

# CARACTERIZAÇÃO E MODELAGEM DE MATERIAL COMBUSTÍVEL SUPERFICIAL EM POVOAMENTOS DE *Pinus elliottii*

Alexandre Beutling<sup>1</sup>, Antonio Carlos Batista<sup>2</sup>, Lorena Stolle<sup>3</sup>, Alexandre França Tetto<sup>2</sup>,  
Marcos Vinícios Giongo Alves<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Eng. Florestal, Dr., Campus Universitário de Chapadão do Sul, UFMS, Chapadão do Sul, MS, Brasil - a.beutling@ufms.br

<sup>2</sup>Eng. Florestal, Dr., Depto. de Ciências Florestais, UFPR, Curitiba, PR, Brasil - batistaufpr@ufpr.br; tetto@ufpr.br

<sup>3</sup>Eng<sup>a</sup> Florestal, M.Sc., Florestalle Assessoria e Consultoria Florestal, Chapadão do Sul, MS, Brasil - lorenastolle@yahoo.com.br

<sup>4</sup>Eng. Florestal, Dr., Campus Universitário de Gurupi, UFT, Gurupi, TO, Brasil - giongo@uft.edu.br

Recebido para publicação: 26/09/2011 – Aceito para publicação: 17/04/2012

## Resumo

Este trabalho foi desenvolvido em um cultivo de *Pinus elliottii* localizado na Fazenda Experimental de Rio Negro, no município de mesmo nome e pertencente à Universidade Federal do Paraná, objetivando a caracterização do material combustível florestal e a geração de modelos de predição de carga com base em variáveis de fácil obtenção/medição. Foram estabelecidas para este estudo 63 parcelas, divididas entre 4 subáreas predeterminadas. Foram determinados valores de área basal, espessura da liteira, densidade de carga do material combustível, carga do material combustível seco (morto), carga total por subárea e as cargas existentes por classe de diâmetro dos combustíveis. A carga total média obtida foi de 35,34 mg.ha<sup>-1</sup>. As classes de maior participação na constituição da carga total foram “miscelânea” (47,75%) e “acículas” (27,47%). A variável de fácil obtenção que apresentou a melhor correlação (0,7916) para estimativa da carga total foi “espessura média da manta (cm)”, enquanto que o melhor modelo para estimativa da carga total de combustível florestal foi  $w = 1/(-0,0168904 + (0,455067/esp))$ , com  $R^2 = 0,681214$  e  $Syx(\%) = 0,031$ .

**Palavras-chave:** Biomassa; comportamento do fogo; incêndios florestais.

## Abstract

*Characterization and modeling of surface fuel in Pinus elliottii plantations.* This research was improved in a *Pinus elliottii* plantation established at “Rio Negro Experimental Farm”, located in “Rio Negro” County, Paraná State, Brazil. The main aims of the study were to characterize the forest fuel accumulated in 4 areas with the same class age (31 years old), and to develop models based on easily getting variables for prediction of fuel loading. A total of 63 plots, proportionally distributed throughout the areas, were delimited in order to collect the necessary information. In each plot, the basal area, the litter thickness, the fuel bulk density, and the dead fuel weights by size class were measured. Results revealed that the average total fuel loading was 35.34 Mg ha<sup>-1</sup>. Miscellaneous (47.75%), and pine needles and twigs (27.47%) were the fuel classes with higher contribution to the total fuel loading. The best model to estimate total fuel loading in the studied pine plantations was:  $w = 1/(-0.0168904 + (0.455067/esp))$  ( $R^2 = 0.681214$ , and  $Syx(\%) = 0.031$ ) using the litter thickness (esp) as the independent variable.

**Keywords:** Biomass; fire behavior; forest fires.

## INTRODUÇÃO

Estimativas sobre o comportamento do fogo, bem como a predição do grau de perigo de ocorrência de um incêndio são realizadas com base na determinação das características do material combustível florestal, topografia e condições climáticas. Todos esses fatores são relevantes, no entanto a quantificação do material combustível florestal não é tão fácil de ser obtida como os valores de declividade, temperatura e umidade relativa do ar, e se torna impraticável quando já existe fogo se propagando livremente. Nesse contexto, modelos de previsão de carga do material combustível com variáveis de fácil obtenção tornam-se ferramentas importantes no auxílio das decisões relativas à estratégia de prevenção, bem como nas atividades de combate, além de serem fundamentais para a determinação dos cenários florestais com potenciais riscos de ocorrência de fogo. Avaliações de risco de incêndio florestal são usadas para estabelecer tratamentos de combustível e necessitam de uma

caracterização detalhada dos componentes para prever o comportamento potencial dos incêndios e seus efeitos (ANDREU *et al.*, 2011).

O comportamento do fogo é o termo que descreve as principais características da combustão em uma queima ou incêndio florestal e refere-se à maneira como o material combustível entra em combustão, como se desenvolvem as chamas e como o fogo se propaga (BATISTA, 2009). Na prática, a velocidade de propagação da frente de fogo é a variável do comportamento do fogo de maior interesse para o chefe de brigada, principalmente nos incêndios de grande porte, onde o risco aos combatentes é maior. Essa variável costuma ser determinada pontualmente em campo, mas pode ser estimada (ou prevista) matematicamente, desde que se conheça a carga de combustível florestal presente na área que está sujeita a queimar (BEUTLING, 2009). A modelagem do material combustível é imprescindível para que modelos mais avançados de previsão do comportamento do fogo possam ser desenvolvidos.

A importância da determinação da quantidade de material combustível pode ser compreendida quando se verifica que essa variável é responsável pela intensidade de calor liberada pelo fogo durante um incêndio (SOARES; BATISTA, 2007) e pela propagação do fogo na área atingida (BEUTLING, 2009).

De acordo com Beutling (2005), os combustíveis florestais podem ser analisados sob dois aspectos importantes: (a) a sua localização dentro do estrato florestal, que determina o tipo do incêndio que pode ocorrer; e (b) suas características intrínsecas, que interferem diretamente sobre o comportamento do fogo.

Ao realizar a amostragem do combustível florestal, costumeiramente sobre o material depositado superficialmente, pormenorizam-se e quantificam-se os valores de carga em classes de diâmetro, o que fornece a base para a interpretação do grau de perigo de incêndio e demais avaliações. Krivtsov *et al.* (2009) consideram que o risco de incêndios, que está associado à ocorrência e intensidade dos incêndios florestais, depende em grande parte da disponibilidade e das características dos combustíveis.

Tendo em vista esse contexto, este trabalho foi realizado com o objetivo de caracterizar o material combustível existente sob povoamentos de pinus localizados na Fazenda Experimental de Rio Negro (PR), bem como gerar modelos de predição de carga com base em variáveis de fácil obtenção/medição.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Caracterização da área de estudo

O trabalho foi realizado em plantios de *Pinus elliottii* Engel. localizados na Fazenda Experimental de Rio Negro (Figura 1), no município de mesmo nome, pertencente à Universidade Federal do Paraná, distante 105 km da capital, Curitiba. A área de estudo situa-se aproximadamente nas coordenadas 26°03'43" de latitude sul e 49°45'31" de longitude oeste, com altitude média de 800 metros.

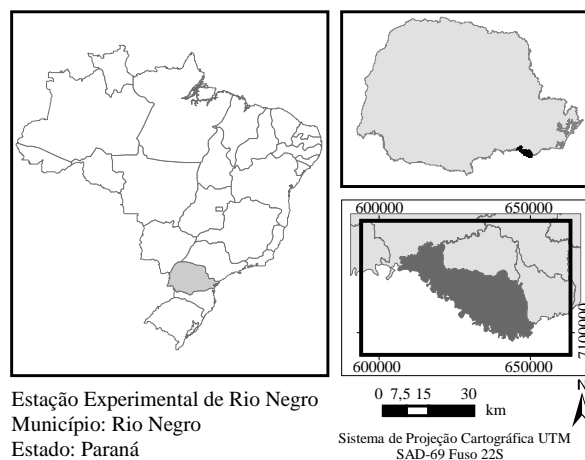


Figura 1. Mapa de localização do município de Rio Negro em relação ao Brasil e ao estado do Paraná.  
Figure 1. Focused area location.

### Descrição dos povoamentos selecionados

A amostragem de material combustível superficial apresentada neste trabalho é parte integrante de um estudo de avaliação do comportamento do fogo em povoamentos de pinus, razão pela qual as áreas escolhidas limitaram-se a quatro subáreas localizadas no interior de três talhões. Os povoamentos de *Pinus elliottii* tinham 31 anos, plantados em espaçamento de 3,0 m x 2,0 m, sem tratos culturais importantes e sem manejo significativo. A tabela 1 apresenta as características e os dados inventariados em cada uma das subáreas.

Tabela 1. Detalhamento das subáreas selecionadas para estudo.

Table 1. Pine stand dendrometric information.

| Idade (anos) | Subárea | Dimensões (m) | Área (m <sup>2</sup> ) | Dados inventariados |                                 |                |
|--------------|---------|---------------|------------------------|---------------------|---------------------------------|----------------|
|              |         |               |                        | N° árv/ha           | Área basal (m <sup>2</sup> /ha) | DAP médio (cm) |
| 31           | A       | 37,0 x 56,0   | 2.072,0                | 1.050               | 74,3                            | 29,0           |
|              | B       | 21,0 x 56,0   | 1.176,0                | 1.850               | 90,6                            | 23,7           |
|              | C       | 31,0 x 100,0  | 3.100,0                | 1.050               | 77,8                            | 29,82          |
|              | D       | 34,0 x 29,0   | 986,0                  | 900                 | 68,3                            | 30,93          |

### Metodologia de trabalho

Os materiais necessários para o desenvolvimento dos trabalhos de campo foram:

- um gabarito de 1,0 m x 1,0 m (1,0 m<sup>2</sup>), utilizado para delimitar a área das parcelas amostrais;
- um calibrador de diâmetro, utilizado para classificar os combustíveis florestais nas suas respectivas classes de diâmetro;
- duas balanças com capacidade de 2,5 e 5,0 kg, de precisão 20,0 e 50,0 g, respectivamente, para determinação da massa do material recolhido nas parcelas em campo;
- uma régua de alumínio, para medição da espessura da manta de combustível (liteira);
- um visor de Bitterlich, para medição da área basal;
- dois facões, dois serrotes de poda e dois canivetes;
- sacos plásticos para armazenar as amostras e etiquetas adesivas para identificação das mesmas;
- estacas em madeira para delimitação do croqui das parcelas;
- formulários de campo.

Os materiais necessários para o desenvolvimento dos trabalhos em laboratório foram:

- duas estufas Fanem modelos 315 SE e 515 para secagem do material combustível;
- uma balança marca Ohaus com capacidade de 2.610 g e precisão de 0,1 g, para determinação da massa das subamostras de material combustível após período de secagem;
- computador para armazenamento e processamento dos dados obtidos em campo.

A amostragem e a coleta do material combustível foram realizadas no período de março a julho de 2009, obedecendo às seguintes etapas:

- localização das parcelas dentro de cada subárea e determinação da área basal com auxílio do visor de Bitterlich, tendo como critério uma leitura para cada parcela estabelecida;
- coleta, seleção e determinação da massa do material combustível nas classes de diâmetros encontradas;
- armazenamento e transporte das subamostras selecionadas para o Laboratório de Incêndios Florestais da Universidade Federal do Paraná, em Curitiba, para realização das análises.

A distribuição das parcelas amostrais foi realizada em quatro subáreas estabelecidas dentro de três talhões predeterminados da seguinte maneira: “A” e “D” no talhão “I”, “B” no talhão “II” e “C” no talhão “III”. A figura 2 apresenta a localização das subáreas na Fazenda Experimental, juntamente com a fotografia da subárea “B”.

A distribuição das parcelas para amostragem do material combustível foi realizada de forma sistemática sobre cada subárea, com auxílio de um croqui representativo das mesmas. As parcelas foram plotadas partindo-se da extremidade superior da área para a inferior, em diagonal (desenhando um “x”), e, quando necessário, plotando parcelas nas laterais, de forma que a área fosse homoganeamente amostrada (Figura 3).

De acordo com a metodologia de amostragem mencionada, são apresentados, na tabela 2, os números de parcelas coletadas em cada uma das subáreas. Os resultados das queimas das parcelas e determinação do teor de umidade do material combustível não serão discutidos neste artigo.

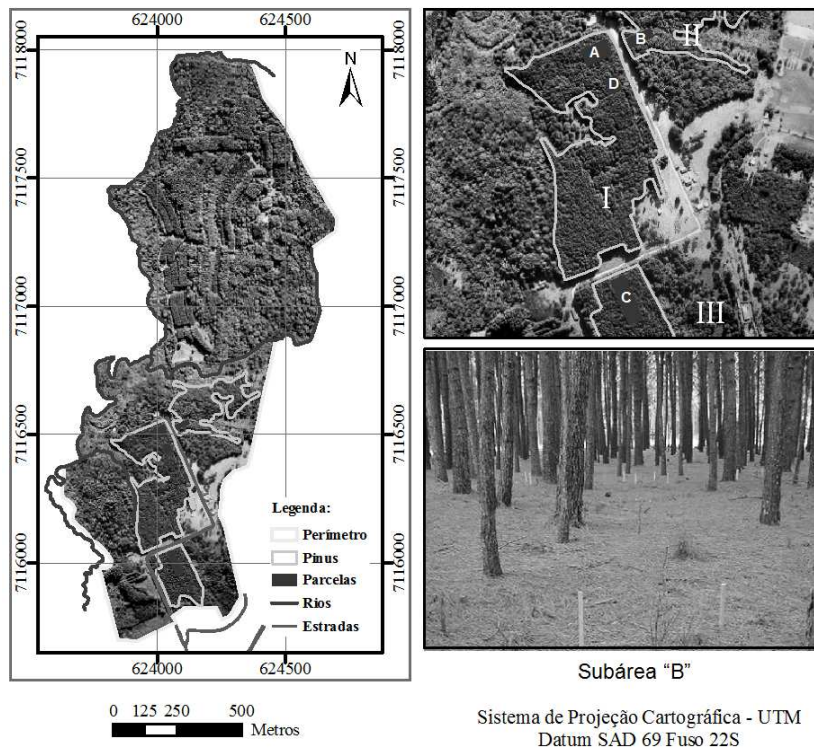


Figura 2. Localização das subáreas na Fazenda Experimental de Rio Negro e fotografia da subárea “B”.  
 Figure 2. Experimental plots location and “B” area picture.

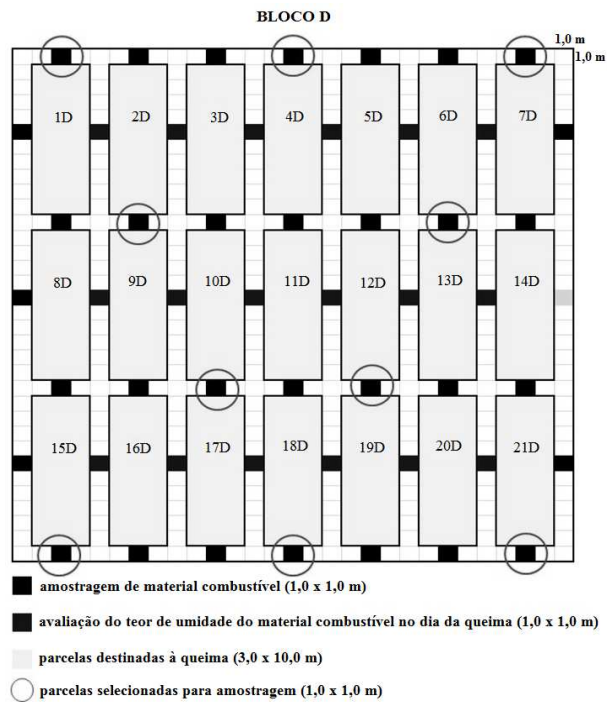


Figura 3. Croqui da subárea “D” com a localização das parcelas selecionadas para amostragem sistemática de material combustível.  
 Figure 3. “D” area outline with the systematic samples location.

Tabela 2. Número de parcelas coletadas por subárea para amostragem de material combustível florestal.  
Table 2. Samples plots in each of the selected focused areas.

| Subárea | Área total (m <sup>2</sup> ) | Números de parcelas coletadas |
|---------|------------------------------|-------------------------------|
| A       | 2.072,0                      | 16                            |
| B       | 1.176,0                      | 10                            |
| C       | 3.100,0                      | 26                            |
| D       | 986,0                        | 11                            |

A metodologia de coleta de material combustível utilizada foi a de “amostragem destrutiva” de parcelas de 1 m<sup>2</sup>, utilizada tradicionalmente nos levantamentos de material combustível por diversos pesquisadores (BEUTLING *et al.*, 2006; BEUTLING, 2005; GOULD *et al.*, 2011; RICCARDI *et al.*, 2007). As parcelas para amostragem de material combustível são ditas “destrutivas” porque todo seu conteúdo é retirado, de forma a permitir a classificação dos materiais encontrados em classes de diâmetro. Esses materiais são divididos em “material combustível verde (vivo)” e “material combustível seco (morto)”. No caso deste estudo, não houve presença significativa dos combustíveis vivos, motivo pelo qual eles não foram amostrados. A subdivisão da classe de combustível seco (morto) foi realizada da seguinte maneira:

- a) miscelânea: composto por material fino, de diâmetro inferior a 0,7 cm, como folhas, cascas, musgos, gramíneas, pequenos galhos e acículas (associadas à micorrizas) em estado de decomposição, que formavam uma massa uniforme cujos elementos já não permitiam uma identificação e classificação seguras;
- b) S1: material lenhoso cujo diâmetro era inferior ou igual a 0,7 cm;
- c) S2: material lenhoso cujo diâmetro variava de 0,71 a 2,5 cm;
- d) S3: material lenhoso cujo diâmetro variava de 2,51 a 7,6 cm;
- e) S4: material lenhoso cujo diâmetro era superior a 7,6 cm;
- f) Acículas, subdivididas em:
  - i. L: acículas de deposição recente (1° camada superficial). Geralmente apresentam coloração dourada e são “maleáveis” (não quebradiças);
  - ii. F: acículas de deposição mais antiga à “L” (2° camada superficial), cuja coloração torna-se acinzentada à medida que avança em profundidade. É quebradiça e apresenta maior teor de umidade, facilmente perceptível ao tato, principalmente após períodos de chuva. É importante citar que, tanto na classe “L” quanto na “F”, as acículas mantêm seu comprimento original, ou seja, ainda não se encontram seccionadas pela ação do tempo;
  - iii. H: acículas de deposição antiga (3° camada superficial), mais próxima ao solo propriamente dito. Sua coloração varia do cinza-escuro a tons próximos do preto. Já se encontram seccionadas, possuem elevado teor de umidade e são quebradiças ao toque, devido ao estado de decomposição;
- g) cones: órgão reprodutor feminino da espécie.

Após a localização da parcela e o estabelecimento do gabarito de 1 m<sup>2</sup>, procedeu-se da seguinte maneira:

- a) com a área limitada através de corte do material combustível no perímetro do gabarito (isolamento), foi feita primeiramente a medição da espessura da liteira, cujo valor utilizado consistiu na média de 4 medições feitas nas laterais da parcela;
- b) todo o material seco (morto) foi recolhido e dividido de acordo com a classificação adotada. Separados nas respectivas classes de diâmetro, foi determinada a massa (massa úmida total) e foi selecionada uma subamostra representativa, da qual novamente foi determinada a massa (massa úmida da amostra). Em seguida, esta recebeu uma identificação e foi acondicionada em saco plástico para transporte.

Em relação à classificação das acículas nas camadas “L”, “F” e “H”, alguns aspectos foram considerados: a determinação da classe “H” é de fácil realização, entretanto o mesmo não ocorre para a determinação das classes “L” e “F”. Por se tratar de camadas de deposição influenciadas pela queda recente das acículas e pela umidade, que exerce influência sobre o estado de decomposição, a transição entre essas duas classes é difusa, e a determinação satisfatória entre elas somente pode ser executada após períodos de chuva, quando elas apresentam as características supracitadas. Após períodos de estiagem, as classes “F” e “H” assemelham-se bastante (principalmente pela classe “H” se apresentar seca), tornando

difícil a diferenciação entre ambas. Assim, para a apresentação dos valores de carga por classe de material combustível, as classes “L” e “F” foram somadas.

O trabalho realizado em laboratório foi conduzido na seguinte sequência:

- a) secagem em estufa, por um período de 48 horas à temperatura constante de 75 °C, das subamostras representativas das parcelas em campo;
- b) determinação da massa de matéria seca das subamostras;
- c) determinação do teor de umidade das subamostras (com base na massa seca do material);
- d) determinação dos valores médios, para cada subárea, das seguintes variáveis: espessura da liteira, área basal e densidade do material combustível;
- e) determinação da carga de material combustível total e da carga de material combustível por classe de diâmetro em cada uma das subáreas (com base na massa seca da matéria);
- f) extrapolação dos resultados obtidos para hectare;
- g) desenvolvimento de cálculos estatísticos. Para essa etapa, cada subárea foi considerada um tratamento, identificados da seguinte maneira: “A” - Tratamento 1; “B” - Tratamento 2; “C” - Tratamento 3; e “D” - Tratamento 4. Para realização dos testes de comparação de médias, foi utilizado o Teste de Student, Newman e Keuls (SNK). Tendo como base os resultados obtidos para cada uma das variáveis levantadas em campo (características do povoamento e do material combustível), foram testados diversos modelos (linear simples e múltiplo, polinomial, exponencial, logaritmo e potencial), visando obter modelos para estimativa da carga de material combustível com base em variáveis de fácil obtenção, sendo que os modelos escolhidos foram aqueles que se apresentaram altamente significativos ao nível de 95,0% pelo Teste *F*, além do resultado expresso por  $R^2$  (coeficiente de determinação). Análises gráficas também foram realizadas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Densidade de carga do material combustível florestal

A densidade de carga é uma variável que expressa a massa do material combustível que ocupa determinado volume. Na prática, indica o nível de compactação no qual se encontra o material combustível depositado sobre o solo propriamente dito. A tabela 3 apresenta os valores de densidade de carga obtidos em cada um dos blocos estudados.

Tabela 3. Densidade de carga do material combustível total ( $\text{kg.m}^{-3}$ ).

Table 3. Total fuel load bulk density ( $\text{kg.m}^{-3}$ ).

| Bloco | Densidade de carga ( $\text{kg.m}^{-3}$ ) |
|-------|---|
| A     | 34,60 a                                   |
| B     | 37,30 a                                   |
| C     | 30,91 a                                   |
| D     | 44,35 b                                   |

Nota: médias seguidas por letras diferentes indicam as diferenças estatísticas existentes entre blocos, como resultado do teste de comparação de médias SNK (95,0%).

De acordo com os resultados apresentados pela tabela 3, verificou-se que, dentre os blocos selecionados para estudo, apenas o material combustível do bloco “D” apresentou-se mais compactado que os demais.

### Espessura da manta

A espessura total média da camada depositada sobre a superfície da floresta (desde o solo propriamente dito até a deposição recente das acículas da classe “L”) foi obtida com base em 4 medições realizadas em cada uma das laterais do gabarito de 1,0  $\text{m}^2$  posicionado sobre as parcelas. A tabela 4 apresenta os valores mensurados.

Os blocos “A” e “D” apresentaram espessuras médias da manta estatisticamente iguais, sendo também os blocos com maior deposição de material combustível (Tabela 4). O bloco “C” apresentou a menor espessura entre os blocos avaliados, sendo seguido pelo bloco “B”, com espessura ligeiramente superior e estatisticamente diferente dos demais.

Tabela 4. Espessura da manta (cm).

Table 4. Litter thickness (cm).

| Bloco | Espessura média da liteira (cm) |
|-------|---------------------------------|
| A     | 10,24 c                         |
| B     | 9,04 b                          |
| C     | 7,13 a                          |
| D     | 11,30 c                         |

Nota: médias seguidas por letras diferentes indicam as diferenças estatísticas existentes entre blocos, como resultado do teste de comparação de médias SNK (95,0%).

### Carga total do material combustível florestal

A tabela 5 apresenta os valores obtidos para a variável que expressa a massa total de combustível amostrada nos blocos. O bloco "C" apresentou menor carga, seguido pelos blocos "B" e "A", estatisticamente iguais. O bloco "D", além de ter apresentado maior espessura de manta e maior densidade de carga, apresentou também maior carga de material combustível entre os blocos estudados.

Tabela 5. Carga total de material combustível (mg.ha<sup>-1</sup>).Table 5. Total fuel load (mg.ha<sup>-1</sup>).

| Bloco | Carga (mg.ha <sup>-1</sup> ) |
|-------|------------------------------|
| A     | 35,62 b                      |
| B     | 33,85 b                      |
| C     | 22,10 a                      |
| D     | 49,79 c                      |

Nota: médias seguidas por letras diferentes indicam as diferenças estatísticas existentes entre blocos, como resultado do teste de comparação de médias SNK (95,0%).

Ribeiro e Soares (1998), em um estudo sobre caracterização de material combustível superficial de um povoamento de *Eucalyptus viminalis* Labill. com 10 anos de idade, realizado no município de Três Barras (SC), encontraram valores médios de carga de 27 mg.ha<sup>-1</sup>. Soares (1979), em pesquisa desenvolvida no município de Sacramento (MG), registrou valores de carga para material combustível de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl., com idade entre 4,5 e 7,5 anos, de 1,2 a 17,3 mg.ha<sup>-1</sup>, e para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf., com idades entre 5 e 7,5 anos, de 2,3 a 13,8 mg.ha<sup>-1</sup>. Batista (1995) obteve uma carga de 12,53 mg.ha<sup>-1</sup> em um povoamento de *Pinus taeda* L. com 12 anos de idade, sem desbaste, localizado no município de Sengés (PR). No município de Telêmaco Borba (PR), Valeri e Reissmann (1989), também trabalhando em povoamentos de *Pinus taeda*, determinaram cargas de 7,7, 19,7 e 24,3 mg.ha<sup>-1</sup> para as idades de 7, 10 e 14 anos, respectivamente.

### Carga do material combustível florestal por classes de diâmetro

Essa análise proporcionou a identificação dos valores médios de carga obtidos para cada uma das classes de diâmetro do material combustível encontradas nos blocos de *Pinus* estudados, permitindo a identificação das classes que exerceram maior influência sobre a carga total (Tabela 6).

Tabela 6. Valores médios de carga de material combustível por classe de diâmetro (kg.m<sup>2</sup>).Table 6. Average fuel load by size classes (kg.m<sup>2</sup>).

| Bloco | Miscelânea | S1     | S2      | S3     | S4     | Acículas |         | Cones  |
|-------|------------|--------|---------|--------|--------|----------|---------|--------|
|       |            |        |         |        |        | L e F    | H       |        |
| A     | 1,49 b     | 0,17 a | 0,36 b  | 0,10 a | -      | 0,33 a   | 0,65 c  | 0,46 b |
| B     | 2,01 c     | 0,13 a | 0,25 ab | 0,11 a | 0,01 a | 0,36 a   | 0,46 ab | 0,05 a |
| C     | 0,95 a     | 0,12 a | 0,17 a  | 0,04 a | 0,16 a | 0,38 a   | 0,36 a  | 0,02 a |
| D     | 2,32 c     | 0,13 a | 0,37 b  | 0,25 b | 0,18 a | 0,67 b   | 0,55 b  | 0,52 b |

Nota: médias seguidas por letras diferentes indicam as diferenças estatísticas existentes entre blocos, como resultado do teste de comparação de médias SNK (95,0%).

Batista (1995), avaliando um povoamento de *Pinus taeda* de 12 anos de idade sem desbaste, encontrou valor médio de 0,04 kg.m<sup>-2</sup> para materiais secos com diâmetro entre 0 a 0,7 cm. Para materiais secos com diâmetros entre 0,7 a 2,5 cm, o mesmo autor encontrou valor médio de 0,11 kg.m<sup>-2</sup>.

Koehler (1989) obteve, para povoamentos de *Pinus taeda* com 15 anos de idade, valores de carga de acículas variando entre 0,49 a 0,66 kg.m<sup>-2</sup>. Ribeiro (1997), trabalhando com povoamentos de *Eucalyptus viminalis*, encontrou, para a classe C-1MD (“material orgânico em decomposição, menor que 0,6 cm de espessura ou diâmetro, de forma não definida, que se encontra em contato com o solo mineral”), valores médios de 1,32 kg.m<sup>-2</sup>. Em comparação, a classe “miscelânea” deste estudo obteve valores médios de 1,49 kg.m<sup>-2</sup>.

### Proporção representativa das classes do material combustível florestal

A tabela 7 apresenta os valores percentuais de carga obtidos em cada uma das classes de diâmetro do material combustível florestal.

Tabela 7. Valores percentuais médios de carga de acordo com as classes de material combustível.

Table 7. Average fuel load (%) by size class.

| Bloco | Miscelânea | S1   | S2    | S3   | S4   | Acículas |       | Cones |
|-------|------------|------|-------|------|------|----------|-------|-------|
|       |            |      |       |      |      | L e F    | H     |       |
| A     | 41,85      | 4,78 | 10,11 | 2,81 | 0,00 | 9,27     | 18,26 | 12,92 |
| B     | 59,47      | 3,85 | 7,40  | 3,25 | 0,30 | 10,65    | 13,61 | 1,48  |
| C     | 43,18      | 5,45 | 7,73  | 1,82 | 7,27 | 17,27    | 16,36 | 0,91  |
| D     | 46,49      | 2,61 | 7,41  | 5,01 | 3,61 | 13,43    | 11,02 | 10,42 |
| Média | 47,75      | 4,17 | 8,16  | 3,22 | 2,79 | 12,66    | 14,81 | 6,43  |

Conforme os dados dispostos na tabela 7, verificou-se que a classe de diâmetro que apresentou maior contribuição para a variável carga total de material combustível foi “miscelânea”. Também com base em valores médios, observou-se que a ordem de contribuição de cada uma das classes para a carga total foi: miscelânea (47,75%), acículas “H” (14,81%), acículas “L” e “F” (12,66%), “S2” (8,16%), “cones” (6,43%), “S1” (4,17%), “S3” (3,22%) e “S4” (2,79%).

Ribeiro e Soares (1998), em pesquisa desenvolvida em um povoamento de *Eucalyptus viminalis* com 13 anos, registraram valores médios de 49,18% para materiais finos em decomposição. No presente estudo, a classe “miscelânea” registrou valores de 47,75%.

### Correlações

Os resultados das correlações significativas ( $r > 0,5$ ) estabelecidas entre a espessura média da manta (cm) e a carga total de diferentes classes de material combustível foram as seguintes: i) carga total de acículas “F” (kg.m<sup>-2</sup>) = 0,7671; ii) carga total de “cones” (kg.m<sup>-2</sup>) = 0,5686; iii) carga total de “miscelânea” (kg.m<sup>-2</sup>) = 0,7574; iv) carga total de “S2” (kg.m<sup>-2</sup>) = 0,5635.

Todas as correlações apresentadas possuem caráter prático quando da geração de modelos viáveis. A espessura média da manta é uma variável de fácil obtenção, que permite estimativas de carga de diferentes classes de material combustível.

### Modelos para estimativa da carga de material combustível florestal

A tabela 8 apresenta os modelos de estimativa de “carga total de material combustível (mg.ha<sup>-1</sup>)” com base na variável “espessura média da manta (cm)”. O melhor modelo foi definido com base nos coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) e no erro padrão da estimativa (Syx %).

Dentre os modelos de predição de carga apresentados pela tabela 8, o modelo 10 se destacou por apresentar o maior coeficiente de determinação e o menor erro padrão da estimativa.

Soares *et al.* (2002), em um estudo realizado em plantios de *Pinus taeda*, também obtiveram boa estimativa da carga total do material combustível com base na espessura da manta. O modelo obtido foi  $Wt = 3,35812.esp - 1,87453$ , com  $R^2 = 0,7034$  ( $Wt$  = carga total do material combustível, em mg.ha<sup>-1</sup>;  $esp$  = espessura da manta, em cm).



Tabela 8. Modelos de estimativa de “carga total de material combustível (mg.ha<sup>-1</sup>)” para os povoamentos estudados.

Table 8. Fuel models for *Pinus elliottii* plantations.

| Modelo | Modelo genérico                              | Modelo ajustado  | R <sup>2</sup> | Syx (%) |
|--------|--|--|----------------|---------|
| 1      | $y = a + b \ln(x)$                           | $w = -57,3419 + 41,447 \ln(esp)$                               | 0,6046         | 26,14   |
| 2      | $y = a \pm bx \pm cx^2$                      | $w = -13,6021 + 5,4092 esp - 0,0303979 esp^2$                  | 0,6144         | 25,81   |
| 3      | $y = a + b\sqrt{x}$                          | $w = -53,1168 + 28,7438\sqrt{esp}$                             | 0,6171         | 25,72   |
| 4      | $y = a + bx$                                 | $w = -11,1419 + 4,84624 esp$                                   | 0,6205         | 25,61   |
| 5      | $y = (a + bx)^2$                             | $w = (1,68854 + 0,432247 esp)^2$                               | 0,6467         | 2,16    |
| 6      | $y = \exp(a + bx)$                           | $w = \exp(1,95275 + 0,16005 esp)$                              | 0,6509         | 0,79    |
| 7      | $y = \exp\left(a + \frac{b}{x}\right)$       | $w = \exp\left(4,70897 - \frac{11,1267}{esp}\right)$           | 0,6624         | 0,78    |
| 8      | $y = ax^b$                                   | $w = 1,39501 esp^{1,41233}$                                    | 0,6763         | 0,76    |
| 9      | $y = \frac{1}{(a + bx)}$                     | $w = \frac{1}{(0,0922822 - 0,00614881 esp)}$                   | 0,5887         | 0,04    |
| 10     | $y = \frac{1}{\left(a + \frac{b}{x}\right)}$ | $w = \frac{1}{\left(-0,0168904 + \frac{0,455067}{esp}\right)}$ | 0,6812         | 0,03    |

Nota: “w” corresponde à carga total de material combustível (mg.ha<sup>-1</sup>) e “esp” à espessura média da manta (cm).

## CONCLUSÕES

- A classe de diâmetro “miscelânea” foi responsável por 47,75% da carga total média de material combustível.
- A variável “espessura média da manta (cm)” apresentou melhor correlação com a variável de interesse “carga total de combustível florestal (mg.ha<sup>-1</sup>)”.
- O melhor modelo para estimativa da carga total de combustível florestal foi  $w = 1/(-0,0168904 + 0,455067/esp)$ , com  $R^2 = 0,681214$  e  $Syx(\%) = 0,031$ .

## REFERÊNCIAS

ANDREU, A. G.; SHEA, D. PARRESOL, B. R.; OTTMAR, R. D. Evaluating fuel complexes for fire hazard mitigation planning in the southeastern United States. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 262, n. 9, p. 1659 - 1894, 2011.

BATISTA, A. C. **Avaliação da queima controlada em povoamentos de *Pinus taeda* L. no norte do Paraná**. 108 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.

\_\_\_\_\_. Estudos sobre o comportamento do fogo na Universidade Federal do Paraná. In: SOARES, R. V.; BATISTA, A. C.; NUNES, J. R. S. (orgs.). **Incêndios florestais no Brasil: o estado da arte**. Curitiba, 2009, p. 33 - 50.

BEUTLING, A.; BATISTA, A. C.; SOARES, R. V.; VITORINO, M. D. Characterization and modeling of forest fuels in *Araucaria angustifolia* plantations. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON FOREST FIRE RESEARCH, 5., 2006, Figueira da Foz. **Proceedings...** Coimbra: ADAI/CEIF, Universidade de Coimbra, 2006. v. 1. p. 1 - 9.

BEUTLING, A. **Caracterização para modelagem de material combustível superficial em reflorestamentos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze**. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

\_\_\_\_\_. **Modelagem do comportamento do fogo com base em experimentos laboratoriais e de campo.** 121 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

GOULD, J. S.; McCAW, W. L.; CHENEY, N. P. Quantifying fine fuel dynamics and structure in dry eucalypt forest (*Eucalyptus marginata*) in western Australia for fire management. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 262, n. 3, p. 531 - 546, 2011.

KOEHLER, C. W. **Variação estacional da deposição de serapilheira e de nutrientes em povoamentos de *Pinus taeda* na região de Ponta Grossa - PR.** 148 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

KRIVTSOV, V.; VIGY, O.; LEGG, C.; CURT, T.; E. RIGOLOT, E.; LECOMTE, I.; JAPPIOT, M.; LAMPIN-MAILLET, C.; FERNANDES, P.; PEZZATTI, G. B. Fuel modelling in terrestrial ecosystems: an overview in the context of the development of an object oriented database for wild fire analysis. **Ecological Modelling**, v. 220, p. 2915 - 2926, 2009.

RIBEIRO, G. A. **Estudo do comportamento do fogo e de alguns efeitos da queima controlada em povoamentos de *Eucalyptus viminalis* Labill em Três Barras, Santa Catarina.** 145 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

RIBEIRO, G. A.; SOARES, R. V. Caracterização do material combustível superficial e efeitos da queima controlada sobre sua redução em um povoamento de *Eucalyptus viminalis*. **Cerne**, Lavras, v. 4, n. 1, p. 58 - 72, 1998.

RICCARDI, C. L.; PRICHARD, S. J.; SANDBERG, D. V.; OTTMAR, R. D. Quantifying physical characteristics of wildland fuels using the fuel characteristic classification system. **Canadian Journal of Forestry Research**, v. 37, p. 2413 - 2420, 2007.

SOARES, R. V. Determinação da quantidade de material combustível acumulado em plantios de *Pinus* spp. na região de Sacramento (MG). **Revista Floresta**, Curitiba, v. 10, n. 1, p. 48 - 62, 1979.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. **Incêndios florestais: controle, efeitos e uso do fogo.** Curitiba, 2007. 250 p.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C.; SOUZA, L. J. B. Fuel loading in *Eucalyptus dunnii* and *Pinus taeda* plantations in southern Brazil. In: VIEGAS, D. X. (ed.) **Forest fire research & wildland fire safety**, Rotterdam, 2002. p. 30.

VALERI, S. V.; REISSMANN, C. B. Composição da manta florestal sob povoamentos de *Pinus taeda* L. na região de Telêmaco Borba - PR. **Floresta**, Curitiba, v. 19, n. 1 - 2, p. 55 - 61, 1989.