

USO DE INDICADORES NA DETERMINAÇÃO DE UMIDADE DO MATERIAL COMBUSTÍVEL SOB POVOAMENTO DE *Pinus taeda*

ANTONIO CARLOS BATISTA

Professor do Curso de Engenharia Florestal da
Universidade Federal Rural de Pernambuco

RONALDO VIANA SOARES

Professor do Curso de Engenharia Florestal da
Universidade Federal do Paraná; Pesquisador do CNPq.

SUMMARY

The objective of this research was to develop prediction equations in order to estimate the moisture content of dead forest fuel in a loblolly pine stand, through the use of standard sticks. The research material was collected between May and August from a 18 years old stand, and separated in four classes: i) needles; ii) woody material up to 0.7 cm diameter; iii) woody material from 0.7 to 2.5 cm diameter; iv) woody material from 2.5 to 7.6 cm diameter. Three different sizes of sticks were used: one for estimating the moisture of needles and woody material up to 0.7 cm and the others for each remaining fuel size class. The sticks were made from brazilian pine wood. The prediction equations based on the weight of the standard sticks did not present good predictions for the moisture content of the forest fuels, under the studied conditions.

1. INTRODUÇÃO

Os incêndios florestais têm sido um dos principais problemas enfrentados pelos técnicos que atuam nas áreas de florestamento e reflorestamento do Brasil. Por isto, os planos de proteção para estas áreas têm como objetivos principais a prevenção e o combate a incêndios.

A introdução da técnica de queima controlada nos planos de proteção pode resultar em grande eficiência na diminuição do risco de incêndios florestais e controle de pragas. O estudo do comportamento do fogo é de fundamental importância para definição de prescrição de queimas e para o planejamento do controle de incêndios florestais.

Conhecer a umidade do material combustível é imprescindível para a determinação de parâmetros ligados ao comportamento do fogo, tais

como intensidade e velocidade de propagação, além de ser fator decisivo para o sucesso da queima controlada.

O método tradicional de obtenção da umidade do material combustível, utilizando-se a diferença de peso do material úmido no campo e seco em estufa para determinação do teor de umidade é pouco operacional pois é oneroso e dispende muito tempo para sua execução.

O uso de indicadores de umidade é uma alternativa para estimar o conteúdo de umidade do material combustível de modo mais rápido. Estes indicadores são elementos padronizados com características definidas, de modo que o seu conteúdo de umidade possa ser rapidamente determinado e esteja estreitamente relacionado com a umidade do material combustível.

A utilização deste método poderia agilizar os trabalhos dos técnicos responsáveis pela proteção das áreas florestais, visto que a umidade do material combustível é um dos mais importantes fatores ligados ao problema do fogo.

Este trabalho tem como objetivo relacionar a umidade do material combustível com a umidade de indicadores padronizados.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Na linguagem de incêndios florestais, combustível é qualquer material orgânico, vivo ou morto, no solo ou acima deste, capaz de entrar em ignição e queimar (SCHROEDER & BUCK¹⁰, SOARES¹¹).

Os materiais vegetais, vivos ou mortos, têm diferentes mecanismos de retenção de água e diferentes respostas ao clima. O conteúdo de umidade

do material vivo é mais estável e maior do que o material morto. Deste modo o material morto é mais seco e responde mais rapidamente às mudanças climáticas, sendo portanto o principal responsável pela propagação do incêndio. O termo material combustível, usado neste trabalho, refere-se ao material vegetal morto. Os materiais combustíveis mortos, conforme definição de DEEMING et alii², são combustíveis que ocorrem naturalmente, nos quais o conteúdo de umidade é governado quase que inteiramente pelo clima.

Os materiais combustíveis ocorrem em inúmeras combinações de tipo, quantidade, tamanho, forma, posição e arranjo. Várias pesquisas têm comprovado o fato de que combustíveis de diferentes tamanhos respondem distintamente ao clima e que o comportamento do fogo e os seus danos são diretamente afetados pelo conteúdo de umidade destes combustíveis (FOSBERG et alii⁵).

A utilização de indicadores para a determinação da umidade do material combustível é um processo baseado na analogia física. DEEMING et alii, definem o indicador de umidade como um mecanismo que simula a resposta do conteúdo de umidade de classe específicas dos materiais combustíveis quando expostos ao mesmo ambiente². O método consiste basicamente em expor, em condições normais de campo, varetas de madeira com características similares às classes de materiais combustíveis e tamanhos padronizados, com peso previamente determinado. Usando uma escala ou tabela especialmente construída para conversão de peso em porcentagem de umidade, obtém-se diretamente, através da pesagem destas varetas, o conteúdo de umidade (JEMISON et alii⁶).

Vários elementos podem ser usados como indicadores. A escolha da madeira, conforme MATTHEWS⁹ é devido aos materiais lenhosos serem os principais constituintes dos combustíveis florestais, além de serem de fácil obtenção e portanto os mais recomendados para a construção de indicadores. Além disto, testes realizados revelaram que o conteúdo de umidade dos indicadores varia da mesma forma que o conteúdo de umidade de importantes combustíveis florestais, quando expostos aos mesmos fatores atmosféricos. Existem muitas variáveis, tais como espécies, uniformidade e grau de resposta às variações atmosféricas, tamanho e métodos de preparação do indicador que devem ser considerados na seleção do mesmo para uso em determinada região, a fim de se obter resultados consistentes.

Na literatura encontram-se indicadores de diferentes tamanhos, formas e tipos. JEMISON et alii⁶, por exemplo, descrevem um indicador constituído de três lâminas, cada uma com dimensões de 0,3 cm x 0,3 cm x 46 cm sendo usado no leste e no sul dos E.U.A. para estimar a umidade de materiais combustíveis finos (classe de 0 a 0,7 cm de diâmetro).

No oeste e noroeste dos E.U.A. utilizam-se indicadores feitos de madeira de *Pinus ponderosa* com dimensões de 1,3 cm de diâmetro por 48 cm de comprimento para estimar o conteúdo de umidade de combustíveis da classe de 0,7 a 2,5 cm de diâmetro (HARDY et alii citado em STOREY¹²).

FOSBERG & DEEMING⁴, citando GISBORNE, apresentam os indicadores citados anteriormente para estimar a umidade de combustíveis das classes de 0 a 0,7 cm e de 0,7 a 2,5 cm de diâmetro e um indicador de 5,1 cm de diâmetro, construído com madeira de *Pinus ponderosa* para estimar a umidade de combustíveis da classe de 2,5 a 7,6 cm de diâmetro.

KING & LINTON⁷ afirmam que os indicadores usuais são feitos de madeira, geralmente de espécies de *Pinus* de diversos tamanhos tais como toras com diâmetros acima de 30 cm, ripas de 1,0 cm a 1,3 cm de diâmetro, ripas de 0,3 a 1,0 cm de espessura, varetas de 0,3 cm de diâmetro ou quadradas, serragem ou acepilhadura. Camadas de acículas de *Pinus* e outros tipos de "litter" florestais também são usados com indicadores.

O uso de indicadores é uma maneira simples e de baixo custo de estimar a umidade do material combustível. Os indicadores não medem uma única variável mas, medem o efeito líquido dos fatores climáticos que afetam o conteúdo de umidade do material combustível (FISCHER & HARDY³). Os indicadores de umidade nem sempre indicam o exato conteúdo de umidade do combustível natural, mas a relação entre a umidade do indicador e do combustível é relativamente constante (JEMISON et alii⁶).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Características do local

O trabalho foi desenvolvido na Estação Experimental do Canguiri da Universidade Federal do Paraná em talhões de *Pinus taeda* com idade de 18 anos e espaçamento inicial de 2m X 2m. A es-

tação está localizada no município de Piraquara, a uma distância de 20 km de Curitiba. Suas coordenadas geográficas são 25°25' de latitude sul e 49°30' de longitude oeste de Greenwich, e sua altitude é de 930 m acima do nível do mar.

O material combustível depositado no piso florestal desses talhões é constituído basicamente de acículas e galhos de *Pinus taeda* que em sua maioria puderam ser classificados dentro das classes de materiais avaliadas. A quantidade de material combustível varia entre 10 e 20 toneladas por hectare. Nenhuma queima controlada foi executada nos talhões onde o estudo foi desenvolvido.

O clima é caracterizado como pluvial, temperado fresco, subtropical e sempre úmido, sendo segundo a classificação de Koeppen do tipo Cfb. A temperatura média do mês mais quente é abaixo de 22°C e a do mês mais frio superior a 10°C, havendo possibilidade de mais de cinco geadas por ano (MAACK⁸).

3.2. Coleta de dados

A coleta do material combustível para determinação do conteúdo de umidade foi efetuada entre maio e agosto de 1983.

Foram coletadas inicialmente 30 amostras, às 15 horas, nos dias sem ocorrência de precipitação e no mínimo 24 horas após a chuva ter cessado a fim de evitar a influência da precipitação. Não foi objeto deste trabalho a determinação da umidade do material combustível para os dias chuvosos ou com grande influência da precipitação. Deste modo foi estabelecido o limite máximo de 35% de umidade para todas as classes de material combustível pois, conforme BROWN & DAVIS¹, a única maneira pela qual o combustível com conteúdo de umidade entre 25 e 30% pode ter um aumento apreciável na umidade é através da precipitação. As amostras que apresentaram valores de umidade superiores ao limite estipulado foram rejeitadas. A seguir, utilizando-se o método de amostragem sequencial, calculou-se o número mínimo de amostras necessárias por classe de material combustível. O número de amostras foi calculado pela fórmula:

$$n = \frac{s^2 \cdot t^2}{E^2}$$

onde:

- n = número de amostras necessárias;
- t = valor tabular de t para $n_p - 1$ graus de liberdade (onde n_p = número de amostras da fase preliminar) e p% de probabilidade;
- s^2 = variância dos dados coletados na fase preliminar;
- $E^2 = (LE\% \cdot X)^2$;
- LE% = limite de erro percentual aceitável;
- X = média aritmética dos dados coletados na fase preliminar.

A localização de cada amostra foi definida aleatoriamente num mapa da área por meio de uma tabela de números ao acaso.

Em cada amostra, de 1m² de área, o material foi coletado separadamente em quatro classes:

- a) acículas da camada superficial;
- b) material lenhoso com diâmetro entre 0 e 0,7 cm;
- c) material lenhoso com diâmetro entre 0,7 e 2,5 cm;
- d) material lenhoso com diâmetro entre 2,5 e 7,6 cm.

No mesmo local da coleta, determinou-se o peso úmido (PU) de cada classe de material combustível através de uma balança analítica com capacidade para 1610 g, com precisão de décimos de grama. Após cada pesagem, o material foi embalado em saco de polietileno e levado para o laboratório.

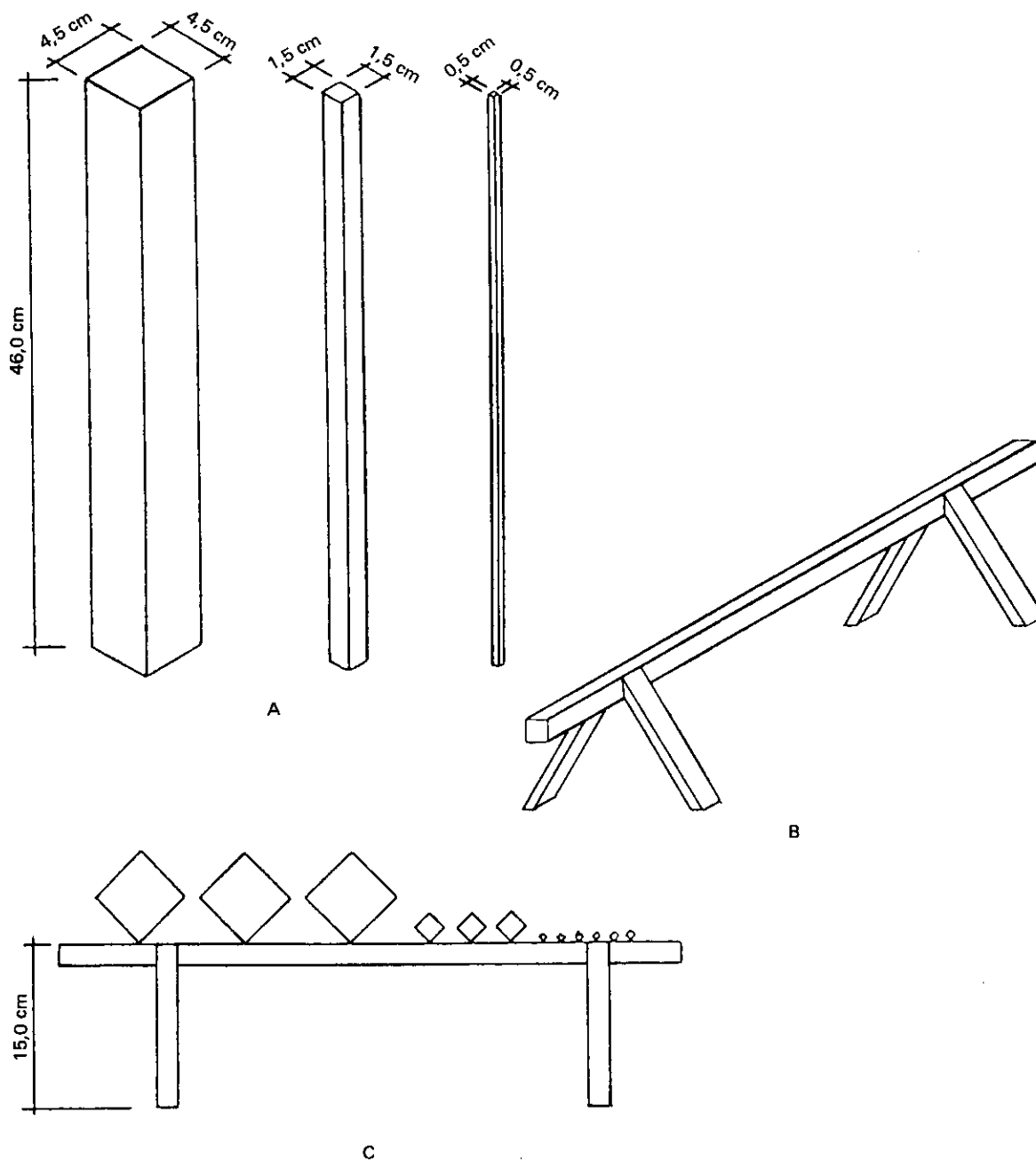
Os indicadores de umidade utilizados foram construídos de madeira de pinho (*Araucaria angustifolia*). Foi utilizado o mesmo indicador para se estimar a umidade das classes de acículas e material com diâmetro entre 0 e 0,7 cm, considerando-se que esta classe de material e a camada superficial de acículas comportam-se similarmen-te. Desta forma foram construídos três tipos de indicadores (Fig. 1A):

- a) indicador de umidade de acículas e material com diâmetro de 0 a 0,7 cm, com dimensões de 0,5 cm X 0,5 cm X 46 cm;
- b) indicador de umidade do material com diâmetro entre 0,7 e 2,5 cm, medindo 1,5 cm X 1,5 cm X 46 cm;
- c) indicador de umidade do material com diâmetro entre 2,5 e 7,6 cm, medindo 4,5 cm X 4,5 cm X 46 cm.

Quando em uso, o conjunto de indicadores era montado sobre um suporte de madeira (Fig. 1B), de modo a permanecer cerca de 15 cm acima do solo (Fig. 1C). Este conjunto composto de seis indicadores do tipo a), três indicadores do tipo b) e três do tipo c) (Fig. 1C), era colocado na mesma

amostra onde se determinaria a umidade do material combustível no dia seguinte. Antes de serem expostos ao ambiente todos os elementos do conjunto foram secos em estufa a uma temperatura de 75°C até peso constante.

**FIGURA 1 – INDICADORES PARA ESTIMAR O CONTEÚDO DE UMIDADE DO MATERIAL COMBUSTÍVEL.
A: INDICADORES; B) SUPORTE; C) INDICADORES EM POSIÇÃO**



Cada indicador foi marcado com um número em uma extremidade. Após 24 horas de exposição na amostra, eles eram pesados para se determinar o peso úmido. Desta forma, a umidade do indicador era determinada pela seguinte fórmula:

$$U\% = \frac{PU - PS}{PS} \times 100$$

onde:

U% = porcentagem de umidade do indicador;
PU = peso úmido, em gramas;
PS = peso seco, em gramas.

No laboratório de Silvicultura do Departamento de Silvicultura e Manejo da UFPR, o material coletado foi colocado em estufa a uma temperatura de 75°C durante 24 horas. Após esse período, o material era retirado e determinava-se o peso seco (PS), mediante pesagem na mesma balança analítica utilizada no campo.

A determinação do conteúdo de umidade por classe de material foi obtida utilizando-se a mesma fórmula usada para os indicadores.

3.3 Estimativa da umidade do material combustível através dos indicadores

A estimativa do conteúdo de umidade foi feita em função do peso úmido médio dos indicadores. Foram utilizados dois conjuntos de indicadores. Um destes conjuntos, depois de seco em estufa até peso constante, era colocado no local onde seria feita a amostragem no dia seguinte. Deste modo, o indicador acompanhava as variações de umidade por um período de 24 horas. Juntamente com a coleta do material combustível às 15 horas, pesava-se cada elemento do conjunto para obtenção do peso úmido. O segundo conjunto de indicadores de umidade, previamente seco em estufa, era então colocado na amostra para o período seguinte. Desta forma o indicador de umidade colocado na amostra iniciava o período de observação com umidade zero.

A diferença existente no peso seco dos dois conjuntos foi corrigida de modo que a variação no peso dos indicadores, devido à umidade, fosse equivalente para ambos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Número de amostras

Das 30 amostras coletadas, 10 apresentaram teor de umidade acima de 35%. Excluídas estas, o número de amostras restante para cada classe de material combustível foi suficiente para o limite de erro de 10% e probabilidade de 95%.

4.2 Determinação e análise das equações

As equações para a determinação do conteúdo de umidade para as quatro classes de material combustível, utilizando-se o peso úmido dos seus respectivos indicadores, são apresentadas na TABELA 1.

Pelos valores dos coeficientes de determinação pode-se dizer que muito pouco da variação na umidade dos materiais combustíveis esteve associado com a variação de umidade dos indicadores. A melhor estimativa foi obtida para a classe de 0 a 0,7 cm, embora menos de 40% da variação do conteúdo de umidade do material fosse associada ao peso úmido do indicador.

Dois fatores basicamente concorreram para produzir estes resultados. Primeiramente, o conteúdo de umidade dos combustíveis florestais varia não somente com as dimensões mas também com as espécies de que são constituídos os materiais combustíveis. É possível que a utilização de um indicador construído com a madeira da mesma espécie dos materiais combustíveis estudados (*Pinus taeda*) apresente resultados mais promissores. O segundo fator que contribuiu sobremaneira para a fraca associação entre as variáveis foi o período de tempo que o indicador permaneceu junto ao material combustível. De acordo com a metodologia empregada, os indicadores eram colocados na amostra 24 horas antes de se efetuar a coleta do material combustível. Considerando-se que os indicadores eram secos em estufa antes de serem colocados na amostra, o período de 24 horas, mesmo para os indicadores de menor dimensão, foi muito curto para que eles atingissem um equilíbrio com o ambiente e desta forma apresentassem um conteúdo de umidade melhor relacionado ao dos materiais combustíveis.

A forma mais segura de se obter o conteúdo de umidade das diversas classes de material combustível, utilizando-se indicadores de umidade seria, possivelmente, determinando o peso do indicador apenas no início do período a ser estudado.

A primeira determinação do peso úmido deveria ser feita após vários dias de permanência do indicador junto ao material combustível. Depois disso poderia se determinar, diariamente, apenas

o peso úmido do indicador. Uma aferição do peso seco do indicador deveria ser feita apenas no final do período em que se estivesse estimando o conteúdo de umidade do material combustível.

TABELA 1 – EQUAÇÕES PARA DETERMINAÇÃO DO CONTEÚDO DE UMIDADE DO MATERIAL COMBUSTÍVEL ATRAVÉS DE INDICADORES DE UMIDADE – POVOAMENTO DE *Pinus taeda*, 18 ANOS, PIRAQUARA (PR) INVERNO 1983.

EQUAÇÃO	R ²	S _{yx}	F
a) classe de material combustível: acículas Y = - 47,7041 + 9,7 X	0,358	3,0009662	10,02
b) classe de material combustível: 0 a 0,7 cm Y = - 41,10242 + 8,7392732 X	0,386	2,5430302	11,32
c) classe de material combustível: 0,7 a 2,5 cm Y = - 92,22022 + 2,0862212 X	0,267	3,5732798	6,55
d) classe de material combustível: 2,5 a 7,6 cm Y = - 229,70387 + 0,5331069 X	0,282	3,7657863	7,08

R² = coeficiente de determinação;
S_{yx} = erro padrão da estimativa;
F = valor calculado do teste F;
X = peso úmido do indicador;
Y = umidade do material combustível.

5. CONCLUSÃO

A utilização dos indicadores de umidade não forneceu estimativas confiáveis do conteúdo de umidade das classes dos materiais combustíveis estudados, provavelmente devido ao tipo de madeira usado e à falta de climatização preliminar dos indicadores.

6. RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido na Estação Experimental do Canguiri, da Universidade Federal do Paraná, Piraquara, em talhões de *Pinus taeda*, tendo como objetivo a obtenção de estimativas do conteúdo de umidade em função de indicadores. O material combustível, coletado entre os meses de maio e agosto, foi separado em quatro classes, acículas e material lenhoso com classes de diâmetro entre 0 a 0,7 cm; 0,7 a 2,5 cm e 2,5 a 7,6 cm. Foram construídos três tipos de indicadores de madeira de *Araucaria angustifolia*: um para acompanhar a variação de umidade das acículas e do material lenhoso da classe de 0 a 0,7 cm e os

demais para acompanhar cada uma das classes restantes. A utilização dos indicadores não forneceu estimativas confiáveis do conteúdo de umidade das classes dos materiais combustíveis estudados, provavelmente devido ao tipo de madeira usada e à falta de climatização preliminar dos indicadores.

7. LITERATURA CITADA

- 01 BROWN, A. A. & DAVIS, K. P. *Forest fire: Control and use*. 2.ed. New York, McGraw Hill, 1973, 683 p.
- 02 DEEMING, J. E.; LANCASTER, J. W.; FOSBERG, M. A.; FURMAN, R. W. and SCHROEDER, M. J. The National fire danger rating system. *USDA For. Serv. Res. Pap. RM-84*, 1972. 165 p.
- 03 FISCHER, W. C. & HARDY, C. E. Fire weather observer handbook. *USDA For. Serv. INT-95*, 1972. 152 p.
- 04 FOSBERG, M. A. & DEEMING, J. E. Derivation of the 1 and 10 hour timelag fuel moisture calculations for fire-danger rating. *USDA For. Serv. Res. Note RM-207*, 1971. 8 p.
- 05 FOSBERG, M. A.; ROTHERMEL, R. C. & ANDREWS, P. I. Moisture calculations for 1000 hour timelag fuels. *For Sci.*, 27(1): 19-26, 1981.

- 06 JEMISON, G. M.; LINDENMUTH, A. W. & KEETCH, J. J. Forest fire danger measurement in the Eastern United States. *USDA For. Serv. Agric. Handbook*, 1, 1949. 68 p.
- 07 KING, A. R. & LINTON, M. Moisture variation in forest fuels: the rate of response to climate changes. *Aust. J. Appl. Sci.*, 14(1): 38-49, 1963.
- 08 MAACK, R. *Geografia física do Estado do Paraná*. Curitiba, CODEPAR, 1968. 350 p.
- 09 MATTEWS, D. N. Experience with hazard indicator sticks. *J. For.*, 33: 392-7, 1935.
- 10 SCHROEDER, M. J. & BUCK, C. C. Fire weather. A guide for application of meteorological to forest fire control operations. *USDA Agric. Handbook*, 360, 1970. 229 p.
- 11 SOARES, R. V. *Prevenção e controle de incêndios florestais*. Curitiba, FUPEF, 1982. 69 p.
- 12 STOREY, T. G. Estimating the fuel moisture content of indicator sticks from selected weather variables. *USDA For. Serv. Res. Pap. PSW-26*, 1965. 14 p.