

MODELAGEM DO MATERIAL COMBUSTÍVEL SUPERFICIAL EM POVOAMENTOS DE *Eucalyptus dunnii*, EM TRÊS BARRAS, SC

Luiz Joaquim Bacelar de Souza¹, Ronaldo Viana Soares², Antonio Carlos Batista²

(Recebido: 10 de setembro de 2002; aceito: 20 de novembro de 2003)

RESUMO: Um inventário foi conduzido em Três Barras, Santa Catarina (26°15'S de latitude e 50°48'W de longitude), para quantificar e modelar o material combustível superficial vivo e morto existente em plantações de *Eucalyptus dunnii*. Como a rotação da espécie é de aproximadamente 10 anos, foram estabelecidas, de forma sistemática, 20 parcelas de 1,0 m² para cada povoamento de 22, 34, 55, 78, 92, 103 e 124 meses de idade, nas quais foram medidas as seguintes variáveis dependentes: combustível superficial vivo, folhagem morta, material lenhoso morto (separado por classe de tamanho) e carga total de combustível, todos em t.ha⁻¹. As variáveis independentes, medidas ao redor das parcelas, foram o DAP, a altura e o diâmetro dominantes, a área basal e a altura da vegetação viva do sub-bosque. Os resultados mostraram que a idade das plantações foi a variável independente que proporcionou os melhores modelos para todas as variáveis dependentes, exceto o combustível superficial vivo, que foi melhor estimado por meio da altura da vegetação viva do sub-bosque e da área basal. A quantidade total de combustível nos sítios estudados variou de aproximadamente 8,0 a 31,0 t.ha⁻¹, dependendo da idade da plantação.

Palavras-chave: combustível florestal, material combustível, modelagem de combustível, eucalipto, proteção florestal.

FUEL MODELING IN *Eucalyptus dunnii* PLANTATIONS IN TRÊS BARRAS COUNTY, SC, BRAZIL

ABSTRACT: An inventory was conducted in the Três Barras county, state of Santa Catarina, Brazil (latitude 26°15' S; longitude 50°48' W), in order to develop predicting models for fuel loading in *Eucalyptus dunnii* plantations. Sampling was done in stands with 22, 34, 55, 78, 92, 103, 113 and 124 months of age, covering the whole rotation of the plantations. Twenty plots (1.0x1.0m) were randomly located in each stand, totalizing 160 plots. The independent variables measured in the stands were age (in months), DBH (cm), dominant DBH (cm), dominant height (m) of the trees, basal area (m²), and understory vegetation height (m). The dependent variables were live surface fuel, dead foliage, dead woody fuel (separated by size classes), and total fuel load, measured in ton.ha⁻¹. Results showed good correlation between age of the plantations and most of the dependent (fuel related) variables. Live surface fuel only presented significant correlation with the understory vegetation height. Models were developed to estimate the following variables: live surface fuel (W_v), dead fuel up to 10 hour ($\text{AE } \text{E } 2.5\text{cm}$) timelag (W_d), dead foliage (W_f), and total fuel load (W_T). Independent variables were chosen not only by the correlation coefficients, but also for the measuring facility, and based on these principles age (I), basal area (G), and understory vegetation height (H_v) were selected. Plantations age was the variable that provided best fits for all predicting models, except live surface fuel, that was best predicted through the understory vegetation height and

¹ Professor do Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Amazonas. lsouza@fua.br

² Professores do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal do Paraná. rvsoares@floresta.ufpr.br; batista@floresta.ufpr.br

basal area. The selected model to estimate total fuel loading was: $W_T = 17.256106 - 0.28177*I + 0.003182*I^2$. Total fuel load in the *Eucalyptus dunnii* plantations in the studied site ranged from approximately 8.0 to 31.0 ton.ha⁻¹, depending on the plantation's age.

Key words: Forest fuel; Fuel loading; Eucalyptus plantation; Forest protection

1 INTRODUÇÃO

Os incêndios florestais constituem a maior ameaça às florestas e/ou povoamentos florestais do planeta. Por isso, existe uma grande necessidade de implantação de eficientes sistemas integrados de proteção contra incêndios florestais. Esses sistemas, utilizando modernos recursos de informática, possibilitam a detecção imediata e a localização precisa do fogo, estimando sua intensidade, indicando as melhores rotas de acesso e dimensionando os recursos necessários para combatê-lo. A qualidade das informações relacionadas ao comportamento do fogo é de suma importância para garantir a eficiência de tais sistemas, principalmente no que tange às operações de combate, cujo planejamento depende fundamentalmente dos dados relativos à quantidade de material combustível. Esta informação é também indispensável para a prescrição de queimadas controladas em áreas florestais, seja para a redução do risco de ocorrência de incêndios ou para se atingir outros objetivos previstos no plano de manejo florestal.

Embora um inventário seja a forma mais precisa de quantificação do combustível florestal, o tempo despendido na sua realização é muito longo, o que inviabiliza sua utilização nos casos em que o incêndio já iniciou e se pretende estimar a intensidade do fogo. Nestas situações, o mais indicado é recorrer aos modelos de combustível para estimar, a qualquer momento, por meio de variáveis de fácil obtenção, a carga de material combustível existente numa floresta.

No Brasil, modelos como esses praticamente inexistem. Houve somente uma

tentativa de desenvolvimento de equações de predição da quantidade de combustível para *Pinus caribaea* e *Pinus oocarpa* no sudoeste de Minas Gerais, em povoamentos jovens, com até sete anos e meio de idade (Soares, 1979), quando o ideal seria poder dispor de modelos que cubram todo o período de rotação da floresta. Ribeiro (1997) quantificou a carga de combustível em povoamentos de *Eucalyptus viminalis* no norte de Santa Catarina, mas não chegou a desenvolver modelos de predição.

O *Eucalyptus dunnii* tem sido uma espécie bastante utilizada em plantações no sul do Brasil devido ao seu bom incremento, boa forma e, principalmente, por ser resistente à geadas, fenômeno meteorológico que impede o estabelecimento de outras espécies do gênero, como o *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus urophylla*, entre outras, em regiões mais frias. Devido ao seu bom desenvolvimento e à qualidade da madeira, o *Eucalyptus dunnii* está se tornando uma importante espécie florestal na região sul do país.

Este trabalho teve como objetivo principal a seleção de modelos estatísticos para estimar a quantidade de material combustível em plantações de *Eucalyptus dunnii* de diferentes idades, por meio de variáveis de fácil obtenção, tais como idade, altura, diâmetro e área basal.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização da área de estudo

Este trabalho foi desenvolvido em um distrito florestal de propriedade da empresa

RIGESA, Celulose, Papel e Embalagens Ltda., localizado em Três Barras, SC, em povoamentos de *Eucalyptus dunnii* de diferentes idades, plantados em espaçamento inicial de 2,5 x 3,0 m. A região abrangida pela pesquisa situa-se, em média, a 26°15' de latitude sul e 50°48' de longitude oeste e a 775 m de altitude. Os talhões amostrados apresentavam geralmente topografia ligeiramente plana a levemente ondulada e localizavam-se em regiões administrativas da RIGESA denominadas de Bugre, Paul, Caraguatá, Paredão, São João da Barra, Experimental, Duas Barras e Divisa.

2.2 Amostragem

O inventário básico foi feito por medição e pesagem do material combustível vivo e morto localizado entre a camada H do horizonte orgânico e 1,8 m de altura em parcelas de 1,0 m², distribuídas uniformemente sobre todos os talhões estudados, nos plantios com idades de 22, 34, 55, 78, 92, 103, 113 e 124 meses. O formato quadrado das parcelas (Figura 1) foi adotado com base nas pesquisas de Soares (1979), Batista (1984, 1995), Schneider & Bell (1985) e de Ribeiro (1997). A amostragem foi realizada entre os meses de julho e outubro de 1997.

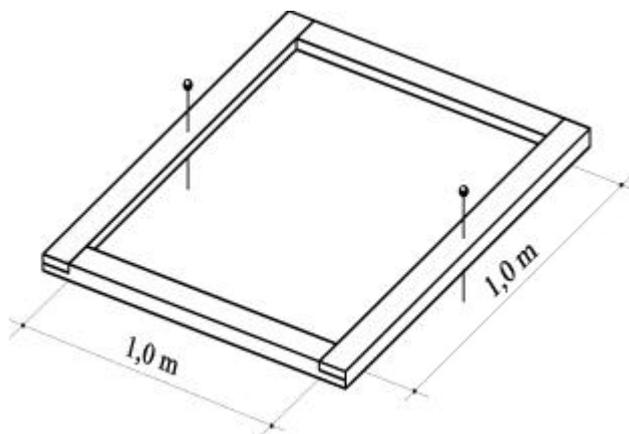


Figura 1. Gabarito utilizado para amostragem do material combustível.

Figure 1. Gauge used to sample dead and live surface fuel

De acordo com as experiências de Soares (1979), Brown (1971), Carlton & Pickford (1982), foram coletadas 20 amostras para cada idade de plantio, perfazendo um total de 160. O número final de amostras foi determinado com base na variância das mesmas, por meio do método seqüencial de Stein (Steel & Torrie, 1980). A população foi considerada como infinita e o limite de erro tolerado para a determinação do número de amostras foi

préestabelecido em 10%. O nível de probabilidade adotado foi de 90%, valor compatível com trabalhos da área biológica.

2.3 Obtenção das variáveis independentes

Após a fixação do gabarito para coleta de material combustível mediram-se as circunferências à altura do peito (CAP) das árvores que cobriam uma área correspondente ao espaço inicialmente ocupado pelo plantio

inicial de 36 mudas (6 x 6 plantas) ao redor da parcela. A partir destes dados foram determinados o DAP médio das árvores e a área basal (G) do talhão. Foi medida também a altura média das árvores dominantes (hdom).

Com auxílio de uma régua graduada com precisão de 0,1 cm foi medida também, em cada ponto de amostragem delimitado pelo gabarito, a altura do combustível superficial vivo (hv).

2.4 Determinação da carga de material combustível

Antes da separação e pesagem do combustível morto delimitado pelo gabarito, a vegetação viva foi cortada rente ao piso do povoamento, pesada e homogeneizada para a retirada de uma subamostra, que, após pesada, foi levada para secagem em laboratório. Nesta operação foram usados um facão e um serrote de poda para facilitar a remoção e posterior classificação de todo o material contido na área de um metro quadrado. O material lenhoso (fragmentos de ramos, cascas, restos de exploração e estruturas da vegetação baixa

morta), com auxílio de um calibrador de fibra (Figura 2), foi classificado em quatro diferentes padrões de espessura $\phi_1 \leq 7$ mm; ϕ_2 de 7,1 a 25 mm; ϕ_3 de 25,1 a 75 mm e $\phi_4 > 75$ mm).

Depois da identificação e separação dos materiais foi feita a pesagem do folheto e das diferentes classes de material lenhoso. Posteriormente, foram retiradas as respectivas subamostras que, após pesadas, foram levadas ao laboratório para secagem a uma temperatura de $\pm 80^\circ\text{C}$, até atingir peso constante.

Devido às dimensões de algumas classes (> 25 mm), todas as subamostras sofreram pré-secagem contínua numa câmara de abertura de cones por um período nunca inferior a cinco dias, a uma temperatura de aproximadamente 28°C . A pesagem do material, úmido e seco, foi feita em uma balança com capacidade de 2.610 g e precisão de 0,1 g, no campo e no laboratório, respectivamente.

A quantidade, em peso de matéria seca (W), para os diferentes tipos e classes de material combustível, foi calculada da seguinte forma:

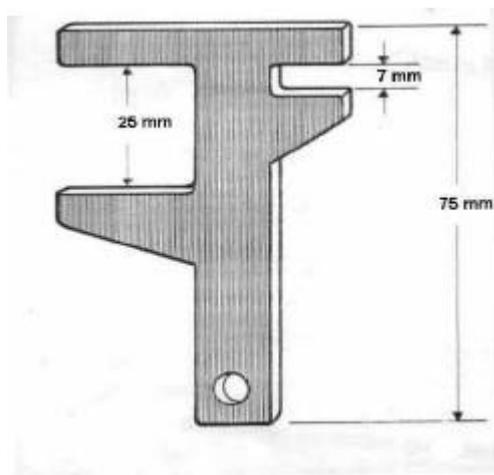


Figura 2. Calibrador utilizado para separação das classes de material combustível (Brown, 1974).

Figure 2. Gauge used to classify downed dead fuel (Brown, 1974).

$$W = \left(\frac{\text{Peso da subamostra SECA} \times \text{Peso da amostra ÚMIDA}}{\text{Peso da subamostra ÚMIDA}} \right) \times 10 \quad (\text{Mg / ha})$$

Foram estabelecidas as seguintes classes de material combustível:

- W_f → folheto das camadas L e F da liteira;
- W_1 [$W_f + W_{\emptyset 1}$] → folheto + combustíveis da classe $\emptyset 1$;
- W_{10} [$W_1 + W_{\emptyset 2}$] → W_1 + combustíveis da classe $\emptyset 2$;
- W_{100} [$W_{10} + W_{\emptyset 3}$] → W_{10} + combustíveis da classe $\emptyset 3$;
- W_k [$W_{100} + W_{\emptyset 4}$] → W_{100} + combustíveis da classe $\emptyset 4$;
- W_v → combustível superficial vivo
- W_T → combustível total [$W_v + W_k$]

2.5 Modelagem

Antes da montagem da matriz de correlação das variáveis de potencial interesse na modelagem, os dados relacionados ao material combustível foram submetidos a uma verificação da homogeneidade das variâncias, pela da aplicação do teste de Bartlett. Na expectativa de obtenção de melhores ajustes, algumas destas variáveis sofreram transformações, dependendo de suas características e da fase de desenvolvimento das análises.

O grau de relacionamento das variáveis independentes com as quantidades de material combustível foi obtido por meio da montagem de uma matriz de correlação envolvendo todas as variáveis, de modo a permitir uma seleção daquelas com maiores coeficientes, conforme escala adotada por Schmidt (1977), ou seja, até 0,30, baixa; de 0,31 a 0,60, média; de 0,61 a 0,80, forte e acima de 0,80, muito forte. Com base nos resultados da matriz foram selecionadas apenas as variáveis idade, área basal e altura do combustível superficial vivo para composição dos modelos.

Assim como as variáveis independentes, as variáveis de resposta ou dependentes foram previamente definidas a partir de critérios de ordem prática, quais sejam, baixa propensão a erro e relação com o sítio; no entanto, o principal critério foi o grau de importância das

mesmas no contexto dos incêndios florestais. As equações para estimar a quantidade de material combustível foram ajustadas a partir destas variáveis e das variáveis independentes também selecionadas.

Dois métodos foram combinados para ajustar os modelos, *stepwise* e “todas as regressões possíveis”, permitindo o estudo de um expressivo número de equações e a pré-seleção das melhores. Diversos foram os modelos testados (linear simples e múltiplo, polinomial, exponencial, logaritmo e potencial). Os ajustes das equações foram avaliados pelo coeficiente de determinação (R^2), do erro padrão da estimativa como percentagem da média estimada ($S_{yx}\%$), da razão de variância F, pela análise de resíduos e pelo R^2 ajustado. No ajuste das equações não lineares foi utilizado preliminarmente o método Quasi-Newton, com posterior determinação do R^2 ajustado e erro padrão da estimativa pelo método dos mínimos quadrados. Os modelos não lineares ajustados foram obtidos principalmente a partir de inferências e adaptações a modelos de mesma natureza, sem que, no entanto, fossem preteridas as análises exploratórias feitas sob bases diagramáticas.

Além dos critérios estatísticos, os modelos foram escolhidos com base nas

características das variáveis independentes e dependentes e na sua composição. As características consideradas foram: facilidade de obtenção da variável, precisão que a medição da variável permite, grau de relação de dependência de fatores do sítio e intercorrelação entre as mesmas, quando se tratava de duas ou mais integrando o mesmo modelo. Além do mais, o nível de multiplicidade de variáveis ou complexidade do modelo também foi considerado como critério de seleção, favorecendo os modelos mais simples. Em relação às variáveis dependentes, foram considerados o potencial de abrangência do modelo e sua posição hierárquica no contexto dos níveis de periculosidade, o qual foi determinado com base no *timelag*, parâmetro estritamente dependente da espessura do material lenhoso

que é a dimensão controladora da velocidade do fluxo de umidade. Após a escolha dos melhores modelos para cada variável foram construídos gráficos para facilitar a operacionalização do modelo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Carga de combustível

As cargas de combustível, por tipo e classe, em cada idade inventariada, estão apresentadas na Tabela 1. Os combustíveis mortos, constituídos pelo folheto, miscelânea e material lenhoso, apresentaram maior contribuição na carga total do combustível superficial a partir do fechamento do dossel, o que deve ter ocorrido entre o 22^o e o 34^o mês.

Tabela 1. Distribuição dos combustíveis superficiais, por tipo e classe de tamanho, por diferentes idades, em povoamentos de *Eucalyptus dunnii*.

Table 1. Surface fuel distribution, by type and size classes, in *Eucalyptus dunnii* plantations of different ages.

Tipo	Idade (Meses)							
	22	34	55	78	92	103	113	124
Ou								
Classe	Carga de combustível (matéria seca ao forno) em Mg.ha ⁻¹							
W _f	0,06	4,26	6,48	7,53	9,75	11,66	14,81	18,35
W _{Ø1}	1,61	0,61	1,29	4,63	4,07	4,27	5,55	6,37
W _{Ø2}	3,75	0,58	1,38	3,45	3,58	3,14	4,48	4,74
W _{Ø3}	3,50	0,14	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
W _{Ø4}	1,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
W _v	5,21	2,09	1,56	1,61	1,19	2,55	1,99	1,36
W _T	15,13	7,79	10,77	17,22	18,59	21,62	26,83	30,82

3.1.1 Material combustível morto

A carga de combustível superficial morto apresentou valores crescentes até o final da rotação, demonstrando que a acumulação deste

material ainda não havia estacionado, ou seja, o processo de deposição continuava suplantando o processo de decomposição. A tendência de aumento deste tipo de combustível se deveu principalmente ao

folhede e aos materiais lenhosos de diâmetro até 25mm, sem qualquer contribuição de materiais de maior espessura. Tudo indica que os combustíveis lenhosos de diâmetros maiores, principalmente os superiores a 7,0 mm, encontrados nos plantios de 22 meses, eram resíduos do corte do povoamento anterior.

Para efeito de análise e modelagem, as cargas dos combustíveis mortos foram também submetidas a uma reordenação em classes cumulativas de espessura, segundo o tempo de resposta (*timelag*) do material para perder 2/3 de seu teor de umidade sob a influência da variação da umidade relativa do ar (Byram, 1963).

A contribuição do folhede nos povoamentos acima de 22 meses foi em torno de 50% da carga total de combustível. Não foram observados aumentos da classe cumulativa W_{10} (*timelag* 10 horas) em relação ao total de combustível morto para a maioria das idades, mostrando que os combustíveis acima de 25 mm não tiveram participação significativa na carga de combustível total após o fechamento do dossel.

3.1.2 Material combustível vivo

Uma expressiva carga de combustível vivo, constituído pela vegetação do sub-bosque, foi observada na idade mais jovem. A partir daí ela foi decrescendo até os 92 meses, voltando a crescer aos 103 meses, para voltar a cair nas duas últimas idades analisadas (Tabela 1). A altura da vegetação do sub-bosque apresentou tendência semelhante, sugerindo uma potencialidade para ser usada na modelagem desse tipo de combustível. Uma maior incidência de luz sobre a superfície do solo na idade mais jovem certamente favoreceu o desenvolvimento dessa vegetação.

Brender et al. (1976) observaram que, em povoamentos de idades mais jovens, a carga de combustível superficial é constituída principalmente pela vegetação invasora,

enquanto nas idades mais avançadas o material morto do piso florestal chega a contribuir com quase 100% da carga total, resultado muito próximo do obtido na presente pesquisa.

3.1.3 Carga total de combustível superficial

Aos 22 meses de idade, mais da metade do combustível superficial total da plantação de eucalipto já era constituída por material morto, fato que pode ser explicado pelo rápido crescimento da espécie, limitando o desenvolvimento da vegetação concorrente. Nessa idade, os combustíveis mortos, representados pelo material de espessura menor do que 75,1 mm, proporcionaram uma contribuição substancial ao combustível total. Esse comportamento se manteve nas demais idades, determinado, no entanto, pela deposição de material fino, de até 25 mm, tendo sido o folhede o principal responsável pelos incrementos ocorridos a partir dos 34 meses.

Os contínuos incrementos da carga total de combustível demonstram que, independentemente da vegetação viva, o acúmulo de material superficial na idade mais avançada (124 meses) ainda se sobrepõe à sua decomposição, potencializando os riscos de um incêndio em épocas mais críticas. Devido a este progressivo aumento, a idade parece ser uma boa variável independente para estimar a carga total de combustíveis.

3.2 Seleção de variáveis

Das onze variáveis dependentes preliminarmente eleitas, somente quatro (folhede – W_f ; combustível lenhoso com diâmetro $\leq 2,5$ cm – W_{10} ; combustível superficial vivo – W_v ; e combustível total – W_T) continuaram a fazer parte das análises (Tabela 2) enquanto que, entre as variáveis independentes, apenas três (idade, área basal e altura dominante) foram selecionadas. No processo de eliminação de variáveis foram adotados princípios mencionados por Werkema & Aguiar (1996), Draper & Smith (1966) e Vanclay (1994).

Tabela 2. Correlações obtidas entre variáveis de maior potencial para ajuste de modelos.**Table 2.** Correlation coefficients among the modeling potential variables.

Variáveis Dependentes	Variáveis Independentes					
	Idade	DAP	ddom	G	h _v	Hdom
W _f	0,885	0,683	0,786	0,836	0,009	0,859
W ₁₀	0,878	0,599	0,752	0,804	0,053	0,836
W _v	-0,387	-0,596	-0,514	-0,477	0,672	-0,472
W _T	0,734	0,343	0,545	0,617	0,238	0,652

3.2.1 Seleção das variáveis dependentes

Na seleção das variáveis de resposta, além da correlação entre as variáveis explicativas e as classes de combustível, particularidades relativas às classes cumulativas “W_n” também foram levadas em consideração, principalmente a relação entre flamabilidade e espessura do material combustível. Além do mais, estas classes apresentaram bons níveis de associação com praticamente todas as variáveis explicativas, com exceção do DAP. A classe “W₁₀” é, entre as cumulativas, a que representa melhor balanceamento entre o grau de associação com as variáveis explicativas e a participação na carga total de combustíveis. A opção por esta representante das classes cumulativas também levou em conta fundamentos citados por Sackett (1980), Agee (1983), Chandler et al. (1983), Pyne (1984), Brown & Bevins (1986), McCaw et al. (1996) e Schimmel & Granström (1997), os quais fazem referências à importância dos materiais lenhosos com dimensões de até 25 mm no processo de combustão.

As variáveis referentes à carga do folheto (W_f) e à do combustível superficial total (W_T) também foram escolhidas em função da importância destas informações no que diz respeito à avaliação do potencial de risco de incêndio. A estas variáveis foi acrescentada a carga de combustível vivo

(W_v), em razão da forte presença destes materiais em todas as idades e de seus níveis de contribuição na carga total, particularmente na idade mais jovem.

3.2.2 Seleção das variáveis independentes

Além dos valores observados na matriz de correlação, a facilidade de obtenção foi também levada em consideração na escolha das variáveis “área basal” e “idade” para os ajustes dos modelos, embora nenhuma delas tenha apresentado alta correlação com a carga de combustível vivo. Em relação às demais variáveis, a idade apresenta a vantagem de também poder ser usada em estudos de prognose ou determinação de cargas de combustíveis consumidas pelo fogo em áreas monitoradas por sistemas de proteção. Por essa razão, muitos pesquisadores utilizam a idade como variável independente no ajuste dos modelos de estimativa de cargas de combustível. O DAP, embora de fácil obtenção, foi descartado devido às baixas correlações apresentadas com todas as variáveis dependentes.

O coeficiente de correlação entre a variável “hdom” e o folheto (Tabela 2) foi bem mais alto do que o observado nas plantações de *Pinus taeda* (0,859 contra 0,735) estudadas, no mesmo distrito florestal. Sua correlação com o combustível total, no entanto, não foi muito alta, muito menos a de seu correspondente “ddom”.

A altura da vegetação viva do sub-bosque, apesar de não haver apresentado boa correlação com as cargas de folheto, com o material morto até 2,5 cm de diâmetro e com o combustível total, foi selecionada por ter apresentado correlação significativa com a carga de combustível vivo.

Desse modo, as três variáveis independentes selecionadas para o desenvolvimento dos modelos foram a idade do povoamento, a área basal e a altura da vegetação viva do sub-bosque.

3.3 Modelos ajustados

As análises realizadas selecionaram as equações da Tabela 3 como as mais indicadas para estimar os combustíveis das classes W_f , W_{10} , W_v e W_T em povoamentos de *Eucalyptus dunnii* com idades entre 22 e 124 meses na região norte do estado de Santa Catarina.

Todas as equações apresentadas satisfizeram os critérios mencionados por Werkema & Aguiar (1996), isto é, linearidade, homocedasticidade, normalidade e ausência de auto correlação. Outros modelos desenvolvidos apresentaram altos valores de R^2 , no entanto, não satisfizeram às exigências mínimas quanto aos critérios supramencionados e, por isso, foram descartados.

3.3.1 Estimativa da carga de folheto

O primeiro e o segundo modelos da Tabela 3 foram considerados bons ajustes por suas estruturas relativamente simples e por suas estatísticas, sendo o primeiro escolhido como o melhor para estimar a carga de folheto. Apesar de ele ter apresentado um R^2 um pouco inferior ao do segundo modelo, sua dispersão dos resíduos apresentou comportamento mais uniforme do que os demais. Este modelo foi utilizado para a geração do gráfico da Figura 3.

Trabalhando com *Pinus oocarpa* em Sacramento, MG, Soares (1979) obteve um R^2

igual a 0,86 para um modelo com características semelhantes às da segunda equação da Tabela 3. Mesmo com a adição de uma segunda variável, desde que ela seja de fácil obtenção, equações que utilizam a idade ainda podem ser consideradas como modelos simples, devido à facilidade de se obter esta informação. Em condições de grande variabilidade das condições ambientais, o modelo que utiliza também a área basal poderá ser mais apropriado, uma vez que esta variável tende a responder melhor a estas diferenças.

3.3.2 Estimativa da carga de combustível morto de diâmetro $\leq 2,5$ cm

Das três equações apresentadas para estimar o peso dos combustíveis mortos de até 25 mm de diâmetro, incluindo o folheto, a terceira (não linear) foi considerada a mais precisa. Além de utilizar apenas uma variável de fácil obtenção, a idade, ela apresentou o mais alto valor de R^2 e o menor erro de estimativa.

Vários pesquisadores, como Brender et al. (1976), Phillips e Saucier (1979), Stocks (1980), Carlton & Pickford (1982), Johnson et al. (1989) e Ferrari & Sugita (1996), ajustaram modelos não lineares para estimar cargas de materiais combustíveis, trabalhando preferencialmente com relações alométricas exponenciais ou potenciais, algumas inclusive envolvendo relações entre as duas, como é o caso de McNab et al. (1978), Carlton & Pickford (1982) e Ferrari & Sugita (1996). Carlton & Pickford (1982) desenvolveram uma equação, com boa precisão, para estimar combustíveis finos ($\varnothing \leq 0,7$ cm) nos moldes da que foi ajustada neste trabalho para estimar carga de combustíveis com diâmetro $\leq 2,5$ cm.

O gráfico da Figura 4 foi gerado a partir da equação considerada a mais precisa para a estimativa da carga de combustível morto de diâmetro $\leq 2,5$ cm. No entanto, não se deve descartar a primeira equação que, apesar de ter apresentado um valor de R^2 um pouco

mais baixo, utiliza também apenas a idade como variável independente e é bem mais simples para calcular.

3.3.3 Estimativa da carga de combustível vivo

Os modelos para estimar o peso do combustível superficial vivo não apresentaram

bons ajustes com uma única variável, em ambos os processos utilizados na análise, embora a altura da vegetação do sub-bosque tenha mostrado forte correlação com o peso deste material combustível. Por isso, combinações com outras variáveis foram testadas e, como pode ser observado na Tabela 3, apresentaram melhor precisão do que a referida variável isoladamente.

Tabela 3. Modelos ajustados para estimar cargas de material combustível em *Eucalyptus dunnii*.

Table 3. Adjusted models to estimate fuel loadings in *Eucalyptus dunnii* plantations.

Carga	Modelo	Estatísticas		
		R ²	S _{yx}	F _{0,95}
W _f	$W_f = 1,697347 + 0,001005 * I^2$	0,8517	2,134	**
	$W_f = 0,894181 - 0,000193 * G^3 + 0,005533 * I * G$	0,8544	2,115	**
	$W_f = \frac{I^{0,175947}}{e^{-0,016277I}}$	0,8262	2,303	**
W ₁₀	$W_{10} = 4,313429 + 0,001572 * I^2$	0,8270	3,683	**
	$W_{10} = 3,349999 - 0,000248 * G^3 + 0,007989 * I * G$	0,8174	3,703	**
	$W_{10} = \frac{I^{0,39529}}{e^{-0,011708I}}$	0,8560	3,372	**
W _v	$W_v = 1,440281 + 4,609543 * hv^2$	0,4972	1,326	**
	$W_v = 3,815341 - 0,215958.G + 0,003678.G^2 + 2,389104.h_v + 1,613979.h_v^3$	0,6957	1,031	**
	$W_v = 7,865731 - 0,271773.I + 0,003354.I^2 - 0,000013.I^3 + 4,111559.\sqrt{h_v^3}$	0,6934	1,035	**
W _T	$W_T = 17,256106 - 0,28177 * I + 0,003182 * I^2$	0,6650	4,855	**
	$W_T = 8,8367899 + 0,000010 * I^3 + 6,535162 * hv$	0,6850	4,710	**
	$W_T = \frac{e^{0,025740 * I}}{0,006302 * I}$	0,6376	5,066	**

** Significativo a 95%

$$W_f = 1,697347 + 0,001005 * I^2$$

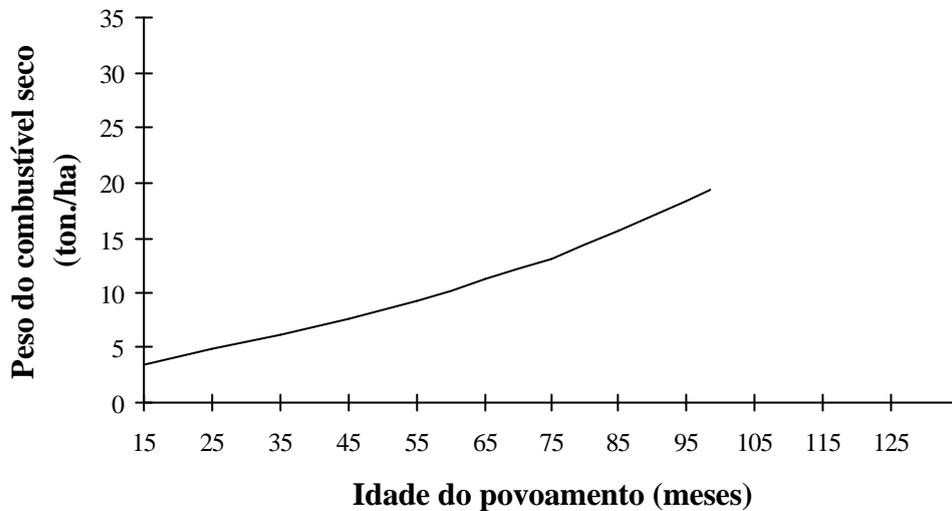


Figura 3. Estimativa da carga de folhagem através da idade do povoamento.

Figure 3. Foliage weight estimation through the stand age

Dependendo do desenvolvimento das copas das árvores, as condições microclimáticas existentes no interior dos povoamentos tendem a dificultar a assimilação líquida de energia por parte da vegetação do sub-bosque (Kramer & Kozlowski, 1979) e, por conseguinte, a produção de matéria seca. Como essa tendência depende, de certa forma, da idade e também da área basal, pelo menos até certo ponto, esses modelos múltiplos conseguiram reproduzir em boa proporção ($R^2 = 0,696$ e $0,693$) os efeitos de tais influências sobre a citada variável de resposta, de forma mais precisa do que quando apenas a altura da vegetação baixa foi usada. O comportamento dos resíduos demonstrou que, neste caso, a simplicidade do modelo com uma única variável não o torna necessariamente o melhor.

Nenhuma relação não linear produziu boa explicação para este tipo de carga de combustível, embora pesquisadores como Phillips & Saucier (1979) e Agee (1983),

tenham obtido bons ajustes com equações logarítmicas e Edwards Jr. (1976) com a relação ($W = a.D^b$), em que “D” é o diâmetro basal, ou seja, medido tangencialmente à superfície do piso florestal.

O uso da fração de cobertura em combinação com a da vegetação baixa parece ser a melhor opção para ajuste de modelos deste tipo (Alexander, 1978 e Brown & Marsden, 1976) Neste trabalho, o modelo considerado mais indicado, que utiliza a idade do povoamento e a altura da vegetação do sub-bosque, foi usado para a confecção do gráfico da Figura 5.

A superposição de todas as curvas geradas a partir das plantações de 48 meses permitiu a construção de uma única, facilitando a estimativa das cargas de vegetação baixa que se formam nos sub-bosques dos talhões situados nesta faixa etária.

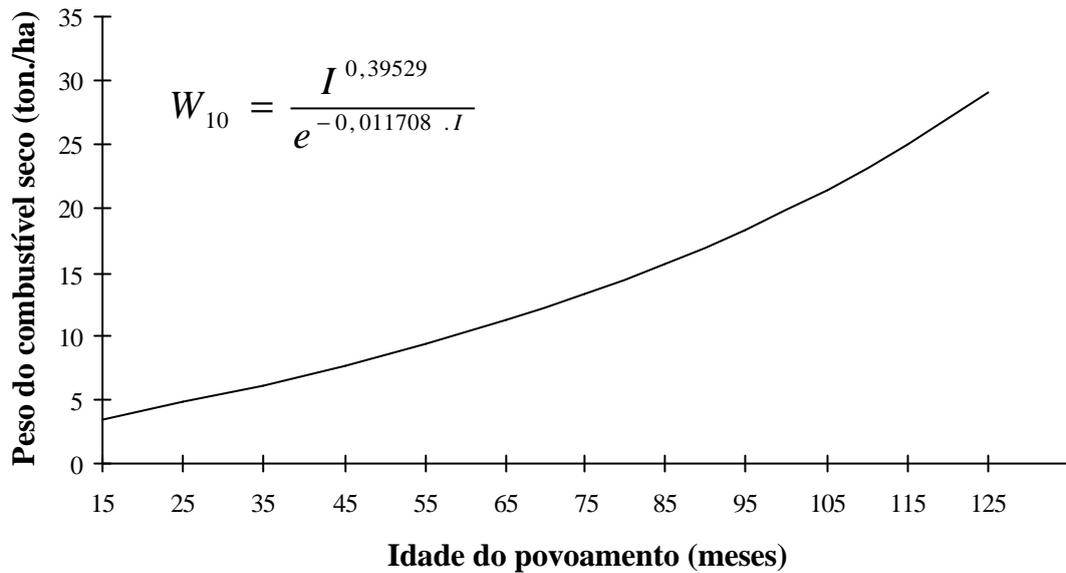


Figura 4. Estimativa da carga de combustíveis com $\varnothing \leq 2,5\text{cm}$ a partir da idade do povoamento.
Figure 4. Timelag 10 fuel weight estimation through the stand age.

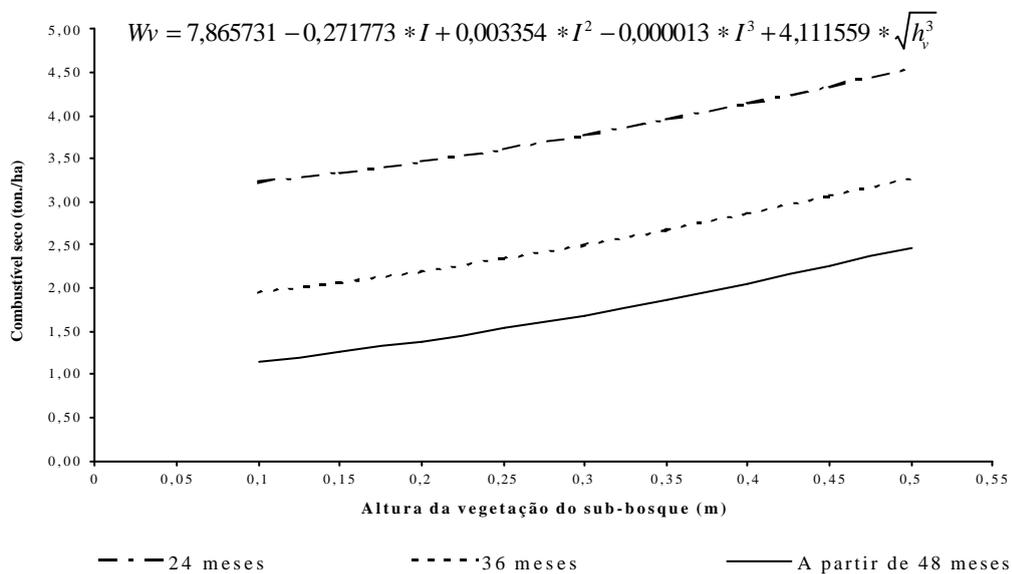


Figura 5. Estimativa do combustível superficial vivo a partir da idade das plantações e da altura da vegetação baixa do sub-bosque.

Figure 5. Live surface fuel estimation through the stand age and the understory vegetation height.

3.3.4 Estimativa da carga total de combustível

Com relação à carga total de combustíveis superficiais, os critérios adotados apontaram o primeiro dos três modelos apresentados como o mais indicado. Embora seus parâmetros estatísticos estimados não tenham sido melhores do que os da equação seguinte, ele depende de uma única variável, idade do povoamento que, além de fácil obtenção, está menos propensa a erros de medição do que a variável “h_v”, por exemplo, que participa da outra equação. Desse modo,

com base no modelo recomendado, foi construído o gráfico mostrado na Figura 6.

McNab et al. (1978) formularam um modelo com boa precisão (R² = 0,86) para estimar o combustível total superficial em povoamentos de *Pinus elliottii* no sul dos Estados Unidos, usando, além da idade, a altura da vegetação baixa do sub-bosque, confirmando os resultados obtidos neste trabalho, em que o modelo com maior coeficiente de determinação também incluía essas duas variáveis.

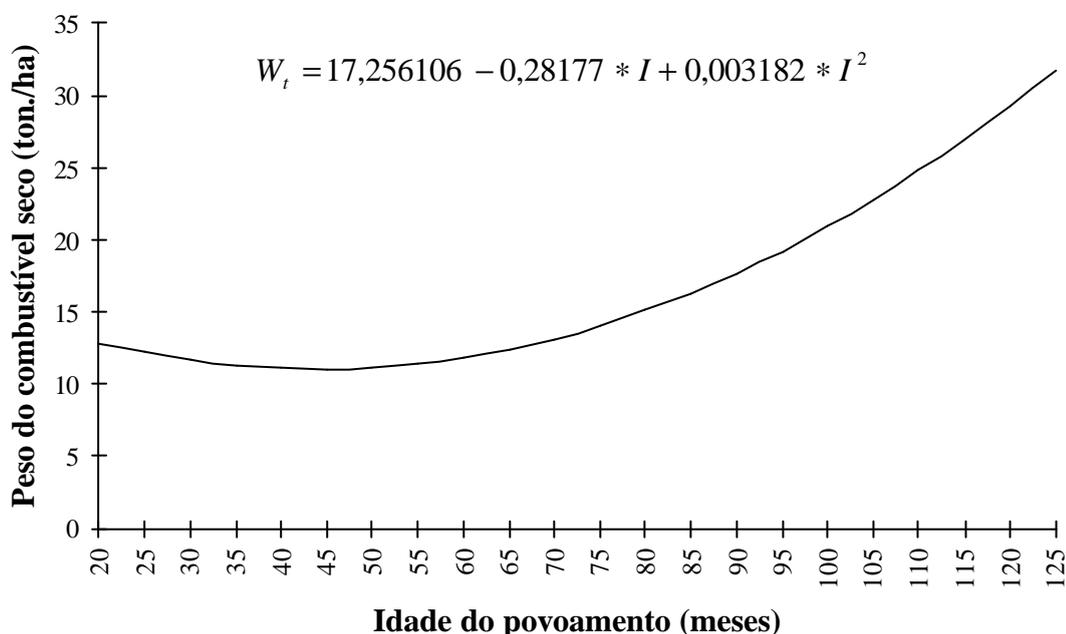


Figura 6. Estimativa da carga de total de combustível superficial a partir da idade do povoamento.

Figure 6. Total fuel load estimation through the stand age.

4 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no trabalho permitiram concluir o seguinte:

A idade do plantio, a altura dominante, a área basal e a altura da vegetação superficial viva foram as variáveis que apresentaram

melhores correlações com as quantidades de material combustível dos povoamentos de *Eucalyptus dunnii*;

Os melhores modelos para estimar a folhagem e o material lenhoso fino morto e a carga total de combustível tiveram como variável independente apenas a idade da

plantação; para a estimativa do combustível superficial vivo, as variáveis altura da vegetação superficial viva e área basal foram incluídas;

A inclusão da altura dominante, apesar da forte correlação apresentada, não melhorou significativamente os modelos de previsão de nenhuma das variáveis dependentes;

Os modelos estimativos da carga total de combustível perderam precisão devido à influência dos restos de exploração e do combustível vivo existentes nas idades mais jovens;

O modelo selecionado para estimar a carga total de combustível em povoamentos de *Eucalyptus dunnii* na região de Três Barras, SC foi :

$$W_T = 17,256106 - 0,28177 * I + 0,003182 * I^2$$

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGEE, J. K. Fuel weights of understory-grown conifers in southern Oregon. **Canada Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 13, n. 4, p. 648-656, Apr. 1983.
- ALEXANDER, M. E. **Estimating fuel weights of two common shrubs in colorado lodgepole pine stands**. Fort Collins : U.S.D.A. Forest Service, 1978. (Research Note RM-354).
- BATISTA, A. C. **Determinação de umidade do material combustível sob povoamento de *Pinus taeda* L.** 1984. 61 p. (Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba).
- BATISTA, A. C. **Avaliação da queima controlada em povoamentos de *Pinus taeda* L. no Norte do Paraná.** 1995. 109 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- BRENDER, E. V.; McNAB, W. H.; WILLIAMS, S. **Fuel accumulations in Piedmont loblolly pine plantations**. North Carolina: USDA. Forest Service, 1976. (Research Note SE-233).
- BROWN, J. K. **Fuel and vegetation inventory procedures—white cap study**. [S. l.: s. n.], 1971. (Mimeografado).
- BROWN, J. K. **Handbook for inventorying downed woody material**. Utah: USDA. Forest Service, 1974. **General Technical Report INT-16**.
- BROWN, J. K.; BEVINS, C. D. **Surface fuel loadings and predicted fire behavior for vegetation types in the northern rocky mountains**. Utah: USDA. Forest Service, 1986. (Research Note INT-358).
- BROWN, J. K.; MARSDEN, M. A. **Estimating fuel weights of grass, forbs, and small woody plants**. Utah: USDA. Forest Service, 1976. (Research Note INT-120).
- BYRAM, G. M. **An analysis of the drying process in forest fuel material**. International Symposium on Humidity and Moisture, Washington, D.C., 1963.
- CARLTON, D. W.; PICKFORD, S. G. Fuelbed changes with aging of slash from ponderosa pine thinnings. **Journal of Forestry**, Bethesda, v. 80, n. 2, p. 105-108, Feb. 1982.
- CHANDLER, C. et al. **Fire in forestry: forest fire behavior and effects**. New York: Wiley & Sons, 1983.
- DRAPER, N. R.; SMITH, A. **Applied regression analysis**. New York: Wiley & Sons, 1966.
- EDWARDS Jr., M. B. **Weight prediction for 10 understory species in central Georgia**. North Carolina: USDA. Forest Service, 1976. (Research Note SE-235).
- FERRARI, J. B.; SUGITA, S. A spatially explicit model of leaf litter fall in hemlock-hardwood

forests. **Canada Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 26, n. 11, p. 1905-1913, Nov. 1996.

JOHNSON, A. F.; WOODARD, P. M.; TITUS, S. J. Lodgepole pine and white spruce crown fuel weights predicted from height and crown width. **Canada Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 19, n. 4, p. 527-530, Apr. 1989.

KRAMER, P. J.; KOZLOWSKI, T. T. **Physiology of wood plants**. New York: Academic Press, 1979.

McCAW, W. L.; NEAL, J. E.; SMITH, R. H. Fuel accumulation following prescribed burning in young evenaged stands de barri (*Eucalyptus diversicolor*). **Australian Forestry**, Queen Victoria, v. 59, n. 4, p. 171-177, 1996.

McNAB, W. H.; EDWARDS Jr., M. B.; HOUGH, W. A. Estimating fuel weights in slash pine-palmetto stands. **Forest Science**, Washington, v. 24, n. 3, p. 345-348, Sept. 1978.

PHILLIPS, D. R.; SAUCIER, J. R. A Test of prediction, equations for estimating hardwood undestory and total stand biomass. **Georgia Forest Research Paper**, Athens, n. 7, p. 1-8, 1979.

PYNE, S. J. **Wildland fire** – fire management in the United States. New York: Wiley & Sons, 1984.

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

SACKETT, S. S. **Woody fuel particle size and specific gravity of southwestern tree species**. Fort Collins : USDA. Forest Service, 1980. (Research Note RM-389).

SCHIMMEL, J.; GRANSTRÖM, A. Fuel succession and fire behavior in the Swedish boreal forest. **Canada Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 27, n. 8, p. 1207-1216, Aug. 1997.

SCHMIDT, P. B. **Determinação indireta da relação hipsométrica para povoamentos de *Pinus taeda* L.** 1977. 83 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SCHNEIDER, B. H.; BELL, D. T. A simple, effective technique for rapid measurement of fuels in low shrub communities. **Australian Forest Research**, Victoria, v. 15, n. 1, p. 79-84, 1985.

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

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. **Principles and procedures of statistics – a biometrical approach**. 2. ed. New York: McGraw – Hill, 1980.

STOCKS, B. J. Black spruce crown fuel weights in northern Ontario. **Canada Journal of Forest Research**, Ottawa, n. 10, p. 498-501, 1980.

VANCLAY, J. K. **Modelling forest growth and yield - applications to mixed tropical forests**. Wallingford: CAB International, 1994.

WERKEMA, M. C. C.; AGUIAR, S. **Análise de regressão**: como entender o relacionamento entre as variáveis de um processo. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1996. (Série Ferramentas de qualidade, v. 7).