

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DOIS CRITÉRIOS TÉCNICOS NA DETERMINAÇÃO DA ROTA ÓTIMA DE TRANSPORTE COM AUXÍLIO DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Paulo Costa de Oliveira Filho¹

Eduardo da Silva Lopes²

Attilio Antonio Disperati³

Wagner Magraf⁴

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi fazer uma análise comparativa entre os critérios desempenho operacional do veículo e a menor distância na determinação da rota ótima no transporte florestal rodoviário, com auxílio de um sistema de informações geográficas. Inicialmente foi realizada a vetorização e a classificação de uma rede de estradas em uma empresa florestal. Em seguida, com auxílio do software Spring, versão 4.0, realizaram-se oito simulações de rota ótima de transporte, partindo-se de diferentes pontos locados ao acaso na área de estudo e com um único destino. Os resultados indicaram que não houve diferença significativa de produtividade e custo de transporte entre os critérios analisados. Por outro lado, os resultados mostraram que o desempenho operacional foi o critério mais eficiente na determinação da rota ótima de transporte, comprovando a teoria de que nem sempre a menor distância é a mais econômica.

Palavras-chave: transporte florestal; sistema de informações geográficas; rota ótima; custos

¹ Professor do Depto. de Eng. Florestal - UNICENTRO, Irati/PR. E-mail: paulocostafh@irati.unicentro.br

² Professor do Depto. de Eng. Florestal - UNICENTRO, Irati/PR. E-mail: eslopes@irati.unicentro.br

³ Professores do Depto. de Eng. Florestal - UNICENTRO, Irati/PR.

⁴ Acadêmico de Engenharia Florestal - UNICENTRO, Irati/PR.

ABSTRACT

The objective of this work was to make a comparative analysis between the criteria of the operational performance of the vehicle and the shorter distance in the determination of a route of high quality for the transportation in forests, with the aid of a geographical information system. Initially, it was carried out the vectorization and the classification of a net of roads in a forest company. After that, with the aid of the software Spring, version 4.0, it was made eight simulations of routes of high quality for transportation, taking into account different points randomly chosen in the area of study and with only a destination. The results indicated that there was not a significant difference in the productivity and in the cost of transportation between the criteria analyzed. On the other hand, the results showed that the operational performance was the most efficient criterion in the determination of routes of high quality for transportation, corroborating the theory that the shorter distance does not mean that it is the most economic one.

Key words: forest transportation; geographical information system; routes of high quality; costs

INTRODUÇÃO

No Brasil, o transporte rodoviário é o meio predominante devido à extensa malha rodoviária existente. Segundo Geipot (apud MACHADO e PEREIRA, 2003), a malha rodoviária pública brasileira possui uma extensão de 1,89 milhão de quilômetros, dos quais apenas 9% são pavimentados, e destes, 78% são classificados como deficiente ou ruim. Em média, 70% do transporte de cargas é realizado pelo modo rodoviário, enquanto nos países desenvolvidos a sua participação é de apenas 30%. De acordo com os mesmos autores, as condições precárias da malha rodoviária contribuem para o aumento de 58% no consumo de combustível, 28% nos custos de manutenção, 100% nos tempos de viagem e 50% nos acidentes de trânsito.

No setor florestal, o transporte de madeira é realizado quase que exclusivamente pelo modo rodoviário, devido à extensa malha existente, oferta de veículos com diferentes capacidades de carga, menor preço inicial, flexibilidade e possibilidade de escolha de rotas (MACHADO et al., 2000). Segundo Seixas (2001), trata-se de um setor que vem sofrendo pressão de aumento dos custos em virtude da instalação de postos de pedágio nas rodovias, fiscalização mais rigorosa com relação à “Lei da Balança” e reajustes constantes nos preços dos combustíveis, chegando a representar, em média, de 30 a 70% dos custos totais da madeira posta-fábrica, conforme a distância.

Machado et al. (2000) relataram que existem diversos fatores relacionados às estradas que influenciam o desempenho dos veículos e os custos de transporte florestal rodoviário, dentre os quais, citam-se: padrão de construção e manutenção, material da superfície de rolamento, geometrias horizontal e vertical, densidade de tráfego e largura.

Uma das formas de otimização do transporte florestal rodoviário tem sido o uso de ferramentas de planejamento, como os Sistemas de Informação Geográfica. O uso desta tecnologia de informação espacial associada a variáveis como geometria horizontal, geometria vertical, tipo de revestimento e largura da estrada, etc, possibilita maior eficiência no processo de tomada de decisão em relação à variável da menor distância, usualmente praticado.

Bardal (1994) utilizou um SIG para elaborar projetos de estradas, reformulando os traçados existentes, de forma a otimizar o transporte de madeira contemplando variáveis técnicas e econômicas. Já Cornacchioni (1994) determinou o melhor traçado das estradas para a retirada de madeira através de análises altimétricas e de modelagem do terreno. Motta et al. (1996) demonstraram a viabilidade do uso dos sistemas de informações geográficas e da distância virtual na determinação da rota ideal de transporte florestal rodoviário. Nesta determinação, os autores utilizaram operadores de distância, gerando diferentes cenários para a malha viária, constando-se diferenças entre rotas e veículos distintos no que concerne à otimização do transporte florestal. Venturi (2000) utilizou o SIG para planejar a manutenção da malha rodoviária, enquanto Weber et al. (2003) utilizaram um sistema de informações geográficas para a avaliação de alternativas de traçado de uma estrada a ser pavimentada, considerando o uso do solo e altimetria do terreno como subsídios para simulações e tomada de decisão sobre as melhores alternativas.

Ferrari (1997) acredita no uso de SIG's mais leves e com objetivos específicos, direcionados para um determinado objetivo, não tão amplo. Baseado nisto, procedeu-se a organização de um banco de dados espacial orientado ao objeto, específico para realizar as simulações de caminho ótimo (roteamento) através das ferramentas de rede do sistema.

Este trabalho teve como objetivo fazer uma análise comparativa entre os critérios do desempenho operacional do veículo de transporte e da menor distância para a determinação da rota ótima de transporte florestal rodoviário.

MATERIAL E MÉTODOS

PREPARAÇÃO DOS DADOS GRÁFICOS

Em um mosaico não controlado de duas fotos aéreas métricas pancromáticas de uma área florestal, na escala 1:25.000, procedeu-se a digitalização das estradas florestais

e a sua inserção no modelo de dados espacial do sistema de informações (Figura 1). Para tal, foi utilizado o *software* SPRING (Sistema de Processamento de Imagens Georreferenciadas) versão 4.0.

Figura 1. Mosaico fotográfico da área florestal e da malha viária utilizada no estudo



De posse das fotografias aéreas realizou-se a vetorização da rede de estradas, formando um plano de informação vetorial, classificado como categoria do tipo rede. Em seguida foi realizada a preparação do arquivo vetorial da rede através da edição de linhas e a criação de nós ou ajustamento do modelo arco-nó, o qual resultou em uma malha de arcos e nós interligados, de forma a permitir a realização de análises e simulações de roteamento.

CLASSIFICAÇÃO DE ESTRADAS FLORESTAIS

Em seguida, com auxílio de fotografias aéreas e da rede de estradas vetorizada, realizou-se de forma subjetiva, a estratificação das estradas da área de estudo em três categorias: Principal, Secundária e Terciária, como visto na Figura 2.

A seguir, utilizando-se da classificação de estradas elaborada por Lopes et al. (2002), o qual estabeleceu 20 classes de estradas em função da velocidade média de um veículo de transporte, realizou-se o agrupamento para cada categoria estratificada com as classes de estradas possíveis de serem encontradas na área de estudo, conforme mostrado na Tabela 1.

Figura 2. Malha viária evidenciando as categorias de estradas estabelecidas

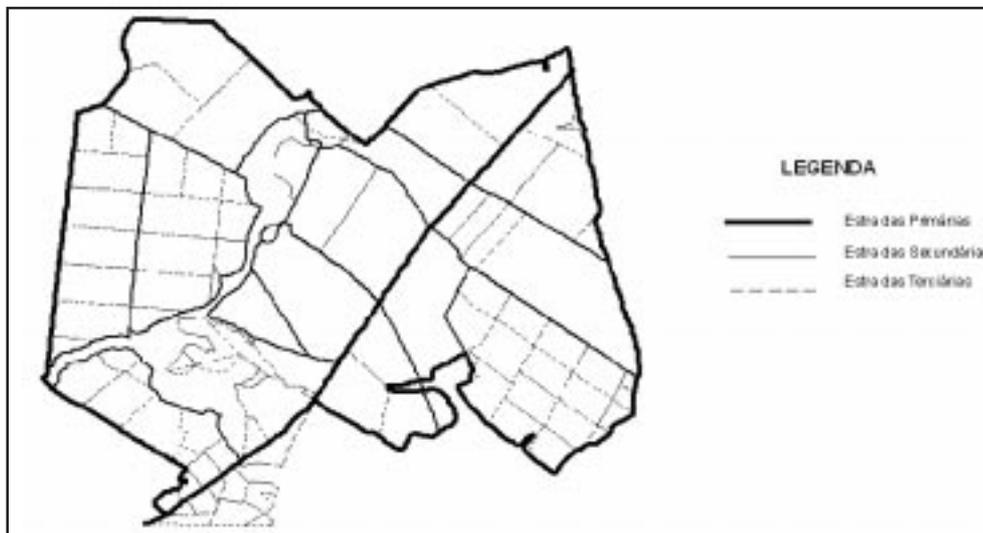


Tabela 1. Categorias e classes de estradas florestais encontradas na área de estudo, com os respectivos parâmetros de qualidade e desempenho do veículo de transporte

| Categoria estrada | Classe | Parâmetros de qualidade | | Velocidade (km/hora) |
|-------------------|--------|-------------------------|------------------------------------|----------------------|
| | | GH | Largura/Superfície pista rolamento | |
| Principal | 5 | Excelente | Pista dupla revestimento primário | 41,0 |
| | 7 | Boa | Pista dupla revestimento primário | 38,6 |
| | 8 | Média | Pista dupla revestimento primário | 37,0 |
| | 10 | Ruim | Pista dupla revestimento primário | 35,6 |
| Secundária | 12 | Excelente | Pista dupla sem revestimento | 33,0 |
| | 14 | Boa | Pista dupla sem revestimento | 30,3 |
| | 16 | Média | Pista dupla sem revestimento | 28,7 |
| | 17 | Ruim | Pista dupla sem revestimento | 27,4 |
| Terciária | 15 | Excelente | Pista simples sem revestimento | 29,0 |
| | 18 | Boa | Pista simples sem revestimento | 26,6 |
| | 19 | Média | Pista simples sem revestimento | 24,3 |
| | 20 | Ruim | Pista simples sem revestimento | 20,9 |

Fonte: Adaptado de Lopes et al. (2002).

ESTRUTURAÇÃO DO MODELO DE DADOS NO SIG

Após as edições e a definição das categorias de estradas da área de estudo, foi elaborado um modelo de dados orientado ao objeto para a utilização das ferramentas de rede, associando os arcos com os dados da Tabela 1, que foram estruturados no sistema como dados alfanuméricos não espaciais do tipo atributo.

Para cada objeto ou entidade arco-nó foi associado um atributo referente ao critério classe de estradas inerente ao desempenho operacional (velocidade média) do veículo de transporte e ao critério da menor distância, associada ao comprimento das linhas. Tal procedimento foi realizado com o intuito de permitir uma análise comparativa para a determinação da rota ótima de transporte em função destes critérios.

DETERMINAÇÃO DA ROTA ÓTIMA DE TRANSPORTE

Foram realizadas oito simulações, partindo-se de diferentes pontos localizados ao acaso na área de estudo e chegando-se sempre ao mesmo destino (indústria), de forma a obter a rota ótima de transporte através dos critérios:

- a) rota ótima de transporte associada ao desempenho operacional do veículo de transporte;
- b) rota ótima de transporte associada à menor distância.

Em cada simulação, dentro de cada critério analisado, determinou-se a distância média do percurso, a velocidade média do veículo de transporte, o tempo médio de viagem no percurso e o tempo total do ciclo operacional do veículo de transporte. Este último item foi estimado com base no tempo de viagem carregado e vazio, em função da velocidade média do veículo e pelas operações de carregamento e descarregamento, cujo tempo médio considerado foi de 45 minutos.

Foram ainda estimados os custos do transporte rodoviário por ciclo operacional, por quilômetro rodado, por tonelada transportada e por tonelada transportada por quilômetro. Para a estimativa destes custos, considerou-se, com base na literatura especializada, um custo horário do veículo de transporte de R\$80,00/hora.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 ilustra a rota ótima de transporte obtida em três simulações realizadas na área de estudo para os critérios menor tempo de viagem e menor distância.

A Tabela 2 mostra os resultados obtidos em relação à distância média do percurso, a velocidade média do veículo, o tempo médio de viagem e o tempo total do ciclo operacional do veículo nas oito simulações realizadas.

Como pode ser observado, a determinação da rota ótima de transporte em função do critério do desempenho operacional permitiu ao veículo de transporte desenvolver uma maior velocidade média durante os percursos, ou seja, 37,9 km/h, em comparação ao critério da menor distância, que permitiu uma velocidade média de 37,3 km. Apesar do melhor desempenho operacional do veículo no primeiro critério, o tempo total médio do ciclo operacional (1,51 h) foi superior em relação ao critério da menor distância (1,46 h), fato este devido à maior distância média de percurso (14,4 km) nestas condições.

Figura 3. Simulação de transporte em diferentes rotas

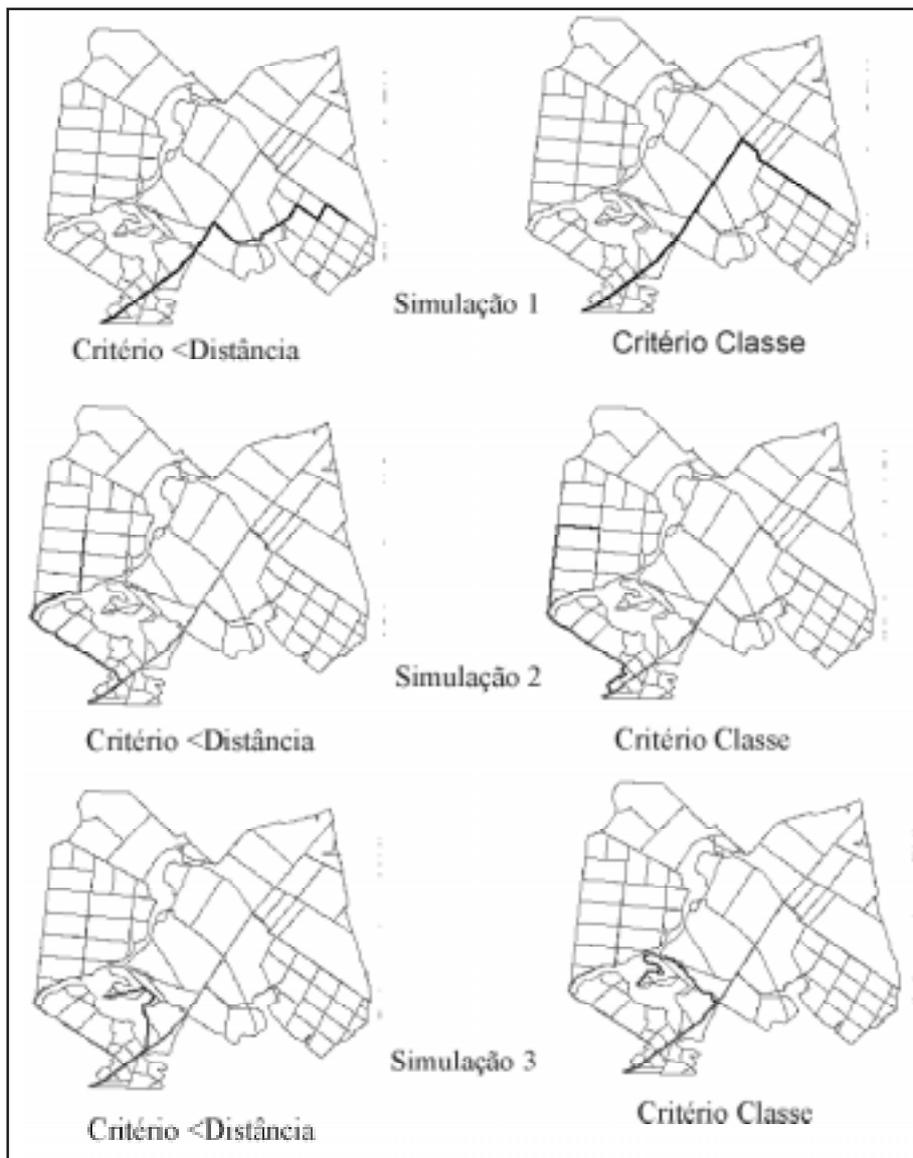


Tabela 2. Resultados de oito simulações de percurso entre os talhões e a indústria

| Simulação | | | Critério | | | | | | | |
|--------------|--------------|-------------|------------------------|---------------------|---------------|-----------------------|-----------------|---------------------|---------------|-----------------------|
| Rota | Ponto início | Ponto final | Desempenho operacional | | | | Menor distância | | | |
| | | | Distância (km) | Veloc. média (km/h) | Tempo ida (h) | Tempo total ciclo (h) | Distância (km) | Veloc. média (km/h) | Tempo ida (h) | Tempo total ciclo (h) |
| 1 | 80 | 160 | 14,4 | 38,6 | 0,37 | 1,49 | 13,6 | 36,3 | 0,37 | 1,49 |
| 2 | 31 | 160 | 11,8 | 37,7 | 0,31 | 1,37 | 11,1 | 35,8 | 0,31 | 1,37 |
| 3 | 150 | 160 | 13,3 | 37,2 | 0,36 | 1,47 | 11,0 | 37,0 | 0,30 | 1,35 |
| 4 | 152 | 160 | 17,2 | 37,3 | 0,46 | 1,67 | 13,5 | 35,2 | 0,38 | 1,51 |
| 5 | 57 | 160 | 13,8 | 40,0 | 0,35 | 1,45 | 13,8 | 40,0 | 0,34 | 1,43 |
| 6 | 14 | 160 | 14,1 | 34,9 | 0,41 | 1,57 | 13,8 | 39,7 | 0,35 | 1,45 |
| 7 | 143 | 160 | 13,9 | 39,6 | 0,35 | 1,45 | 13,9 | 39,6 | 0,35 | 1,45 |
| 8 | 38 | 160 | 16,5 | 37,7 | 0,44 | 1,63 | 15,1 | 34,6 | 0,44 | 1,63 |
| Média | | | 14,4 | 37,9 | 0,38 | 1,51 | 13,2 | 37,3 | 0,36 | 1,46 |

Apesar de os resultados de velocidade média e tempo total do ciclo obtido entre os critérios analisados não apresentarem diferenças significativas, pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade (ANOVA, $p > 0,05$), os resultados mostraram que a determinação da rota ótima de transporte em função do desempenho operacional do veículo pode ser o critério mais eficiente a ser adotado pelas empresas. Tal fato pode ser explicado em relação aos custos de transporte obtidos nas duas situações, pois nem sempre a menor distância é a distância mais econômica, como apresentado na Tabela 3.

Como pode ser visto, apesar do maior custo médio por tonelada transportada (R\$ 6,05/t) para o critério do desempenho operacional, o custo médio por quilômetro foi ligeiramente inferior (R\$ 0,21/t/km). No entanto, apesar de não haver diferença significativa entre os critérios pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade, espera-se uma maior eficiência e redução de custos à medida que se aumenta a distância de transporte.

Outro aspecto importante a ser considerado é que a determinação da rota ótima de transporte em função do critério do desempenho operacional do veículo poderá propiciar maiores ganhos em termos de redução de custos, principalmente nas longas distâncias. Tal fato pode ser explicado em função de que nestas condições, o veículo poderá desenvolver uma velocidade média mais homogênea ao longo do percurso, acarretando inicialmente, na redução da necessidade de mudanças constantes de marcha, mantendo uma rotação do motor mais homogênea, e, conseqüentemente, redução no consumo de combustível, quebras e desgastes excessivos de peças e componentes, como freios, embreagens, pneus e transmissão.

Tabela 3. Resultados dos custos de transporte para as oito simulações realizadas

| Simulação | | | Critério | | | | | | | |
|--------------|--------------|-------------|------------------------|----------------|---------------|------------------|-------------------|----------------|---------------|------------------|
| Rota | Ponto início | Ponto final | Desempenho operacional | | | | Menor distância | | | |
| | | | Custo (R\$/ciclo) | Custo (R\$/km) | Custo (R\$/t) | Custo (R\$/t/km) | Custo (R\$/ciclo) | Custo (R\$/km) | Custo (R\$/t) | Custo (R\$/t/km) |
| 1 | 80 | 160 | 119,20 | 4,14 | 5,96 | 0,21 | 119,20 | 4,38 | 5,96 | 0,22 |
| 2 | 31 | 160 | 109,60 | 4,64 | 5,48 | 0,23 | 109,60 | 4,94 | 5,78 | 0,25 |
| 3 | 150 | 160 | 117,60 | 4,42 | 5,88 | 0,22 | 108,00 | 4,91 | 5,40 | 0,25 |
| 4 | 152 | 160 | 133,60 | 3,88 | 6,68 | 0,19 | 120,80 | 4,47 | 6,04 | 0,22 |
| 5 | 57 | 160 | 116,00 | 4,20 | 5,80 | 0,21 | 114,40 | 4,14 | 5,72 | 0,21 |
| 6 | 14 | 160 | 125,60 | 4,45 | 6,28 | 0,22 | 116,00 | 4,20 | 5,80 | 0,21 |
| 7 | 143 | 160 | 116,00 | 4,17 | 5,80 | 0,21 | 116,00 | 4,17 | 5,80 | 0,21 |
| 8 | 38 | 160 | 130,40 | 3,95 | 6,52 | 0,20 | 130,40 | 4,32 | 6,52 | 0,22 |
| Média | | | 121,00 | 4,21 | 6,05 | 0,21 | 116,80 | 4,43 | 5,84 | 0,22 |

Segundo Silveira (2003), o motor de um veículo terá, nestas condições, mais força e menor consumo de combustível quando trabalhar em rotações médias. Além disso, segundo Volvo, citado pelo mesmo autor, estudos comprovam que o consumo de combustível poderá ser reduzido em até 25%, simplesmente se o veículo for conduzido de forma mais suave, o que poderá ser obtido em rotas que permitem ao veículo de transporte um melhor desempenho operacional e com velocidades mais constantes.

CONCLUSÕES

O software SPRING revelou ser uma ferramenta com grande potencial no auxílio à tomada de decisão no transporte florestal rodoviário, principalmente na determinação da rota ótima de transporte.

O modelo de dados orientado ao objeto desenvolvido, especialmente para utilizar as ferramentas de rede, aplicadas ao transporte rodoviário florestal, mostrou-se totalmente adequado e bastante funcional, principalmente se utilizarmos um *software* de domínio público que dispensa compromisso com maiores investimentos.

Os resultados de desempenho obtidos nas simulações utilizando-se os critérios para a obtenção da rota ótima de transporte não apresentaram diferenças significativas pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade, dado ao fato de as distâncias serem relativamente curtas. Todavia, a maior frequência de viagens e os maiores percursos tenderão a aumentar significativamente a diferença nos custos.

A pesquisa comprovou que a escolha da rota ótima de transporte em função do critério do menor tempo de viagem é muito eficiente, comprovando a teoria de que nem sempre a menor distância é a mais econômica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARDDAL, S. M. A utilização do SIG na Klabin. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADOS À ENGENHARIA FLORESTAL, 1. *Anais...* Curitiba, 1994. p. 83-92.

CORNACCHIONI, L. A. B. Operacionalidade do GIS na CIA Suzano de Papel e Celulose. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADOS À ENGENHARIA FLORESTAL, 1. *Anais...* Curitiba, 1994. p. 119-123.

FERRARI, R. *Viagem ao SIG: planejamento estratégico, viabilização, implantação e gerenciamento de sistemas de informação geográfica*. Curitiba: Sagres, 1997. 174p.

LOPES, E. S.; MACHADO, C. C.; SOUZA, A. P. Classificação e custos de estradas em florestas plantadas na região Sudeste do Brasil. *Revista Árvore*. Viçosa-MG, v.26, n.3, p. 329-338, 2002.

MACHADO, C. C.; LOPES, E. S., BIRRO, M. H. *Elementos básicos do transporte florestal rodoviário*. Viçosa: UFV, 2000. 167 p. il.

MACHADO, C. C., PEREIRA, R. S. Qualidade da rodovia versus desempenho e custo do transporte rodoviário de madeira. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 6. 2003, Belo Horizonte, *Anais...* Belo Horizonte, MG: UFV/SIF, 2003. p. 132-149.

MOTTA, L. P. et. al. Utilização do sistema de informações geográficas e da distância virtual na otimização do transporte florestal rodoviário. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 20, n. 3, p. 381-394, 1996.

SEIXAS, F. Novas tecnologias no transporte rodoviário de madeira. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 5. 2001, Porto Seguro, *Anais...* Porto Seguro, BA: UFV/SIF, 2001. p. 1-27

SILVEIRA, G. L. *Monitoramento do consumo de combustível de veículos de transporte rodoviário de madeira utilizando computador de bordo*. Viçosa, MG: UFV, 2003. 55 p.. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

VENTURI, N. L. *GIS aplicado na área florestal*. ANAIS DO IV SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADOS À ENGENHARIA FLORESTAL. Curitiba, 2000. p. 143-157.

WEBER, E. et al Análise de alternativas de traçado de uma estrada utilizando rotinas de apoio à decisão em SIG. Em <<http://www.delmonio.ecologia.ufrgs.br/idrisi/artigos/estrada.pdf>> Acesso em: 22 set.2003.