

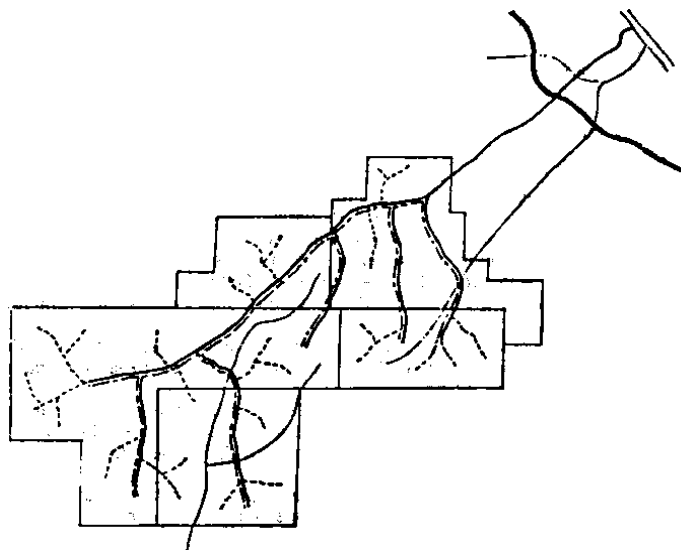


Circular Técnica

Número, 15

ISSN 0100-9915

Março, 1997



**OTIMIZAÇÃO DA REDE DE ESTRADAS
SECUNDÁRIAS EM PROJETOS DE MANEJO
SUSTENTÁVEL DE FLORESTA TROPICAL**



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

Presidente
FERNANDO HENRIQUE CARDOSO

Ministério da Agricultura e do Abastecimento

Ministro
ARLINDO PORTO NETO

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Presidente
ALBERTO DUQUE PORTUGAL

Diretores
JOSÉ ROBERTO RODRIGUES PERES
DANTE DANIEL GIACOMELLI SCOLARI
ELZA ÂNGELA BATTAGLIA BRITO DA CUNHA

Centro de Pesquisa Agroflorestal do Acre

Chefe Geral
JUDSON FERREIRA VALENTIM

Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento
IVANDIR SOARES CAMPOS

Chefe Adjunto de Apoio Técnico
MURILO FAZOLIN

Chefe Adjunto Administrativo
FRANCISCO DE ASSIS CORRÊA SILVA

ISSN 0100-9915

Circular Técnica Nº 15

Março, 1997

**OTIMIZAÇÃO DA REDE DE ESTRADAS
SECUNDÁRIAS EM PROJETOS DE
MANEJO SUSTENTÁVEL DE FLORESTA
TROPICAL**

Evaldo Muñoz Braz



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro de Pesquisa Agroflorestal do Acre
Ministério da Agricultura e do Abastecimento*

EMBRAPA-CPAF/AC. Circular Técnica, 15.
Exemplares desta publicação podem ser solicitados à:
Embrapa Acre
Rodovia BR-364, km 14, sentido Rio Branco/Porto Velho
Telefones: (068) 224-3931, 224-3932, 224-3933, 224-4035
Fax: (068) 224-4035
Caixa Postal, 392
69908-970 – Rio Branco, AC
sac@cpafac.embrapa.br

Tiragem: 300 exemplares

Comitê de Publicações

Ana da Silva Ledo Cavalcante
Francisco José da Silva Léo
Ivadir Soares Campos – Presidente
Jailton da Costa Carneiro
João Alencar de Sousa
João Gomes da Costa
Murilo Fazolin
Orlane da Silva Maia – Secretária
Rita de Cássia Alves Pereira

Expediente

Coordenação Editorial: Ivadir Soares Campos
Normalização: Orlane da Silva Maia
Copydesk: Claudia Carvalho Sena / Suely Moreira de Melo
Composição: Fernando Farias Sevá / Suelmo de Oliveira Lima
Ilustrações: Lucas Araújo Braz

BRAZ, E.M. Otimização da rede de estradas secundárias em projetos de manejo sustentável de floresta tropical. Rio Branco: Embrapa-CPAF/AC, 1997. 36p. (Embrapa-CPAF/AC. Circular Técnica, 15).

1. Floresta - Estrada - Rede - Planejamento. I. Embrapa. Centro de Pesquisa Agroflorestal do Acre (Rio Branco, AC). II. Título. III. Série.

CDD 634.93

© Embrapa – 1997

S U M Á R I O

INTRODUÇÃO	5
ELEMENTOS PARA PLANIFICAÇÃO	6
Classificação de estradas em florestas tropicais	6
Densidade ótica de estradas florestais secundárias	9
Cálculo da densidade ótica de estradas	11
Separação ótica entre estradas florestais secundárias	14
Modelos de rede de estradas florestais	19
Cálculo do custo de estradas	28
SISTEMÁTICA PARA PLANIFICAÇÃO DA REDE DE	
ESTRADAS FLORESTAIS.....	29
PROJETO TÉCNICO	33
Relatório Técnico	33
Desenhos e planos	34
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

OTIMIZAÇÃO DA REDE DE ESTRADAS SECUNDÁRIAS EM PROJETOS DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL¹

Evaldo Muñoz Braz²

INTRODUÇÃO

A otimização da rede de estradas secundárias em função das distâncias ideais de arraste não tem sido considerada na elaboração dos planos de manejo de floresta tropical. Nos planos de manejo apresentados ao Ibama no Estado do Acre (e possivelmente em toda Amazônia) este fator não é mencionado.

Isto pode ter efeitos, como a elevação no custo de construção das estradas que dão acesso aos compartimentos de exploração ou, no caso de uma construção menor que o ideal, elevados custos de arraste, de qualquer modo aumentando os custos totais de extração da madeira.

É importante ter uma idéia do ponto ótimo entre o que deve ser construído de estradas e as distâncias de arraste, de acordo com as condições de terreno e estrutura da floresta.

Becker (1994) considera a construção de estradas como o maior investimento na exploração florestal, por isso, o planejamento da rede deve ser feito por pessoal qualificado e com base nas necessidades específicas da empresa florestal.

Também a abertura excessiva de estradas e um planejamento inadequado da rede significam um maior impacto no povoamento, segundo Hendrison (1989), diminuindo as perspectivas de sustentabilidade do manejo aplicado.

¹Trabalho financiado pelo Programa Alternativas de Derruba e Queima-ASB.

²Eng.-Ftal., B.Sc., Embrapa-CPAF/AC, Caixa Postal 392, 69908-970, Rio Branco-AC.

No Estado do Acre, as florestas com potencial de manejo possuem diferentes tipologias, volumes comercial e potencialmente aproveitáveis por hectare, topografia e solos variados. Isto implicará sempre diferentes densidades ideais de construção de estradas florestais para manejo, tornando necessária a utilização de metodologia que defina o menor custo e dano ao povoamento.

Este trabalho tem a finalidade de fornecer suporte técnico à planificação de redes de estradas para o manejo em florestas tropicais, abordando os principais elementos necessários ao planejamento e sugerindo uma sistemática de trabalhos para elaboração de um projeto.

Exemplos de cada elemento e dados adicionais são fornecidos dentro da limitação do trabalho.

ELEMENTOS PARA PLANIFICAÇÃO

Para o planejamento ótimo da rede de estradas é necessário o conhecimento de conceitos básicos como os diferentes padrões e a densidade ótima de estradas florestais, separação ótima entre estradas secundárias, modelos possíveis para a rede e custo.

Classificação de estradas em florestas tropicais

Para este trabalho será considerada a classificação de Heinrich (1993):

Estradas de acesso
Estradas principais ou primárias
Estradas secundárias
Trilhas de arraste

Estradas de acesso

Propiciam acesso à área florestal, fazendo ligação entre os centros de processamento e consumo e as áreas de trabalho ou entre estas e as estradas públicas.

Características:

Largura média: 9 -12 m
Inclinação máxima: 6% - 8%³
Raio mínimo: 50 m

Estradas principais ou primárias

São a espinha dorsal da rede de estradas secundárias que delas partem, tornando possível o acesso a toda área florestal. Têm capacidade de suportar transporte durante todo ano e algumas vezes, em área sob manejo, podem-se utilizá-las por vários anos. Assim, tanto o planejamento como a implantação destas estradas devem seguir rigorosos critérios técnicos, para garantir o padrão desejável, evitando gastos excessivos com sua manutenção.

Características:

Largura média: 8 -10 m
Inclinação máxima: 8% -10%³
Raio mínimo: 30 m

Estradas secundárias

São a ligação entre os estaleiros e as estradas principais. As distâncias entre um e outro caminho florestal secundário definem a máxima distância de arraste. Durante o período de chuvas, normalmente ficam intrafegáveis. São usadas geralmente por um período curto, de duas semanas a dois meses.

Características:

Largura média: 6 - 8 m
Inclinação máxima: 10% -12%³
Raio mínimo: 20 m

³ Máxima inclinação em íngreme e difícil terreno, para caminhões vazios subindo a inclinação do terreno (Heinrich, 1993).

Trilhas de arraste

São caminhos usados pelos tratores para o arraste de toras do local de corte aos pontos de carregamento, nas estradas secundárias. São abertas pelo trator de esteira ou pelo próprio trator florestal (Skidder), mas antes devem-se planejá-las cuidadosamente segundo o inventário 100% da área.

Características:

Largura média: 3,5 - 4,0 m

Inclinação máxima: já foram observados gradientes superiores a 25% em florestas tropicais. No entanto, acima deste valor, o dano ao solo e risco no trabalho aumentam consideravelmente.

Na Figura 1, pode-se observar que a estrada principal é realmente a espinha dorsal da rede viária florestal. Ela se ramifica em outras estradas e é dela que partem as vias secundárias, acompanhando a topografia do terreno, mas tentando manter distâncias médias entre si. A linha tracejada faz a divisão da zona de arraste e significa que, preferencialmente, a direção de arraste seguirá o sentido do menor comprimento.

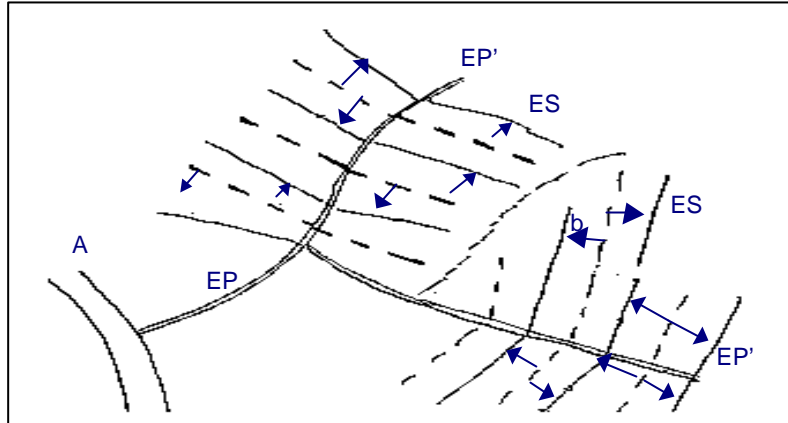


FIG. 1. Esquema básico de uma rede de estradas florestais.

Onde:

A: estrada de acesso

EP: estrada principal

EP': ramificações da estrada principal

ES: estradas secundárias

b: distância entre estradas secundárias

® : sentido do arraste

--- : divisão da zona de arraste

___ : divisão da zona de exploração

Densidade ótima de estradas florestais secundárias

Densidade de estradas é a relação entre o comprimento total de estradas a ser construída e a área total a ser abastecida pela rede. Normalmente, expressa-se em m/ha.

A densidade ótima de estradas tem importância fundamental para caracterizar a intensidade da construção de estradas nesta área, indicando, à primeira vista, a viabilidade da rede que está sendo planejada. Por exemplo: 20 m/ha significam que, teoricamente, são construídos 20 m lineares de estrada por cada hectare da área total. Este parâmetro é alto ou baixo?

Pode parecer pouco quando se imagina uma área de 1 ha (100 m x 100 m) sendo atravessada por uma estrada

de 20 m de comprimento, mas caso se imagine uma área de 100 ha (1.000 m x 1.000 m) sendo atravessada por duas estradas de 1.000 m cada, verificar-se-á que o acesso proporcionado por ambas é suficiente para a exploração da área analisada (Fig. 2).

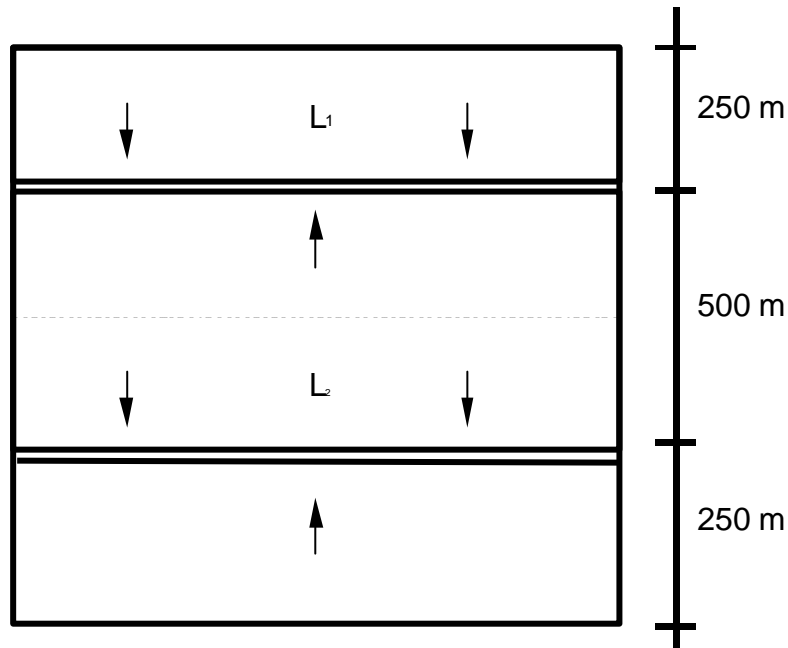


FIG. 2. Densidade e acesso.
Fonte: Leinart (1977).

Onde:

L_1, L_2 : 1.000 m de estrada (cada)

-->: direção de arraste

Somando-se o comprimento das duas estradas e dividindo pela área proporcionada pelo acesso tem-se a densidade de estradas da área.

$$D = \frac{L}{A} = \frac{2.000\text{m}}{100 \text{ ha}} = 20\text{m/ha}$$

Onde:

A: área total = 100 ha

D: densidade das estradas

L: comprimento total de estradas construídas

$L = L_1 + L_2 = 2.000 \text{ m}$

Cálculo da densidade ótima de estradas

Neste trabalho serão consideradas três formas básicas para o cálculo da densidade.

Pode-se ter uma idéia teórica sobre a densidade ideal das estradas secundárias, baseando-se nas seguintes fórmulas da FAO (1974):

$$1) \quad D = \frac{a}{S}$$

Onde:

D: densidade ótima em metros por hectare

a: fator de eficiência da estrada, normalmente variando entre 5 e 9

4 - 5: terreno plano

5 - 7: terreno ondulado

7 - 9: terreno íngreme

9 ou mais: terreno muito íngreme e irregular

S: distância média de arraste em quilômetros

Supondo-se uma distância média de arraste de 300 m baseada em observação de campo por questões de potencial da floresta e em terreno plano:

$$D = \frac{5}{0,3} = 16 \text{ m/ha}$$

2) O cálculo, entretanto, deve ser feito com mais detalhes (FAO, 1974):

$$DOE = 50 \sqrt{\frac{C.T.V.q}{R}}$$

Onde:

DOE: densidade ótica de estradas secundárias em m/ha

$$C = \frac{c.t.1000}{L}$$

C: custo de extração em R\$ por m³/km

c: custo da operação de arraste em R\$/min

t: tempo em minutos gasto pela extração, em viagem, com ou sem carga, na distância de 1 m

L: capacidade de carga média em m³ do trator de arraste

T: fator de correção para os casos em que a extração não é feita em linha reta e perpendicular à estrada e não termina no ponto mais próximo ao de origem. Este fator é normalmente estimado entre 1 e 1,5

V: fator de correção quando as estradas não são paralelas e são tortuosas com espaçamentos desiguais entre si. Estima-se o fator normalmente em 1,0 - 2,0

q: volume de madeira a ser explorado, em m³/ha

R: custo de construção da estrada em R\$/km

O valor 1,0 para T e V indica que a extração é realizada em linha reta, perpendicular às estradas que são perfeitamente paralelas. Isto nunca acontecerá na prática (SUDAM, 1978).

3) Pode-se também, por meio de recursos gráficos, obter uma informação aproximada da densidade ideal a ser utilizada (FAO/SIDA,1975).

Segundo este método, reduz-se a área onde se planificará a rede de estradas a uma forma geométrica conhecida, como se observa na Figura 3.

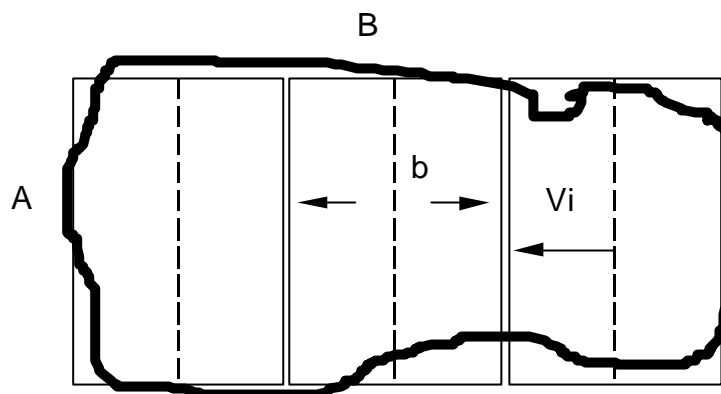


FIG. 3. Relação gráfica entre a área e distâncias de arraste.

Onde:

A: lado menor do retângulo em m

b: distância ótima entre estradas

B: lado maior do retângulo

V_i : $b/2$ = redução econômica da distância entre estradas, ou seja, a metade da distância entre duas estradas é igual ao limite da zona de arraste

A densidade ótima seria dada então pela fórmula:

$$D = \frac{(B/b) (A-V_i)}{\text{Área total (ha)}}$$

O b deverá ser calculado a seguir, no item separação ótima entre estradas.

Todas estas fórmulas (e as relacionadas à separação ótima entre estradas) darão uma informação bastante aproximada, quando usadas em grandes áreas e em condições homogêneas de volume de madeira e terreno (FAO, 1974). Devem-se utilizá-las com cuidado, como ponto de partida para os trabalhos e planejamentos consecutivos.

Segundo Machado & Malinovski (1986), somente a densidade ótima de estradas florestais é uma característica insuficiente para determinar o grau de qualidade da rede, havendo outros fatores com influência decisiva. O cálculo do custo de investimento, como um todo, deve ser considerado. Como se utilizam modelos matemáticos, é imprescindível que

não somente os modelos sejam adequados, representando bem a realidade, mas também os dados neles utilizados. Deve-se ter cuidado também com o horizonte de tempo do planejamento (FAO, 1974).

Separação ótima entre estradas florestais secundárias

É a separação ótima teórica entre as estradas da rede, que permitirá obter distâncias de arraste ideais para determinado equipamento de extração, por exemplo, o trator de arraste, com menores custos de utilização e de construção das estradas. O equilíbrio entre o custo de arraste e o custo da estrada com um custo total mínimo ou em torno deste dará o espaçamento ideal ou ótimo entre as estradas secundárias (Fig. 4).

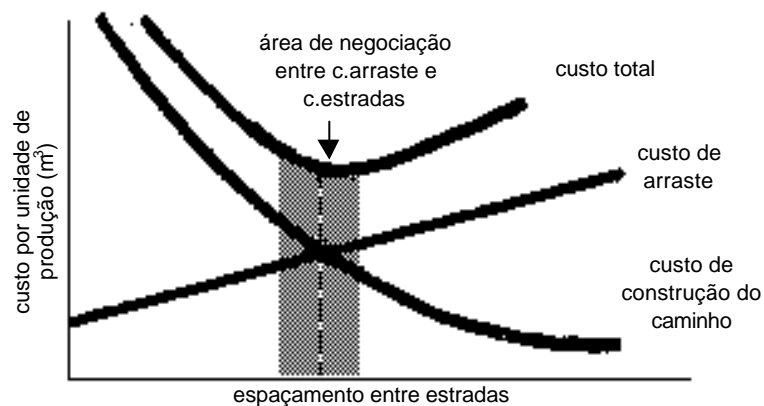


FIG. 4. Custo total mínimo em função do espaçamento entre estradas e custo por unidade de produção.

Na Figura 4 observa-se que nem sempre a redução de custos passa apenas pela diminuição da construção de estradas, aumentando a distância de arraste. A curva superior mostra o custo total que é mínimo somente na estreita faixa achurrada central. A partir daí, mesmo diminuindo o custo em construção de estradas, o custo de arraste torna-se tão alto que influencia muito nos custos totais, tornando muito onerosa a operação.

Cálculo da separação ótima entre estradas

1) Cálculo básico

Aqui será demonstrada a idéia geral do cálculo da distância ótima entre estradas, passo a passo, segundo FAO/SIDA (1975), supondo-se, em primeiro lugar, as estradas dispostas conforme a Figura 5.

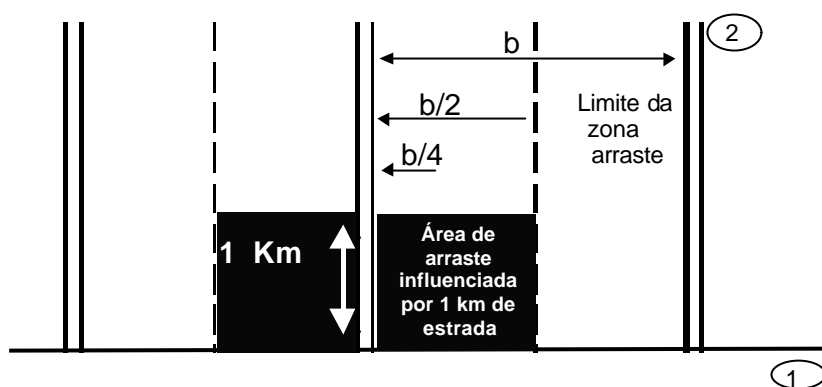


FIG. 5. Esquema teórico da distribuição ótima da rede de estradas.

Onde:

1: estrada principal

2: estradas secundárias para as quais se calcula a distância ótima

b : distância ótima entre caminhos em metros

$b/2$: redução econômica da distância da estrada

$b/4$: distância média teórica de arraste

O $b/2$ indica o limite da área de arraste, ou seja, a máxima distância de arraste a ser considerada.

O $b/4$ nem sempre indica a real distância média teórica de arraste que é normalmente 20% a 30% mais longa, mesmo em terrenos planos.

A seguir calcula-se o custo da estrada por m^3 :

$$C_c = \frac{C}{V} = \frac{C}{V \cdot \text{área}}$$

Onde:

C_c : custo do caminho por m^3 de madeira transportada

C: custo da construção do caminho em R\$/km

V: volume explorável em m^3/ha

Para ter uma idéia do volume total:

$$C_c = \frac{C}{V \cdot b \cdot 1000}$$

Isto reduz a área para efeito de cálculo a uma largura b (distância ótima entre caminhos) e comprimento de 1 km (uma vez que o custo de construção do caminho é definido por km), ou seja, 1.000 m.

$$C_c = \frac{C}{\frac{V \cdot b \cdot 1.000}{10.000}}$$

Este número, 10.000, tem a finalidade de reduzir a área a unidade hectare.

A fórmula final:

$$C_c = \frac{10 C}{V \cdot b}$$

O cálculo do custo de arraste por m^3 :

$$C_a = \frac{tr \cdot b}{4}$$

Onde:

C_a : custo do arraste por m^3 de madeira transportada

tr: custo do arraste em R\$/m/m³

(Multiplica-se o custo de arraste em R\$/m/m³ pela distância média teórica de arraste).

Finalmente, relacionando os dois custos, tem-se:

$$\frac{10 C}{V \cdot b} = \frac{tr \cdot b}{4}$$

Isolando-se b:

$$b = 2 \sqrt{\frac{10 C}{V \cdot tr}}$$

Esta fórmula dará a distância ótima entre estradas.

A resposta desta fórmula é específica e, naturalmente, verificando a Figura 4, observa-se que existe uma flexibilidade dentro da faixa achurrada como intervalo adequado. Ou seja, deve-se considerar a fórmula como um meio para determinar o intervalo econômico do espaçamento entre caminhos e não como uma distância inflexível (Anaya & Christiansen, 1986).

Este sistema foi utilizado por Braz & Oliveira (1995), para um volume de extração de 20 m³/ha, em terreno plano, numa área experimental no CPAF/AC. Foi calculada uma distância ótima entre estradas de aproximadamente 630 metros, uma densidade de rede de estradas de 16 m/ha e distância média de arraste de 160 metros. O lançamento da estrada no terreno, por não ter sido planejado, atingiu 29 m/ha. Em uma situação real esta diferença equivaleria (supondo-se uma área média de 12.000 ha de área de manejo florestal) a 156 km construídos desnecessariamente. Mesmo descontando a relação entre a realidade e a teoria e buscando o intervalo econômico comentado no parágrafo anterior, seria necessário rever cuidadosamente todo planejamento da rede.

Em terrenos muito inclinados, os limites da zona de arraste estão em b/3, subindo determinada inclinação quando

se planejam as estradas em terrenos íngremes, e $2b/3$ para o sentido descendente da inclinação do terreno, resultando em distâncias médias teóricas de arraste de respectivamente $b/6$ e $b/3$ (Sedlak, 1985), conforme Figura 6.

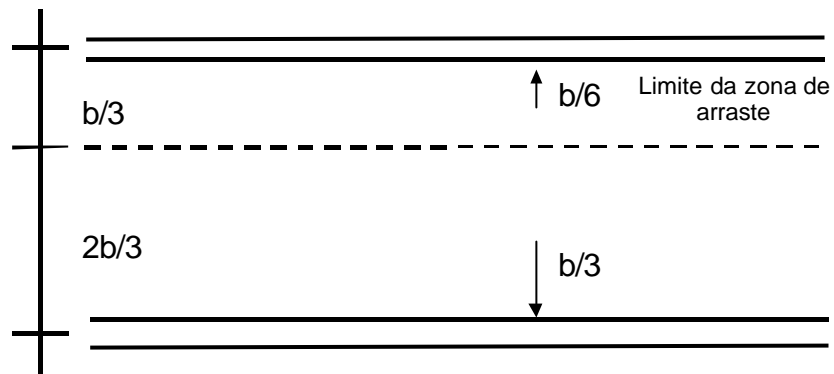


FIG. 6. Zona de arraste em terreno inclinado.

2) Cálculo da separação ótima de estradas considerando dificuldades do terreno

A seguinte fórmula da FAO (1974) possui a mesma concepção, porém considera mais alguns fatores. Está relacionada diretamente aos métodos 1 e 2 de cálculo de densidade de estradas já mencionados.

$$SOE = K \sqrt{\frac{40 RL}{q \cdot c \cdot t (1+p)}}$$

Onde:

SOE: separação ótima de estradas

R: custo de construção de estrada em R\$/km

L: capacidade de carga média em m^3 do trator de arraste

q: volume de madeira a ser explorado em m^3/ha

c: custo da operação de arraste em R\$/min

t: tempo em minutos gasto pela extração, em viagem com ou sem carga, na distância de 1 m

- p: fator usualmente entre 0,10 e 0,50, dependendo das dificuldades do terreno, designado a cobrir perdas de tempo, considerando as razões destas demoras
- K: fator variando entre 1,0, quando o arraste pode ser feito eqüidistantemente em ambos os lados da estrada, e 0,71 quando o arraste pode ser feito somente de um lado, seja pelo terreno ou outras limitações

Na fórmula 1 de densidade ótima: $2,5 \cdot TV = "a"$

Na fórmula 2 de separação ótima de estradas:

$$K = \frac{1}{\sqrt{1+p}} \text{ e } p = T - 1$$

3) Cálculo simplificado da separação ótima de estradas

Caso já se houvesse calculado a densidade ótima pelo método 2, poder-se-ia usar a fórmula a seguir para ter uma rápida idéia da separação ótima entre estradas:

$$SOE = \frac{10.000}{DOE}$$

Modelos de rede de estradas florestais

Rede de estradas é a estrutura ou forma fundamental dos caminhos lançados sobre uma área florestal com relação à união ou ligações entre si. Por exemplo, na união da estrada, segundo seu lançamento no terreno, os caminhos podem formar quadrados, retângulos, ser simplesmente paralelos etc.

A planificação dos caminhos deve buscar aquela perfeita combinação entre distância ótima, densidade, forma fundamental da rede e classe de estrada, tal que os custos de arraste, de transporte sobre a estrada e de construção desta, sejam, sobre específicas condições, os menores possíveis (FAO/SIDA, 1975). Para complementar esta planificação é necessário o desenvolvimento de esquemas teóricos da rede de estradas que são a idéia inicial de como a rede deverá se desenvolver no terreno e servem de base inicial para o pré-projeto.

Serão feitos com auxílio de mapas (topográfico: 1/50.000; de reconhecimento: 1/10.000 a 1/20.000), fotografias

aéreas para o trabalho de campo (1/15.000) e informação geral (1/50.000). Podem-se constituir de várias sugestões e estão sujeitos a modificações, quando do reconhecimento de campo.

Lançamento das estradas conforme volume

A avaliação dos volumes é muito importante, pois influenciará em aumentos no custo de construção do caminho por m³ de madeira explorável. Neste ponto, os inventários diagnóstico e prospectivo desempenham importante papel. É fundamental também a identificação das diferentes tipologias florestais para um bom planejamento e uma melhor utilização das estradas florestais secundárias.

Pelo Inventário Florestal da área de influência direta da BR-364 no trecho Rio Branco–Cruzeiro do Sul (fronteira com o Peru), de um total de 4.000.000 hectares, identificaram-se 10 tipologias florestais com um potencial comercial entre 20 a 50 m³/ha, sem contar com a grande variação da topografia (FUNTAC, 1992). Isto dá uma idéia da grande variação da floresta tropical (e, portanto, variação do seu volume útil por hectare) e cuidados que se deve ter no planejamento da rede de estradas.

Teoricamente, a densidade de estradas é diretamente proporcional ao volume utilizável da área (Chauvin, 1976).

Áreas com volume utilizável baixo requererão alternativas especiais de lançamento de caminhos.

O exemplo a seguir (Fig. 7) adequa-se ao potencial da área, ou seja, com maiores volumes pode-se lançar um comprimento maior de estradas.

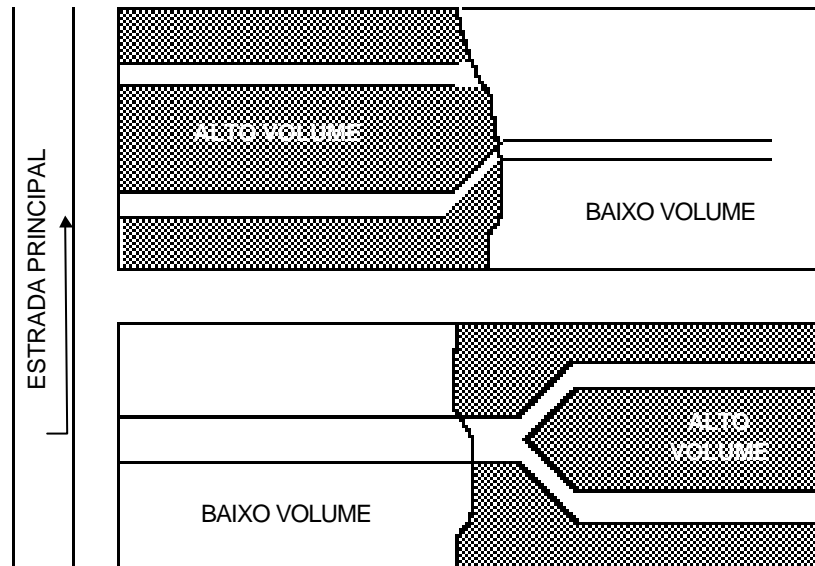


FIG. 7. Esquema do lançamento das estradas de acordo com o volume potencialmente utilizável.

Fonte: Rowan (1976).

Lançamento das estradas conforme topografia

As áreas definidas como de exploração deverão se tornar acessíveis para viabilizar as etapas do manejo florestal, respeitando-se dentro do possível, as distâncias ótimas entre estradas, os raios mínimos, as inclinações máximas, conforme equipamento de transporte, função da estrada, volumes de terra, segurança etc.

O Estado do Acre possui, em nível macro, planícies (similares à da Amazônia em geral), depressões e planaltos. Em nível micro, podem-se encontrar variados sistemas e combinações de topografia, de áreas planas às áreas com grandes inclinações de relevo, encostas estruturadas ou fragmentadas, requerendo, em cada caso, um modelo de rede adequado.

Segundo Machado & Malinovski (1986), não existe um modelo de traçado geométrico padronizado para cada condição de terreno, dada a grande variação quanto ao padrão

tipo e densidade da rede viária florestal. E o que se pode mostrar são alguns resultados em condições específicas.

Basicamente, serão considerados dois casos:

Terreno plano

É aquele dentro do limite aceitável até 8% a 10% de inclinação.

Normalmente, em uma rede de estradas secundárias, a distância média de arraste mais curta possível é obtida quando estas tendem a ser paralelas (Fig. 8).

O acesso a áreas florestais planas é, assim, facilitado, o que já não ocorre em áreas com maior aclave. É flagrante a diferença de produção de arraste entre áreas planas e áreas onduladas, podendo atingir até 100% comparando-se estudos de tempo no arraste em diferentes locais da Amazônia.

No entanto, raras vezes, mesmo em terreno plano, as estradas podem manter o perfeito paralelismo entre si (conforme as linhas tracejadas na Figura 8). Normalmente são necessários diversos desvios para evitar acidentes naturais do terreno (grandes árvores, cursos de água) ou mesmo acompanhar os pontos mais altos.

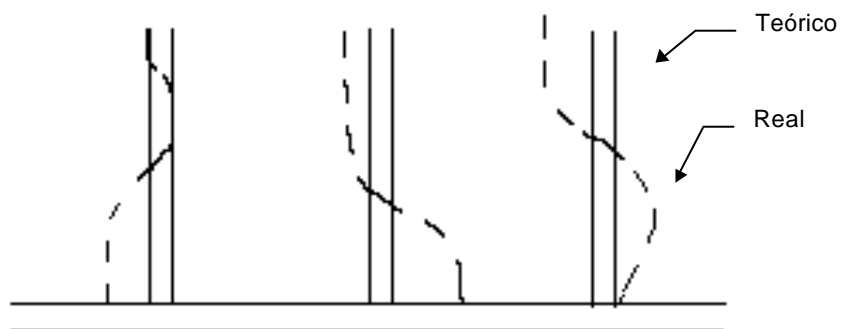


FIG. 8. Rede planejada e rede real.

Terreno ondulado e/ou montanhoso

A menos que o terreno não permita, deve-se desenvolver a rede a partir dos pontos mais baixos da área a ser explorada (Sedlak, 1985). A estrada principal, ou seja, a sua possível localização no terreno deverá ser desenvolvida pelos vales e as declividades divididas em secções para os caminhos secundários. Devem-se observar as máximas distâncias de arraste já definidas. Os vales secundários se tornarão acessíveis pelas estradas secundárias de acordo com as variantes.

Aqui, surgem como modelo padrão quatro diferentes situações de acesso (Perdoncini & Haselgruber, 1982). Serão analisadas as mais comuns:

Sistema I - Tornar acessível encostas e o fim do vale (cabeceira ou nascente)

a) Vale principal com declividade pequena e vales laterais íngremes

A estrada principal é lançada no vale principal e dele são conduzidas estradas de encosta traçadas em direção oposta a do transporte principal. Deste modo, as estradas secundárias de encosta fugirão à declividade (Fig. 9).

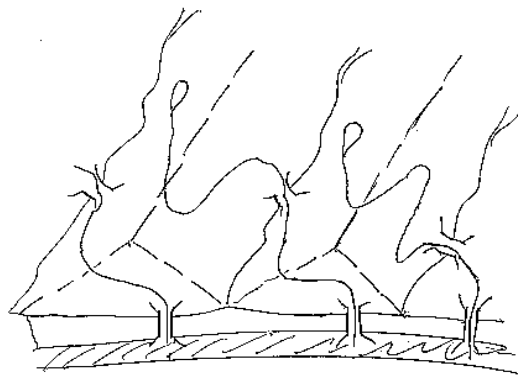


FIG. 9. Vale principal com declividade pequena e vales laterais íngremes.

b) Vale principal e vales secundários com declividades pequenas e contraforte baixo

Os vales secundários tornam-se acessíveis à exploração por estradas laterais e, se as encostas são estreitas, não são necessárias outras estradas (Fig. 10).

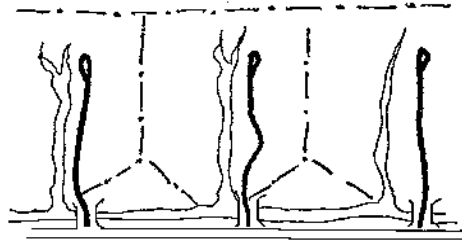


FIG. 10. Vale principal com declividades pequenas e contraforte baixo.

c) Vale principal íngreme

Neste caso não é possível traçar a estrada no fundo do vale. O traço deve ser conduzido então, em retorno, encosta acima.

Entre as possíveis soluções, sugere-se a construção de uma estrada paralela na mesma encosta. Esta solução torna mais acessíveis as áreas florestais. Na medida do possível as estradas seguem as curvas de nível.

As distâncias entre caminhos permanecem as mesmas, resultando em iguais distâncias de arraste. Neste ou em qualquer outro caso só se justifica a construção das estradas se a distância ideal de arraste, distância entre estradas e densidades ótimas requererem (Fig. 11).

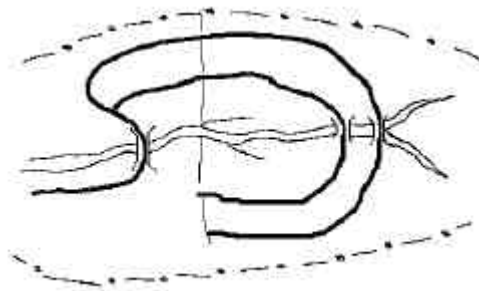


FIG. 11. Vale principal íngreme.

d) Cabeceira larga e alta no fim de vale

A estrada principal será desenvolvida no vale, tão longe quanto possível, enquanto a declividade permitir e depois, guiada em retorno das encostas, encontrando-se os traços no vértice do vale principal.

Supondo-se que a cabeceira seja estruturada por vales secundários, os caminhos de encostas deverão bifurcar-se em outros, se for possível desenvolver o traço (Fig. 12).

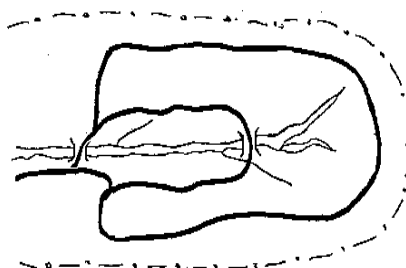


FIG. 12. Cabeceira larga e alta no fim do vale.

e) Encosta larga sem estruturação

Neste caso, a solução é semelhante à do vale principal com declividade pequena e vales secundários laterais íngremes. A diferença é que a encosta não é estruturada por vales secundários (Fig. 13).

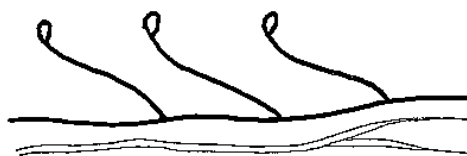


FIG. 13. Encosta larga sem estruturação.

f) Tornar acessíveis áreas limitadas nos lados da encosta

Estas áreas devem tornar-se acessíveis por desenvolvimento do traçado em curvas de reversão. Podem-se desenvolver prolongamentos para garantir o acesso a toda encosta (Fig. 14).

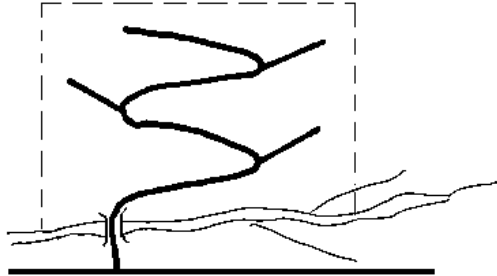


FIG. 14. Áreas limitadas lateralmente.

Sistema II - Estradas de ligação

Distâncias curtas entre as curvas de reversão não devem ser utilizadas, somente no caso de estradas de ligação em áreas sem florestas (Fig. 15).

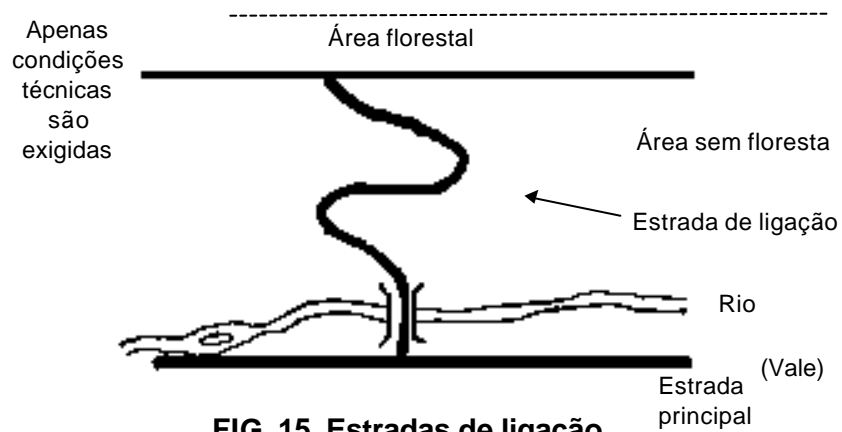


FIG. 15. Estradas de ligação.

Sistema III - Tornar acessíveis áreas florestais gravitando para outra bacia

Pode tornar-se necessário atingir uma encosta inacessível pela sua bacia, por exemplo.

A estrada deve ser guiada, quando possível, no ponto mais fundo do divisor de águas, evitando contra-rampas nocivas (3% a 5%), conforme Figura 16.

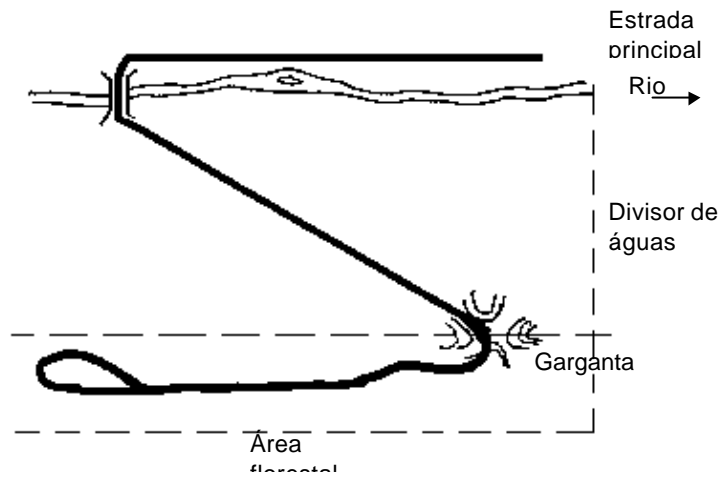


FIG. 16. Áreas florestais gravitando para outra bacia.

Sistema IV - Tornar acessível um cume

Utiliza-se este sistema quando é possível transitar à sua volta (Fig. 17).

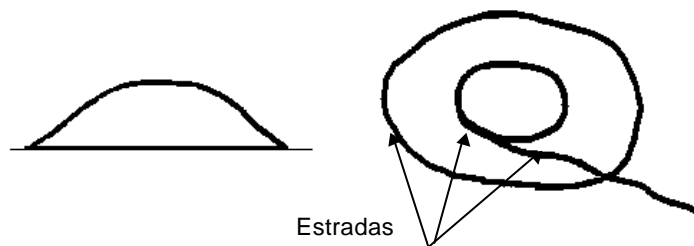


FIG. 17. Acesso ao cume.

Cálculo do custo de estradas

É necessário se basear em informações locais de custo para ter uma estimativa, uma vez que estes valores, nesta fase de planejamento da rede, deverão ser aproximados, mas não ainda perfeitamente exatos.

Quando estes dados faltam, pode-se ter uma aproximação utilizando fórmulas e índices de produtividade para a apropriação destes custos, baseando-se, para tanto, nos índices indicados por Costa Filho & Costa (1980), conforme Tabela 1:

TABELA 1. Custo de construção de estradas por quilômetro*.

Equipamento	Produtividade
Trator esteira D6	40 m/h
Motosserra	30 m/h
Motoniveladora 140 HP	100 m/h
Carregadora 130 HP	70 m/h

*Deve-se considerar ainda o custo de marcação da estrada.

Considerando-se, ainda, custo hora-máquina e características locais, pode-se ter uma idéia aproximada do custo final.

Deve-se lembrar que existem variados padrões e estradas que requerem maior ou menor hora-máquina de equipamento e que podem necessitar ou não de determinado tipo de equipamento ou outros não mencionados aqui. Estes custos de construção podem estar condicionados também a maior ou menor necessidade de movimento de terra, pontes, bueiros e drenagem, efeitos da radiação solar, nivelamento, compactação e outros (Chauvin, 1976).

SISTEMÁTICA PARA PLANIFICAÇÃO DA REDE DE ESTRADAS FLORESTAIS

Como princípio fundamental, determinam-se as grandes linhas do traçado por um sistema de aproximação sucessiva sobre as cartas, planos e croquis de escala

crescente, estabelecida na continuidade dos reconhecimentos efetuados no terreno (CTFT, 1989).

Para o planejamento da rede é preciso considerar uma série de diretrizes principais, tanto de engenharia, como ambientais e sociais. A FAO Model Code of Forest Harvesting seleciona apropriadamente estas diretrizes (Dykstra & Heinrich, 1995), as quais são apresentadas de forma resumida:

- Promover o acesso à floresta a um baixo custo, considerando a proteção à floresta junto com o benefício às comunidades locais;
- Minimizar a erosão do solo reduzindo a sedimentação nos cursos d'água;
- Minimizar as estradas e pátios de estocagem;
- Utilizar a drenagem natural como base para o modelo da rede;
- Evitar áreas de significado cultural para o traçado da estrada; e,
- Promover segurança para os trabalhadores e público em geral que podem utilizar a estrada ou ser afetados por seu tráfego.

Um reconhecimento geral da área é fundamental (não se entrará em detalhe neste trabalho), além de uma série de dados iniciais como:

Dados hidrológicos e geológicos;

Localização e tamanho da área;

Clima;

Recursos florestais;

Custos de exploração;

Experiências anteriores sobre a área etc.

De posse das informações anteriores, pode-se partir para planificação propriamente dita, seguindo como sugestão a metodologia:

1. Calcular a distância ótima entre caminhos, densidade ótima e volume possível de cortar por $m^3/ha/ano$.

2. Com auxílio do mapa topográfico e de reconhecimento, dividir a área florestal em linhas transversais e horizontais, formando uma rede quadriculada da qual se caracterizará mais facilmente a topografia da área (Le Ray, 1975).
3. Identificar sobre a área:
 - Áreas a ser exploradas;
 - Pontos obrigatórios de passagem e pontos a evitar, como inclinações muito fortes do terreno, locais de terreno muito irregular, áreas de preservação permanente etc.;
 - Melhores locais de construção do caminho, tornando acessível toda área florestal desejada (item modelos de redes de estradas florestais);
 - O sentido de transporte menor (arraste).
4. Identificar a melhor direção natural de escoamento de toda esta área, por exemplo, até as estradas de acesso.
5. Marcar em um mapa base a rede de estradas existentes, verificando sua possível adaptação à rede planejada.
6. Marcar em um novo mapa a rede ideal das estradas escolhida, tendo como base os itens anteriores.

Já neste ponto, torna-se necessária uma nova avaliação de campo. No reconhecimento de campo, o terreno é explorado em detalhe, os primeiros lançamentos obtidos em mapa são analisados e novas variantes podem surgir, sendo necessário analisá-las economicamente.

As estradas selecionadas devem ser levantadas em detalhes, como altura máxima das cheias, dificuldades futuras de construção etc. Deve-se sempre recordar que a exploração intensiva do terreno é necessária (Becker, 1994).

A FAO Model Code of Forest Harvesting considera importante evitar áreas com solos úmidos e risco de erosão. Estradas florestais construídas nestas condições aumentam os custos de construção e, posteriormente, os de manutenção (Dykstra & Heinrich, 1995).

Como foi mostrado, novas opções poderão surgir no terreno e nada substitui o complemento do trabalho de campo.

7. Identificada a variante, calcular a densidade real (DR) obtida medindo-se o comprimento total das novas estradas e as adaptadas à rede, relacionando com a área total:

$$DR = \frac{\text{comprimento total dos caminhos em m}}{\text{área total em ha}}$$

8. Comparar DR medida no mapa com DI (densidade ótima ou ideal) calculada no item densidade ótima de estradas.

A DR medida não deverá ultrapassar em muito a densidade ideal teórica calculada para condições homogêneas de topografia e volume explorável. Caso contrário, os lançamentos dos caminhos deverão ser revistos. Normalmente, a densidade oscilará entre 6 e 15 m/ha (FAO/SIDA, 1975). Um intervalo semelhante, 7-10 m/ha, foi apresentado por Heinrich (1996).

Somente em áreas com baixíssimo volume por hectare, serão obtidas densidades como de 3 m/ha de construção de caminhos, dificilmente abaixo desta (Chauvin, 1976). Uma densidade de 20 m/ha somente em áreas muito ricas.

Deve-se considerar também que quanto mais difíceis as condições topográficas, maior será a densidade de estradas. Em regiões que requerem extração por cabo (sistema *high lead-torre*) por exemplo, pode-se alcançar densidade de até 30-32 m/ha (FAO, 1974).

Lembrar sempre que existe uma “negociação” ou troca entre o aumento do custo da construção de estrada em que a densidade é alta e aumento do custo de extração na qual a densidade de estradas é baixa (Dykstra & Heinrich, 1995).

9. Calcular o impacto do custo da estrada com relação ao volume potencial a ser explorado.

Como conclusão, tem-se o cálculo dos custos da rede ideal, para verificar o impacto destes no custo por m³ e, posteriormente, no custo total de exploração para enfim definir a viabilidade ou não da construção desta rede.

$$1) \text{Custo} = \frac{C \times D}{V}$$

Onde:

C: custo de construção do caminho por metro

D: densidade em m/ha

V: volume explorável por ha

2) No caso de caminhos com utilização superior a 1 ano:

$$\text{Custo} = \frac{L \times Y}{\text{m}^3 \text{ transportado/ano}}$$

Onde:

L: comprimento total das estradas em metros

Y: C x Fa + Manutenção anual

C: custo de construção da estrada por metro

Fa: fator de amortização

$$Fa = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N} \quad (\text{ou encontrado em tábuas})$$

i: taxa

N: número em anos de utilização da estrada

A necessidade de acomodamento à topografia e estradas já existentes, da construção de curvas, cruzamentos, rios, conexões etc., fará com que os caminhos raramente sejam retos e perfeitamente paralelos entre si. Normalmente resulta em um acréscimo em construção de 25% a 35% (Rowan, 1976). Este custo extra deve ser considerado para o cálculo do custo total de construção.

PROJETO TÉCNICO

Mostrou-se um modelo de projeto, que reúne toda informação anteriormente apresentada de maneira a facilitar a aplicação destes conceitos em projetos de manejo florestal.

Segundo Sedlak (1985), o projeto estaria dividido em duas partes:

Relatório técnico

- a) Sumário: em forma de tabelas, com informações sobre comprimentos das rotas, custos etc.;
- b) Descrição da área e sistemas de manejo ou exploração existentes;
- c) Razões para o desenvolvimento da nova rede e melhorias esperadas. Descrição do novo sistema de transporte e exploração;
- d) Descrição do novo sistema de estradas, como princípios do desenho, espaçamento, detalhes sobre os caminhos etc.;
- e) Recomendação de métodos gerais de construção e organização;
- f) Custo geral estimado.

Desenhos e planos (Sedlak, 1985)

- a) Mapa na escala 1:50.000 da rede planejada: dá uma visão geral da rede e sua localização;
- b) Mapa na escala 1:10.000: desenho com mais detalhes das estradas planejadas – conexões, curvas de reversão, localização de aquedutos, pontes etc.;
- c) Perfis transversais gerais: escala 1:50;
- d) Desenhos gerais das obras de arte: aquedutos, pontes etc., na escala 1:50.

A definitiva localização dos eixos das estradas e rasante no terreno, assim como o cálculo detalhado dos custos, é um trabalho posterior.

O planejamento de uma rede de caminhos define apenas a possível localização (caminho geral) das estradas.

O alinhamento tangencial final estará sujeito a várias tentativas quando da locação da estrada.

Neste momento, os cálculos de custos de construção deverão considerar o movimento de terra, custos de pontes, de aquedutos etc., para uma avaliação mais exata.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANAYA, H.; CHRISTIANSEN, P. **Aprovechamiento forestal: análisis de apeo y transporte.** San José, Costa Rica: IICA, 1986. 246p.
- BECKER, G. Optimization of road network and transport systems: a pre-condition for improved organization and design of labour in forestry. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA E TRANSPORTE FLORESTAL, 8., 1994. Curitiba, PR. **Anais...** Curitiba: UFPR/FUPEF, 1994. p.111-115.
- BRAZ, E.M.; OLIVEIRA, M.V.N. d'. Arraste em floresta tropical: análise para identificação dos parâmetros ideais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 2., 1995, Salvador, BA. **Anais...** Viçosa: SIF, 1995. p.222-237.
- CHAUVIN, H. Opening up the tropical moist forest and harvesting the timber. **Revista Unasyva**, v.28, p.112-113, 1976.
- COSTA FILHO, P.P; COSTA, H.B. da. **Construção de estradas florestais e transporte florestal rodoviário na região Amazônica.** Belém: Embrapa-CPATU, 1980. 30p. (Embrapa-CPATU . Circular Técnica, 6).
- CENTRE TECHNIQUE FORESTIER TROPICAL – CTFT. Exploitation forestière. In: CTFT. **Mémento du Forestier: techniques rurales en Afrique.** 3.ed. Paris, França: Ministère de la Coopération et du Développement, 1989. p.693-774.
- DYKSTRA, D.P.; HEINRICH, R. **FAO model code of forest harvesting practice.** Roma: FAO, 1995. 117p.
- FAO. **Logging and log transport in tropical high forest: a manual on production and costs.** Roma, 1974. 90p. (FAO. Forest Series, 5; FAO. Forestry Development Paper, 18).

- FAO/SIDA. **El transporte de la madera em países de America Latina**. México, 1975. 451p.
- FUNTAC (Rio Branco, AC). **Inventário florestal da área de influência direta da BR-364 no trecho Rio Branco–Cruzeiro do Sul - fronteira com o Peru**. Rio Branco, 1992. 98p. Mimeografado.
- HEINRICH, R. Environmentally sound harvesting to sustain tropical forests. In: WORLD CONGRESS CARING FOR THE FOREST, 20., 1995, Tampere, Finlândia. **Report...** Vienna, Áustria: IUFRO, 1996. v.2, p.436-446.
- HEINRICH, R. State of the art in timber harvesting at the international level. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1., 1993, Curitiba, PR. **Anais...** São Paulo: SBS/SBEF, 1993. v.3, p.323-328.
- HENDRISON, J. **Damage-controlled logging in managed tropical rain forest in Suriname**. Wageningen: Agricultural University, 1989. 204p.
- LE RAY, J. Forest roads in the tropics. **Revista Unasyuva**, v.17, n.2/3, p.1-44, 1975. Suplemento.
- LEINART, S. **Primeiro curso de atualização sobre sistemas de exploração e transporte florestal**. Curitiba: UFPR/FUPEF, 1977. 105p.
- MACHADO, C.C.; MALINOVSKI, J.R. **Rede viária florestal**. Curitiba: UFPR/FUPEF, 1986. 157p.
- PERDONCINI, W.; HASELGRUBER, F. **Construção das estradas**. Irati, PR: Colégio Florestal, 1982. 130p.
- ROWAN, A.A. **Forest road planning**. Inglaterra: Forestry Commission, 1976. 30p.
- SEDLAK, O. General principles of planning forest road nets. In: FAO/AUSTRIA TRAINING COURSE ON MOUNTAIN FOREST ROADS AND HARVESTING, 1983, Ossiach and Ort, Austria. **Logging and transport in steep terrain: report...** Rome: FAO, 1985. p.17-36.

SUDAM (Belém, PA). **Estudo de viabilidade técnico econômica da exploração mecanizada em floresta da terra firme, região de Curuá-Una.** Belém: IBDF/PRODEPEF, 1978. 133p. (PNUD/FAO/IBDF/BRA-76/027).