

# INFLUÊNCIA DE TRATAMENTO A VAPOR EM ALGUMAS PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA DE IMBUIA (*Ocotea porosa*)

Hans Peter Nock \*

## SUMMARY

*Studies on the influence of a saturated-steam-treatment on some physical properties of Imbuia-wood (*Ocotea porosa*) gave the following results:*

- reductions of drying time by 35 - 40%
- reduction of equilibrium moisture content after drying by 14%
- reduction of shrinkage coefficients of the wood by 20% - 33,3%

*Secondary effects of the treatment e. g. sterilization and defects especially collapse, color change, splitting are also discussed.*

*Alterations of the mechanical wood-properties are not to be expected as a consequence of low-pressure steam treatment.*

## 1. Objetivo

A presente pesquisa teve como finalidade investigar a influência de um tratamento a vapor saturado (pressão atmosférica) de 36 horas na madeira serrada de Imbuia. Inicialmente foram determinadas as seguintes propriedades físicas da madeira:

1. Peso específico aparente básico
2. Teor de umidade
3. Inchamento tangencial, radial e volumétrico após 0 (verde), 12, 24 e 36 horas de vaporização. Baseando-se nos dados obtidos tem-

se a intenção de relatar sobre as possíveis alterações sofridas pela madeira vaporizada, no que diz respeito a retratabilidade e inchamento, velocidade de secagem, peso específico, etc.

## 2. Material

De 3 árvores diferentes, escolhidas ao acaso, foram cortadas ripas perfeitamente orientadas — 4 de cada tora — das seguintes dimensões: 202 x 6 x 3 cm.

As ripas foram subdivididas, e submetidas aos vários tratamentos, segundo esquemas N.º 1 e 2.

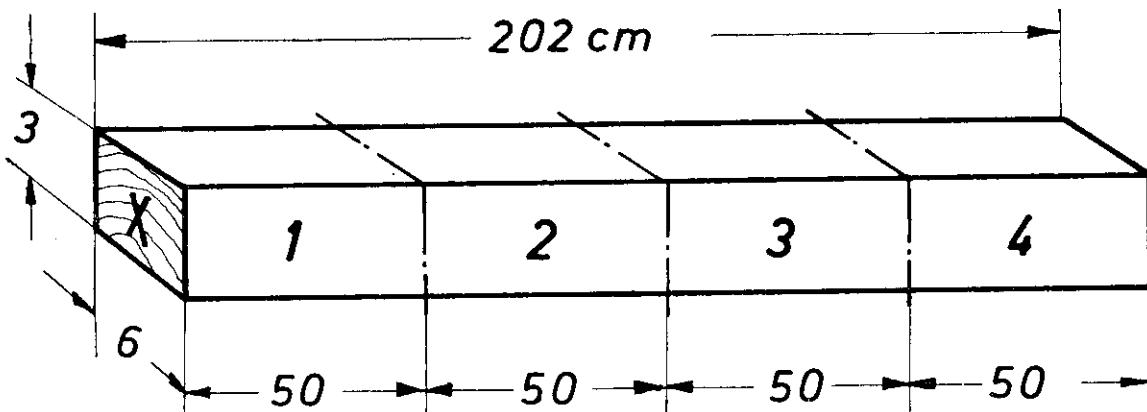


FIG. I: ESQUEMA DE AMOSTRAGEM Nº 1

- 1- SEM TRATAMENTO
- 2- 12 HORAS DE VAPORIZAÇÃO
- 3- 24 HORAS DE VAPORIZAÇÃO
- 4- 36 HORAS DE VAPORIZAÇÃO

\* Professor de Tecnologia da Madeira da UFP, Convênio com a Universidade de Freiburg/Alemanha.

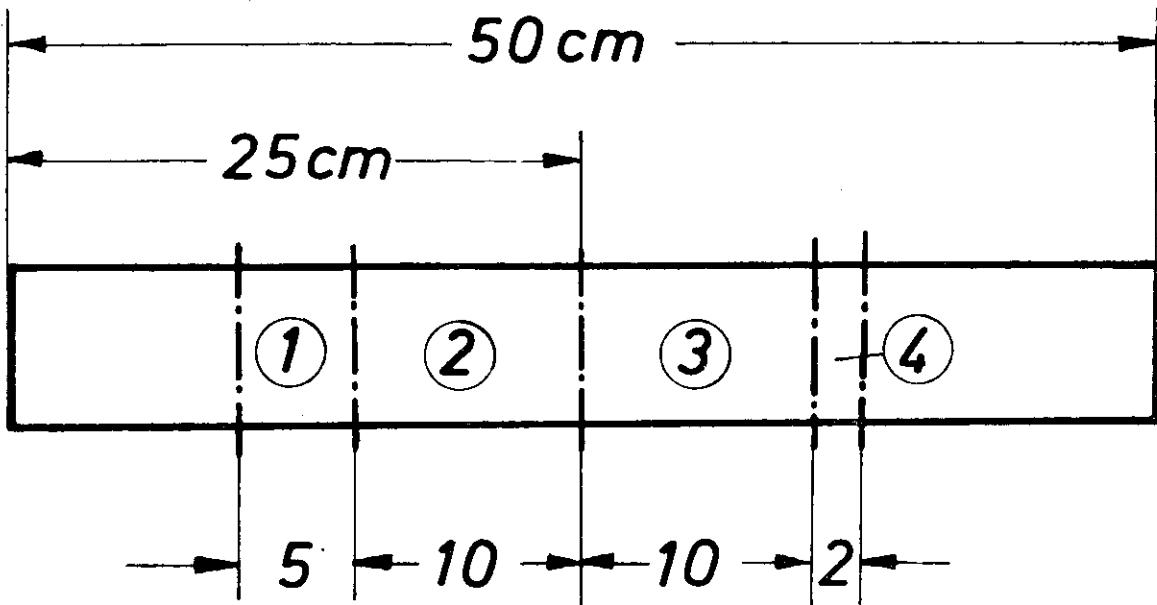


FIG. 2 : ESQUEMA DE AMOSTRAGEM Nº 2

Onde:

1. 2 corpos de prova de  $5 \times 2,5 \times 2,5$  cm (determinação do peso específico).
2. 2 corpos de prova de  $10 \times 2,5 \times 2,5$  cm (determinação de retratibilidade e inchamento, velocidade e tempo de secagem).
3. 2 corpos de prova de  $10 \times 2,5 \times 2,5$  cm (determinação de retratibilidade e inchamento, velocidade e tempo de secagem).
4. 2 corpos de prova de  $2 \times 2,5 \times 2,5$  cm (determinação do teor de umidade).

### 3. Execução dos trabalhos

#### 3.1. Teor de umidade

As ripas, uma vez cortadas e submetidas à vaporização junto com o material de uso industrial, foram embrulhadas em plástico impermeável, imediatamente após tratamento, e mandadas ao laboratório. Foram confeccionados, a seguir, os corpos de prova segundo esquema N.º 2 e determinado o teor de umidade "u" conforme o método de pesagem de madeira verde e seca a estufa:

$$u = \frac{\text{Peso verde} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \cdot 100 [\%]$$

TABELA 1

Tratamento	u %
Sem tratamento	106,99
12 horas vapor	105,31
24 horas vapor	104,95
36 horas vapor	105,78

Pode-se constatar, conforme os dados obtidos uma leve diminuição do teor de umidade com maior tempo de vaporização, sendo ela "não significante" segundo cálculo estatístico.

Explica-se a atual diminuição do teor de umidade de madeira submetida à vaporização, pela evaporação da água livre no sistema capilar da madeira sob temperaturas de vapor de  $100^{\circ}$  C. A magnitude do efeito de secagem observado depende do teor de umidade inicial, da espessura da madeira, da temperatura do vapor e do tempo de vaporização.

#### 3.2. Peso específico

Determina-se o p. e. aparente básico, "r", da seguinte maneira:

$$r = \frac{\text{Peso seco estufa (o \% u)}}{\text{Volume verde (saturado)}} [\text{g/cm}^3]$$

Os seguintes resultados foram obtidos:

**TABELA 2**

Tratamento	r (g/cm <sup>3</sup> )
sem tratamento	0,540
12 horas de vapor	0,541
24 horas de vapor	0,537
36 horas de vapor	0,536

A análise da variância, tomando como base os valores médios de 0 e 36 horas de tratamento:

( $\bar{x}_0$  e  $\bar{x}_{36}$ )

indicou que não existe diferenças estatisticamente significativas entre os dois tipos de tratamento (0 resp. 36 horas de vaporização). Esta observação confirma as citações de KOLLMANN (1) dizendo que a aplicação de vapor, somente em combinação com pressões altas (várias atmosferas) resultará em perda de substâncias da madeira. Ocorreria neste caso, perda de resistência, proporcionalmente à diminuição do peso específico. As pequenas diferenças do peso específico em relação ao tempo de tratamento pode-se interpretar como variação intrínseca da madeira, e

de uma insignificante volatilização de substâncias resinosas em temperaturas elevadas.

### 3.3. Velocidade de secagem

Um dos argumentos mais frequentemente usado para justificar o tratamento a vapor da madeira verde de Imbuia, antes da sua utilização em escala industrial era um suposto aumento na velocidade de secagem após tratamento. Dedicou-se, consequentemente, a maior atenção a este ponto, apesar da necessidade de estender a pesquisa por um tempo prolongado, para a aclimatização das amostras:

Os corpos de prova após confecionados, foram pesados imediatamente e secados em um clima controlado em  $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ$  e  $65\% \pm 5\%$  de umidade relativa. Antes de serem colocados na câmara de aclimatização, os corpos de prova foram submetidos a um tratamento de vaporização no laboratório ( $1\frac{1}{2}$  horas em banho maria até aquecimento completo) para criar condições semelhantes a situação atual na prática industrial. (Fig. 3, 4).

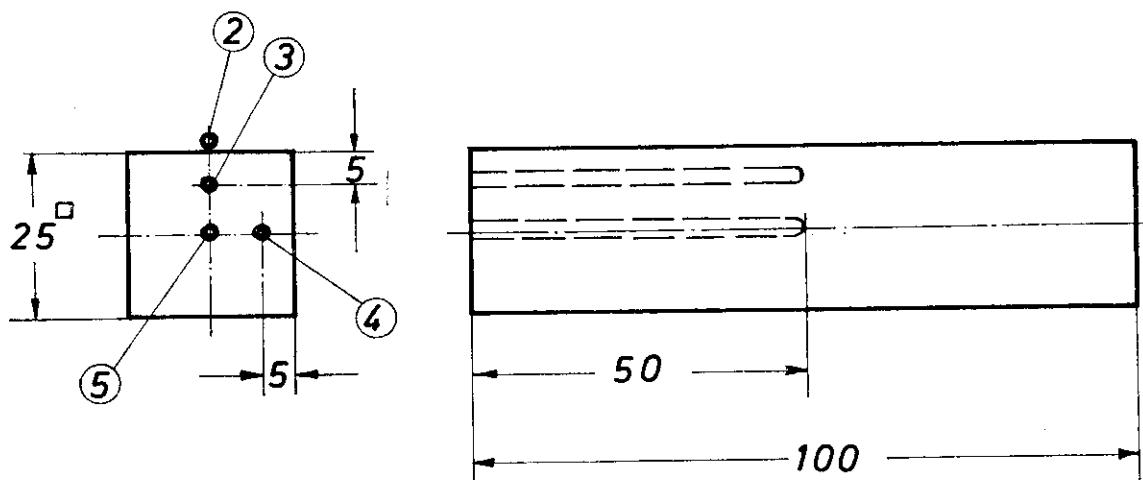


FIG. 4: DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE MEDIDA

Durante o processo de resfriamento o teor de umidade foi registrado continuamente. Resultou que o teor de umidade, durante os primeiros 60 minutos, após vaporização, diminuiu rapidamente (veja fig. 5). A velocidade de secagem  $du/dt$  é consequentemente alta no início do processo de secagem, (tempo de resfriamento), bem mais alta do que a velocidade de secagem das amostras não tratadas e frias (veja fig. 6 e fig. 7).

Este comportamento inicial de resfriamento faz com que se tenha a impressão de que ela seca muito mais rapidamente do que a madeira não tratada.

Explica-se este fenômeno da alta velocidade de secagem inicial, quando a madeira ainda está quente, pela definição do coeficiente de transmissão de umidade.

$$K_f = \frac{\Gamma}{\nu} f(u) [\text{Kg/m h \%}] \text{ o qual}$$

determina o movimento capilar da água na madeira acima do ponto de saturação das fibras.  $\Gamma$  ( $\text{kg/m}$ ) determina a tensão superficial e  $\nu$  a viscosidade.

Como  $\nu$  diminui consideravelmente com aumento da temperatura (a tensão superficial não sofre alterações consideráveis), o coeficiente de transmissão de umidade aumenta também com a temperatura, atingindo em  $50^\circ \text{C}$  um valor duas vezes maior que em  $20^\circ \text{C}$ . Resulta que em elevadas temperaturas a evaporação da água realiza-se com velocidade mais alta. Também o aquecimento do ar em volta da madeira quente, que traz consigo uma capacidade de absorção de umidade, pode ser considerado uma

contribuição a maior velocidade de secagem de madeira recentemente vaporizada. A observação do desenvolvimento posterior da secagem mostra que a maior velocidade inicial de secagem é:

- a. inicialmente, apenas uma consequência de elevada temperatura (fig. 6) e que
- b. apenas as camadas exteriores da madeira estão envolvidas (fig. 7).

A velocidade de secagem da madeira tratada chega a ser igual ou até menor do que aquela da madeira não tratada, aproximadamente 60 — 70 minutos depois de ser removida do tanque de vaporização (correspondendo ao momento no qual ela atinge a temperatura ambiente).

Este fato é atribuído aos seguintes fatores:

- a. início da difusão da água do interior da peça em direção as camadas exteriores secas.
- b. condensação de vapor do interior da peça ainda quente nas zonas exteriores já frias
- c. ocorrência de colapso de células e de outros defeitos de secagem nas camadas exteriores da madeira, causada pela secagem rápida, que impedem a rápida e contínua evaporação da água.

Defeitos desta natureza foram observados frequentemente em muitos corpos de prova submetidos a tratamento a vapor.

Figura 8 mostra o decurso completo da secagem em clima normalizado ( $20^\circ \text{C}/65\%$ ) de madeira tratada e não tratada. Uma avaliação das curvas de secagem permite as seguintes conclusões:

TABELA 3

Tratamento	Tempo até atingir unidade a 12,25% u (em dias) *	Tempo até atingir umidade equil. (em dias)	Umidade equilíbrio %
Sem	38 — 40		12,22
12 horas	25 — 30		10,87
24 horas	25 — 30		11,04
36 horas	25		10,55

\* umidade de equilíbrio padrão para clima  $20^\circ \text{C}/65\%$

- a. Com maior tempo de vaporização, baixa o teor de umidade equilíbrio. Isto significa que a madeira tratada a vapor sempre ficará mais seca do que madeira não tratada, sendo as condições ambientais idênticas.
- b. Condições ambientais modificadas, por exemplo aumento da umidade relativa, provocarão menores alterações dimensionais na madeira tratada.

A diferença de teor de umidade equilíbrio entre madeira tratada (12, 24 e 36 horas) e não tratada é estatisticamente significante em todos os casos. Entre grupos de amostragem submetidos a tratamento de vapor (12, 24 e 36 horas) não manifestaram-se diferenças estatisticamente significativas.

A diferença em umidade equilíbrio máximo entre madeira não tratada (0 horas) e madeira tratada (36 horas) é de 1,7% u. correspondendo a uma alteração de 14% baseando-se no valor de madeira não tratada.

Madeira tratada leva menos tempo de secagem, até 12,25% umidade, que a madeira verde, sendo o melhoramento, em termos de velocidade de secagem, por volta de 35 — 40%. Mas, considerando a diferença absoluta pequena de 2% u, depois de 4 semanas de armazenamento, não deve-se dar excessivo valor a este fato.

### 3.4. Inchamento e Contração

Tendo em vista a avaliação do comportamento da madeira com e sem tratamento a vapor, no que diz respeito às suas propriedades de inchamento e contração, foram determinados os valores máximos de inchamento ( $\alpha_{max}$ ) nos três sentidos principais da madeira (longitudinal, radial e tangencial) e também o coeficiente diferencial de inchamento ( $q$ ).

#### 3.4.1. Coeficiente diferencial de inchamento

Define-se “ $q$ ” como a porcentagem de inchamento linear por

1% de alteração de umidade dentro do alcance higroscópico normal de aproximadamente 4 — 18% u., (coeficiente de retratabilidade).

Pode-se observar segundo os valores obtidos (fig. 9) de  $q$ , que o tratamento a vapor melhora consideravelmente as propriedades de inchamento e contração da madeira de Imbuia, embora sejam as diferenças de  $q$  entre vários tratamentos estatisticamente significantes somente a partir de 24 horas de vaporização.

O máximo melhoramento, depois de 36 horas de tratamento, no sentido tangencial calculou-se em aproximadamente 25%, no sentido radial, em aproximadamente 33,3%, em relação aos valores de madeira não tratada. Deve-se o melhoramento, provavelmente, a decomposição hidrolítica de substâncias altamente hidroscópicas na madeira (por exemplo, pectinas, xilano etc.), devido as altas temperaturas durante a vaporização. Sabe-se também, que com maior tempo de tratamento a vapor haverá:

- a. uma desintegração das hemiceluloses, constituinte hidrófilo da madeira, responsável por uma parte do inchamento e
- b. uma condensação dos constituintes hidrosolúveis da lignina com outras substâncias (ácidos lípidos, ácido acético etc.), formando substâncias resinosas não solúveis em água.

Estes fatores, acima mencionados, fazem com que, durante a vaporização, a madeira sofra uma série de modificações químicas dos seus principais constituintes, resultando em uma diminuição da sua capacidade de absorver água e, consequentemente em menor alteração das dimensões.

### 3.4.2. Inchamento máximo

O inchamento linear máximo define-se como a diferença entre as dimensões da madeira verde (saturada) e madeira seca (0% de umidade):

$$\alpha_{\max} = \frac{l_u - l_0}{l_0} \cdot 100 [\%]$$

Obteve-se os seguintes resultados, (tab. 8)

TABELA 8

#### Inchamento $\alpha_{\max}$ da madeira sem e com tratamento a vapor

Tratamento	$\alpha_{\max}$ Tang. %	Variânc- cia	$\alpha_{\max}$ radial %	Variânc- cia	$\alpha_{\max}$ vol. %
Sem trata- mento	6,2	0,840	2,6	0,073	8,8
36 horas	4,7	0,296	2,1	0,0357	6,8

Conforme os resultados obtidos, existe realmente um melhoramento da propriedade de inchamento, quer dizer, a madeira tratada mostra menor alteração das dimensões do que a madeira natural sendo o melhoramento no sentido tangencial 24% e no sentido radial 19%.

Por outro lado, a anisotropia de inchamento (relação entre tangencial e radial) não sofreu alterações significantes (apenas um melhoramento de aproximadamente 6%).

Considerando os resultados acima apresentados pode-se constatar que o tratamento a vapor acarreta um melhoramento quantitativo nas alterações dimensionais da madeira de Imbuia. Porém, a sua tendência ao empenamento ou instabilidade, expressada pela relação  $\alpha_{\text{tang}}/\alpha_{\text{rad}}$  (anisotropia) não diminui consideravelmente.

#### 4. Conclusões

Estudos da literatura sobre o problema de vaporização da madeira e seus efeitos, nas propriedades de contração e inchamento tanto como na sua secagem, revelaram que existem várias opiniões contraditórias. Alguns autores não observam efeito nenhum (8), outros constam melhoramento das propriedades

apenas no alburno (7), outros acima observaram um considerável melhoramento destas propriedades entre 12% até 62% (1,2). Por outro lado, uma fonte bibliográfica fala de uma atual degeneração das propriedades higroscópicas da madeira (5).

De acordo com os resultados do presente trabalho, KOLLMANN (1) verificou que o inchamento da madeira de "Fagus silvatica" diminui em 12% após o tratamento a vapor (100° C, 0 atm, 60min). Além disso, o mesmo autor observou também uma diminuição da umidade equilíbrio em madeira submetida a vaporização (1,2). Resultados de uma pesquisa do Forest Products Research Laboratory (8) confirmam as nossas observações no que diz respeito à influência da vaporização no decorso de secagem da madeira (8). De acordo com as observações de vários autores (1, 2, 3, 4, 6) o simples fato de existir um melhoramento das propriedades de inchamento da madeira, depende, aparentemente, da espécie pesquisada, e das condições do tratamento, tais como: Tempo de vaporização, temperatura e pressão do vapor.

Kollmann, por exemplo, observa um melhoramento nas propriedades de inchamento da madeira em 28% para madeira de "Fagus silvatica" (60 min, 3 atm, de pressão); melhoramentos semelhantes do comportamento higroscópico

também obteve-se na Dinamarca usando um sistema de secagem "a pressão" (secagem da madeira entre pranchas aquecidas sob pressão).

Deve-se finalmente chamar a atenção a mais alguns efeitos secundários de vaporização, desvantagens e vantagens, na madeira serrada:

1. A vaporização causa, frequentemente, uma descoloração da madeira tornando-a mais escura. Obtém-se um escurecimento uniforme através de empilhagem compacta no tanque, efeito este desejável para a madeira de Imbuia.
2. Vaporização leva a extinção de fungos e insetos: esterilização completa ocorre depois de algumas horas de tratamento (1). Não existe todavia, certeza se este efeito é permanente ou não.

Segundo Lempelius (4) a madeira vaporizada, atualmente, torna-se mais suscetível ao ataque de fungos. Deve-se este fato a desintegração química de certos constituintes da madeira, os quais tornam-se aproveitáveis para os fungos; também baixa o valor pH da madeira, criando melhores condições de vida para os fungos, e finalmente, a vaporização causa lixiviação de certas substâncias tóxicas que normalmente impedem o desenvolvimento dos mesmos. Ao contrário, Vorreiter (6) observou uma resistência mais alta após vaporização contra ataques de agentes destruidores.

3. Opina-se, em algumas publicações, que a vaporização elimina ou, pelo menos, diminui existentes tensões internas, de crescimento, e a desigual distribuição de umidade na madeira. Embora seja isto provável, e um efeito muito desejável, queremos constar que, referindo-se aos resultados da presente pesquisa e também a observação de Kubinsky (5), existe, paralelamente, a superposição de tensões e forças formadas durante a vaporização especialmente, quando a madeira está sendo retirada do

tanque (diferenças em temperatura e de grau da umidade). Foi necessário eliminar muitos corpos de prova vaporizados por causa de defeitos como colapso, rachaduras e demais empenamentos.

Referindo-se a estrutura microscópica, a madeira segundo Kubinsky (5), terá vasos deformados, fibras esmagadas, colapso das paredes celulares e diminuição do lumen (inchamento excessivo da camada interior da parede celular — "pele de sapo" das fibras).

Para evitar estes defeitos, pelo menos até um certo limite, recomenda-se um período de aclimatização de aproximadamente 1/6 — 1/5 do tempo de tratamento após a vaporização (Vorreiter — 6).

4. A decomposição química de substâncias de ligação interna (lignina e pectina) durante a vaporização tende a afrouxar a ligação entre células. Como consequência pode-se observar uma melhor tratabilidade da madeira tratada: trabalhando com rebote e tupia notou-se menor resistência ao corte com maior tempo de vaporização (8).

Observa-se um menor número de fibras arrebentadas nas superfícies trabalhadas e as mesmas ficam, consequentemente, lisas. É citado, ainda, na mesma publicação que a madeira tratada a vapor tende causar a perda do fio das ferramentas mais rapidamente (8).

Levando-se em consideração os vários melhoramentos e efeitos secundários observados na madeira vaporizada de Imbuia, será conveniente pesquisar com mais ênfase nas alterações sofridas pela madeira e as possibilidades da utilização industrial deste processo, que parece ser vantajoso. Seria interessante estudar a introdução de métodos especiais para diminuir o tempo de vaporização (uma pressão de apenas 1 atmosfera provavelmente dará bons resultados em menos tempo).

## 5. RESUMO

Estudos da influência de um tratamento a vapor saturado (pressão atmosférica) sobre algumas propriedades de madeira de imbuia (*Ocotea porosa*) deram os seguintes resultados:

- redução do tempo de secagem posterior em 35 — 40%
- menor umidade de equilíbrio após secagem (melhoramento em 14%)

— redução do posterior inchamento da madeira (melhoramento em 20 até 33,3%).

Foram também discutidos efeitos secundários do tratamento como escurecimento, esterilização e defeitos (colapso, rachaduras, etc.) da madeira.

Não espera-se alterações das propriedades mecânicas da madeira como consequência de vaporização à baixa pressão.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- (1) KOLLMANN, F.:  
Technologie des Holzes und der Holzwerksstoffe, Bd. I u. II. Springer-Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg, 1951.
- (2) KOLLMAN, F.:  
Furniere, Lagenhölzer und Tischlerplatten  
Springer-Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg 1962.
- (3) KUBLER, H.:  
Die Eigenschaften gedämpfter Hölzer  
Parkett 1966, S. 112 ff, 137 ff, 216 ff.
- (4) LEMPELIUS, J.:  
Die Schnittholztrocknung.  
R. Hildebrand, Oberboihingen 1969.
- (5) KUBINSKY, E.:  
Einfluss des Dämpfens auf die Eigenschaften von *Quercus Rubra*.  
Holzforsch. Bd. 25 (1972) Nr. 3, S 78 — 83.
- (6) VORREITER, L.:  
Holztechnologisches Handbuch.  
Bd. I. u. II.  
Verlag Georg Fromme & Co, Wien 1949.
- (7) SCHWALBE, C.G. und ENDER, W.:  
Dämpfen von Holz.  
Forstarch. Bd. 10 (1934) Nr. 1/2 S. 3.
- (8) DEPT. Sci. IND. RES. FOR. Prod. RES. LAB.:  
The Steaming and Seasoning of English Beech,  
Leaflet Nr. 16, Dez. 1940.

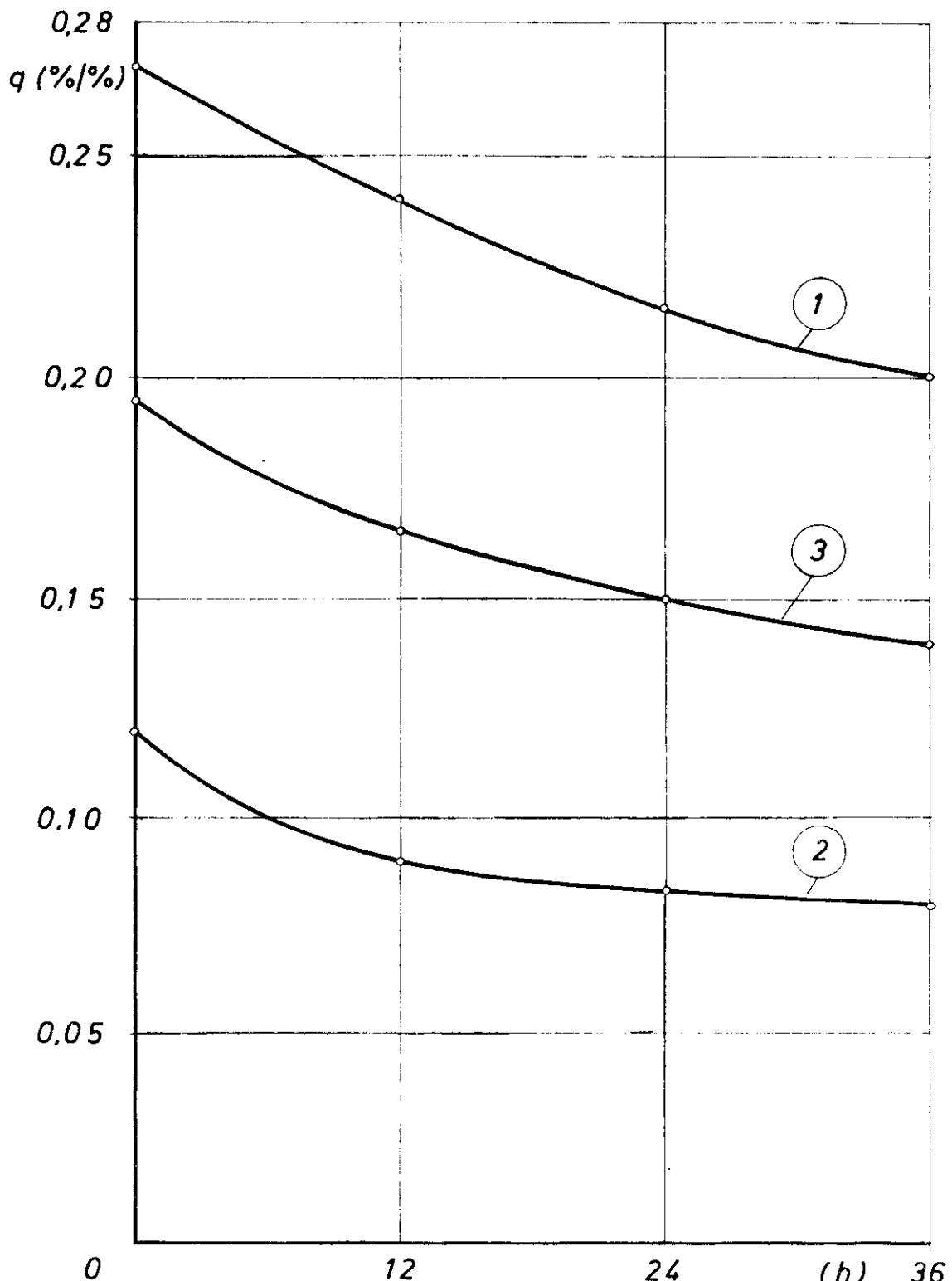


FIG. 9: ALTERAÇÃO DO COEFICIENTE DIFERENCIAL DE INCHAMENTO  $Q$  EM MADEIRA DE OCOTEIA POROSA DURANTE O TRATAMENTO A VAPOR DE 36 HORAS.

- 1-  $Q$  TANGENCIAL
- 2-  $Q$  RADIAL
- 3-  $Q$  MÉDIA T/R

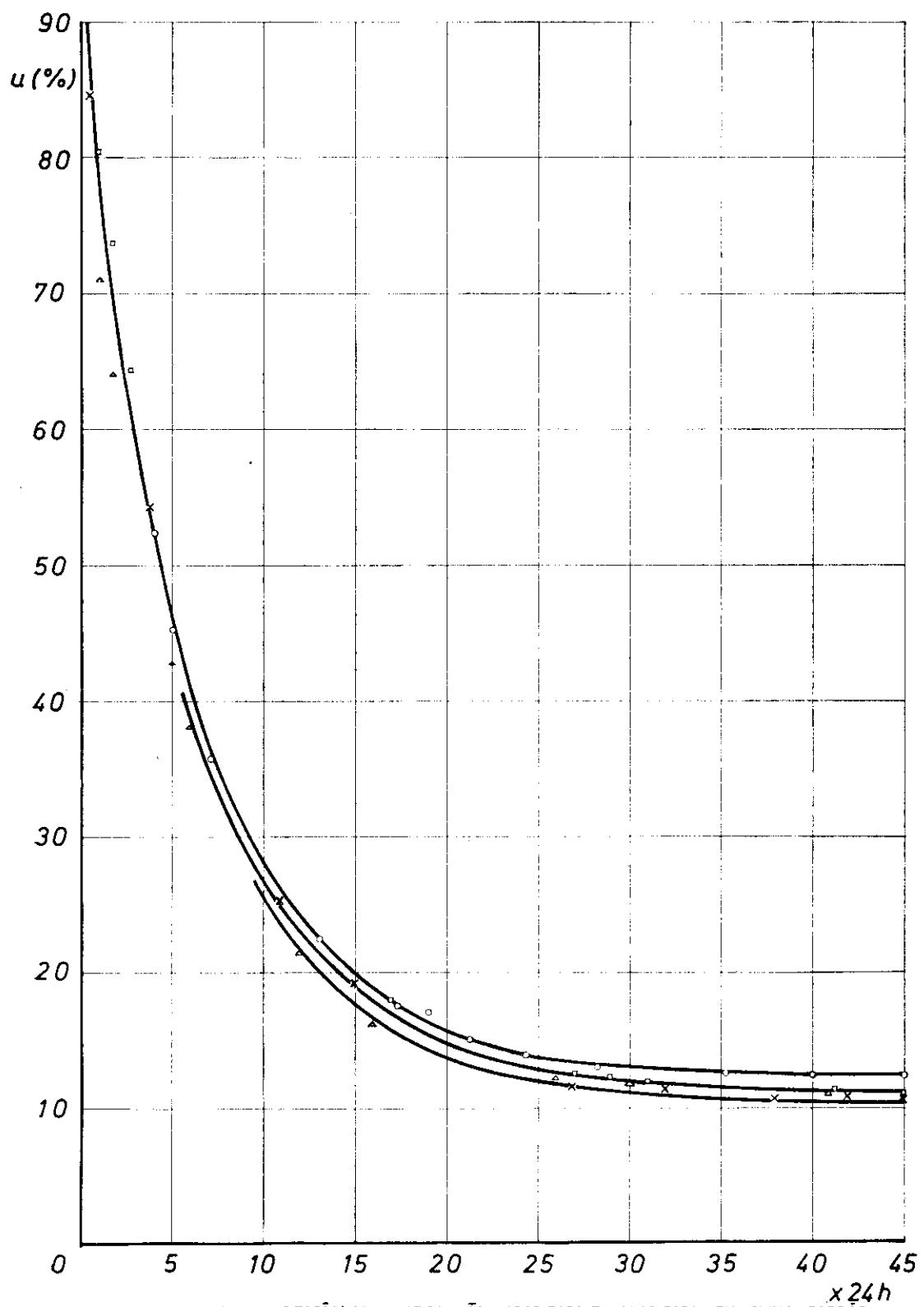


FIG. 8 : SECAGEM (ACLIMATIZAÇÃO) DE MADEIRA NÃO VAPORIZADA E VAPORIZADA EM CLIMA PADRÃO -  
20°C/65%

CURVA SUPERIOR: NÃO VAPORIZADA  
CURVA MÉDIA: 12-24 HORAS DE VAPOR.  
CURVA INFERIOR: 36 HORAS DE VAPOR.

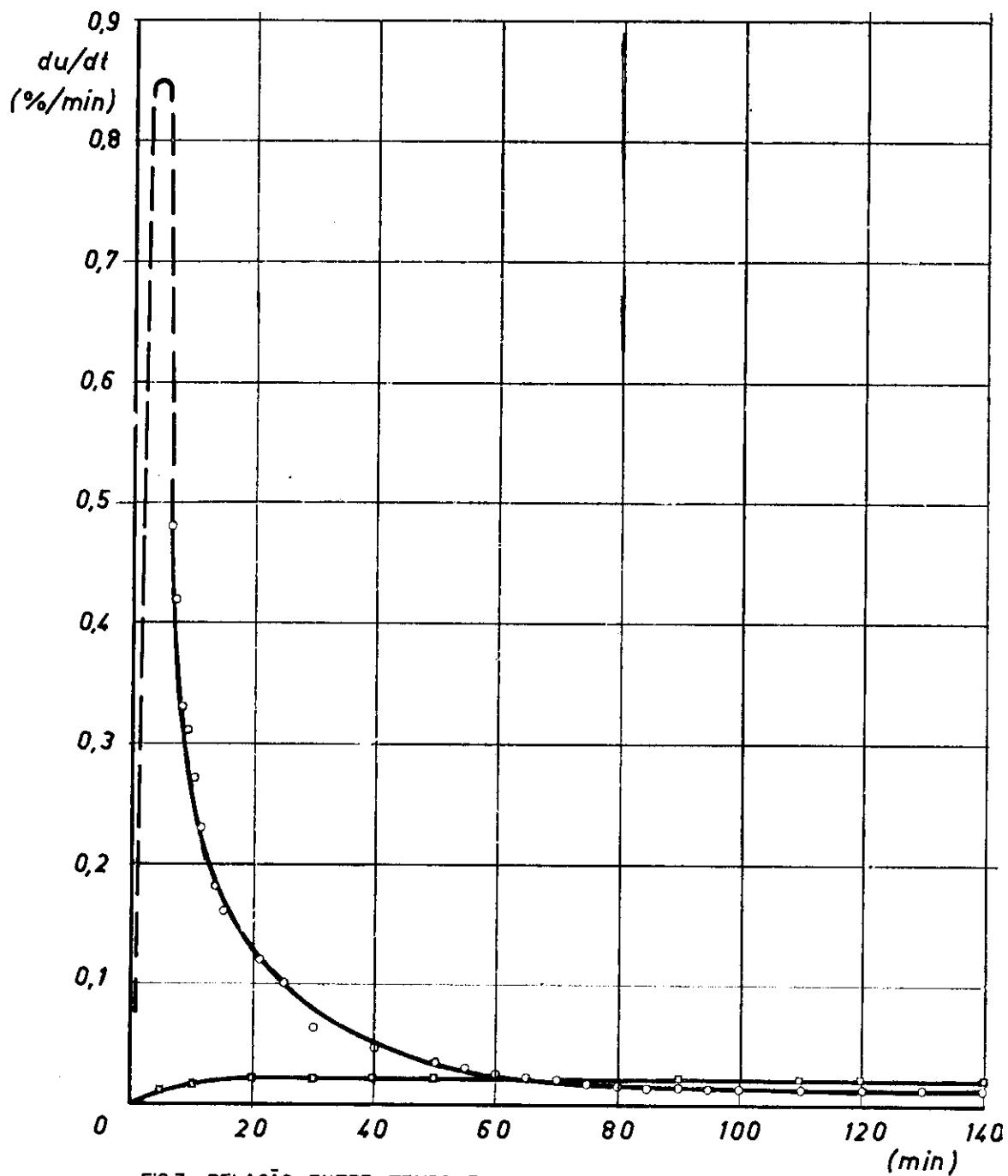


FIG.7 : RELAÇÃO ENTRE TEMPO E VELOCIDADE DE SECAGEM PARA MADEIRA TRATADA E NÃO TRATADA (A VAPOR) EM CONDIÇÕES SEMELHANTES (TEOR DE UMIDADE E CLIMA).

—○— - MADEIRA TRATADA.  
—□— - MADEIRA NÃO TRATADA.

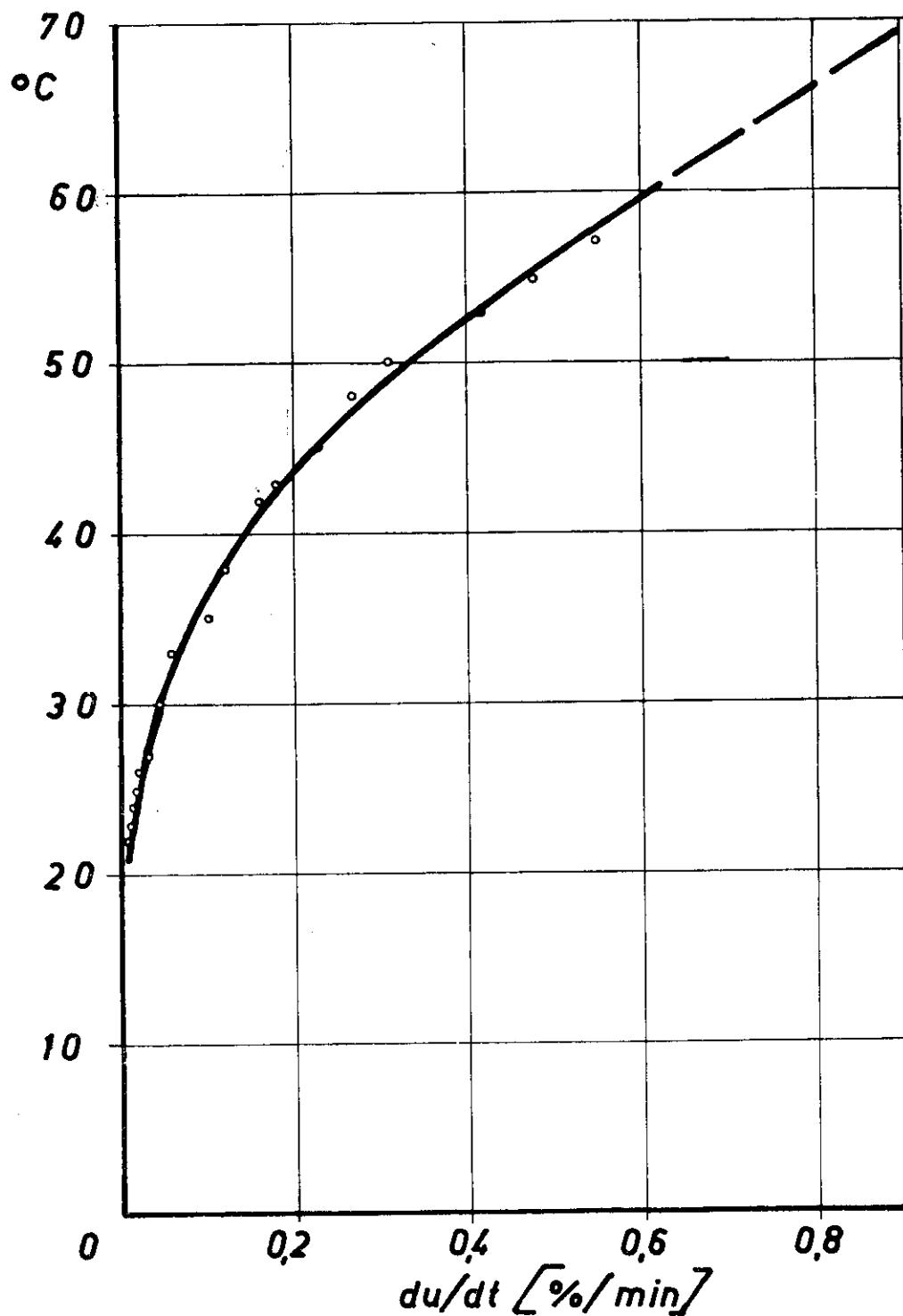


FIG. 6 : MADEIRA TRATADA A VAPOR:  
RELAÇÃO ENTRE VELOCIDADE DE SECAGEM  
E TEMPERATURA SUPERFICIAL, APÓS RETI-  
RADA DO TANQUE.

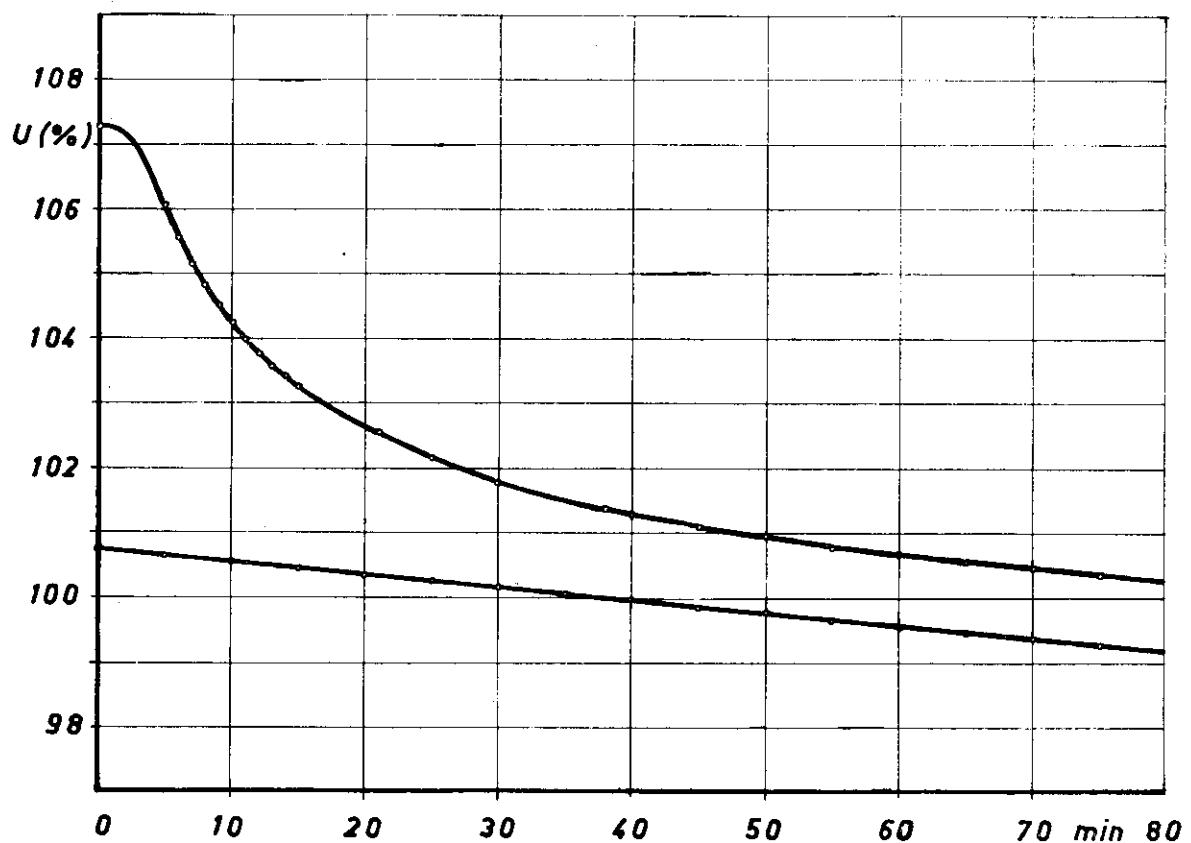


FIG. 5: RELAÇÃO ENTRE TEOR DE UMIDADE E TEMPO DE SECAGEM EM CLIMA PADRÃO 20°C/65% PARA:

A) - MADEIRA TRATADA A VAPOR APÓS RETIRADA DO TANQUE (CURVA SUPERIOR)

B) - MADEIRA NÃO TRATADA COM TEOR DE UMIDADE INICIAL SEMELHANTE (CURVA INFERIOR).

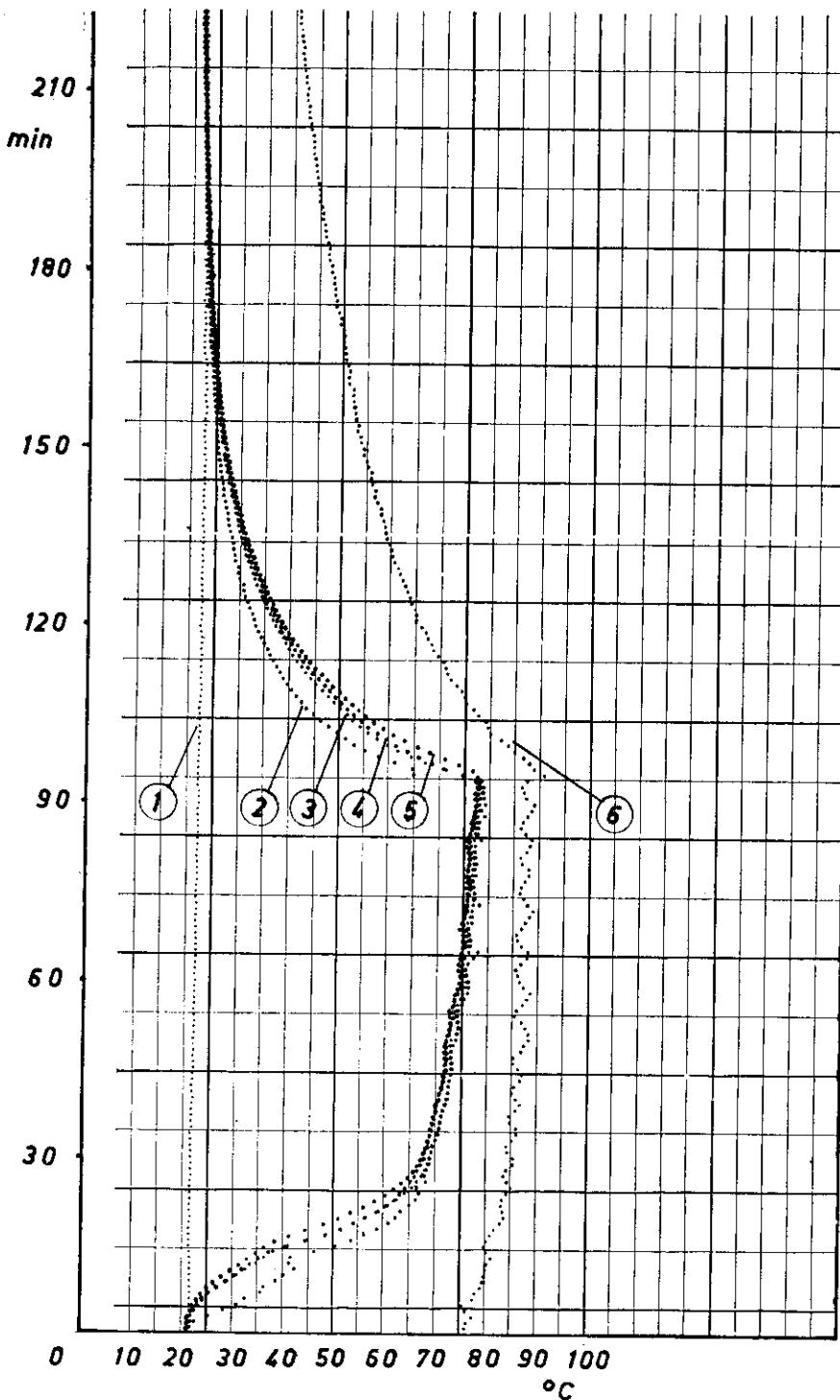


FIG. 3: CURVAS DE AQUECIMENTO E ESFRIAMENTO DE UMA AMOSTRA,  
REGISTRADAS CONTINUAMENTE COM REGISTRADOR ELETRÔNICO.

- 1- TEMPERATURA AMBIENTAL
- 2- TEMP. PONTO DE MEDAÇÃO N° 2
- 3- TEMP. PONTO DE MEDAÇÃO N° 3
- 4- TEMP. PONTO DE MEDAÇÃO N° 4
- 5- TEMP. PONTO DE MEDAÇÃO N° 5
- 6- TEMPERATURA DA ÁGUA DE AQUECIMENTO.