

Otimização da distância de extração de madeira com *forwarder*Optimization of skidding distance of wood with a *forwarder*Ricardo Anselmo Malinovski¹, Paulo Torres Fenner², Helmer Schack-Kirchner³,
Jorge Roberto Malinovski⁴ e Rafael Alexandre Malinovski⁵**Resumo**

A gestão das atividades e operações ligadas à colheita de madeira carece de ferramentas computacionais que auxiliem os técnicos florestais na tarefa de redução dos custos. Em muitos casos, máquinas de elevado investimento são utilizadas na colheita de madeira sem um planejamento adequado da operação, conseqüentemente, o custo por hora dessas máquinas, que é elevado, poderia ser reduzido, caso fossem utilizados recursos tecnológicos como o Sistema de Informações Geográficas (SIG) integrado com o Sistema de Posicionamento Global (GPS), os quais são a base da colheita de precisão. Nesta pesquisa desenvolveu-se, através de técnicas matemáticas e de funcionalidades disponíveis no Sistema de Informações Geográficas GRASS, uma ferramenta tecnológica capaz de calcular e otimizar a distância média de extração (DME) de madeira com *forwarder*, em diferentes tamanhos e formatos de talhões. A ferramenta desenvolvida, chamada de modelo otimizado, compartimentaliza o talhão em função da menor distância de extração. A principal variável considerada foi o alinhamento de plantio. Para testar o modelo foram considerados talhões do gênero *Eucalyptus* sp de uma fazenda localizada no Estado de São Paulo. Foram selecionados aleatoriamente oito talhões com formato poligonal retangular e oito talhões com formato poligonal irregular. Visitaram-se os talhões para coletar as principais variáveis (sentido de alinhamento de plantio e condições para o depósito da madeira na beira da estrada). Os resultados mostraram que o modelo otimizado desenvolvido é eficiente e flexível. Foi possível compartimentalizar os talhões em função da menor DME. Os talhões com formato irregular apresentaram uma DME menor que os talhões de formato regular.

Palavras-chave: SIG, Colheita de madeira, Silvicultura de precisão, *Software* livre

Abstract

The activities and management operations of wood harvesting do not have good computational tools available to help the forest technicians with the task of cost reduction. In many cases, machines of high investment are used in wood harvesting without adequate operation planning; consequently, the cost per hour of these machines, which is high, could be reduced. Using technological resources such as the Geographic Information Systems (GIS) integrated with the Global Positioning System (GPS), which are the basis of precision harvesting. In this research, a technological tool capable of calculating and optimizing the average skidding distance of the forwarder was developed. It was used in stands of different sizes and formats through mathematical techniques and available functionalities in the Geographic Information System GRASS. The developed tool, called optimized model, divides the stand in small parts in relation to shorter skidding distances. The main variable considered was the alignment of plantation. The model was tested in eucalypt stands located in the State of São Paulo. Sixteen stands were randomly selected: eight with a rectangular polygon form, and eight with irregular polygon form. The main variables were collected in these stands. Results showed that the optimized model developed, is efficient and flexible. It was possible to divide the stands in small parts resulting in smaller skidding medium distances. The stands with irregular form had shorter skidding medium distances than the rectangular stands.

Keywords: GIS, Wood harvesting, Precision forestry, Free software

¹Professor Doutor do Curso de Engenharia Industrial Madeireira do Campus Experimental de Itapeva da Universidade Estadual Paulista – Rua Geraldo Alckmin, 519 – Vila Nossa Sra. de Fátima - Itapeva, SP - 18409-010 – E-mail: ricardo@itapeva.unesp.br

²Professor Doutor do Curso de Engenharia Florestal da Faculdade de Ciências Agrônomicas da Universidade Estadual Paulista - Campus de Botucatu - Caixa Postal 237 – Botucatu, SP - 18603-970 - E-mail: fenner@fca.unesp.br

³Pesquisador Doutor do Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre da Universidade de Freiburg – Bertoldstrasse 17 - 79098 Freiburg i.Br – Germany – E-mail: helmer.schack-kirchner@bodenkunde.uni-freiburg.de

⁴Professor Doutor do Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná - Rua Lothário Meissner, 632 - Jardim Botânico - Curitiba, PR - 80210-170 – E-mail: malinovski@ufpr.br

⁵Doutorando do Curso de Pós Graduação em Economia e Política Florestal da Universidade Federal do Paraná - Rua Lothário Meissner, 632 - Jardim Botânico - Curitiba, PR - 80210-170 – E-mail: ralexandre@klabin.com.br

INTRODUÇÃO

As atividades da colheita podem ser divididas em três fases básicas: corte processamento, extração e transporte, sendo que, a operação de extração (baldeio/arraste) da madeira desde o local de corte até a beira da estrada (estaleiro) é uma das atividades mais onerosas.

Para redução dos custos das atividades de colheita, várias técnicas e procedimentos podem ser utilizados, em especial técnicas de pesquisa operacional, tais como: programação linear, programações inteira e mista, programação dinâmica, utilização de algoritmos e simulações. A maioria destas técnicas objetiva uma solução ótima do problema, focando principalmente na maximização dos lucros ou na minimização dos custos.

Para Loesch e Hein (1999) a otimização faz parte da índole humana. Desde seu surgimento, o *Homo sapiens* vem se dedicando a minimizar esforços e maximizar os retornos de alguma atividade por ele desenvolvida, que, no princípio de sua existência, limitava-se à própria sobrevivência.

O desafio dos técnicos florestais na colheita de madeira é otimizar todas as operações envolvidas. Porém, para se ter o domínio das atividades a serem realizadas, faz-se necessário conhecer, com a maior precisão possível, as restrições e alternativas inerentes a cada operação. As restrições mais comuns que envolvem tais operações são: a declividade do terreno, o espaçamento de plantio, o volume das árvores, o manejo adotado, a potência e a produtividade das máquinas, entre várias outras. A questão é como inserir essas variáveis complexas dentro das técnicas da pesquisa operacional, para se estimar o ótimo. Dessa forma, o uso do sistema de informação geográfica (SIG) se torna uma ferramenta importante para auxiliar na solução destes problemas.

Segundo Bohrer (2001), o SIG é um banco de dados no qual podem estar acoplados diversos módulos de entrada ou importação, manipulação e análises de dados espaciais, e, saídas em diversos formatos das informações geradas. Dessa forma, a tecnologia utilizada num SIG permite a integração entre informações georreferenciadas, isto é, a localização espacial de atributos dos diferentes temas com referência a um sistema de coordenadas.

Para Neteler e Mitasova (2002), SIG é uma integração de *hardware*, de *software* e de dados designados para administração, processamento, análise e visualização de dados georreferenciados. Seu componente de *software* proporciona condições

para o uso efetivo de dados espaciais na resolução de uma enorme gama de problemas.

De acordo com Assad e Sano (1998), nos SIG's, existem dois modos básicos para a representação de dados que caracterizam a superfície terrestre com todos os seus acidentes e detalhes: o modo vetorial e o modo *raster*. Na representação vetorial, os pontos, as linhas e os polígonos são delineados por um conjunto de coordenadas de um sistema ligadas a certos atributos. Já o modo de representação *raster*, utiliza um conjunto de células contidas em uma grade com a sua localização sendo definida pelas coordenadas x e y do sistema de grade. Cada célula é independentemente endereçada com o valor de um atributo. Na maioria dos SIG's, estes dois modos podem ser integrados e os modelos de dados espaciais mais utilizados para representar os diversos tipos de feições geográficas incluem pontos, linhas, polígonos e pixels. Atualmente, entre os SIG's mais utilizados, estão o ArcInfo/ArcView, Microstation, IDRISI, SPRING, SAGA, SPANS, MapInfo, AtlasGIS e o GRASS.

Para obter maior produtividade na extração de madeira pode-se relacionar basicamente, duas variáveis que estão intrinsecamente ligadas à atividade, ou seja, a operação anterior (de corte) e a posterior (onde será colocada a madeira - pátio de estocagem). Nesse contexto, é importante conhecer a distância média de extração (DME), para se programarem os custos da atividade e, conseqüentemente, os rendimentos potenciais a serem obtidos. A forma ideal de otimizar a DME é a compartimentalização (divisão em pequenas partes) dos talhões, de forma a otimizar tanto a distância como o fluxo de trabalho das máquinas. Devem-se relacionar o sentido de alinhamento de plantio do talhão e o desenho da rede viária como variáveis importantes.

Atualmente, existe *software* que pode ser adaptado para a obtenção da otimização adequada dos talhões, em função das variáveis acima relacionadas. O produto destes programas pode ser apresentado de forma gráfica, com todas as informações de logística para o trabalho, as quais servirão como uma ferramenta valiosa para os supervisores e operadores de máquinas.

Foi com esse intuito que se desenvolveu esta pesquisa, com a finalidade de otimizar a atividade de extração de madeira, utilizando técnicas de programação e ferramentas disponíveis no sistema de informações geográficas GRASS (*software* livre), estando portanto, dentro da filosofia de redução de custos.

A hipótese principal traçada foi a de que é possível desenvolver uma seqüência de comandos no programa GRASS 6.0, capaz de estimar com precisão a DME para o *forwarder*, em áreas com formatos poligonais regulares e irregulares.

MATERIAL

Caracterização do local de estudo

O estudo foi realizado em uma fazenda de uma empresa florestal, com um povoamento de eucalipto localizado no município de Lençóis Paulista no Estado de São Paulo (coordenadas geográficas 28° 48' 36.81" S e 48° 53' 49.93" W). A fazenda possui uma área total de 11.931 hectares (ha), sendo que 9.804 ha são de efetivo plantio, e 2.127 ha são áreas com reserva legal e de preservação permanente.

A área de estudo possui dois sistemas de rede viária: um chamado de "sistema de estradas ortogonais", onde as estradas foram implantadas sem levar em consideração as curvas de níveis do terreno, e um outro denominado "sistema em nível", onde as estradas foram adaptadas aos contornos do terreno.

O sistema de estradas ortogonais foi implantado no ano de 1971 e apresenta estradas contornando talhões com 500 metros de largura por 1.000 metros de comprimento, formando áreas retangulares denominadas de "regulares".

O sistema de estradas em nível foi construído entre os anos de 1988 e 1994. Como as estradas seguem o contorno do terreno, as áreas formadas por esse sistema formam polígonos com "n" lados, que são chamados de áreas "irregulares", pois a forma geométrica de cada talhão difere

em número e comprimento dos lados.

Nesta fazenda existem 175 talhões alocados no sistema ortogonal de estradas e 125 talhões no sistema de estradas em nível.

Premissas e condicionantes

Analisando as informações fornecidas pela equipe técnica da empresa, percebeu-se que a área em estudo apresentava diferentes variações silviculturais (espaçamento, espécie etc.), e de colheita de madeira (diferentes sistemas e equipamentos). Em virtude disso e pelo fato do grande número de variáveis envolvidas, optou-se pelos sistemas de silvicultura e colheita mais utilizados pela empresa. Para tal, definiram-se algumas premissas e condicionantes com a intenção de criar um cenário fictício semelhante a uma situação real.

Simulou-se que o gênero plantado seria o *Eucalyptus* sp, com espaçamento de 3 metros entre linhas e de 2 metros entre árvores na linha.

Adotou-se assim o sistema onde o corte da madeira seria realizado por um harvester que efetuará as operações de derrubada, desgalhamento, traçamento e empilhamento das toras e, a extração da madeira até a beira da estrada seria realizada por um *forwarder*. Neste modelo utilizam-se todas as beiras das estradas ao redor do talhão para se depositar a madeira.

METODOLOGIA

No GRASS, utilizou-se o comando *r.random* para selecionar de forma aleatória, as áreas de estudo (Figura 1). Definiu-se trabalhar com oito talhões regulares e oito irregulares.

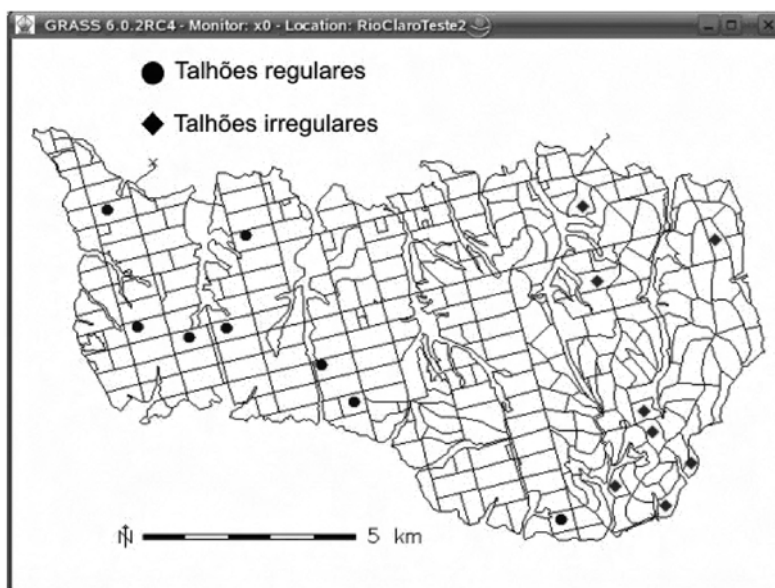


Figura 1. Localização dos talhões selecionados pelo comando *r.random*.
Figure 1. Stands location selected by the command *r.random*).

Elaborou-se um guia de campo para coletar as informações das áreas selecionadas. A intenção desse levantamento foi de averiguar todas as possíveis restrições da operação de baldeio realizada pelo *forwarder*. Coletaram-se informações como: sentido de alinhamento de plantio e as condições das estradas ao redor do talhão.

Cálculo da distância média de extração (DME)

Para o cálculo da DME, desenvolveu-se uma seqüência de comandos no GRASS 6.0 onde foram utilizados diversos recursos *vector* e *raster* disponíveis no *software*. Esta seqüência de comandos foi aplicada para todos os talhões selecionados.

Como a DME é diferente para cada talhão, pelo fato de cada talhão possuir tamanho e forma geométrica diferentes, o primeiro passo foi separar um único talhão do mapa completo da fazenda, e criar um novo mapa somente com o talhão selecionado. Utilizou-se o comando *v.extract* para realizar essa operação. O comando *v.extract* é uma ferramenta que seleciona objetos *vector* (pontos, linhas, centróides, bordaduras e áreas) de um mapa *vector* e cria um novo mapa contendo somente o objeto selecionado. Esse novo mapa em formato de objeto tipo área foi separado nas interseções das linhas, transformando-se em um formato de objeto tipo bordadura. Para isso, utilizou-se o comando *v.clean*, o qual possui diversas funções para limpar a topologia de um *vector*.

Entende-se que a DME tem que ser calculada para cada linha (estrada) que circunda o talhão, pois para cada estrada existe uma DME diferente. Dessa forma, o mapa com as bordaduras foi transformado em um mapa com linhas.

Utilizou-se o comando *v.type* para realizar essa mudança. Usa-se o comando *v.type* quando se quer trocar o tipo de elemento geométrico, por exemplo: de linhas para bordaduras ou de pontos para centróides.

Como já mencionado, o cálculo da DME deve ser realizado para cada estrada (linha) ao redor do talhão. Sendo assim, utilizou-se novamente o comando *v.extract* para extrair cada segmento de linha. A partir desse ponto, foram desenvolvidas algumas linhas de programação utilizando as linguagens AWK e Bash, criando-se uma rotina de cálculo para cada linha extraída.

Na seqüência, utilizou-se o comando *v.to.rast* para transformar a linha *vector* em uma linha tipo *raster*. A função *v.to.rast* é empregada para converter uma camada de um mapa *vector* binário em uma camada de um mapa *raster*. Preparada a estrada (linha) que se efetuará o cálculo da DME, utilizou-se o comando *r.mapcalc* para inserir um reticulado de células sobre a área do talhão. Atribuiu-se um valor às células igual a 1 (um) (Figura 2). O comando *r.mapcalc* é um instrumento matemático disponível no GRASS. Com ele, foram criados diversos mapas *raster* a partir de expressões e funções aritméticas.

Com a linha selecionada (linha 1) transformada em uma linha *raster*, e com um mapa *raster* contendo um reticulado de células igual a 1, procedeu-se ao cálculo da DME utilizando o comando *r.cost*. Este comando mostra as células acumuladas entre diferentes mapas *raster*. Como um dos mapas *raster* era uma linha, esse comando calculou as distâncias acumulativas a partir dessa linha em relação a área do talhão que possuía células internas igual a um.

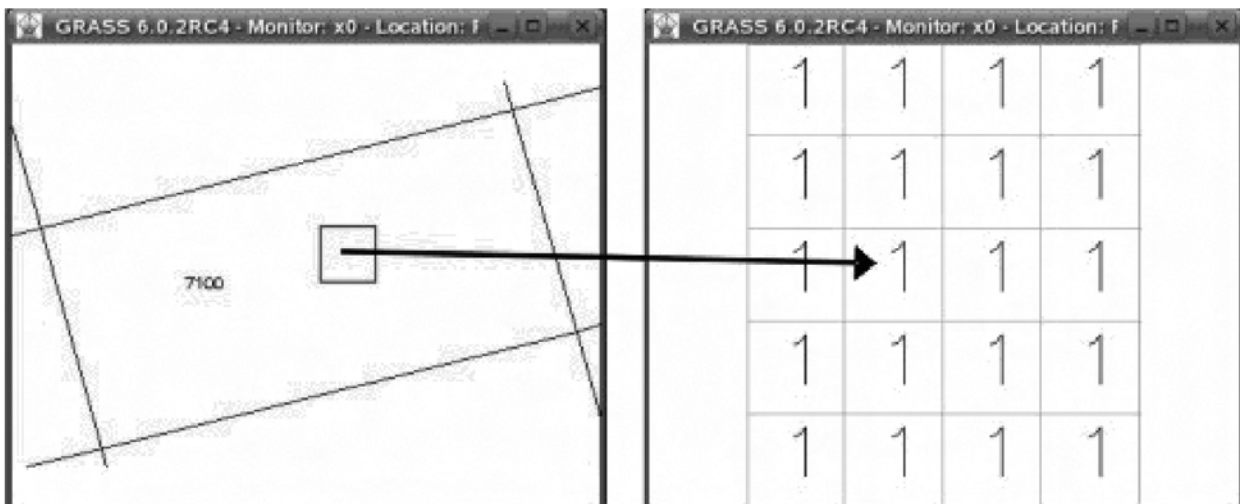


Figura 2. Demonstração do reticulado de células inserido sobre o talhão selecionado.
Figure 2. Demonstration of reticulated cells inserted in the selected stand.

Para se obter a estatística desse cálculo, utilizaram-se dois procedimentos: o primeiro foi criar uma “máscara” sobre a área selecionada, pois até então, o reticulado também englobava as áreas fora do talhão, e a intenção era somente a área interna. Sendo assim, o uso da “máscara” serviu para selecionar somente a área desejada; o segundo procedimento foi a utilização do comando *r.univar*, o qual forneceu variáveis estatísticas sobre o cálculo realizado, como as distâncias mínima, média e máxima, a partir da linha 1 (estrada que foi selecionada).

Observa-se na Figura 3 o resultado do cálculo realizado para uma estrada localizada na parte inferior do talhão. Um fato importante são as cores das células internas, neste caso, existe uma grade de cores em escala de cinza. Quanto mais próximo da linha selecionada, menor será o número interno da célula, conseqüentemente, menor será a distância em relação a esta linha. Percebe-se que a parte em cinza escuro é a mais distante da linha selecionada, em torno de 500 metros de distância, enquanto que as células em tons de cinza mais claro, localizadas no meio do talhão, possuem em torno de 223 metros de distância. Verifica-se que as células localizadas próximas da linha inferior mostram exatamente a aplicação do recurso da máscara, e que as células que estão fora da área do talhão possuem valores nulos (N).

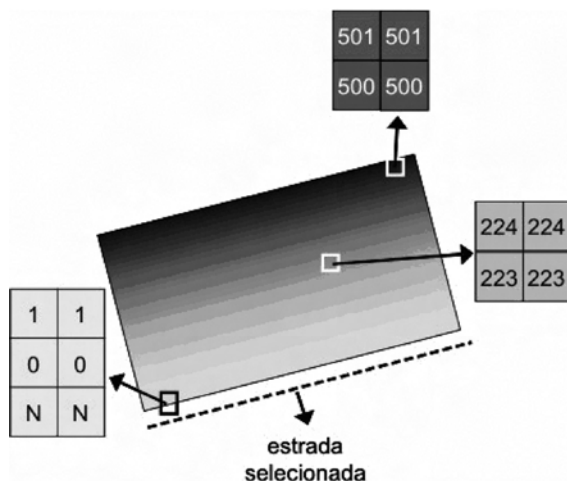


Figura 3. Resultado do cálculo acumulativo das distâncias a partir de uma linha (estrada) selecionada.
Figure 3. Results of the calculation of distances from a selected line (road).

Uma das variáveis importantes no deslocamento do *forwarder* é o sentido de alinhamento de plantio. Se o espaçamento for quadrangular, por exemplo, 3 x 3 metros, essa variável não é importante. Porém, se o espaçamento for retangular, por exemplo, 3 x 2 metros, entende-se que a máquina não deverá transitar sobre os tocos nas linhas de plantio por uma série de questões,

tais como: econômica, maior desgaste dos pneus por exemplo; ambientais, danos ao solo e aos tocos remanescentes, caso fossem conduzidos para uma segunda rotação; e, ergonômicas, pelo fato dos fortes solavancos que seriam gerados ao operador da máquina.

Assim, desenvolveu-se uma metodologia para inserir linhas teóricas de plantio sobre o mapa da fazenda.

Simulação das linhas teóricas de plantio (linhas de contenção)

Como a intenção era traçar várias linhas paralelas que representassem as linhas de plantio adotadas pela empresa, definiram-se as seguintes premissas: as distâncias das linhas teriam que ser maiores ou iguais às do mapa da fazenda; a distância entre as linhas seria de 30 metros; e, os ângulos definidos para o sentido de alinhamento teriam como base o Norte geográfico. Definiu-se o espaçamento de 30 metros entre as linhas, objetivando direcionar apenas o sentido de baldeio do *forwarder*, impedindo teoricamente que o mesmo viesse a transitar sobre as linhas de plantio.

Para se criar um direcionamento real do fluxo de saída da madeira baldeada pelo *forwarder*, respeitando o sentido de alinhamento, foi necessário transformar as células das linhas em células nulas. Dessa forma, criou-se uma barreira que impedia a somatória acumulativa das células entre as linhas de plantio, induzindo o comando *r.cost* a calcular somente as células que tivessem valor igual a 1. As células nulas foram chamadas de células de contenção. Com isso, criou-se uma barreira de contenção, onde as células de um lado da linha não tinham contato com as células do outro lado.

Com o mapa pronto, utilizou-se o comando *r.cost* para calcular as distâncias acumulativas a partir da linha inferior do mapa (Figura 4).

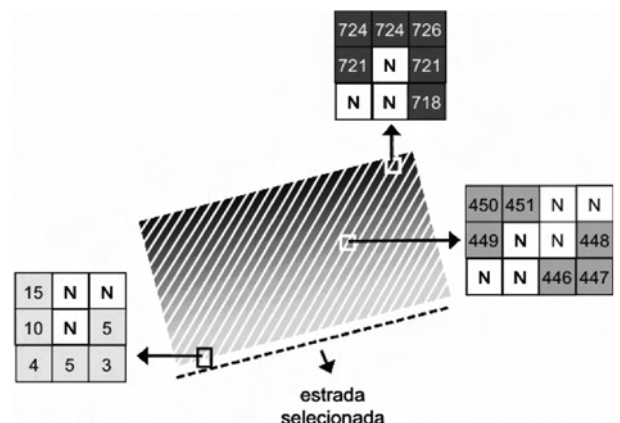


Figura 4. Talhão regular com as células acumulativas de distância.
Figure 4. Regular stand with cumulative cells distances.

Na Figura 4, nota-se o funcionamento das células de contenção, percebendo-se também, que nas bordaduras do talhão as células possuem contato, possibilitando o cálculo das distâncias acumulativas pelo comando *r.cost*. Assim, o *forwarder* está impedido teoricamente de transitar sobre as linhas de plantio.

Otimização da distância média de extração

O procedimento descrito anteriormente foi repetido para todas as estradas (linhas) que contornavam o talhão. Nesse caso, como o talhão é uma área regular e possui quatro (4) lados, esse cálculo foi repetido quatro (4) vezes, criando-se (quatro) 4 mapas diferentes. Cada um desses mapas diferia dos outros por possuírem células de distâncias diferentes. Inserindo um ponto fixo sobre uma célula no mesmo lugar nos quatro mapas, os valores da célula serão diferentes, sabendo que, quanto mais próximo da linha objeto de cálculo, menor será a distância. Concluiu-se que, sobrepondo os quatro (4) mapas, ter-se-á em uma mesma célula (quatro) 4 valores de distâncias. Sabendo disso, criou-se uma função no *r.mapcalc* para selecionar qual desses valores na célula possuía a menor distância em relação à linha de bordadura mais próxima, dessa forma, criou-se um novo mapa, chamado de mapa otimizado (Figura 5).

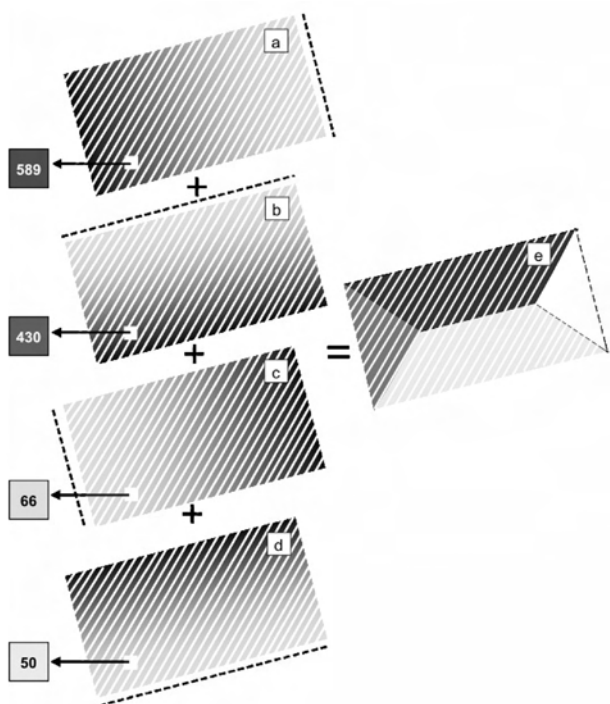


Figura 5. Otimização da distância média de extração.
Figure 5. Optimization of the average extraction distance.

Nota-se na Figura 5, que para um mesmo ponto têm-se distâncias diferentes. Como o

ponto está alocado mais próximo da linha inferior (mapa d), a célula possui um valor menor em relação às células dos outros mapas (a, b, c). Percebe-se também, que o mapa (a) possui a maior distância, pois a linha objeto de cálculo está localizada longe do ponto alocado.

No mapa (e), nota-se a otimização realizada pela função desenvolvida. Os quatro (4) tons de cinza demarcam com exatidão o limite ótimo entre as células em relação às linhas. Por exemplo, as células em cinza claro estão mais próximas da linha inferior do mapa, portanto, a madeira localizada nessa área deve ser extraída, teoricamente, para essa estrada.

Para se calcular as novas distâncias médias de extração do mapa otimizado (e), utilizou-se o comando *v.to.vect*, para separar cada parte do mapa, com isso, foram gerados quatro (4) novos mapas, ou seja, o talhão foi descompartimentalizado. Na seqüência, adotaram-se os mesmos passos já descritos anteriormente para se estimar a DME para cada um dos quatro novos mapas (Figura 6).

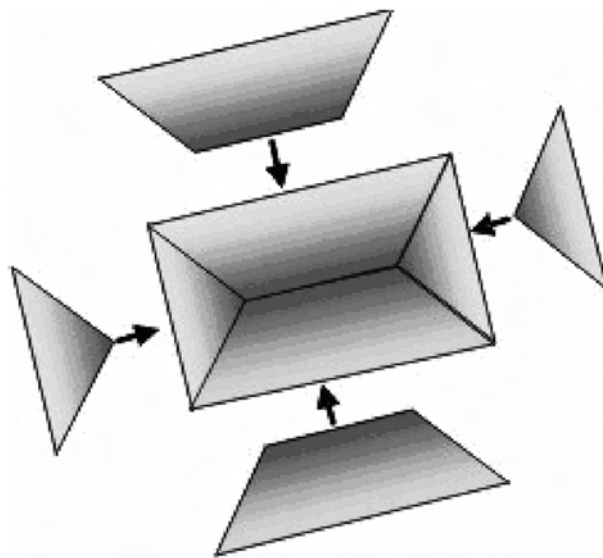


Figura 6. Talhão otimizado com os limites demarcados em formato vetor.

Figure 6. Optimized stand with the boundaries found in vector format.

Percebem-se na Figura 6 os sub-compartimentos do talhão sendo separados, nesse caso, o cálculo das células acumulativas foi realizado para cada compartimento, tomando-se como base a linha que forma a estrada em cada um dos mapas separados.

Com o auxílio do banco de dados, a média das DME foi calculada para cada um dos mapas criados. Como cada talhão selecionado possuía um tamanho, obviamente, a DME seria diferente para cada área, impossibilitando a comparação entre elas. Dessa forma, criou-se um coefi-

ciente, dividindo-se a DME pela raiz quadrada da área, eliminando a influência do fator área na distância média.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características das áreas selecionadas

Os talhões irregulares apresentaram um coeficiente 14,3 % menor que os talhões regulares (Figura 7).

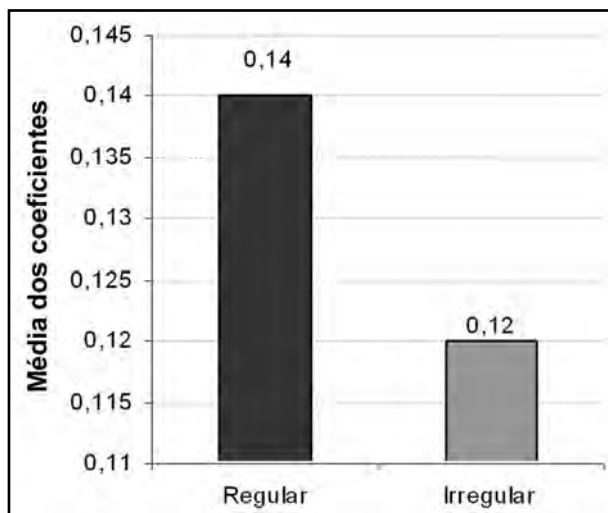


Figura 7. Média dos coeficientes gerados para os talhões regulares e irregulares.

Figure 7. Average of the coefficients generated for the regular and irregular stands.

Para entender a diferença entre a DME nos talhões, relacionou-se a média dos coeficientes, a média das áreas dos talhões e a densidade das estradas entre as duas áreas da fazenda (Figura 8). Assim, tornou-se visível que os talhões regulares possuem uma DME maior, por terem um tamanho médio de talhão 31,2 % maior que os talhões irregulares e uma densidade de estrada 14,2 % menor.

Segundo Malinovski (2006), a distância média de extração é inversamente proporcional à densidade de estradas, dessa forma, quanto maior for a densidade de estradas, menor será a DME, fato esse, comprovado por esta pesquisa.

Uma outra variável que pode influenciar na DME entre os talhões é a compartimentalização do talhão realizada pelo modelo otimizado. Essa divisão do talhão em pequenas sub-áreas pode formar polígonos com formatos distintos entre talhões regulares e irregulares. Por exemplo, um talhão regular que possua uma área igual a de um talhão irregular, provavelmente, terá uma DME diferente.

Na Figura 9, demarcou-se a DME nos diversos compartimentos gerados pelo modelo em um talhão regular e em outro irregular. Percebe-se

que o talhão irregular foi compartimentalizado em três partes. O polígono possui uma largura menor, uma altura maior, e um ângulo superior pequeno. Visualiza-se que a área das cores do talhão irregular é menor que a das mesmas cores do talhão regular, ou seja, apesar de um mesmo tamanho de área, o talhão irregular nesse exemplo possui uma DME menor. Por outro lado, se o talhão regular possuísse uma base maior e uma altura menor, certamente a DME seria menor ou semelhante à do talhão irregular. Desse modo, a DME também depende do formato e dimensão do polígono.

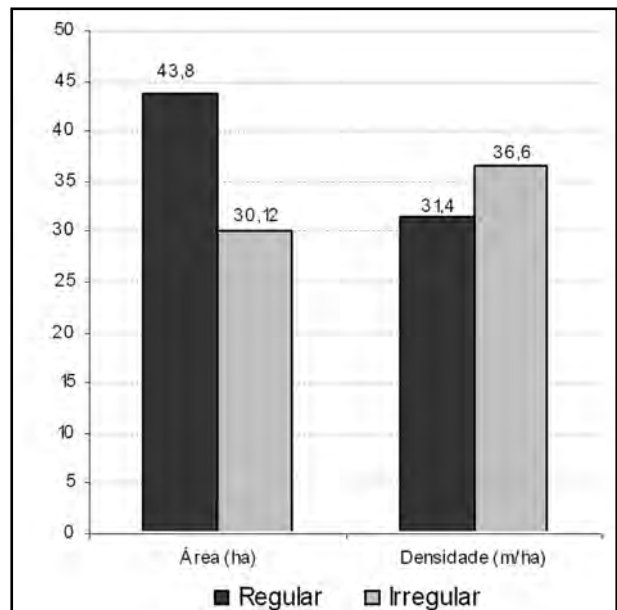


Figura 8. Média do tamanho dos talhões (ha) e da densidade das estradas $m\ ha^{-1}$.

Figure 8. Average size of stands (ha) and road densities ($m\ ha^{-1}$).

Potencialidade do modelo desenvolvido

Segundo Ribeiro (2002), os dados vetoriais são apropriados para mostrar com exatidão a localização, os limites e as formas de feições geográficas discretas. Sabendo-se disso, a delimitação otimizada do mapa *raster* (mapa otimizado) foi convertida em um mapa *vector*, mostrando com detalhes os limites ótimos de deslocamento do *forwarder* dentro do talhão.

Para exemplificar, observa-se na Figura 10, um talhão com formato irregular e com sentido das linhas de plantio com 30° em relação ao Norte. Notam-se os limites ótimos de deslocamento demarcados em formato *raster* (mapa B) e em formato *vector* (mapa C). Percebe-se que o mapa *vector* marca com exatidão os limites internos no talhão.

Os limites geográficos otimizados do mapa *vector* podem ser transformados em coordenadas UTM, as quais podem ser inseridas em um apa-

relho receptor GPS (Sistema de Posicionamento Global). Instalando-se um sistema com antena receptora de sinal de satélite no *forwarder*, seria possível, o operador da máquina deslocar-se com precisão até os limites ótimos calculados pelo modelo otimizado. Assim, realizar-se-ia uma colheita de precisão.

Segundo Ribeiro (2002), a integração dos dados, obtida via Sistemas de Posicionamento Global Diferencial com o SIG permite a manipulação e as análises necessárias para a geração de mapas digitais, que serão utilizados para orientação dos equipamentos de Tecnologia de Taxas Variáveis no campo. Essa tecnologia oferece a possibilidade de aplicação de insumos, de maneira a maximizar o lucro, e minimizar a aplicação de insumos.

Seixas *et al.* (2003), realizaram um estudo instalando um aparelho GPS, modelo Trimble Pro XL no *forwarder*, para determinar as rotas traçadas pelo mesmo. Segundo os autores, a aplicação do GPS para o acompanhamento do tráfego de máquinas de colheita de madeira mostrou-se promissora. Comentam também, que existem várias possibilidades de uso do GPS com relação à mecanização florestal e à colheita de madeira, como, por exemplo, o apoio ao operador de harvester com o uso de mapa digital e GPS, para movimentar-se dentro do talhão. Com isso o operador conseguiria visualizar os limites pré-definidos para o talhão, tais como: as divisas do talhão e as áreas de preservação permanente, por exemplo. Essa tecnologia poderia ser adaptada para o modelo otimizado desenvolvido.

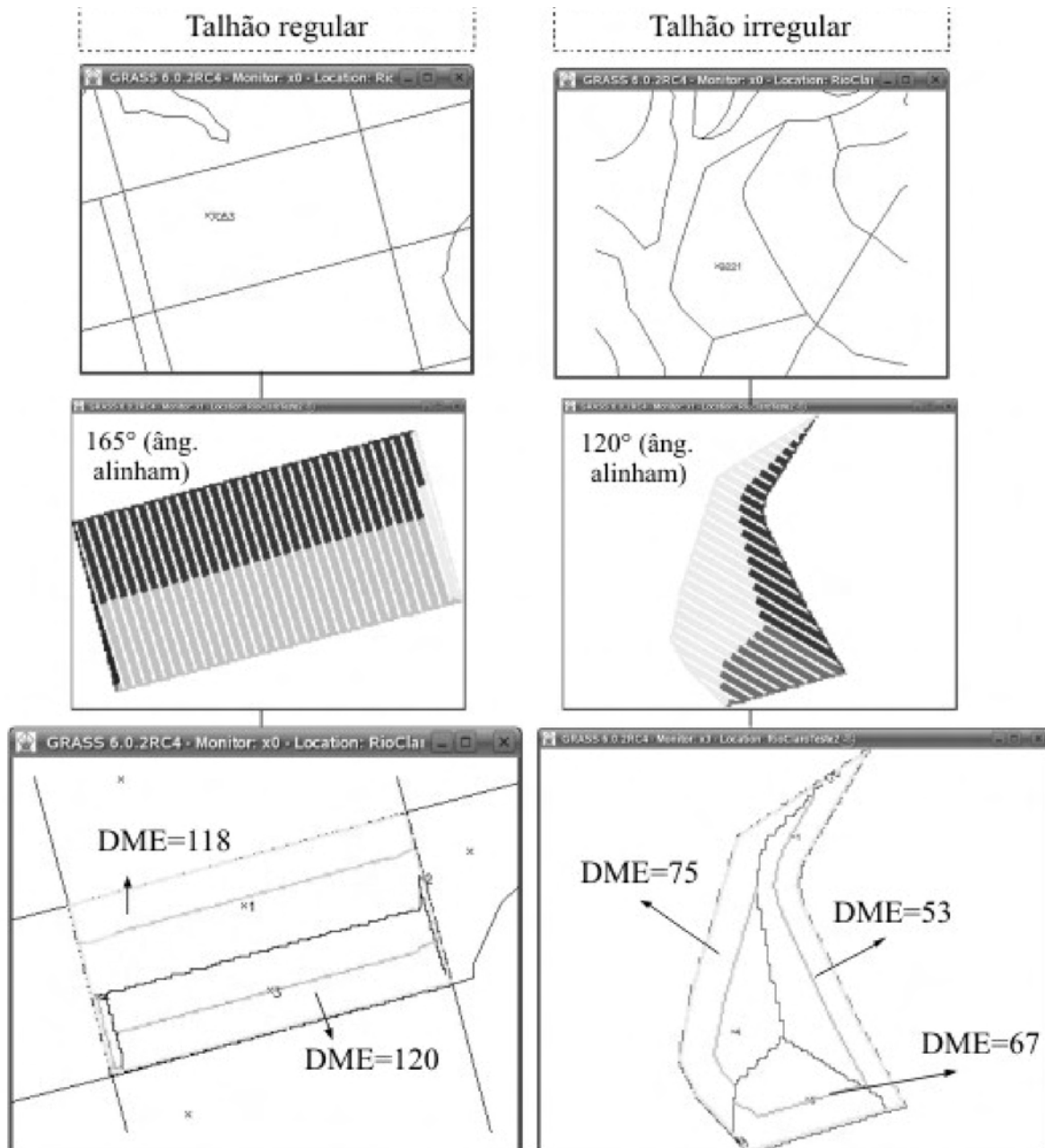


Figura 9. Distância média de extração demarcada em talhões regulares e irregulares utilizando o modelo otimizado.
Figure 9. Average skidding distance found in irregular and regular stands using the optimized model.

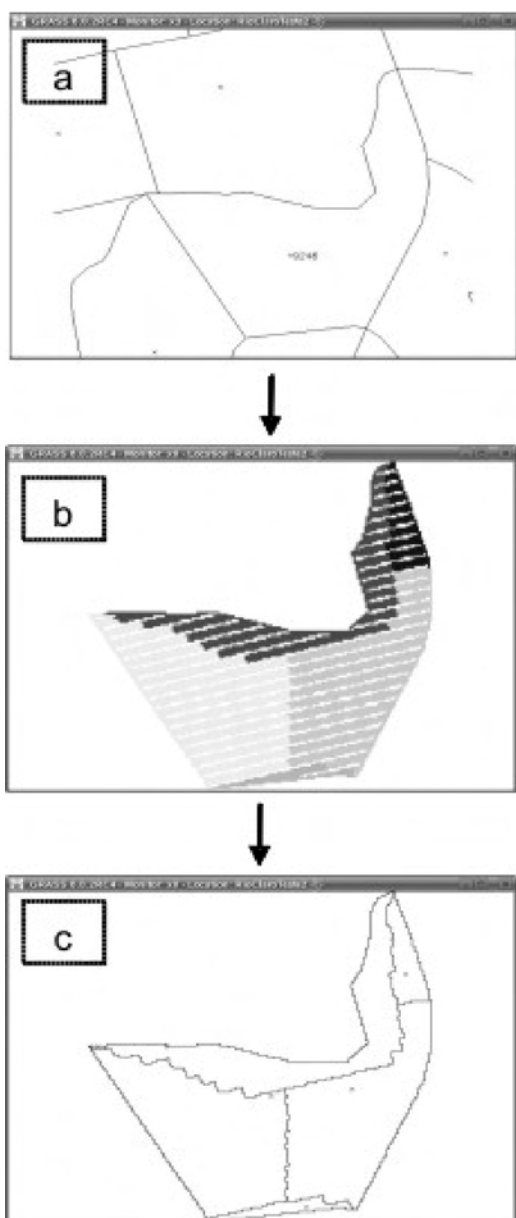


Figura 10. Delimitação da distância ótima para extração de madeira. Talhões em formato raster (b) e vector (c).

Figure 10. Optimum distance for wood extraction. Stands in raster (b) and vector(c) format.

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos nesse trabalho, pode-se concluir que:

- A metodologia de cálculo desenvolvida nessa pesquisa fornece informações importantes, que podem auxiliar no microplanejamento florestal operacional para as empresas florestais;
- Foi possível utilizar o *software* livre GRASS 6.0, através de uma seqüência de comandos, para estimar a distância média de extração de madeira com o *forwarder*, tanto em talhões com formato regular como irregular;
- O sentido do ângulo do alinhamento de plantio influenciou no cálculo da DME;

- Os talhões irregulares amostrados apresentaram menor distância média de extração em relação aos talhões regulares.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem o apoio recebido da equipe do Institut Für Bodenkunde Und Waldernährungslehre da Universidade de Freiburg na Alemanha e ao programa PROBRAL da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSAD, E.D.; SANO, E.E. **Sistema de Informações Geográficas: aplicações na Agricultura.** Brasília: EMBRAPA-CPAC, 1998.

BOHRER, C.B.A. Desenvolvimento de um Sistema de Informações Espaciais Ambientais e Sócio-Econômicas para a Amazônia Legal: SIG-AML. In: SEMINÁRIO DE ACOMPANHAMENTO NEMESIS 7., SEMINÁRIO DE ESTUDOS REGIONAIS E URBANOS 1., 2001, São Paulo. **Anais...** São Paulo: FEA / FGV / NEMESIS, 2001. p.10-19.

LOESCH, C.; HEIN, N. **Pesquisa operacional: fundamentos e modelos.** Blumenau: Editora da FURB, 1999. 269p.

MALINOVSKI, R.A. **Otimização da distância de extração de madeira com *Forwarder*.** 2006. 94p. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências Agrárias, Botucatu, SP, 2006.

NETELER, M.E.; MITASOVA, H. **Open source GIS: a GRASS GIS approach.** Boston: Kluwer Academic, 2002. 434p.

RIBEIRO, C.A.A.S. Floresta de precisão. In: MACHADO, C.C (Org). **Colheita florestal.** Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 2002. 468p.

SEIXAS, F; KOURY, C.G.G.; RODRIGUES, A.F. Determinação da área impactada pelo tráfego de *forwarder* com o uso do GPS. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.63, p.178-187, 2003.

Recebido em 29/10/2007

Aceito para publicação em 24/09/2008

