b - base seca, exclui a humidade)
- Dry ash free* (D_{af} - exclui humidade e cinzas)

A análise imediata é normalmente em A_r e a elemental em D_{af}

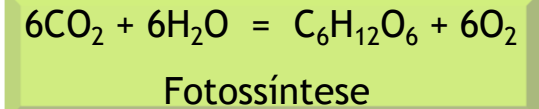
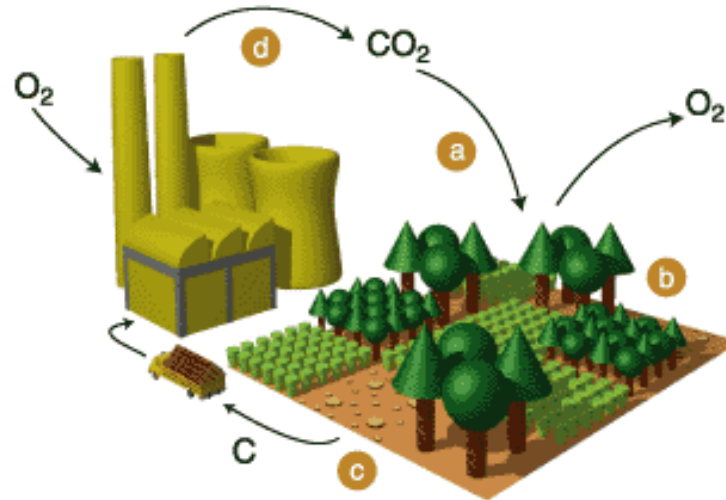
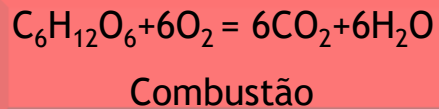
A conversão entre as bases é simples, e.g.

$$x_{C_{A_r}} = x_{C_{D_{af}}} * (1 - x_{Ash_{A_r}} - x_{Hum_{A_r}}) \quad (7.1)$$

$$x_{Vol_{D_b}} = x_{Vol_{A_r}} / (1 - x_{Hum_{A_r}}) \quad (7.2)$$



Se a biomassa for queimada de modo eficiente, só há produção de CO₂ e H₂O.



O processo é cíclico e dizemos que a biomassa é um recurso renovável.



Florestas

- povoamentos naturais ou comerciais

Plantações dedicadas (culturas energéticas)

- florestas de rotação curta (eucalipto, salgueiro, choupo)
- culturas agrícolas (colza, beterraba, cana de açúcar)
- culturas não agrícolas, (miscanthus, cardo)

Resíduos “resíduo é matéria-prima mal aproveitada”

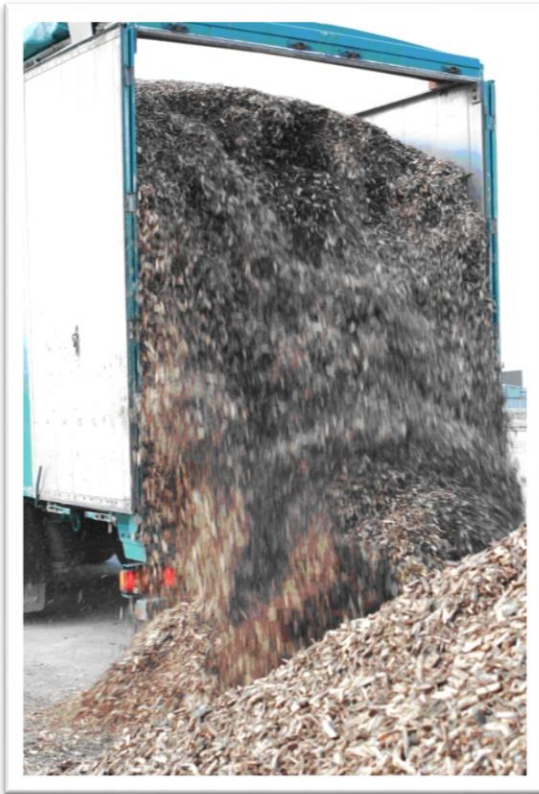
- Resíduos florestais
(madeira de desbastes, podas, abates florestais)
- Resíduos agrícolas
(palha de cereais,)
- Resíduos agro-alimentares
(cana de açúcar, chá, café, árvores borracha, coqueiros)
- Resíduos industriais
(resíduos das serrações, estrumes)

RSU

- lamas residuais
- fracção orgânica de lixos municipais
- óleos vegetais e gorduras usados



QUAIS AS VANTAGENS DA BIOMASSA ?



VERSATILIDADE: pode produzir diversos tipos de produtos - calor, electricidade, combustíveis sólidos, combustíveis líquidos para transportes, combustíveis gasosos, outros produtos (químicos e materiais).

ABUNDÂNCIA: as fontes de biomassa ocorrem em diversas formas que são abundantes na maior parte das regiões do mundo.

BENEFÍCIOS AMBIENTAIS: a biomassa não aumenta o CO₂ na atmosfera (combustível neutro).



O seu armazenamento pode ser feito em pilhas curtas, pilhas longas, paletes, postes, montes de estilhas ou serrilha. As características da biomassa influenciam de forma determinante os sistemas de conversão energética.

Parâmetros qualitativos:

- ❖ Teor em humidade
- ❖ Granulometria
- ❖ Densidade
- ❖ Inertes
- ❖ Poder calorífico (PCI)
- ❖ Teor em cinzas
- ❖ Cloro



[Norma CEN/TC 335 biomass]



Poder Calorífico - É a capacidade que tem um combustível de gerar calor ao realizar a sua combustão.



Poder Calorífico Superior (PCS - HHV) - Quantidade de calor que, em condições normalizadas (volume constante e em atmosfera de oxigénio), se liberta na combustão completa de uma unidade de combustível, numa bomba calorimétrica admitindo-se a recuperação de calor dos condensados produzidos na combustão, até às condições de temperatura do ensaio .



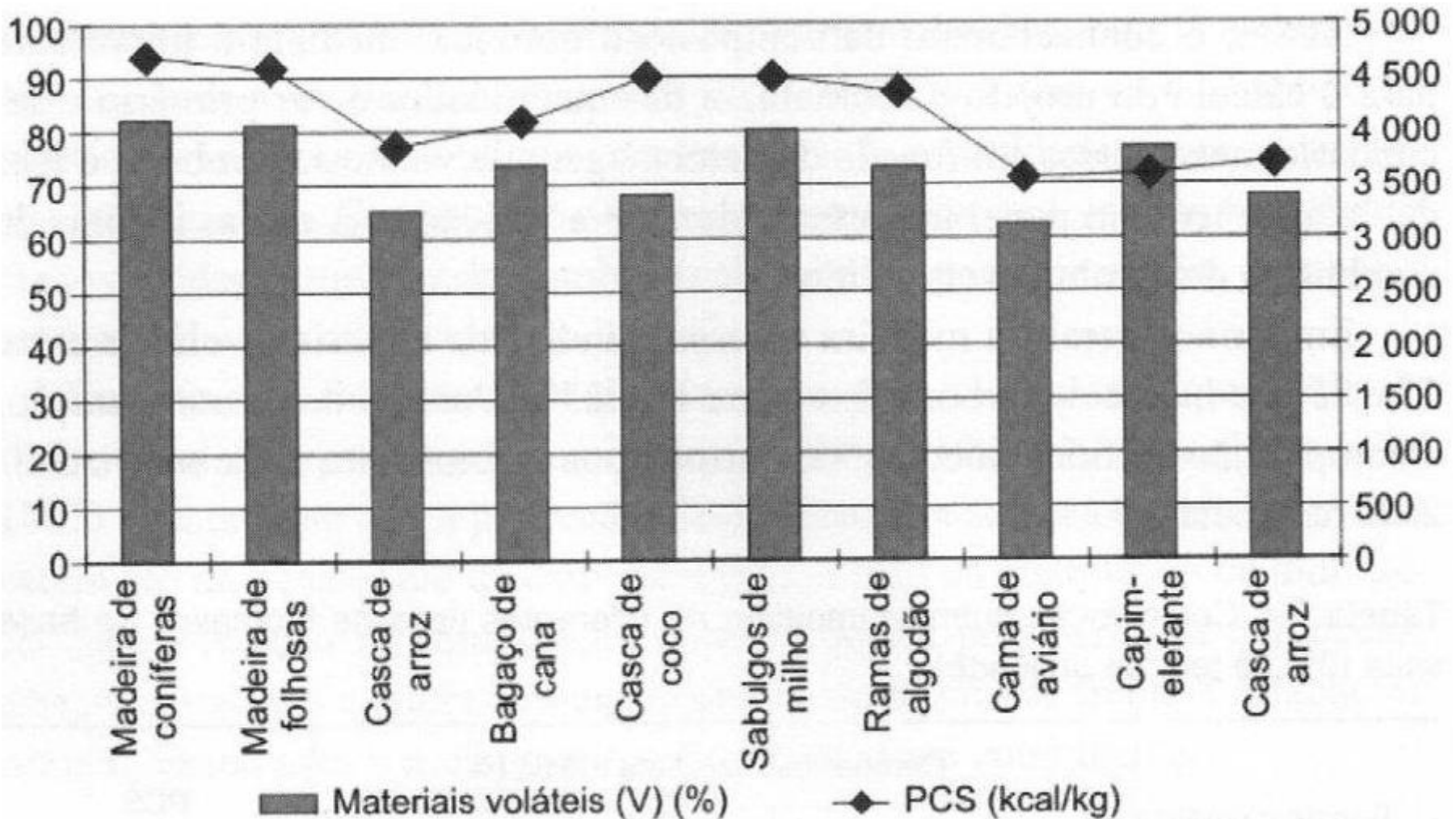
Poder Calorífico Inferior (PCI - LHV) - É a energia calorífica (considerada normalmente útil) que se liberta da combustão de uma unidade de volume de gás, em condições normais. Não inclui o calor de condensação do vapor de água que se gera na combustão.

$$PCI = PCS_d - a(W + 9H_d)$$

$a = 2441,8 \text{ kJ.kg}^{-1}$; W = humidade; s = anidro



Relação entre materiais voláteis e PCS (maior voláteis **menor** valor de PCS)





A redução do teor de humidade numa madeira é desejável por duas principais razões:

- reduzir os custos de manuseamento e transporte
- aumentar o seu valor enquanto combustível

Combustível	Poder Calorífico (Kcal/g)
Parafina	10,4
Fuel Óleo	9,8
Carvão Vegetal	7,1
Carvão	6,9
Madeira, seca em estufa	4,7
Estrume, seco ao ar	4,0
Turfa, seco ao ar	4,0
Madeira, seco ao ar	3,5