

Madeira e Água



Que ligação!

A Humidade da Madeira

teor em água da madeira

$$H = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100$$

m_1 – massa madeira húmida

m_2 – massa da madeira completamente seca

“quociente, expresso em percentagem, da massa da água que se evapora do material por secagem a 103 ± 2°C até valor constante, pela massa do provete depois de completamente seco.”

in NP-614, 1973



A Humidade da Madeira

- Madeira Verde e PSF d 4
- Humidade Equilíbrio Madeira d 11
- Fenómeno Sorção; Histeresse d 14



■ A Água na Madeira?

Estado	Localização	Designação
líquida	cavidades celulares e intercelulares	Livre
vapor de água	paredes das células	Saturação
constituente químico (+celulose+hemicelulose+lignina)	paredes das células	Constituição

> Imagem (d 5)

■ Madeira Verde

- na árvore $H > 100\%$ (c/ diferenças localizadas) (d 6)

É possível calcular a Quantidade Máxima de Água (d 7) contida na madeira



Fig. 8.1A
Water in a cell
of green wood

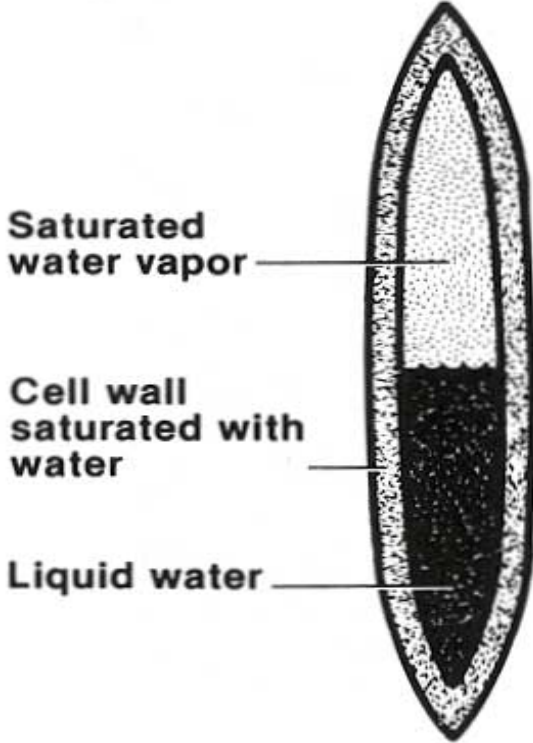
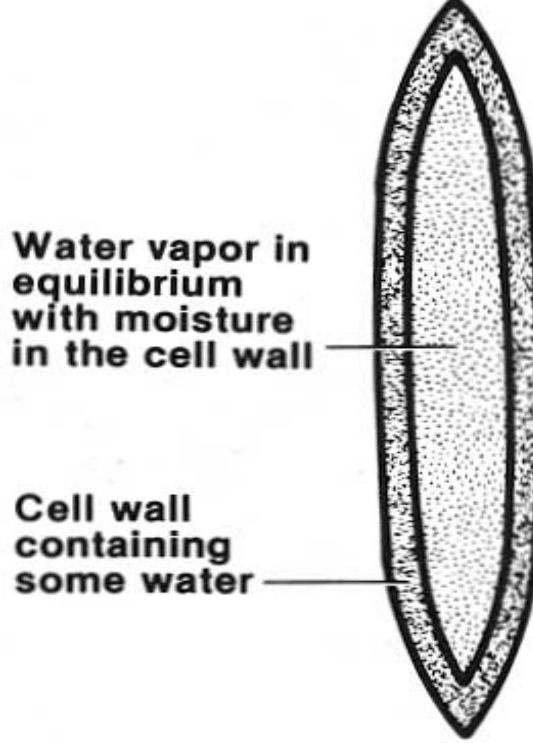


Fig. 8.1B
Water in a cell
of dry wood



Distribuição Localizada Humidade na Árvore

exemplos	Borne	Cerne
Geralmente	+	-
Folhosas: mad. duras ex. carvalho	-	+
Folhosas: mad. Brandas ex. choupo	+	-
Resinosas	+++ (2 a 3x mais)	-

Nota: na base do fuste há > humidade do que junto à copa;
o diferencial nas folhosas é relativamente pequeno



Quantidade Máxima Água

$$H_{m\acute{a}x} = \left(0,28 + \frac{1,50 - r_0}{1,50 \times r_0} \right) \times 100$$

r_0 – massa específica a 0% humidade

Fonte: *Tomás J.E. Mateus*

“A Humidade da Madeira”, 1976

> Alguns valores (d 8)

$$M_{m\acute{a}x} = \left(\frac{1,54 - G_b}{1,54 \times G_b} \right) \times 100$$

G_b – massa específica a 0% humidade

Fonte: *Forest Products Laboratory*

“Wood handbook”, 1999

peso específico da substância lenhosa



Exemplos Humidades Máximas

espécie	massa especifica a H=0%	humidade máxima
Pinho	0,50	160 %
Criptoméria	0,20	460 %
Azinho	0,90	70%

Fonte: *Tomás J.E. Mateus*, "A Humidade da Madeira", 1976



Ponto Saturação Fibras

“...diz-se que se atingiu o PSF quando a humidade atingiu aquela fase em que toda a água livre foi retirada da estrutura celular e se inicia o processo de dessecação das paredes...” - in “Madeiras Portuguesas”, Albino Carvalho

“Conceptualmente, o teor de água em que apenas as paredes celulares estão completamente saturadas (somente água de saturação) mas não existe água nos lumens é chamado Ponto de Saturação das Fibras.” - in “Wood Handbook”, Forest Products Laboratory

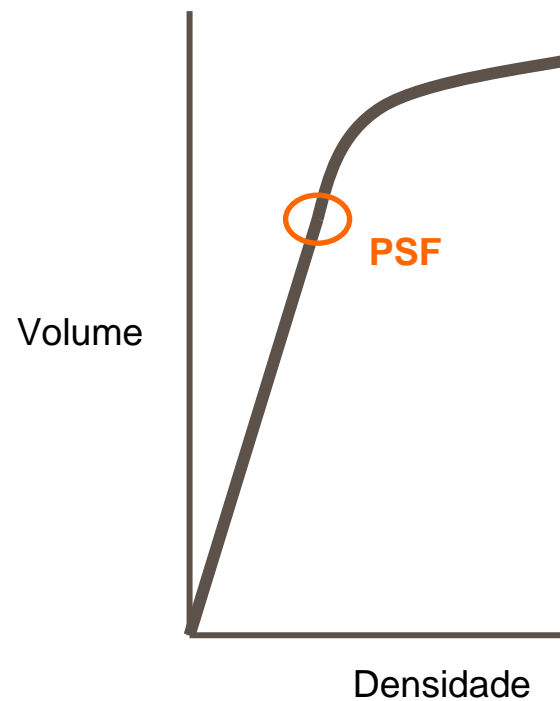
[> Imagem \(d 5\)](#)

“...é também considerado o ponto abaixo do qual as propriedades físicas e mecânicas começam a alterar-se em função do teor de humidade.” - in “Wood Handbook”, Forest Products Laboratory

[> Imagem \(d 10\)](#)



Ponto Saturação Fibras (variações volumétricas)



Humidade Equilíbrio

O teor de humidade abaixo do PSF é função da humidade relativa e da temperatura do ambiente;

A secagem das paredes das células lenhosas progride até que se estabeleça um equilíbrio do teor de água entre a peça de madeira e as condições ambientais em que se encontra, ou seja até que a madeira atinja a...

Esta é razão pela qual dizemos que a Madeira é caracteristicamente **HIGROSCÒPICA**

> ábaco das curvas da humidade de equilíbrio da madeira (ds 12 e 13)



Humidade Equilíbrio Madeira

Humidade de equilíbrio

Table 3–4. Moisture content of wood in equilibrium with stated temperature and relative humidity

Temperature		Moisture content (%) at various relative humidity values																		
(°C)	(°F)	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%
-1.1	(30)	1.4	2.6	3.7	4.6	5.5	6.3	7.1	7.9	8.7	9.5	10.4	11.3	12.4	13.5	14.9	16.5	18.5	21.0	24.3
4.4	(40)	1.4	2.6	3.7	4.6	5.5	6.3	7.1	7.9	8.7	9.5	10.4	11.3	12.3	13.5	14.9	16.5	18.5	21.0	24.3
10.0	(50)	1.4	2.6	3.6	4.6	5.5	6.3	7.1	7.9	8.7	9.5	10.3	11.2	12.3	13.4	14.8	16.4	18.4	20.9	24.3
15.6	(60)	1.3	2.5	3.6	4.6	5.4	6.2	7.0	7.8	8.6	9.4	10.2	11.1	12.1	13.3	14.6	16.2	18.2	20.7	24.1
21.1	(70)	1.3	2.5	3.5	4.5	5.4	6.2	6.9	7.7	8.5	9.2	10.1	11.0	12.0	13.1	14.4	16.0	17.9	20.5	23.9
26.7	(80)	1.3	2.4	3.5	4.4	5.3	6.1	6.8	7.6	8.3	9.1	9.9	10.8	11.7	12.9	14.2	15.7	17.7	20.2	23.6
32.2	(90)	1.2	2.3	3.4	4.3	5.1	5.9	6.7	7.4	8.1	8.9	9.7	10.5	11.5	12.6	13.9	15.4	17.3	19.8	23.3
37.8	(100)	1.2	2.3	3.3	4.2	5.0	5.8	6.5	7.2	7.9	8.7	9.5	10.3	11.2	12.3	13.6	15.1	17.0	19.5	22.9
43.3	(110)	1.1	2.2	3.2	4.0	4.9	5.6	6.3	7.0	7.7	8.4	9.2	10.0	11.0	12.0	13.2	14.7	16.6	19.1	22.4
48.9	(120)	1.1	2.1	3.0	3.9	4.7	5.4	6.1	6.8	7.5	8.2	8.9	9.7	10.6	11.7	12.9	14.4	16.2	18.6	22.0
54.4	(130)	1.0	2.0	2.9	3.7	4.5	5.2	5.9	6.6	7.2	7.9	8.7	9.4	10.3	11.3	12.5	14.0	15.8	18.2	21.5
60.0	(140)	0.9	1.9	2.8	3.6	4.3	5.0	5.7	6.3	7.0	7.7	8.4	9.1	10.0	11.0	12.1	13.6	15.3	17.7	21.0
65.6	(150)	0.9	1.8	2.6	3.4	4.1	4.8	5.5	6.1	6.7	7.4	8.1	8.8	9.7	10.6	11.8	13.1	14.9	17.2	20.4
71.1	(160)	0.8	1.6	2.4	3.2	3.9	4.6	5.2	5.8	6.4	7.1	7.8	8.5	9.3	10.3	11.4	12.7	14.4	16.7	19.9
76.7	(170)	0.7	1.5	2.3	3.0	3.7	4.3	4.9	5.6	6.2	6.8	7.4	8.2	9.0	9.9	11.0	12.3	14.0	16.2	19.3
82.2	(180)	0.7	1.4	2.1	2.8	3.5	4.1	4.7	5.3	5.9	6.5	7.1	7.8	8.6	9.5	10.5	11.8	13.5	15.7	18.7
87.8	(190)	0.6	1.3	1.9	2.6	3.2	3.8	4.4	5.0	5.5	6.1	6.8	7.5	8.2	9.1	10.1	11.4	13.0	15.1	18.1
93.3	(200)	0.5	1.1	1.7	2.4	3.0	3.5	4.1	4.6	5.2	5.8	6.4	7.1	7.8	8.7	9.7	10.9	12.5	14.6	17.5
98.9	(210)	0.5	1.0	1.6	2.1	2.7	3.2	3.8	4.3	4.9	5.4	6.0	6.7	7.4	8.3	9.2	10.4	12.0	14.0	16.9
104.4	(220)	0.4	0.9	1.4	1.9	2.4	2.9	3.4	3.9	4.5	5.0	5.6	6.3	7.0	7.8	8.8	9.9			
110.0	(230)	0.3	0.8	1.2	1.6	2.1	2.6	3.1	3.6	4.2	4.7	5.3	6.0	6.7						
115.6	(240)	0.3	0.6	0.9	1.3	1.7	2.1	2.6	3.1	3.5	4.1	4.6								
121.1	(250)	0.2	0.4	0.7	1.0	1.3	1.7	2.1	2.5	2.9										
126.7	(260)	0.2	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.4												
132.2	(270)	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4													

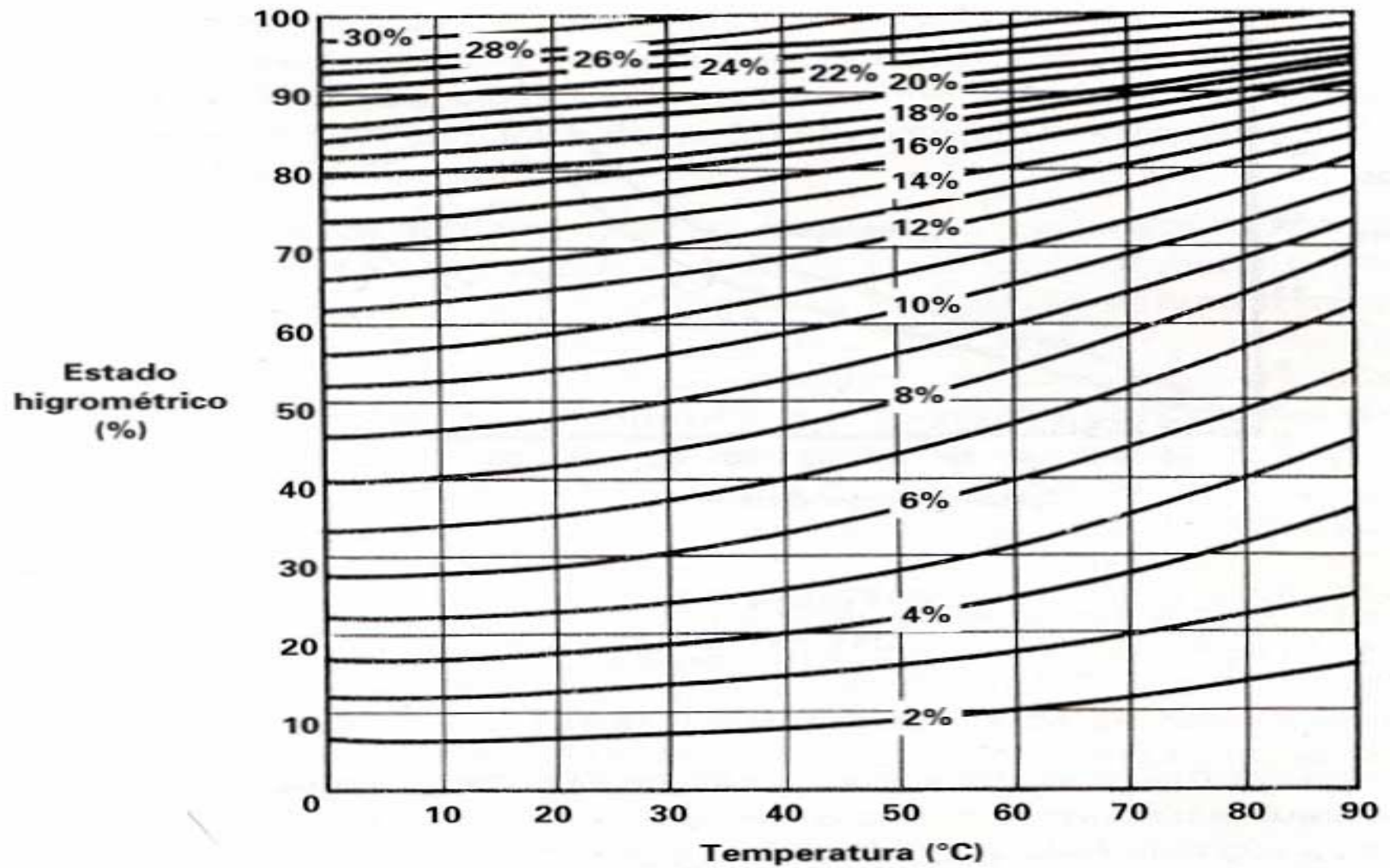
Fonte: *Forest Products Laboratory*

“Wood handbook”, 1999



Humidade Equilíbrio Madeira

Humidade de equilíbrio

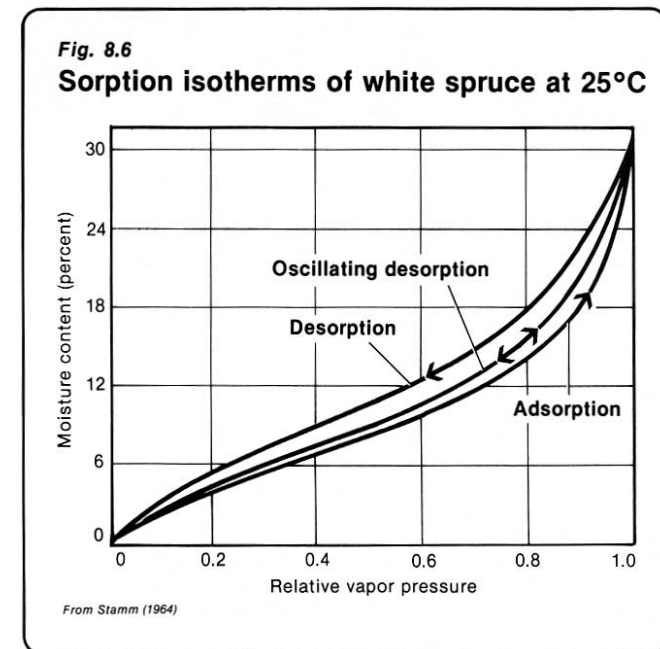


Fonte: Albino de Carvalho, "Madeiras Portuguesas", 1996



Fenómeno Sorção: histeresse

Fenómeno sorção	
Absorção	Dessorção
Secagem (Cede água)	Entumecimento (Absorve água)



Fonte: John G. Haygreen , Jim L. Bowyer
“Forest Products and Wood Science”, 1996



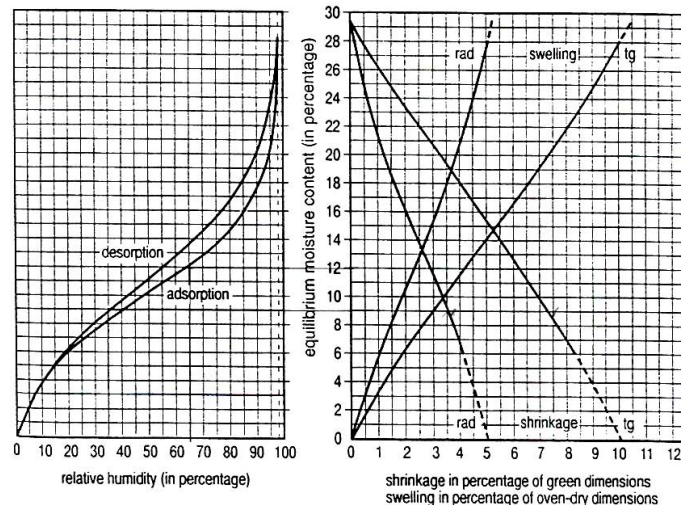
Um estudo – TNO Centre for Timber Research

Jan f. Rijdsijk and Peter B. Laming, “Physical and Related Properties of 145 Timbers”, 1994

Hysteresis, shrinkage and swelling curves of Pine, Scots, sapwood (Netherlands-grown)



Average values of 5 test specimens from 5 trees



- Curva histeresse (20°C) – isotérmicas de sorção;
 - eixo xx's: humidade relativa (%);
- Curvas da retracção e do entumescimento tangencial (tg) e radial (rad);
 - eixo xx's:
 - retracção (% das dimensões em verde)
 - Entumescimento (% das dimensões completamente seca)
- Eixo yy's: humidade equilíbrio da madeira (%)

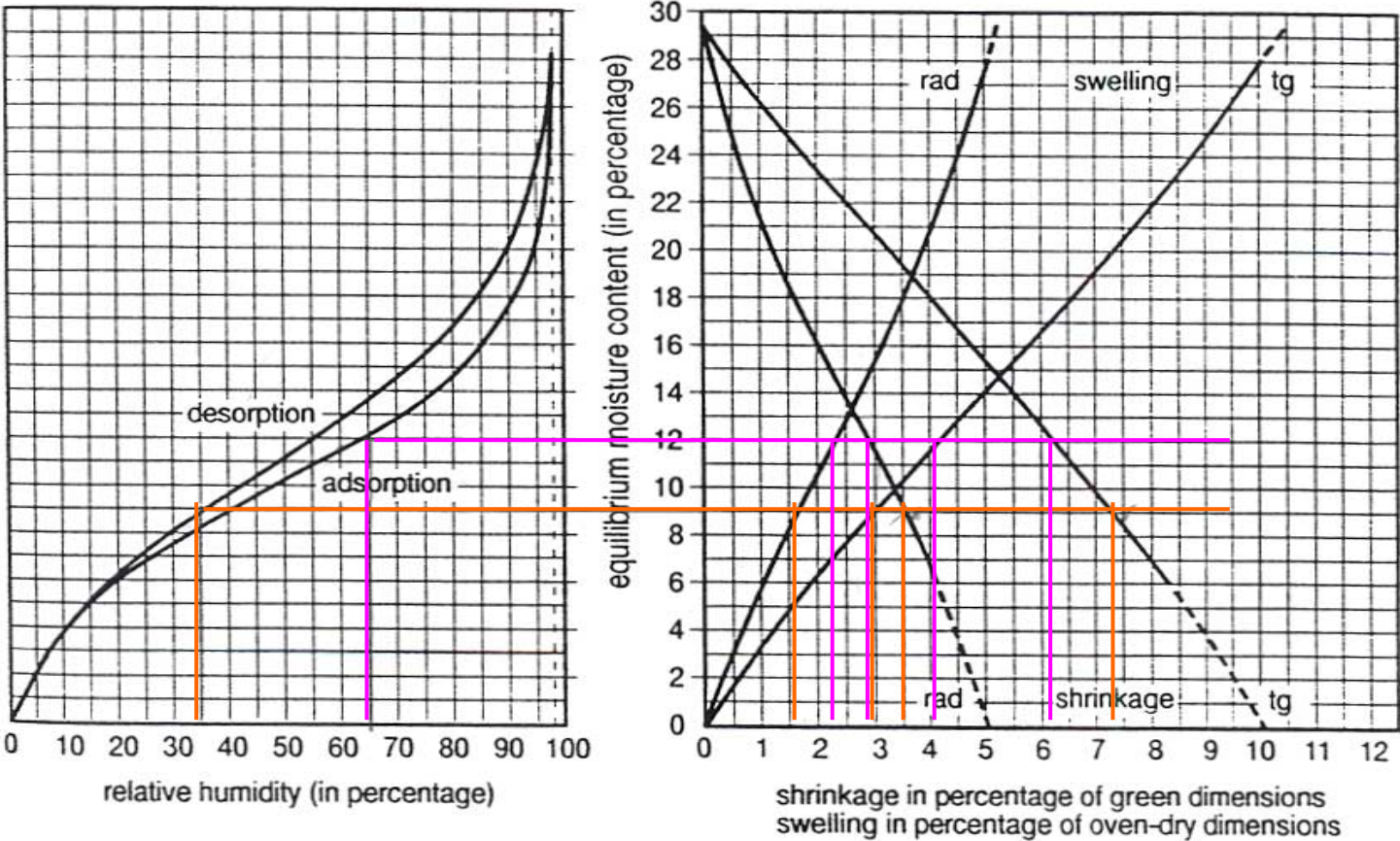


Um estudo – TNO Centre for Timber Research

Hysteresis, shrinkage and swelling curves of Pine, Scots, sapwood (Netherlands-grown)



Average values of 5 test specimens from 5 trees



Fenómeno Sorção; Histeresse

Um estudo – TNO Centre for Timber Research

Leituras para Pine, Scots			
	H. equilíbrio	rad	tg
entumescimento	8,5%	1,6	3,0
	12%	2,3	4,1
diferença		0,7	1,1
retracção	12%	2,8	6,2
	8,5%	3,5	7,3
diferença		0,7	1,1
diferença média		0,7	1,1

As variações dimensionais podem oscilar entre 0,35%(0,7/2) e 0,55%(1,1/2)



Que relação!

- Importa entender todos os fenómenos de ligação entre estes dois elementos – água e madeira; comportamentos, reacções, etc.
- Conhecer os parâmetros influenciadores dos comportamentos e procurar controlá-los com vista à melhor utilização e aplicabilidade deste nobre material em serviço...

... temos que respeitar a relação...

