

# OPTIMIZATION OF THE INFRASTRUCTURE LOCATION FOR REDUCED IMPACT EXPLORATION IN THE AMAZON FOREST

## **Denis Ribeiro do Valle**

Estudante de graduação do curso de eng. florestal – ESALQ/USP.  
Av. Pádua Dias, n. 11, CP 09, Piracicaba/SP, 13418-900  
drvalle@esalq.usp.br

## **José Vicente Caixeta Filho**

Prof. Livre-Docente da ESALQ/USP.  
Av. Pádua Dias, n. 11 CP 09 Piracicaba/SP 13418-900  
jvcaixet@esalq.usp.br

## **Edson Vidal**

Pesquisador do Instituto do Homem e do Meio Ambiente da Amazônia.  
Rod. Mário Covas, km.1, Conj. Village Pau D'arco, casa 09, CP 5101, Ananindeua, PA, 66613-397  
edsonvidal@imazon.org.br

## **James Grogan**

Pesquisador do Instituto do Homem e do Meio Ambiente da Amazônia.  
Rod. Mário Covas, km.1, Conj. Village Pau D'arco, casa 09, CP 5101, Ananindeua, PA, 66613-397  
jgrogan@crocker.com

## **Abstract**

Great is the importance of planning in the reduced impact logging. The objective of this work is to determine the optimal location of the logging infrastructure (roads, landings and skid trails) through mathematical modelling in an amazonian forest stand to be explored in Acre State. In general, it was observed that optimization resulted in, for example, a mean reduction of 143-251 km of skidding distance and 28-44 hours of the total time spent with skidding, depending on the criteria used, surpassed to an area of 5000 ha, which reduces the damage to the forest and increases the economical viability of reduced impact logging. It is still necessary to aprimorate this modelling but it is already possible to detect the great potencial of this tool for the infrastructure planning of forest exploration in Amazônia.

**Key words:** *optimization, RIL, Amazônia.*

## OTIMIZAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DA INFRA-ESTRUTURA DE EXPLORAÇÃO DE IMPACTO REDUZIDO NA FLORESTA AMAZÔNICA

### **Denis Ribeiro do Valle**

Estudante de graduação do curso de eng. florestal – ESALQ/USP.  
Av. Pádua Dias, n. 11, CP 09, Piracicaba/SP, 13418-900  
drvalle@esalq.usp.br

### **José Vicente Caixeta Filho**

Prof. Livre-Docente da ESALQ/USP.  
Av. Pádua Dias, n. 11 CP 09 Piracicaba/SP 13418-900  
jvcaixet@esalq.usp.br

### **Edson Vidal**

Pesquisador do Instituto do Homem e do Meio Ambiente da Amazônia.  
Rod. Mário Covas, km.1, Conj. Village Pau D'arco, casa 09, CP 5101, Ananindeua, PA, 66613-397  
edsonvidal@amazon.org.br

### **James Grogan**

Pesquisador do Instituto do Homem e do Meio Ambiente da Amazônia.  
Rod. Mário Covas, km.1, Conj. Village Pau D'arco, casa 09, CP 5101, Ananindeua, PA, 66613-397  
jgrogan@crocker.com

## **Resumo**

Grande é a importância do planejamento na exploração de impacto reduzido. O objetivo deste trabalho é de determinar a localização ótima da infra-estrutura (estradas, pátios e ramais de arraste) em um talhão de floresta amazônica a ser explorado no Acre através de modelagem matemática. Foi observado que a otimização resulta em, por exemplo, um decréscimo médio de 143-251 km da distância de arraste e 28-44 horas do tempo total gasto com o arraste, dependendo do critério utilizado, extrapolado para uma área de 5.000 ha, o que gera um menor dano à floresta e maior viabilidade econômica da exploração de impacto reduzido. Ainda são necessárias melhorias dessa modelagem porém, de antemão, já é possível se detectar o grande potencial dessa ferramenta para o planejamento da infra-estrutura de exploração florestal na Amazônia.

**Palavras-chaves:** *Amazônia, EIR, otimização.*

### **I. Justificativa e Objetivos**

Esforços em reduzir o dano às árvores remanescentes e à vegetação como um todo do arraste de toras incluem o uso de trilhas de arraste projetadas e planejamento específico para cada talhão (incluindo o mapeamento detalhado da topografia e mesmo as árvores individuais que serão colhidas) (DYKSTRA & HEINRICH, s. d.).

Entretanto, tanto no Pará, quanto no Acre ou qualquer outro estado da Amazônia, não se tem ainda nenhum trabalho de otimização da infra-estrutura em um talhão sob exploração florestal. Acredita-se portanto que haja um grande campo para se avançar assim podendo trazer benefícios econômicos e ambientais significativos.

O objetivo do presente trabalho é de determinar a localização ótima da infra-estrutura (estradas, pátios e ramais de arraste) em um talhão de floresta amazônica a ser explorado, através da modelagem matemática, podendo comparar com a infra-estrutura planejada e criada por uma equipe especializada.

Com isso, almeja-se desenvolver uma metodologia que auxilie o planejamento da infra-estrutura. Conseqüentemente, espera-se com isso:

- a) um menor impacto à floresta, aumentando a sustentabilidade da exploração na mesma;
- b) um menor gasto com o manejo florestal, tornando-o portanto economicamente mais atraente e assim mais competitivo frente a os demais usos do solo ambientalmente mais impactantes da Amazônia.

## **II. Revisão Bibliográfica**

Tem sido bastante reconhecido que a complexidade e diversidade da cobertura vegetal assim como de fauna nas várias florestas requerem operações florestais bem planejadas e controladas e intervenções que façam pleno uso do potencial de produtos madeireiros e não-madeireiros, compatíveis com a conservação ambiental (HEINRICH, 1998).

Porém, além dos múltiplos e freqüentemente conflituosos objetivos do manejo florestal, o planejamento do manejo ainda deve trabalhar em um ambiente de informações incompletas e conhecimento ecológico insuficiente (SCHIESS & O'BRIEN, 1995).

O planejamento adequado é importante não apenas para reduzir o impacto ambiental mas também para reduzir os custos e aumentar a produtividade (HEINRICH, 1998).

A locação da rede de estradas florestais é geralmente guiado pela otimização do espaçamento entre estradas. A dificuldade em se utilizar uma metodologia de espaçamento ótimo entre estradas se deve à diversidade espacial das áreas florestais e condições do terreno uma vez que o custo de transporte e de construção de estradas variam com esses fatores (TAN, 1999).

Fatores específicos, como densidade de árvores e tamanho da árvore, declividade, trafegabilidade e condições climáticas, podem combinar de diversas maneiras para influenciar as máquinas e a eficiência do sistema, particularmente na colheita (USDA, 2003).

Outro fator importante a determinar a locação da rede de estradas é a localização e proteção das árvores remanescentes, árvores que farão parte do ciclo seguinte,

fornecem algum produto não madeireiro ou que possuem um papel chave para o ecossistema.

O valor de florestas previamente exploradas para a produção futura de madeira e a contribuição dessas florestas para a conservação da biodiversidade, dependerá do nível de dano infligido à floresta durante a extração de madeira inicial (GULLISON & HARDNER, 1993).

Na Amazônia, existem alguns trabalhos que comparam a Exploração de Impacto Reduzido (EIR) com a exploração predatória (VIDAL et al., 1997; d'OLIVEIRA & BRAZ, 1995; FAO, 1997; UHL & VIERA, 1989; UHL et al., 1991), revelando a grande diferença entre ambos os sistemas em relação aos danos causados à floresta.

O manejo florestal moderno reconhece a variação e complexidade das paisagens naturais. As prescrições são cada vez mais complexas na medida em que se tornam específicas a uma dada área. Além disso, o planejamento é uma atividade com uso intensivo de dados (USDA, 2003). O uso sistemático de ferramentas computacionais no planejamento das atividades de exploração florestal possibilitam um melhor planejamento, menor gasto de tempo, o armazenamento efetivo das informações e interface/integração com outros bancos de dados (SCHIESS & O'BRIEN, 1995).

### III. Materiais e Métodos

#### 1 - Área

O Acre é caracterizada por colinas, relevos de topo pouco convexo separados por vales em V e eventualmente por vales de fundo plano. Esta tipologia é caracterizada por argissolos. O clima é do tipo equatorial quente e úmido caracterizado por altas temperaturas, elevados índices de precipitação pluviométrica e alta umidade relativa do ar, dividindo-se o ano em duas estações: seca e chuvosa. A precipitação média anual se situa entre 1982 e 2086 mm sendo a temperatura média anual igual a 24,5 °C e a temperatura máxima em torno de 32 °C. A vegetação da área é classificada como floresta aberta com palmeiras, caracterizada pelo dossel aberto, apresentando também cipós em algumas áreas (ACRE, 2000).

Para determinar a localização das árvores utilizou-se os dados de GPS (DATUM South American 1969) do inventário inicial e não do levantamento pós-exploratório. A posição do igarapé permanente foi determinado de acordo com o levantamento topográfico.

Foram consideradas espécies comerciais apenas as espécies de valor médio a alto. Assim, as árvores exploráveis são as árvores que: não apresentavam oco detectável por uma batida na árvore, possuíam qualidade fuste inferior a três, apresentavam Diâmetro à Altura do Peito (DAP) maior que 45 cm e se encontravam fora da APP. Considerou-se árvores remanescentes as demais árvores de espécies comerciais que não satisfizeram as características necessárias para serem classificadas como exploráveis, principalmente devido a seu diâmetro menor que 45 cm (quadro 1).

**Quadro 1.** Resumo da quantidade de volume e árvores da área

Resumo	Totais
Número árvores exploráveis	238
Número de árvores remanescentes	202
Volume das árvores exploráveis (m <sup>3</sup> )	1355

Mais especificamente, o talhão trabalhado, de 85 ha, era bastante acidentado embora a área que havia sido aprovada para manejo, de 500 ha, como um todo, era bem mais acidentada.

## 2 - Manejo

A exploração realizada na área pode ser descrita como uma Exploração de Impacto Reduzido (EIR) devido à ênfase ao planejamento e ao maior controle e cuidado com as operações executadas.

Tanto a abertura de estradas de acesso e pátios como o arraste de uma parte das árvores foi feito por um trator D7 da Fiatallis, de 1978. O presente trabalho utilizou essa máquina para o cálculo da influência do relevo na velocidade da máquina quando arrastando uma tora. Isso é uma situação comum no Brasil, onde muitas vezes emprega-se no arraste tratores comuns, tanto de esteiras como os de pneumáticos, adaptados ao arraste de toras compridas totalmente apoiadas no solo (MACHADO, 1984).

Neste trabalho estaremos abordando apenas os ramais de arraste e as estradas de acesso, segundo a classificação de MACHADO (1984). O nível de mecanização por ser descrito como médio (HEINRICH, 1998), ainda que característico de quase todas as áreas sob manejo na Amazônia.

## 3 - Dados utilizados

Utilizaram-se somente os dados que poderiam ser obtidos a partir de um inventário pré-exploração convencional (com exceção dos dados referentes às árvores remanescentes) com intuito de garantir maior realismo a quaisquer resultados obtidos.

Verificou-se, em estudo preliminar, que o trator esteira adaptado para o arraste de tora utilizado, conseguia arrastar no máximo 5 m<sup>3</sup> por viagem, necessitando que a árvore fosse subdividida se seu volume fosse superior a esse. Assim, adotou-se um multiplicador da distância com objetivo de incluir a variável volume da árvore na otimização (quadro 2).

**Quadro 2.** Relação entre volume da árvore e número de viagens necessárias para o arraste

Volume (m <sup>3</sup> )	Número viagens
0-4,9	1
5,0-9,9	2
10,0-14,9	3
> 14,9	4

A área foi dividida em 80 partes (1 parte = 1 ha), resultando uma malha uniformemente distribuída sobre a área, cujos centróides, com suas respectivas coordenadas, representavam também os possíveis pátios.

Para que fosse possível a comparação dos diferentes cenários gerados com o que foi efetivamente planejado no campo, optou-se por manter o mesmo número de pátios, sendo assim mais simples a comparação das demais infra-estruturas como estradas e ramais de arraste.

Foi calculada a distância cartesiana entre cada árvore  $i$  e pátio  $j$  através da fórmula de Pitágoras envolvendo as coordenadas de ambos. Portanto, a distância calculada é a distância horizontal. Não foi necessário corrigir as distâncias horizontais para a distância real porque, apesar do relevo acidentado, a correção representa uma mudança pequena em relação à distância calculada.

Foi calculado o relevo para cada árvore  $i$  e pátio  $j$  através da diferença entre cotas dividido pela distância horizontal entre pontos, ambos em metros. Como a principal preocupação se refere à volta do trator arrastando a tora, o relevo calculado sempre da árvore  $i$  para o pátio  $j$ , o que é muito importante pois implica se é aclive ou declive.

Para se determinar a influência do relevo no arraste de toras foi necessário uma série de cálculos quanto ao desempenho da máquina frente a esse fator:

$$PED = PLV * Perdas$$

onde:

PED = potência efetiva disponível

PLV = potência líquida no volante

Perdas = perda por transmissão \* perda por interface esteira/solo

$$F_t = F_i + R_c \text{ (SEIXAS, 1998)}$$

onde:

$F_t$  = força total requerida

$F_i$  = resistência ao aclive

$R_c$  = resultante de carga

$F_i = G * i$

$G$  = peso total do veículo em toneladas

$i$  = aclive em decimal

$R_c = C (R_{rt} + 1000 * i)$

$R_{rt}$  = resistência ao rolamento da tora totalmente arrastada no solo

$C$  = peso da tora em toneladas

$i$  = aclive em decimal

Utilizou-se dados de diferentes fontes, inclusive do próprio autor, para poder determinar essa relação, a saber: FIATALLIS (2003), SEIXAS (1998) e ASAE (1999)

Uma vez que se tem a força total requerida para cada valor de aclive e a potência efetiva disponível, é possível se calcular a velocidade do trator para cada valor de aclive. Ao se inverter a velocidade, transformando sua unidade em h/km, e multiplicar pela distância percorrida (em km), tem-se o tempo gasto na atividade.

Esta foi a melhor maneira encontrada para que se pudesse relacionar o relevo com as demais variáveis, principalmente com a distância. No entanto, essa variável poderia ser mais precisa se realmente fosse desenvolvido e ajustado algum modelo aos dados coletados em campo. Além disso, pode ser apontado como ponto fraco o fato dessa variável ser específica ao trator utilizado e não considerar, conjuntamente com o relevo, toras arrastadas de diferentes volumes, apenas uma tora média.

Foi considerada Área de Preservação Permanente (APP) uma distância de 40 m de suas margens, distância superior ao exigido por lei (30 m para rios com até 10 m de largura) pois se adotou uma margem de segurança que visa prevenir os erros do GPS (tanto nas árvores quanto no rio), a grande sinuosidade do rio e a imprecisão inerente em se demarcar a APP através de um mapa plani-altimétrico.

Os dados referentes às árvores remanescentes, caracterizadas por serem de espécies comerciais com diâmetro abaixo do mínimo para corte (DAP = 45 cm) foram os únicos dados que normalmente não seriam encontrados em um inventário pré-exploratório comum. Assim, sempre se deve evitar traçar uma estrada ou ramal de arraste próximo ao local onde se localizam as árvores dos cortes subseqüentes pois desvios terão de ser feitos.

Devido ao erro do GPS de 10 m, determinou-se que qualquer árvore com DAP < 45 cm mais próxima que 10 m de um caminho potencial que interligue um pátio  $j$  a uma árvore  $i$  implicaria em uma penalidade.

Foi estabelecido uma penalidade para cada árvore que se encontra a menos de 10 m de distância de  $5,71\text{m} * 0,15 = 0,86$  m. De uma certa maneira essa penalidade é subjetiva porém foi a melhor e mais objetiva maneira pensada para incluir a questão das árvores remanescentes na otimização da infra-estrutura.

#### 4 - Modelo Matemático

Pensou-se em realizar uma otimização em 2 etapas. Inicialmente é importante determinar qual a localização ótima dos pátios a serem utilizados, possível através da programação inteira mista. Em seguida seria possível simultaneamente determinar a localização das estradas que uniriam esses pátios e escoariam a produção (através do uso de algum modelo heurístico onde todos os pátios potenciais seriam os nós de uma rede de caminhos) e os ramais de arraste, também através de programação inteira mista.

Utilizou-se o índice  $i$  para identificar as árvores e o índice  $j$  para identificar os pátios.

- Função objetivo:

Tem-se por objetivo reduzir o tempo gasto no arraste, dado pela seguinte equação:

$$\text{Min } T = \sum_{i=1}^{238} \sum_{j=1}^{80} x_{ij} * d_{ij} * m_i * \text{veloc}_{ij} + \sum_{i=1}^{238} \sum_{j=1}^{80} x_{ij} * \text{reman}_{ij} * \text{veloc}_{ij} * 0,00086$$

Onde:

$T$  = tempo gasto para o arraste em horas  
 $x_{ij}$  = variável binária associada ao transporte (1) da árvore  $i$  ao pátio  $j$  ou não (0)  
 $d_{ij}$  = distância da árvore  $i$  até o pátio  $j$  em km  
 $m_i$  = multiplicador da árvore  $i$  correspondente ao número de viagens, que é função do volume da árvore  
 $veloc_{ij}$  = velocidade, em h/km, que é função do relevo da árvore  $i$  ao pátio  $j$   
 $reman_{ij}$  = número de árvores remanescentes que se encontram entre a árvore  $i$  e o pátio  $j$ .

- Restrições:

a) A que todos os pátios tenham volumes estocados de madeira aproximadamente iguais:

$$\sum_{i=1}^{238} x_{ij} * v_i \geq 0.99 * VP * y_j$$

onde:

$v_i$  = volume da árvore  $i$  ( $m^3$ )  
 $VP$  = volume por pátio ( $m^3$ ), dado pela soma do volume das árvores a serem exploradas dividido pelo número de pátios (= 5)  
 $y_j$  = variável binária associada à existência (1) do pátio  $j$  ou não (0)

O número 0.99 permite uma certa folga ao garantir que a soma dos volumes das árvores que irão para o pátio  $j$  não tenha que ser obrigatoriamente igual a  $VP$ .

b) A que existam apenas 5 pátios:

$$\sum_{j=1}^{80} y_j \geq 5$$

c) A que o modelo não resolva o problema simplesmente arrastando nenhuma árvore, dessa maneira minimizando o tempo. Na verdade, a restrição impõe que o volume arrastado seja igual a soma dos volumes das árvores, ou seja, toda árvore seja explorada.

$$\sum_{i=1}^{238} \sum_{j=1}^{80} x_{ij} * v_i = 1359.36$$

d) A que uma mesma árvore não seja arrastada para mais de um pátio:

$$\sum_{j=1}^{80} x_{ij} = 1$$

Foi utilizado o Sistema Geral de Modelagem Algébrica (GAMS) e como material de apoio utilizou-se principalmente o manual do GAMS (BROOKE et al., 1998), as anotações de aula e o livro-texto (CAIXETA-FILHO, 2001) da disciplina "Programação Linear". Um exemplo da programação desenvolvida no GAMS se encontra em anexo.

Foi necessário que a resolução do modelo acima fosse feita por um servidor remoto (NEOS Server for Optimization - <http://www-neos.mcs.anl.gov/>) devido ao tamanho excessivo do modelo para o poder computacional disponível localmente. Também por essa característica do modelo, manteve-se o default do programa de OPTCR = 0.1. Optou-se pelo solver XPRESS pois a entrada no formato do GAMS para problemas de programação linear inteira mista só era possível por este solver neste servidor.

#### **IV. Resultados e Discussão**

Inicialmente pensou-se em realizar uma otimização incluindo também as árvores remanescentes. Assim, seria determinado a localização ótima dos pátios, estradas e ramais de arraste já tendo em vista as colheitas futuras.

A princípio, pensou-se que poderia ser atribuída uma penalidade às árvores remanescentes, de maneira que elas não tivessem a mesma influência no modelo que as árvores a serem colhidas atualmente. A razão desta penalidade se refere ao fato de que a economia com a otimização a ser conquistada hoje é bem mais interessante que a economia futura e além disso há uma maior chance da árvore morrer e não poder ser colhida no futuro. Porém, talvez isso não fosse necessário uma vez que elas tem naturalmente um volume bem menor do que as árvores que estão marcadas para exploração.

Outro problema seria referente ao número de variáveis pois seriam acrescentadas mais 202 árvores às 238 já existentes, exigindo um esforço computacional maior ainda.

Apesar do modelo completo incluir diversas variáveis exógenas (volume, distância, relevo e árvores remanescentes) na função objetivo, o modelo foi rodado excluindo-se algumas destas variáveis para avaliar sua influência no resultado obtido.

Ao todo 5 variações foram rodadas do modelo: com todas as variáveis (TODAS), somente com a distância (D), com distância e volume das árvores (D+V), com distância e árvores remanescentes (D+Ar) e com distância e relevo (D+R). Além disso, um dos cenários consiste em como efetivamente foi planejado e executada a infra-estrutura na área (REAL).

Percebeu-se visualmente grande influência da variável relevo na localização dos pátios. Assim, tanto o D+R quanto TODAS apresentam distribuição espacial dos pátios relativamente distintas das demais variações embora o fato de se ter escolhido a opção default OPTCR = 0.1 pode também ter ocasionado uma variação nessa distribuição dos pátios.

Uma outra maneira de se comparar a influência das diferentes variáveis exógenas é calculando-se a distância média, em km, dos pátios do D+V, D+R e D+Ar em relação aos respectivos pátios do D. Novamente foi observado grande influência do relevo.

Quando se compara com o REAL, ou seja, o que foi efetivamente planejado e executado na área, percebe-se diferenças muito maiores do que as verificadas

acima indicando o grande contraste dos resultados da otimização com o REAL. De maneira geral, o desvio é pouco entre as otimizações, sendo maior entre elas quando se considera o relevo. Porém, a maior de todas é em relação ao REAL, conforme enfatizado anteriormente.

Comparou-se essas variações/cenários em relação à uma série de indicadores:

- Arv. remanescentes = número médio de árvores remanescentes por árvore arrastada
- Distância1 = distância média por árvore (km)
- Distância2 = distância média por árvore considerando o volume da árvore (km), ou seja, distância \* número de viagens
- Tempo gasto1 = tempo total gasto no arraste (h) considerando apenas distância e relevo
- Tempo gasto2 = tempo total gasto no arraste (h) considerando distância, número de viagens e relevo
- CV% do volume entre pátios = variação do volume de madeira entre pátios
- CV% do número de árvores entre pátios = variação do número de árvores arrastadas entre pátios

Os indicadores “Arv. Remanescentes” e “Distância1” são indicadores mais ecológicos no sentido de que estão vinculados diretamente aos danos à floresta, sendo os demais indicadores mais econômicos, ou seja, relacionados a custos da exploração.

Conforme esperado o cenário REAL foi o pior sempre, independentemente do índice utilizado e do modelo contra o qual foi comparado. Além disso, a otimização das diferentes variações/cenários seguiu os resultados esperados. Por exemplo, o modelo que otimiza todas as variáveis (TODAS) minimizou o tempo gasto2 e o modelo que otimiza a distância e a penalidade por árvore remanescente (D+Ar) minimizou as árvores remanescentes.

As surpresas ocorreram por conta do modelo que otimiza a distância e o volume (D+V) e a distância e o relevo (D+R), por não terem apresentado as melhores respostas em relação à distância2 e tempo gasto1, respectivamente, embora possuíssem resultados bons. Isso provavelmente se deve à opção default OPTCR = 0.1, o que permite que outros modelos cheguem, às vezes por casualidade, à um resultado melhor.

Apesar de, em um primeiro momento, ter-se utilizado o critério descrito anteriormente para classificar as árvores como exploráveis ou não, grande foi a diferença entre o número de árvores com essa classificação no inventário das que efetivamente foram exploradas.

Para avaliar realmente quais foram os ganhos inerentes ao planejamento através de uma ferramenta de otimização matemática, os diferentes cenários foram comparados em relação às árvores efetivamente exploradas (quadro 3), uma vez que várias foram descartadas por estarem ocas (detectado através da introdução da motosserra no tronco) ou por sofrerem uma nova classificação de fuste.

**Quadro 3.** Resumo do que foi efetivamente explorado

Resumo	Totais
Número árvores	134
Volume (m <sup>3</sup> )	852,35

Resumidamente, houve uma redução de 43,7% do número de árvores e 37,3% redução do volume. Isso gerou grandes modificações, embora o cenário REAL ainda assim tenha sido o pior na maioria das vezes (das vezes que não foi o pior foi o segundo pior). É natural se esperar que o D+R tenha tido um desempenho pior em relação ao indicador Distância2 uma vez que não considera a questão do volume das árvores. Porém, era de se esperar que o D+Ar também tivesse esse resultado mais fraco. Isso reflete a grande influência do relevo, uma vez que nenhum desses indicadores (Distância1 e Distância2) em que o resultado foi pior envolvem relevo.

Esses números são mais facilmente visualizados quando expressos em quanto que se reduziu, em termos relativos (%), em relação ao cenário REAL. De maneira geral, pode-se visualizar um grande benefício em relação às árvores remanescentes e à variação entre pátios da quantidade de madeira nos pátios (quadro 4).

**Quadro 4.** Ganhos em termos relativos (%) quando comparado ao cenário REAL.

Indicadores / Variações e Cenários	TODAS	D+V	D+R	D+Ar	D	Média
Distância1	3	8	-2	10	8	5
Distância2	4	9	-6	12	10	6
Arv. remanescentes	27	29	23	28	31	28
Tempo gasto1	12	12	6	6	7	9
Tempo gasto2	12	13	2	7	8	8
CV% do volume entre pátios	60	63	56	75	75	66
CV% do número de árvores entre pátios	45	43	33	73	61	51

Considerando-se que algumas empresas atualmente trabalham com unidades de produção anual que chegam a 5.000 hectares ou mais, esses ganhos ou economias, em termos absolutos, se tornam significativos.

É possível se perceber a grande influência causada pela diferença entre árvores inventariadas para serem exploradas e efetivamente exploradas. Porém, essa situação em que houve uma redução de 43,7% das árvores é relativamente incomum, de maneira que, embora seja um aspecto chave, não é um problema crítico. Além disso, o tempo gasto sempre foi menor em relação ao cenário REAL.

Os indicadores utilizados são apenas indicadores uma vez que não se faz o arraste de cada árvore numa linha reta com o pátio. O que são costumeiramente utilizados são os ramais de arraste primário, onde se concentra o arraste das árvores, e os ramais de arraste secundário, que ligam as árvores ao ramal primário. Porém, como ainda não é possível avaliar diretamente qual seria a extensão desses ramais primários e secundários, acredita-se que os indicadores utilizados fornecem uma boa idéia dos ganhos provenientes do uso de uma ferramenta de otimização.

Ainda é necessária a otimização dos ramais de arraste, o que permitiria uma comparação muito mais direta do que através de indicadores, assim como das estradas.

## V. Conclusões

O planejamento é uma atividade chave da exploração de impacto reduzido. Muitas vezes ele é o principal responsável pelo menor dano à floresta assim como pelos ganhos econômicos oriundos dessa atividade. Observou-se neste trabalho que:

- é grande a influência da diferença entre as árvores inventariadas para serem exploradas e as árvores efetivamente exploradas;
- a otimização resulta em um decréscimo, em média, de 143 a 251 km da distância de arraste e 28 a 44 horas do tempo total gasto com o arraste, dependendo do critério utilizado, extrapolado para uma área de 5.000 ha;
- a otimização é uma importante ferramenta para o planejamento do manejo florestal e sua utilização resulta em menor dano à floresta e maior viabilidade econômica;
- ainda existe uma série de pontos a serem aprimorados referente a: precisão das variáveis exógenas, por exemplo a interação entre relevo e desempenho da máquina; tamanho do modelo (quantidade de variáveis binárias); otimização do traçado das estradas e dos ramais de arraste.

## VI. Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao laboratório de métodos quantitativos, Ezér, Rodney Salomão e ao prof. Caixeta.

## IX. Bibliografia

- ACRE, Governo do Estado do Acre. Programa Estadual de Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre. **Zoneamento Ecológico-Econômico: recursos naturais e meio ambiente – documento final**. Rio Branco: SECTMA, V.1, 116p. 2000.
- ASAE. **Agricultural machinery management data**. ASAE Standards, p. 360, 1999.
- BROOKE, A.; KENDRICK, D.; MEERAUS, A. e RAMAN, R. GAMS user's guide. **GAMS Development Corporation**, 1998.
- CAIXETA-FILHO, J. V. **Pesquisa operacional: técnicas de otimização aplicadas a sistemas agroindustriais**. São Paulo, Atlas, 2001.
- d'OLIVEIRA, M. V. N. & BRAZ, E. M. Reduction of damage to tropical moist forest through planned harvesting. **Commonwealth Forestry Review**. 74 (3):208-210. 1995.
- DYKSTRA, D. P. e HEINRICH, R. Forest harvesting and transport: old problems, new solutions. **FAO**. ([www.fao.org/forestry/foda/wforcong/PUBLI/PDF/V3E\\_T14.PDF](http://www.fao.org/forestry/foda/wforcong/PUBLI/PDF/V3E_T14.PDF), consultado em 20/05/2003)
- FAO. Environmentally sound forest harvesting. **Forest Harvesting Case Study #8**. FAO. Rome. 1997.
- FIATALLIS, 2003. Arquivo de especificações técnicas – 7D. ([http://www.fiatallis.com/especificacao\\_modelo.asp?modelo=24](http://www.fiatallis.com/especificacao_modelo.asp?modelo=24), consultado em 05/05/2003)
- GULLISON, R. E. e HARDNER, J. J. The effects of road design and harvest intensity on forest damage caused by selective logging: empirical results and a

- simulation model from the Bosque Chimanes, Bolivia. **Forest Ecology and Management**, n. 59, pp. 1-14. 1993.
- HEINRICH, R. Recent developments on environmentally friendly forest road construction and wood transport in mountainous forest. In: **Proceedings of the Seminar on Environmentally Sound Forest Roads and Wood Transport**. FAO. 1998. (<http://www.fao.org/docrep/x0622e/x0622e0w.htm>, consultado em 01/06/2003)
  - MACHADO, C. C. **Exploração Florestal: III parte**. Viçosa. 1984.
  - SEIXAS, F. **Mecanização e exploração florestal: notas de aula**. ESALQ/USP/LCF, 1998. 135p.
  - SCHIESS, P e O'BRIEN, L. M. The application of geographic information systems to forest operations: the integration of cable setting design into GIS. **2nd Brazilian Symposium on Timber Harvesting and Forest Transportation**. Salvador, 1995. (<http://faculty.washington.edu/schiess/Brazil/Brazil.html>, consultado em 10/06/2003)
  - TAN, J. Locating forest roads by a spatial and heuristic procedure using microcomputers. **Journal of Forest Engineering**, v. 10, n. 2, 1999. (<http://www.lib.unb.ca/Texts/JFE/July99/tan.pdf>, consultado em 25/05/2003)
  - UHL, C. e VIERA, I. C. G. Ecological impacts of selective logging in the Brazilian Amazon: a case study from the Paragominas Region of the State of Para. **Biotropica** 21(1):98-106. 1989.
  - UHL, C.; VERISSIMO, A.; MATTOS, M.; BRANDINO, Z. e VIEIRA, I. C. G. Social economic and ecological consequences of logging in a Amazon frontier: the case of Tailandia. **Forest Ecology and Management** 46 (3-4): 243-273. 1991.
  - USDA. **Forest Operations Research - Southern Research Station**. 2003 ([http://www.srs.fs.usda.gov/units/rwud/rwud\\_4703.pdf](http://www.srs.fs.usda.gov/units/rwud/rwud_4703.pdf), consultado em 25/05/2003)
  - VIDAL, E.; GERWING, J.; BARRETO, P.; AMARAL, P. e JOHNS, J. Redução de Desperdícios na Produção de Madeira na Amazônia. **Série Amazônica**, nº 5. 1997