

Densidade ótima de estradas de uso florestal em áreas de relevo plano em povoamentos de *Pinus taeda* no planalto catarinenseOptimal forest road density in plane relief in *Pinus taeda* forests in catarinense plateausRodrigo Zagonel<sup>1</sup>, Carla Maria Camargo Corrêa<sup>2</sup> e Jorge Roberto Malinowski<sup>3</sup>**Resumo**

O objetivo deste estudo foi analisar a densidade ótima de estradas em condições de relevo plano com floresta de *Pinus taeda*, baseando-se nos custos de estradas de uso florestal, extração de madeira com *skidder* e custos de perda de área produtiva. A análise técnica englobou estudo de tempos e movimentos e de produtividade. A análise econômica englobou custos operacionais, custos de produção e rendimentos. Os dados foram coletados em dois locais diferentes em uma empresa localizada no estado de Santa Catarina. A densidade ótima de estradas na Fazenda Ventura foi de 30,48 m ha<sup>-1</sup>, apresentando custo de construção e manutenção de estradas de US\$ 0,47 /m<sup>3</sup>, perda de área produtiva de US\$ 0,24 /m<sup>3</sup>, custos de extração de US\$ 1,14 /m<sup>3</sup> e custo global mínimo de US\$ 1,86/m<sup>3</sup>. A densidade ótima de estradas na Fazenda Sumidouro foi de 25,47 m ha<sup>-1</sup>, apresentando custo de construção e manutenção de estradas na ordem de US\$ 0,39/m<sup>3</sup>, perda de área produtiva de US\$ 0,20/m<sup>3</sup>, de extração US\$ 0,92/m<sup>3</sup> e custo global de US\$ 1,51/m<sup>3</sup>.

**Palavras-chave:** Colheita florestal, Extração florestal, *Skidder*, Custos, Produtividade, Colheita

**Abstract**

The objective of this study was to optimize the density of roads in plain relief conditions in *Pinus taeda* plantations, based on the costs of forest roads, wood harvester with *skidder* and costs of loss of productive area. The technical analysis included studies of times and movements and productivity. The economic analysis included operational costs, production costs and revenues. The data had been collected in two different places in a company located in State of Santa Catarina, Brazil. The optimized density of roads in the Ventura Farm was of 30,48 m ha<sup>-1</sup>, presenting cost of construction and maintenance of roads of 0,47 US\$ /m<sup>3</sup>, loss of productive area of 0,24 US\$ /m<sup>3</sup>, costs of extraction of US\$ 1,14 /m<sup>3</sup> and minimum global cost of US\$ 1,86/m<sup>3</sup>. The optimized density of roads in the Sumidouro Farm was of 25,47 m ha<sup>-1</sup>, presenting cost of construction and maintenance of roads around US\$ 0,39/m<sup>3</sup>, loss of productive area of US\$ 0,20/m<sup>3</sup>, extration US\$ 0,92/m<sup>3</sup> and global cost of US\$ 1,51/m<sup>3</sup>.

**Keywords:** Wood harvesting, Forest extraction, *Skidder*, Costs, Productivity

**INTRODUÇÃO**

A rede viária é um elemento fundamental na implantação de um empreendimento florestal, pois é utilizada desde a abertura da área para o preparo do solo, servindo também de acesso ao povoamento, para as operações de manejo e proteção florestal. Entretanto, é durante a colheita e o transporte de madeira que ela assume papel de destaque, chegando a representar até 60% do custo de madeira posto fábrica (CORRÊA, 2005), influenciando significativamente no valor final do produto.

No que se refere à colheita de madeira, a falta de planejamento detalhado das atividades, associada a fatores como: nível cultural dos colaboradores, normatização das atividades operacionais do sistema de extração, definição do manejo de florestas plantadas, mecanismos de suporte para extração, adequação de equipamentos a extração e a falta de competitividade de equipamentos, são alguns aspectos que levam à ineficiência da colheita da madeira, tendo reflexo na sustentabilidade do meio ambiente e no seu custo final.

<sup>1</sup>Engenheiro Florestal, Mestre em Ciências Florestais pela UFPR - Aracruz Celulose S.A. - Rod. BR 101 Norte, Km 49 - Caixa Postal 010 - Conceição da Barra, ES - 29960-000 - E-mail: [rzagonel@aracruz.com.br](mailto:rzagonel@aracruz.com.br)

<sup>2</sup>Professora Doutora da Área de Silvicultura do Departamento de Ciências Florestais do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná - Rua Lothário Meissner, 632 - Campus III - Jardim Botânico - Curitiba, PR - 81531-990 - E-mail: [camargocorrea@ufpr.br](mailto:camargocorrea@ufpr.br)

<sup>3</sup>Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná - Rua Lothário Meissner, 632 - Campus III - Jardim Botânico - Curitiba, PR - 81531-990 - E-mail: [jrmalino@ufpr.br](mailto:jrmalino@ufpr.br)

O macro-planejamento da rede viária de uso florestal dá-se na ocasião da colheita de madeira, onde a densidade de estradas e caminhos aumenta expressivamente, para permitir as operações de extração, resultando numa rede viária complementar. Há de se considerar que a densidade de estradas é um fator determinante na composição dos custos do empreendimento, pois, quanto maior a densidade de estradas, maiores serão os custos de construção e manutenção, tendo como consequência a redução da área produtiva (CORRÊA *et al.*, 2006). Entretanto, quanto maior a densidade de estradas, menor o custo de extração, daí a necessidade de otimizar a densidade das estradas.

A atividade de extração de madeira irá determinar o dimensionamento da densidade de estradas, em função das características e peculiaridades de cada equipamento utilizado visando as melhores alternativas econômicas. De acordo com Carvalho (1999), uma malha viária adequada otimiza o transporte florestal, reduz os custos operacionais e garante o abastecimento fabril.

O objetivo desse trabalho foi analisar a densidade ótima de estradas em condições de relevo plano com floresta de *Pinus taeda*, utilizando como referência os custos de estradas de uso florestal, extração de madeira com *skidder* e os custos de perda de área produtiva. Foram objetivos específicos a análise técnica, através de estudos de tempos e movimentos e de produtividade e a análise econômica englobando custos operacionais, custos de produção e rendimentos.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de estudo

A coleta de dados foi realizada entre dezembro de 2003 e março de 2004, em plantios de *Pinus taeda*, submetidos ao regime de corte raso, localizados em áreas com relevo plano, com no máximo 7 % de declividade, em uma empresa de celulose e papel localizada no Planalto Serrano em Santa Catarina. As áreas de estudo apresentaram clima do tipo Cfb1: temperado brando chuvoso com verão fresco, segundo Köeppen (1938). O solo foi identificado como Cambissolo háplico distrófico típico, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999). No período de coleta de dados a temperatura mínima registrada foi de 14 °C e a máxima de 29 °C. A precipitação pluviométrica média no período foi de 95 mm.

As áreas amostradas compreenderam as se-

guintes condições: Fazenda Ventura, onde foi avaliada a Equipe A, numa altitude de 884 metros em um talhão de 19,6 ha, apresentando 1283 árvores/ha, com DAP médio de 24,4 cm e altura média de 23,1 m e idade de 21,8 anos. Na Fazenda Sumidouro, onde foi avaliada a Equipe B, numa altitude de 988 metros em um talhão de 55,27 ha, apresentando 1404 árvores/ha, com DAP médio de 24,8 cm e altura média de 21,9 m e idade de 22,6 anos. O espaçamento adotado pela empresa é de 2,5m x 2,5m (ZAGONEL, 2005).

### Método de extração florestal

Foi avaliada a extração mecanizada em corte raso, tendo sido utilizados: trator florestal *Skidder* 460 D com garra, marca John Deere, modelo 606 BH, com potência nominal de 119 kW – 2200 rpm e potência máxima de 125 kW – 2200 rpm; trator articulado com tração 4 x 4, sistema rodante traseiro e dianteiro nas mesmas dimensões e equipado com pneus florestais. O *skidder* conta com uma pinça na traseira com abertura da garra ponta-ponta de 2,75 m e área de acúmulo de 0,92 m<sup>2</sup>, e uma lâmina na parte frontal, que auxilia no empilhamento e na limpeza das vias de acesso.

### Estudo de tempos e movimentos

Foram avaliadas duas equipes constituídas por um operador com equipamentos idênticos e condições de trabalho semelhantes, diferenciando apenas nas atividades de corte. Na Equipe A, as atividades de corte foram feitas através de *feller buncher*, onde as árvores eram colocadas em forma de feixe nas linhas paralelas ao plantio, preparadas para o arraste com *skidder*, até a área de desgalhamento com motosserra. Após essa atividade os feixes de fuste eram carregados até à beira das estradas para traçamento com *slasher*, carregamento e transporte. Na Equipe B, as atividades de corte e desgalhamento foram feitas através de *harvester*, onde os fustes eram colocados paralelamente à linha de plantio, não necessariamente em feixes, para as demais atividades que seguiram a mesma seqüência da equipe anterior.

Foram amostrados os tempos das atividades dos operadores durante quatro meses, desprezando-se as primeiras amostras. Os ciclos avaliados contemplam uma operação completa do *skidder* (viagem descarregada + carregamento da grua + arraste + descarregamento). Foi observada e balizada uma distância máxima de arraste de 250 m e para a classificação de relevo foi utilizado um clinômetro tipo Suunto.

## Grandezas relativas

Os dados utilizados para determinação das grandezas relativas foram: número e volume de árvores arrastadas. Para associar os tempos à produtividade os dados foram registrados por ciclo; a grandeza relativa utilizada foi o volume, expresso em metro cúbico com casca ( $m^3 cc^{-1}$ ).

A coleta das grandezas relativas foi realizada através da contagem de árvores arrastadas por ciclo pelo *skidder*. O volume médio foi determinado através de uma cubagem prévia dos fustes abatidos.

## Tempos dos ciclos

A coleta de tempos foi realizada através do método de cronometragem do tempo individual (STÖHR, 1981; MACHADO e MALINOVSKI, 1988).

Para obter erro máximo de 5 % na amostragem foi realizado um estudo piloto visando definir o número mínimo de observações, utilizando-se a metodologia proposta por Barnes (1977):

$$n \geq \frac{t^2 + CV^2}{E^2} \quad (1)$$

Onde:

n = número mínimo de ciclos necessários;

t = valor de t, para nível de probabilidade desejado e (n-1) graus de liberdade;

CV = coeficiente de variação, em percentagem;

E = erro admissível, em percentagem.

Toda a medição foi controlada, a diferença admitida não foi superior a 3 % e quando ocorreu foi excluída. O erro admissível em cada ciclo não excedeu a 5 %.

## Análise da densidade ótima de estradas (DOE)

Para determinação da densidade ótima de estradas, este trabalho baseou-se no modelo aplicado por Souza (2001), que por sua vez utilizou modelos convencionais citados por Speidel (1966); Moosmayer (1967); FAO (1976); Dietz (1983); Machado e Malinovski (1986); Sessions (1987); Pereira Neto (1995).

A densidade ótima de estradas foi determinada em função da extração e dessa forma o trabalho foi desenvolvido em estradas secundárias, sendo os valores obtidos através de fórmulas matemáticas específicas. As equações utilizadas para determinação da densidade ótima de estradas envolveram os seguintes cálculos: equação

específica (contempla o ciclo de atividades previstas no arraste); cálculo da distância média de extração (DME); custos de estradas de uso florestal; custos com perda de área produtiva; custos de extração de madeira; custo operacional de máquina; e densidade ótima de estradas (DOE).

Esses valores foram representados em gráficos expressando os seguintes custos: custos globais, custos de construção, custos com perdas de áreas produtivas, custos com manutenção de estradas e custos com extração, considerando um intervalo de confiança de 10% em torno do custo global mínimo, pois, segundo Pereira Neto (1995), ocorre um intervalo ótimo de densidades de estradas dentro do qual o custo total varia muito pouco.

Para a determinação das equações das atividades efetivas foi utilizada equação específica:

$$ae = VV + FC + VC + DC \quad (2)$$

Onde:

ae = atividades efetivas (min);

VV = tempo de deslocamento sem carga (min);

FC = tempo de formação de carga (min);

VC = tempo de deslocamento com carga (min);

DC = tempo de descarga (min).

Por definição tem-se a velocidade expressa pela fórmula abaixo:

$$velocidade = distância / tempo \quad (3)$$

Desta forma, pode-se dizer que:

$$VV = \frac{DME}{VSC} \quad (4)$$

$$VC = \frac{DME}{VCC} \quad (5)$$

Onde:

VSC = velocidade média de extração sem carga (m/min);

VCC = velocidade média de extração com carga (m/min);

DME = distância média de extração (m).

Substituindo VV e VC na fórmula das atividades efetivas tem-se:

$$ae = \frac{DME}{VSC} + FC + \frac{DME}{VCC} + DC \quad (6)$$

Malinovski e Perdoncini (1990) expressaram a relação entre a densidade de estradas e a distância média de extração (DME) como:

$$DME = \frac{2500 * T * V}{DE} \quad (7)$$

Onde:

DME = distância média de extração (m);

DE = densidade de estradas (m/ha);

T = fator de correção para a extração, para casos em que a extração não é feita em linha reta e perpendicular à estrada e não termina no ponto mais próximo da origem;

V = fator de correção para rede de estradas, utilizado quando as estradas são tortuosas e não paralelas, com espaçamento diferente entre as mesmas.

O custo com estradas de uso florestal foi calculado através da divisão dos custos anuais de estrada e o incremento médio anual da floresta multiplicado pela densidade de estradas, conforme a fórmula apresentada por Pereira Neto (1995):

$$C_{est} = \frac{CAe}{IMA} * DE \quad (8)$$

Onde:

C<sub>est</sub> = custo de estradas (US\$/m<sup>3</sup>);

CAe = custo anual de estradas florestais (US\$/m);

IMA = incremento médio anual (m<sup>3</sup>/ha);

DE = densidade de estradas (m/ha).

Pereira Neto (1995) apresentou a fórmula abaixo para determinar o custo por perda de área produtiva (Pap):

$$C_{pap} = \frac{CAp}{IMA} * DE \quad (9)$$

Onde:

C<sub>pap</sub> = custo de perda de área produtiva (US\$/m<sup>3</sup>);

CAp = custo anual de perda de área de produção (US\$/m);

IMA = incremento médio anual da floresta (m<sup>3</sup>/ha);

DE = densidade de estradas (m/ha).

A produtividade média efetiva da operação de extração foi determinada pela razão entre o volume médio extraído por ciclo e a equação das atividades efetivas em função da distância média de extração:

$$Pr = \frac{Vméd}{ae} * .60 \quad (10)$$

Onde:

Pr = produtividade média efetiva da operação (m<sup>3</sup>/ha);

V<sub>méd</sub> = volume médio extraído por ciclo (m<sup>3</sup>);

ae = equação das atividades efetivas (min).

O custo de extração de madeira foi calculado com base no custo operacional de cada equipamento e na produtividade da operação, em função da distância média de extração, aplicando a fórmula abaixo apresentada por Pereira Neto (1995):

$$C_{ext} = \frac{CO}{PR} \quad (11)$$

Onde:

C<sub>ext</sub> = custo de extração florestal (US\$/m<sup>3</sup>);

CO = custo operacional da máquina (US\$/h);

Pr = produtividade média efetiva da operação (m<sup>3</sup>/h).

Ao substituir a produtividade média efetiva da operação no modelo do custo de extração florestal obteve-se:

$$C_{ext} = \frac{CO}{60 * méd} * ae \quad (12)$$

Onde:

Pr = produtividade média efetiva da operação (m<sup>3</sup>/ha);

CO = custo operacional da máquina (US\$/h);

V<sub>méd</sub> = volume médio extraído por ciclo (m<sup>3</sup>);

ae = equação das atividades efetivas (min).

O custo operacional das máquinas utilizadas na extração florestal foi calculado baseando-se no modelo apresentado por Pereira Neto (1995), utilizando métodos convencionais: Método FAO e Método FAO/ECE/KWF, citados por Stöhr (1981), Machado e Malinovski (1988), Gibson *et al.*, (1991) e Birro *et al.* (2002), que consideraram os custos fixos (juros, seguro, garagem), os custos semi-fixos (depreciação de máquinas e pneus e manutenção), os variáveis (combustível e lubrificante), o custo de pessoal e administração e o coeficiente de risco.

Segundo Dietz (1983), a otimização da rede viária, ou seja, da densidade de estradas, é sempre o ponto principal de uma rede florestal estruturada. Procura-se instalar uma rede viária que apresente menor soma possível nos custos decorrentes da utilização de estradas, os quais são recomendados pela fórmula:

$$CG = C_{est} + C_{ext} + C_{pap} \quad (13)$$

Onde:

CG = custo global

$C_{est}$  = custo de estradas florestais (US\$/m<sup>3</sup>);

$C_{ext}$  = custo de extração florestal (US\$/m<sup>3</sup>);

$C_{pap}$  = custo por perda de área produtiva (US\$/m<sup>3</sup>).

A minimização dos custos globais é atendida matematicamente pela derivada do custo global em função da densidade de estradas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Custos de estradas e uso florestal

O custo anual de estradas de uso florestal primário foi de US\$ 1.48 por metro linear de estradas, conforme Tabela 1. Este custo foi determinado de acordo com o custo de construção US\$ 9293.68 por km e de manutenção US\$ 483.27 por km. Souza (2001) obteve um custo anual de estradas de US\$ 0.80 por metro linear, valor semelhante ao encontrado no trabalho de Pereira Neto (1995) de US\$ 0.83 por metro linear de estradas. Os valores encontrados neste trabalho foram aproximadamente 78 % superiores aos encontrados naqueles estudos.

**Tabela 1.** Custos anuais de estradas de uso florestal.

**Table 1.** Annual costs of forests roads.

Custos Anuais de Estradas	US\$/m	%
Depreciação	0.4425	29.83
Juros	0.5576	37.59
Manutenção	0.4831	32.58
Total	1.4834	100

Fonte: ZAGONEL (2005)

A partir do custo anual de estradas florestais primárias de US\$ 1.4834 m, obteve-se a equação do custo de estradas primárias de uso florestal (US\$ / m<sup>3</sup>):

$$C_{estprimarias} = 0,046358 * DE \quad (14)$$

Como foram avaliadas somente estradas secundárias, considerou-se 33 % do custo de estradas primárias, como sendo o custo de estradas de uso florestal secundário, obtendo-se a seguinte equação:

$$C_{est} = (0,046358 * 0,3333) * DE \quad (15)$$

$$C_{est} = 0,015453 * DE \quad (16)$$

### Custos por perda de área produtiva

Considerando o IMA de 32m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, o valor da madeira de *Pinus taeda* em pé igual a

US\$ 9.99 e uma faixa de estradas (distância entre sarjetas) de 8 metros de largura, chegou-se a um custo anual por perda de área produtiva de US\$ 0.26 por metro linear de estrada construída. Desta forma, obteve-se a equação:

$$C_{pap} = 0,007994 \quad (17)$$

### Custos de extração de madeira

A equação de custo de extração florestal deu-se em função da densidade ótima de estradas, conforme os modelos adaptados por equipe de colheita e por fazenda:

*Fazenda Ventura:*

$$C_{extvent} = 0,429783 + 21,78651 / DE \quad (18)$$

*Fazenda Sumidouro:*

$$C_{extsumid} = 0,319456 + 15,20953 / DE \quad (19)$$

### Densidade ótima de estradas de uso florestal

A equação dos custos de estradas de uso florestal secundária resultou na seguinte formulação:

$$C_{est} = 0,015453 * DE \quad (20)$$

Ao derivar esta equação em função da densidade de estradas obteve-se:

$$C'_{est} = 0,015453 \quad (21)$$

A equação dos custos por perda de área produtiva obteve a seguinte formulação:

$$C_{pap} = 0,007994 * DE \quad (22)$$

A primeira derivada desta equação foi:

$$C'_{pap} = 0,007994 \quad (23)$$

A equação do custo de extração de madeira deu-se em função da área de estudo, sendo:

*Fazenda Ventura:*

$$C_{extvent} = 0,429783 + 21,78651 / DE \quad (24)$$

*Fazenda Sumidouro:*

$$C_{extsumid} = 0,319456 + 15,20953 / DE \quad (25)$$

e, conseqüentemente, obtendo-se as seguintes derivadas:

*Fazenda Ventura:*

$$C'_{extvent} = 21,78651 / DE^2 \quad (26)$$

*Fazenda Sumidouro:*

$$C'_{extsumid} = 15,20953 / DE^2 \quad (27)$$

### Densidade ótima de estradas

$$CG = C_{est} + C_{pap} + C_{ext} \quad (28)$$

Ao derivar o custo global tem-se:

$$0 = C'_{est} + C'_{pap} + C'_{ext} \quad (29)$$

Ao substituir as derivadas dos custos de estradas, por perda de área produtiva e extração foram encontradas as seguintes densidades de estradas:

Fazenda Ventura (Equipe A):

$$0 = 0,015453 + 0,007994 - \frac{21,78651}{DE^2} \quad (30)$$

A densidade ótima de estradas encontrada foi de 30,48 m ha<sup>-1</sup>, o que representa uma distância média de extração (DME) de 94,32 m.

Fazenda Sumidouro (Equipe B):

$$0 = 0,015453 + 0,007994 - \frac{15,20953}{DE^2} \quad (31)$$

A densidade ótima de estradas encontrada foi de 25,47 m ha<sup>-1</sup>, o que representa uma distância média de extração (DME) de 112,88 m.

Na Tabela 2 estão expostos os custos obtidos através das equações apresentadas como: custos específicos de extração, perda de área produtiva e de densidade de estradas e o custo global resultante da soma destes custos em função da densidade ótima de estradas.

Os valores obtidos para Densidade Ótima de Estradas (DOE) e Distancia Média de Extração (DME) estão próximos àqueles encontrados no estudo de Souza (2001), que obteve valores de DOE e DME com *skidder* de 20,2 m ha<sup>-1</sup> e 183 metros, respectivamente. No entanto, ambos diferem da avaliação feita por Mac Donagh (1994), que encontrou 87,14 m ha<sup>-1</sup> e 44,44 m ha<sup>-1</sup> para densidade de estradas e 87,50 e 112,50 metros de distância média de arraste. Valverde *et al.* (1996) obtiveram um custo de extração para uma distância de 150 m de US\$ 0.82 m st<sup>-1</sup> ou US\$ 1.17 por m<sup>3</sup>, utilizando *skidder*. Há que se considerar que os estudos citados como comparativos possuíam características semelhantes ao trabalho realizado como povoaamentos de *Pinus* sp. e extração utilizando *skidder*.

Estudos mais antigos, utilizando *skidder*, realizados por Stokes e Landford (1985) indicaram DME de 89 metros, Valverde *et al.* (1996) obtiveram DME de 150 metros. Becker (1994), afirma que a densidade de estradas secundárias deve variar entre 10 e 30 m ha<sup>-1</sup> baseando-se nas necessidades e peculiaridades de cada empresa.

As Figuras 1 e 2 estabelecem a relação entre a densidade de estradas e os custos envolvidos na extração de madeira com *skidder*, representando as Fazendas Ventura (Equipe A) e Fazenda Sumidouro (Equipe B). Os gráficos apresentam um intervalo de 10 %, escolhido por estar ligado às velocidades de extração com carga e sem carga. Quanto mais lenta a velocidade maior a interferência na curva do custo global.

Na Fazenda Sumidouro foi constatado que, para uma densidade de estradas de 30,48 m ha<sup>-1</sup>, o custo de construção e manutenção de estradas foi de US\$ 0.4710 por m<sup>3</sup>, o de perda de área produtiva foi de US\$ 0.2437 por m<sup>3</sup>, o de extração foi de US\$ 1.1445 por m<sup>3</sup> e um custo global mínimo de US\$ 1,8592 por m<sup>3</sup>. Admitindo-se um intervalo de otimização de até 10 % em relação ao custo global mínimo a densidade de estradas pode variar entre 17,95 e 51,85 metros ha<sup>-1</sup>, e os custos de construção e manutenção de estradas entre US\$ 0,2774 e US\$ 0,8012 por m<sup>3</sup>, o de perda de área produtiva entre US\$ 0,1435 e US\$ 0,4145 por m<sup>3</sup>, o de extração entre US\$ 1,6435 e US\$ 0,8500 por m<sup>3</sup> e os custos globais entre US\$ 2,0644 e US\$ 2,0657 por m<sup>3</sup>.

Na Fazenda Ventura foi observado que, para uma densidade de estradas de 25,47 m ha<sup>-1</sup>, o custo de construção e manutenção de estradas foi de US\$ 0,3936 por m<sup>3</sup>, o de perda de área produtiva foi de US\$ 0,2036 por m<sup>3</sup>, o de extração foi de US\$ 0,9166 por m<sup>3</sup> e um custo global de US\$ 1,5138 por m<sup>3</sup>. Admitindo-se um intervalo de otimização de até 10% em relação ao custo global mínimo a densidade de estradas pode variar entre 15,10 e 43,03 metros ha<sup>-1</sup>, e os custos de construção e manutenção de estradas entre US\$ 0,2333 e US\$ 0,6649 por m<sup>3</sup>, o de perda de área produtiva entre US\$ 0,1207 e US\$

**Tabela 2.** Custos de estradas, custos de perda de área produtiva, custos de extração e custo global.  
**Table 2.** Forest roads costs, loss of productive area costs, extraction costs and global costs.

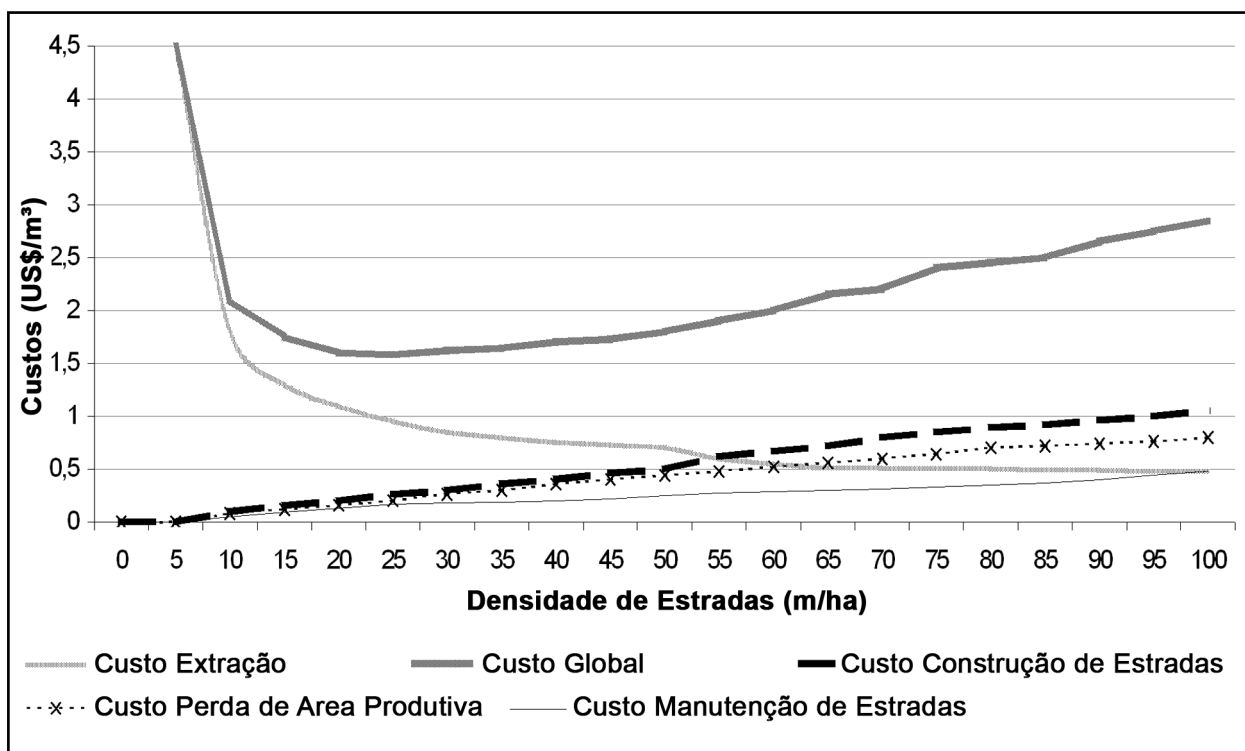
Parâmetros	Equipe A - Fazenda Ventura	Equipe B - Fazenda Sumidouro
Densidade Ótima de Estradas (m/ha)	30.48	25.47
Distância Média Extração (m)	94.32	112.88
Custo Est.Secundárias (US\$/m <sup>3</sup> )	0.4710	0.3936
Custos de Perda de Área Produtiva (US\$/m <sup>3</sup> )	0.2437	0.2036
Custos de Extração (US\$/m <sup>3</sup> )	1.1445	0.9166
Custo Global (US\$/m <sup>3</sup> )	1.8542	1.5138

Fonte: ZAGONEL (2005)

0,3440 por m<sup>3</sup>, o de extração entre US\$ 1,3267 e US\$ 0,6729 por m<sup>3</sup> e os custos globais entre US\$ 1,6808 e US\$ 1,6818 por m<sup>3</sup>.

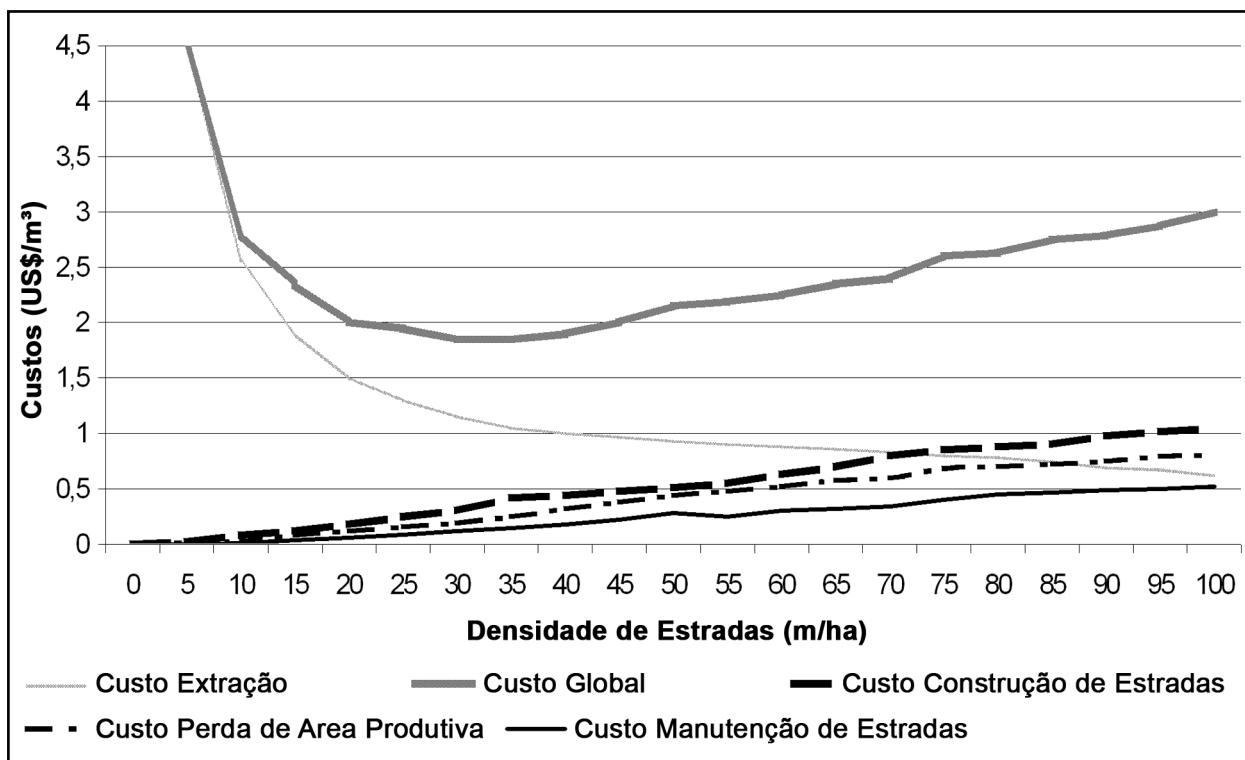
Na Fazenda Ventura a densidade ótima de estradas foi de 30,48 m ha<sup>-1</sup> considerando uma

distância média de extração de 94,32 metros, enquanto que na Fazenda Sumidouro a densidade ótima de estradas foi de 25,47 m ha<sup>-1</sup> considerando uma distância média de extração de 112,88 metros.



**Figura 1.** Relação entre densidade de estradas e os custos de extração, custos de estradas e perda de área produtiva da Fazenda Sumidouro.

**Figure 1.** Relationship between roads density and roads extraction costs, roads costs and . loss of productive area costs of Sumidouro Farm.



**Figura 2.** Relação entre densidade de estradas e os custos de extração, custos de estradas e perda de área produtiva da Fazenda Ventura.

**Figure 2.** Relationship between roads density and roads extraction costs, roads costs and loss of productive area costs of Ventura Farm.

## CONCLUSÕES

As duas áreas avaliadas apresentam condições de relevo semelhantes, no entanto, a Fazenda Sumidouro apresentou uma densidade de estradas mais econômica que a Fazenda Ventura, tendo como referência a distância média de extração.

A Fazenda Sumidouro apresentou redução nos custos com perdas de área produtiva em 16%, quando comparada à Fazenda Ventura.

O planejamento da extração com base na otimização da densidade de estradas é um indicador importante na otimização de áreas produtivas, redução de custos e aumento nos níveis de produção e rendimento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARNES, R.M. **Estudo de movimentos e de tempos: projeto e medida do trabalho**. São Paulo: Edgard Blücher, 1977. 635p.
- BECKER, G. Optimization of road network and transport systems: a pre-condition for an improved organization and design of labour in forest. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA E TRANSPORTE FLORESTAL, 8., 1994, Curitiba. *Anais...* Curitiba: UFPR/FUPEF, 1994. p.111-115.
- BIRRO, M.H.B.; MACHADO, C.C.; SOUZA, A.P.; MINETTI, L.J. Avaliação técnica econômica da extração de madeira de eucalipto com "Track-Skidder" em região montanhosa. *Revista Árvore*, Viçosa, v.26, n.5, p.525-532, 2002.
- CARVALHO, L.A. **Curso de estradas vicinais**. Telêmaco Borba: Klabin Fabricadora de Papel e Celulose S.A., 1999.
- CORRÊA, C.M.C. **Perdas de solo e qualidade da água proveniente de estradas de uso florestal no Planalto Catarinense**. 2005. 156p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- CORRÊA, C.M.C.; MALINOVSKI, J.R.; ROLOFF, G. Bases para o planejamento de rede viária em reflorestamento no Sul do Brasil. *Floresta*, Curitiba, v.36, n.2, p.277-286, 2006.
- DIETZ, P. Planejamento e projeto da rede viária florestal. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA E TRANSPORTE FLORESTAL, 4, 1983, Curitiba. *Anais...* Curitiba: FUPEF, 1983. p.71-86.
- DIETZ, P. Planejamento da rede viária florestal. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA E TRANSPORTE FLORESTAL, 4, 1983, Curitiba. *Anais...* Curitiba: FUPEF, 1983. p.36-47.
- DIETZ, P. Parâmetros da rede viária e sua otimização. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA E TRANSPORTE FLORESTAL, 4, 1983, Curitiba. *Anais...* Curitiba: FUPEF, 1983. p.22-35.
- EMBRAPA. CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção da Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.
- FAO. **Harvesting man-made forests in developing countries: a manual on techniques, roads, production and costs**. Rome, 1976. 198p.
- GIBSON, H.G.; FONTES, J.M.; MACHADO, C.C.; SANTOS, S.L.M. Análise dos efeitos da eficiência no custo operacional de máquinas florestais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE EXPLORAÇÃO E TRANSPORTE FLORESTAL, 1, 1991, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: SIF, 1991. p.57-75.
- KÖEPPEN, W. Des geographischen system der klimare. In: KOEPPEN, W.; GEIGER, R. **Handbuch der klimatologie**. Berlin: Borhtraeger, 1938.
- MAC DONAGH, P.M. **Avaliação técnico-econômica da extração de Pinus spp. utilizando tratores com garra no sul do Brasil**. 1994. 156p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994.
- MACHADO, C.C.; MALINOVSKI, J.R. **Ciência do trabalho florestal**. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1988. 65p.
- MACHADO, C.C.; MALINOVSKI, J.R. **Rede viária florestal**. Curitiba: FUPEF, 1986. 156p.



- MALINOVSKI, J.R.; PERDONCINI, W.C. **Estradas florestais**. Irati: Colégio Técnico, 1990. 100p.
- MOOSMAYER, H. **Economia florestal**. Curitiba: UFPR, 1967. 70p.
- PEREIRA NETO, S.D. **Análise econômica da densidade de estradas nas áreas de produção de *Eucalyptus***. 1995. 133p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- SESSIONS, J. Cost control in logging and road construction. In: FAO. **Appropriate wood harvesting in plantation forests**. Rome, 1987. p.95-134. (FAO Forestry paper, n.1)
- SOUZA, D.O. **Avaliação dos diferentes níveis de mecanização na atividade de colheita de madeira: relatório técnico-científico final**. Curitiba: UFPR/ PIBIC/CNPq, 2001. 74p.
- SPEIDEL, G. **Economia florestal**. Curitiba: UFPR, 1966. 167p.
- STÖHR, G.W.D. Metodologia do custo-hora para máquinas florestais. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE EXPLORAÇÃO E TRANSPORTE FLORESTAL, 3, 1981, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1981. p.33-44.
- STÖHR, G.W.D. Técnicas de estudo do trabalho florestal. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE EXPLORAÇÃO E TRANSPORTE FLORESTAL, 3, 1981, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1981. p.45-58.
- STOKES, B.J.; LANDFORD, B. **Prebunching and skidding functions in thinning**. St Joseph: American Society of Agriculture Engineers, 1985. 9p. (ASAE paper 85-1594).
- VALVERDE, S.R.; MACHADO, C.C.; REZENDE, J.L.P.; SOUZA, A.P.; ANTIQUIEIRA, A.C. Análise técnica econômica do arraste com *skidder* no sistema de colheita de árvores inteiras de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v.20, n.1, p.101-109, 1996.
- ZAGONEL, R. **Análise da densidade ótima de estradas em relevo plano de áreas com produção de *Pinus taeda*, no Planalto Catarinense**. 2005. 99p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

Recebido em 27/07/2006

Aceito para publicação em 18/03/2008

