

ANGELO CASALI DE MORAES

**CLASSIFICAÇÃO DE ESTRADAS FLORESTAIS E DETERMINAÇÃO DE
ROTAS DE TRANSPORTE UTILIZANDO SISTEMA DE INFORMAÇÃO
GEOGRÁFICA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2014

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

M827c
2014
Moraes, Angelo Casali de, 1983-
Classificação de estradas florestais e determinação de rotas
de transporte utilizando Sistema de Informação Geográfica /
Angelo Casali de Moraes. – Viçosa, MG, 2014.
xiv, 49f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Luciano José Minette.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.46-49.

1. Madeira - Transporte. 2. Economia florestal. 3. Produção
Florestal. 4. Geotecnologia. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Engenharia Florestal. Programa de
Pós-graduação em Ciência Florestal. II. Título.

CDD 22. ed. 634.93

ANGELO CASALI DE MORAES

**CLASSIFICAÇÃO DE ESTRADAS FLORESTAIS E DETERMINAÇÃO DE
ROTAS DE TRANSPORTE UTILIZANDO SISTEMA DE INFORMAÇÃO
GEOGRÁFICA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 05 de Dezembro de 2014.

Nilton César Fiedler

Elton da Silva Leite

Amaury Paulo de Souza
(Coorientador)

Haroldo Carlos Fernandes

Luciano José Minette
(Orientador)

À minha mãe Luzia Helena Casali de Moraes e ao meu pai
Angelo Roberto de Moraes, Cristiane Aleixo Prata, irmãos, demais familiares,
amigos e profissionais que me apoiaram durante esse longo caminho

”Você nasceu no lar que precisava nascer, vestiu o corpo físico que merecia, mora onde melhor Deus te proporcionou, de acordo com o teu adiantamento. Você possui os recursos financeiros coerentes com tuas necessidades... nem mais, nem menos, mas o justo para as tuas lutas terrenas. Seu ambiente de trabalho é o que você elegeu espontaneamente para a sua realização. Teus parentes e amigos são as almas que você mesmo atraiu, com tua própria afinidade. Portanto, teu destino está constantemente sob teu controle. Você escolhe, recolhe, elege, atrai, busca, expulsa, modifica tudo aquilo que te rodeia a existência. Teus pensamentos e vontades são a chave de teus atos e atitudes. São as fontes de atração e repulsão na jornada da tua vivência. Não reclame, nem se faça de vítima. Antes de tudo, analisa e observa. A mudança está em tuas mãos. Re programe tua meta, busca o bem e você viverá melhor. Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo, qualquer um pode começar agora e fazer um novo fim.”

FRANCISCO CÂNDIDO XAVIER

AGRADECIMENTOS

À Deus, por tudo.

Ao meu orientador Professor Luciano José Minette, pela amizade, companheirismo e por acreditar no desenvolvimento do trabalho.

Ao Professor Amaury Paulo de Souza, por permitir que eu me tornasse pós graduando e por me orientar e cororientar durante toda a minha trajetória acadêmica.

Aos Professores Haroldo Carlos Fernandes, Elton da Silva Leite e Nilton César Fiedler por aceitarem o convite e participarem da banca de defesa.

Ao Fabrício Silva, que teve um papel fundamental para o desenvolvimento desse trabalho com apoio durante todo o tempo.

Aos meus pais, Angelo Roberto e Luzia Helena, meus irmãos Aurélio e Augusto. Meus tios Albino, José Clévio e Vicente. Aos meus primos Cléber, Glauce, Kelly e Cássio.

Aos amigos de laboratório de Ergonomia e amigos de Viçosa.

A minha namorada e queridíssima companheira Cristiane.

Ao imenso apoio da FAPEMIG, por permitir o desenvolvimento deste trabalho.

A CAPES pela bolsa de estudos.

A Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Florestal por todos os anos de aprendizado.

A todas as pessoas que, porventura, eu tenha esquecido, mas que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho, pela valiosa contribuição.

BIOGRAFIA

ANGELO CASALI DE MORAES, filho de Angelo Roberto de Moraes e Luzia Helena Casali de Moraes, nasceu em 24 de setembro de 1983, em Juiz de Fora, Minas Gerais.

Em 2003, iniciou o Curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, graduando-se em janeiro de 2010.

Em 2006, também foi estudante visitante da University of Minnesota Crookston – no “Fall Semester”.

Em 2012, obteve o título de Mestre em Ciência Florestal pela Universidade Federal de Viçosa.

Em 2014, obteve o título de Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade Federal de Viçosa.

Em Março de 2012, ingressou no Programa de Pós-graduação, em nível de Doutorado, em Ciência Florestal, na área de Manejo, da Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, submetendo-se à defesa de tese em dezembro de 2014.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	x
RESUMO.....	xi
ABSTRACT	xiii
1 Introdução.....	1
2 OBJETIVOS.....	3
2.1 <i>Objetivo Geral:</i>	3
2.2 <i>Objetivos específicos:</i>	3
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	4
3.1 <i>Geoprocessamento</i>	4
3.2 <i>O software ArcGIS</i>	6
3.3 <i>Sistemas de Informações Geográficas no Setor Florestal</i>	7
3.4 <i>Transporte de Madeira</i>	7
3.5 <i>Estradas Florestais</i>	8
3.6 <i>Classificação das Estradas Florestais</i>	9
3.6.1 <i>Geometria Vertical</i>	10
3.6.2 <i>Geometria horizontal</i>	10
3.6.3 <i>Superfície de Rolamento:</i>	11
3.6.4 <i>Largura:</i>	12

3.7	<i>Velocidade do veículo de transporte:</i>	12
3.8	<i>Análise em rede e rotas de transporte</i>	13
4	MATERIAL E MÉTODOS	14
4.1	<i>Caracterização da Região de estudo</i>	14
4.2	<i>Os softwares utilizados:</i>	15
4.3	<i>A base de dados</i>	15
4.4	<i>O tratamento dos dados espaciais</i>	16
4.5	<i>Classificação da rede viária florestal</i>	18
4.5.1	<i>Geometria horizontal</i>	18
4.5.2	<i>Geometria vertical ou greide</i>	20
4.5.3	<i>Tipo de Revestimento</i>	21
4.5.3.1	<i>Estradas pavimentadas</i>	21
4.5.3.2	<i>Estradas com revestimento primário</i>	21
4.5.3.3	<i>Estradas sem revestimento</i>	22
4.5.4	<i>Largura</i>	23
4.5.5	<i>Velocidade do Veículo de Transporte</i>	23
4.5.6	<i>Determinação de rotas de transporte</i>	24
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5.1	<i>Classificação da rede viária florestal</i>	26
5.1.1	<i>Geometria horizontal</i>	26
5.1.2	<i>Geometria vertical ou greide</i>	28
5.1.3	<i>Tipo de Revestimento</i>	31
5.1.4	<i>Largura</i>	34
5.2	<i>Estimativa da Velocidade do veículo de Transporte</i>	35
5.3	<i>Determinação das rotas de transporte</i>	37
6	CONCLUSÕES	44
7	RECOMENDAÇÕES	45
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo	15
Figura 2 - Fluxograma Operacional do tratamento dos dados da a rede viária florestal	17
Figura 3 - Representação dos componentes horizontais de uma curva	19
Figura 4 - Rodovia com cobertura asfáltica utilizada no transporte de madeira	21
Figura 5 - Estrada Florestal coberta com revestimento primário.....	22
Figura 6 - Estrada Florestal sem revestimento	23
Figura 7 - Representação das Classes de Geometria Horizontal da região de estudo	27
Figura 8 - Representação das classes de Geometria de Greide da Rede Viária Florestal	30
Figura 9 - Representação das Casses de Revestimento	33
Figura 10 - Representação da simulação de uma rota utilizando o critério do caminho mais curto	38
Figura 11 - Representação da simulação de uma rota utilizando o critério do caminho mais rápido	39
Figura 12- Representação da simulação de duas rotas partindo do mesmo talhão	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes de geometria horizontal (GH).....	20
Tabela 2 - Classes de Geometria Vertical (GV).....	20
Tabela 3 - Classificação das Estradas conforme o Índice de Geometria Horizontal e as respectivos extensões das classes	27
Tabela 4 - Extensão em quilômetros das classes de Geometria Vertical	28
Tabela 5 - Extensão e percentual da rede viária florestal classificada de acordo com o tipo de pavimento.....	31
Tabela 6 - Extensão e percentual da rede viária florestal classificada de acordo com a largura da pista	34
Tabela 7 - Estimativa da velocidade do veículo de transporte de acordo à classificação das estradas	36
Tabela 8 - Resultados de doze simulações de rotas baseadas nos critérios de menor distância e menor tempo.....	42

RESUMO

MORAES, Angelo Casali de, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2014. **Classificação de estradas florestais e determinação de rota de transporte utilizando sistema de informação geográfica.** Orientador: Luciano José Minette. Coorientador: Amaury Paulo de Souza.

A rede viária florestal é responsável por permitir o Transporte que é uma atividade chave ao longo da cadeia produtiva. Classificar as vias, possibilita aos gestores obter informações sobre as características das estradas. O uso de Geotecnologia propicia a visualização da rede viária florestal, podendo manipular e transformar em informações que auxiliem na tomada de decisões mais eficientes no transporte florestal. Objetivou-se com esta pesquisa aplicar o uso de geotecnologia para caracterizar a rede viária florestal e estabelecer rotas para o transporte rodoviário florestal. A pesquisa foi realizada com os dados Georeferenciados de plantios de eucalipto de uma Empresa Florestal no Vale do Rio Doce, Minas Gerais. A base de dados foi preparada no software ArcGis 10.2. Os critérios utilizados para classificar as estradas florestais foram: geometria horizontal, geometria vertical; largura da superfície de rolamento e tipo de pavimento da via. Para determinar as rotas de transporte foi criado um modelo de análise de dados em rede no ArcGIS utilizando a extensão *Network Analyst*, possibilitando encontrar rotas conforme critérios de distância e tempo. Os resultados da classificação das estradas quanto a geometria horizontal,

mostraram uma predominância das classes 3 e 4 totalizando 90% de vias. Quanto a geometria vertical ou greide, somente 362 quilômetros do total de 1548, foram classificadas como Planas. Em relação à classificação das estradas quanto ao tipo de revestimento, houve maior predomínio de vias sem revestimento 1160 km. Os resultados mostraram que as estradas possuíam 388 quilômetros de pista dupla e 1160 de pista simples. Quanto a determinação de rotas os resultados indicaram pequenas variações conforme os critérios de distância e tempo. Diante do resultados concluiu-se que a utilização da tecnologia de geoprocessamento através de Sistemas de Informações Geográficas, permitiu classificar e determinar rotas para o veículo de transporte baseadas em dois critérios, menor distância e menor tempo.

ABSTRACT

MORAES, Angelo Casali de, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, december de 2014. **Forest road classification and transport route determination using geographic information system.** Advisor: Luciano José Minette. Co-Advisor: Amaury Paulo de Souza.

The forest road network is responsible for allowing the transport which is a key activity along the production chain. Classify routes, allows managers to obtain information on the characteristics of the roads. The use of Geotechnology allows visualization of forest road network and enable manipulate and transform into information to help in making more effective decisions in forest transport. The aim of this research is apply geotechnology uses to characterize the forest road network and establish routes to the forest road. The research was conducted with georeferenced data eucalyptus plantations of a Forest Company in Vale do Rio Doce, Minas Gerais. The database was prepared in 10.2 ArcGis software. The criteria used to classify forest roads were horizontal geometry, vertical geometry; road width and the type of road surface. A network data analysis model in ArcGIS was created to determine the transportation routes using the Network Analyst extension, enabling find routes as criteria of distance and time. The results of the classification of roads as the horizontal geometry, showed a predominance of classes 3:and 4 totaling 90% of roads. As for vertical geometry or grade, only 362 km of the total 1548 were classified as Flat.

The classification of roads on the type surface, there was a higher prevalence of routes uncoated 1160 km. The results showed that the roads had 388 km of double track and single track 1160. As the determination of routes the results indicated slight variations according to the criteria of distance and time. Given the results it was concluded that the use of GIS technology through Geographic Information Systems, allowed to classify the roads and determine routes for the transport vehicle.

1 INTRODUÇÃO

O setor florestal desempenha um papel importante para o Brasil nos aspectos econômico, ambiental e social. As florestas brasileiras fornecem matéria-prima para os mais diversos setores da economia contribuindo com a geração de empregos e arrecadação de tributos.

A rede viária florestal é responsável por permitir o transporte de matéria prima, mão de obra, insumos e produtos, proporcionando o acesso às áreas florestais. É composta por diversas vias interligadas, construídas e mantidas para tornar possível as etapas produtivas que vão desde a implantação florestal até transporte de madeira.

O transporte florestal rodoviário é uma atividade chave ao longo da cadeia produtiva e sua eficiência pode comprometer o abastecimento matéria prima, colocando em risco a viabilidade do empreendimento florestal.

O padrão das estradas, dado pela de geometria vertical, geometria horizontal, largura da pista e tipo de pavimento, influencia nos custos de construção e manutenção das estradas, além de impactar na durabilidade de pneus, desempenho energético e eficiência operacional dos veículos. Por isso, classificar as estradas fornece ao gestor informações técnicas sobre as vias, sendo uma ferramenta para subsidiar o planejamento do transporte.

Para uma melhor utilização de recursos, o uso de ferramentas computacionais tem sido usado largamente pela indústria, diminuindo

desperdícios de tempo e trabalho. Ao longo dos anos, empreendimentos florestais tem procurado aplicar novas tecnologias e utilização de softwares.

O Sistema de Informação Geográfica (SIG) é um tipo de Geotecnologia que utiliza informações espaciais sobre a localização de alguns atributos da superfície terrestre permitindo gerenciar dados para auxiliar na resolução de problemas.

O uso de SIG associado às variáveis relacionadas às estradas possibilita tomar decisões mais eficientes no transporte florestal. Na medida em que se conhecem as características das estradas florestais, possibilita coordenar e planejar as atividades, tomando decisões baseadas em critérios técnicos, levando em consideração o sistema de classificação.

O maciço florestal é constituído de uma série de vias para transportar madeira, formando uma grande malha de estradas entrelaçadas. A rota a ser percorrida pelo transporte florestal muitas vezes é determinada de maneira arbitrária, sem critérios técnicos que favoreçam um melhor desempenho. Classificar as estradas torna-se fundamental também para determinar as melhores rotas, adotando parâmetros que podem influenciar positivamente para um transporte mais eficaz. A classificação das estradas florestais adicionalmente permite que se escolha rotas mais seguras, evitando caminhos em que os veículos transitem em trechos onde há um maior risco de acidentes.

Dentro deste contexto, a utilização do Sistema de Informações Geográficas permite a visualização da rede florestal, podendo manipulá-la e transformá-la em informações que contribuirão para solução de problemas. O uso dessa Geotecnologia possibilita então auxiliar o planejamento das operações de transporte, tendo como princípio classificação das estradas para a determinação de rotas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral:

Objetivou-se com esta pesquisa aplicar o uso de geotecnologia para caracterizar a rede viária florestal e estabelecer percursos para o transporte rodoviário florestal.

2.2 Objetivos específicos:

Classificar as estradas florestais;

Estimar a velocidade do veículo de transporte de madeira

Determinar as rotas de transporte

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Geoprocessamento

O geoprocessamento pode ser entendido como a utilização de técnicas matemáticas e computacionais para tratar dados de objetos ou de fenômenos geograficamente identificados, ou extrair informações desses objetos ou fenômenos, quando eles são observados por um sistema sensor. Tem sido empregado em diversas áreas da Ciência, como a Cartografia, a Geografia, a Agricultura e Floresta e a Geologia. As ferramentas utilizadas para realizar o geoprocessamento compõem um conjunto denominado Sistema de Informação Geográfica. (Moreira, 2005)

O geoprocessamento engloba diversas tecnologias, como: sensoriamento remoto; processamento digital de imagens orbitais; sistemas de informações geográficas; cartografia digital; modelagem digital de terrenos; e alguns outros tópicos avançados. As tecnologias do geoprocessamento são ferramentas fundamentais para o suporte ao processo de tomada de decisão (LEITE,2010).

Segundo Moreira (2009), entre as diversas técnicas englobadas no geoprocessamento, o Sistema de Informações Geográficas (SIG) caracteriza-se no fato que um objeto no espaço geográfico pode ser descrito por meio de

um sistema de coordenadas (posição relativa, latitude, longitude, altitude) de suas propriedades (atributos) e de suas relações (topologia), compondo um conjunto de dados espaciais e não espaciais. A capacidade de ligar elementos espaciais a seus atributos é o seu princípio básico, de forma que qualquer elemento pode ser localizado a partir de seus atributos, assim como podem ser identificados as propriedades de qualquer elemento cuja localização seja conhecida.

O Sistema de Informações Geográficas pode ser visto como um sistema que é composto de hardware, software, dados, pessoas, instituições e programas que coletam, regulam, analisam e distribuem informações regionais da Terra (HONG, 2005).

A multiplicidade de uso e visões possíveis dessa tecnologia mostra uma perspectiva interdisciplinar para utilização do SIG caracterizando por integrar em uma única base de dados, as informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélites, redes e modelos numéricos do terreno; e ainda oferecer mecanismos para combinar as várias informações, por meio de algoritmos, manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados georeferenciado. (ASSAD e SANO, 1998)

Segundo Ribeiro (2014) dois modelos de dados destacam-se como formas de representar a realidade em um ambiente de SIG (Figura 2):

Modelo de dados matricial (também chamada de *raster*) consistindo no uso de uma malha quadriculada regular, sobre a qual se constrói, célula a célula, o que está representado. Usam variação contínua ao longo do espaço geográfico estudado, como altitude, temperatura e pressão atmosférica, teor de matéria orgânica e disponibilidade hídrica.

Modelo de dados vetorial – considerado mais apropriado para representar com exatidão a localização, os limites e as formas de feições geográficas discretas, como estações climatológicas, rios e divisões geopolíticas.

Qualquer elemento no modo vetorial é reduzido a três formas básicas: pontos, linhas ou polígonos. Estes representam arcos e nódulos. Um arco é armazenado como uma série de pontos dados por pares de coordenadas (x,y),

chamados vértices. Dois vértices consecutivos definem um segmento de arco. Os dois pontos extremos de um arco são chamados de nódulos (Neteler e Mitasova (2002) apud Marcelino, 2007).

No SIG, atributos descritivos em forma de tabela estão associados com características espaciais. Os dados espaciais e atributos reunidos no mesmo sistema de coordenadas podem ser agrupados para o mapeamento e análise. Esta tecnologia é utilizada em muitos campos para atender às diversas necessidades de aplicação de forma abrangente, podendo simplesmente mostrar mapas ou fazer simulação e análise complexa de geodados. (HONG, 2005).

3.2 O software ArcGIS

O ArcGIS é software de Sistema de Informações Geográficas (SIG) desenvolvido pelo *Environmental Systems Research Institute* (ESRI). O sistema fornece uma infraestrutura para fazer mapas e disponibilizar informações geográficas para uma organização podendo trabalhar com computadores, dispositivos móveis e navegadores de Web. Os serviços podem ser hospedados em um computador local; publicados e compartilhados em nuvem, ou publicados como serviços GIS Web para uso dentro de uma empresa (ESRI, 2014).

ArcGIS Desktop inclui um conjunto de aplicações: ArcMap, ArcCatalog, ArcGlobe, ArcScene, ArcToolbox e ModelBuilder. Através desses aplicativos e interfaces, pode-se executar todas as tarefas de SIG, desde as mais simples às avançadas. Segundo Ribeiro (2012), adota um modelo de dados orientado a objetos, com a denominação de geobase, a qual armazena as feições espaciais (pontos, linhas, polígonos) como um atributo da tabela de um banco de dados.

3.3 Sistemas de Informações Geográficas no Setor Florestal

A função vital do SIG é a habilidade de responder à questões geográficas, baseadas na informação do mapa digital associado ao atributo do banco de dados. Tem sido usado tradicionalmente no setor florestal para armazenar mapas em formato eletrônico e para fazer cálculos, como a área e distância. O seu uso tem sido estendido para análise de usos do solo e de outros problemas potenciais complexos, que têm um contexto espacial (BASKENT e KELES, 2005).

A tecnologia de Sistema de Informações Geográficas vem crescendo e sendo aplicada em diversas áreas como em operações florestais, manejo florestal, manejo de bacias hidrográficas, proteção de florestas, transporte de madeira, incêndios florestais, entre outros, uma vez que fornece ferramentas eficazes para coletar, armazenar, manipular, analisar dados espaciais, e apresentar informações descritivas sobre eles nos mapas (AKAY, 2012).

O SIG é um dos desenvolvimentos tecnológicos mais significativos da neste século para profissionais da área florestal, tendo efeito em muitas organizações. Os usos da tecnologia de SIG, pode variar do simples mapeamento da paisagem e medição para modelar e prever rendimentos florestais ao longo de décadas ou séculos, ao uso convencional de manipulação de relações espaciais de características geográficas (pontos, linhas e áreas) fornecendo informações valiosas para planejamento de gestão florestal do território (BASKENT e KELES, 2005).

3.4 Transporte de Madeira

De acordo com Oliveira(2013), o termo transporte florestal refere-se à toda movimentação de madeira dos talhões das florestas ou das margens das estradas até o pátio das empresas, e 85% da madeira transportada no Brasil é feito desse modo. O transporte ferroviário e o marítimo são utilizados em pequena escala por algumas empresas (SEIXAS, 2001).

Como a madeira é um insumo de baixo valor específico, ou seja, o seu valor em relação ao seu peso e, ou, volume é baixo. Assim sendo, o seu custo de transporte é relativamente alto, variando diretamente com a distância percorrida (SILVA, 2007).

O transporte de madeira geralmente é feito com uso de combinações veiculares do tipo articulado ou conjugado, como rodotrens, treminhões, tritrens e bitrens e também com veículos simples do tipo “caminhão” (MARCELINO, 2007).

O transporte é o elemento mais importante do custo logístico para a grande maioria das empresas transportadoras, pois o frete pode absorver cerca de 60% do custo logístico (MACHADO, 2002).

O custo de transporte é composto por várias categorias: custo de mão de obra, energético, custos produtivos (pneus, manutenções, etc.), despesas em geral e custos não produtivos como seguros e impostos (CHESNEAU et al, 2012).

O transporte rodoviário é a opção mais barata para curtas distâncias seguido pelo transporte hidroviário e ferroviário. (CHESNEAU et al, 2012).

Segundo Oliveira Filho (2005), o setor de transporte e estradas tem adquirido grande importância dentro do empreendimento florestal, uma vez que os custos do binômio estrada-transporte incidem significativamente sobre o valor final da madeira.

3.5 Estradas Florestais

No setor florestal, a rede viária é a principal base de toda atividade florestal, sobretudo no transporte de matéria-prima (MACHADO, 2003).

A indústria florestal é altamente dependente da eficiência da rede de estradas, uma vez que a maior parte da madeira é transportada por caminhão (HENNINGSSON et al, 2007).

Um exame da rede de estradas florestais representa o método primário para avaliar a acessibilidade da floresta em termos de oportunidades

para o transporte rodoviário e para o sistema de operação florestal (CAVALLI e GRIGOLATO, 2010).

Estradas florestais tem um importante papel no manejo dos recursos florestais. Precisam ser construídas de maneira que os trabalhadores e máquinas tenham acessibilidade e possam operar com segurança e eficiência (ARUGA et al 2005 a).

Mesmo com o condições deficientes de estradas florestais, elas são as responsáveis pela ligação entre as comunidades produtoras e as grandes rodovias pavimentadas ou entre as florestas das empresas e as indústrias de beneficiamento da madeira (OLIVEIRA et al, 2013).

3.6 Classificação das Estradas Florestais

Segundo Machado (1989), as estradas podem ser classificadas sob diversos pontos de vista: sua importância, seu modo de construção, o material nelas empregado etc. Assim, pode-se classificar do ponto de vista político econômico (ex:estradas florestais); quanto ao fim que é destinada (ex:principais); quanto à natureza da superestrutura (estrada de ferro, estrada de rodagem); quanto às condições técnicas.

Segundo Lopes, et. al (2002), existem no Brasil muitas divergências quanto à qualidade da rede rodoviária florestal entre as regiões e as empresas do setor, em virtude da inexistência de uma classificação nacional de estradas florestais, poucas empresas possuem um sistema de classificação próprio com seus respectivos padrões.

O padrão das estradas florestais é o primeiro parâmetro a ser definido num projeto de construtivo visto que influencia os custos de construção, de manutenção e de transporte, especialmente por meio de suas geometrias horizontal e vertical, da qualidade da superfície da pista de rolamento e da largura. (OLIVEIRA FILHO,2005)

De acordo com Machado et al. (2009), o padrão das estradas refere-se a caracterização da estrada quanto à sua geometria vertical, geometria horizontal, largura e tipo de superfície de rolamento. O padrão estabelece a

velocidade de tráfego e conseqüentemente o tempo de viagem. e dessa maneira afeta também os custos do transporte florestal, uma vez que os veículos têm seus custos operacionais calculados numa base horária, de forma que, quanto mais veloz o veículo puder transitar, todavia com segurança, menores serão os custos.

3.6.1 Geometria Vertical

O greide e o comprimento de rampa são os principais elementos da geometria vertical de uma estrada. O greide é a inclinação vertical do eixo da estrada, formando-se os aclives e declives ajustados por uma curva de concordância vertical. (MACHADO et al., 2009)

Segundo Aruga et al. (2005 b), em estradas, o greide é limitado considerando a performance do veículo, com o seu valor máximo de 18%; em estradas florestais, normalmente não ultrapassam 15% (MACHADO et al. 2009). O greide também é limitado pela drenagem de água, devendo ter o mínimo é de 2 %.

3.6.2 Geometria horizontal

O alinhamento horizontal das estradas é composto por retas, curvas circulares e curvas de transição (ROH et. al. 2003). A técnica mais adequada para expressar a geometria horizontal é através da curvatura relativa que estabelece uma relação entre o raio médio das curvas e a média ponderada do número de curvas por quilômetro, sendo expresso é um índice que classifica as estradas em excelente, bom, regular e ruim (BYRNE 1956, apud MACHADO 1989).

O alinhamento horizontal tem efeitos sobre a velocidade de operação do veículo de transporte, onde a velocidade é substancialmente mais baixa nas

estradas florestais com raio de curva horizontal inferior a 20 metros. (MACHADO et al. 2009)

3.6.3 Superfície de Rolamento:

Segundo a FAO (2007) o pavimento de uma estrada florestal é um sistema estrutural que proporciona uma boa superfície para o tráfego de veículos. Compreende uma camada de revestimento superficial e uma camada base, que recobre o solo de fundação preparada. A camada de superfície, que é relativamente fina, usada principalmente para nivelamento, o qual proporciona uma barreira contra a penetração de água para a camada de base subjacente. A camada base, é principalmente uma camada estrutural, que é colocada a uma espessura designada. Ela dispersa a pressão das rodas dos veículos carregados e, assim, evita que as pressões resultantes agindo em o solo de fundação de exceder a sua capacidade de carga.

Nas estradas florestais é comum a superfície da pista de rolamento ser constituída por material granular. Normalmente, encontram-se diferentes tipos de solo que constituem a camada de revestimento. A umidade, massa específica, composição mineralógica e a forma dos grãos do solo destas camadas influenciarão no desempenho dos veículos de transporte. Os principais tipos de pavimento são os rígidos, os flexíveis e os revestimentos primários. Todavia, em estradas florestais, é comum encontrar pistas de rolamento com solo no seu estado natural. (MACHADO et al., 2009)

Dentre os vários tipos de superfície têm-se as seguintes combinações, de acordo com Lopes et al. (2002):

Estrada pavimentada: é aquela revestida com concreto betuminoso ou concreto, permitindo o tráfego de veículos durante o ano todo.

Estrada com revestimento primário: é revestida com material granular (saibros, cascalhos, entre outros) e permite o tráfego de veículos durante o ano todo.

Estrada sem revestimento: é aquela que não apresenta qualquer tipo de revestimento, portanto, geralmente, pode não ocorrer ou dificulta o tráfego de veículos durante a época chuvosa.

3.6.4 Largura:

A largura da estrada florestal é considerada o quarto parâmetro mais importante na avaliação de sua qualidade. Ela exerce influência sobre a velocidade operacional, sobretudo em situações rigorosas de geometrias horizontal e vertical. (MACHADO et al. 2009)

De acordo com Lopes et al. 2002, as estradas são classificadas como pista simples, aquelas nas quais existe uma faixa única e largura inferior a cinco metros, permitindo o tráfego de veículos em único sentido, mas com faixa de ultrapassagem distribuída ao longo da rodovia; e estradas com pista dupla, na qual a pista de rolamento possui duas faixas e largura superior a sete metros, permitindo que dois veículos possam cruzar ou ultrapassar, sem haver redução drástica da velocidade de operação.

3.7 Velocidade do veículo de transporte:

A velocidade pode ser descrita como um dos fatores mais importantes que os motoristas consideram ao avaliar a comodidade e a eficiência de uma determinada rota. Além disso, a velocidade afeta o tempo de viagem e custo, pesando nas decisões tomadas pelos motoristas na hora de selecionar rotas. (Hassan e Sarhan, 2011).

Para que um veículo com massa qualquer, se desloque com velocidade constante, necessita que o seu motor desenvolva uma potência capaz de anular as forças que resistem ao seu avanço. Além das forças de resistência exercidas pelo ar e pela pista de rolamento, existe a componente do peso do veículo que também se opõe ao movimento. (Silveira a, 2007)

De acordo com Bornes e Aakre (2011) a velocidade de um veículo pesado depende do greide da estrada, da extensão do greide, das características do veículo e sua performance, e outros fatores como a resistência do ar, e a resistência da superfície de rolamento da estrada, raio e extensão das curvas.

No setor florestal, desconsidera-se a resistência aerodinâmica, em virtude da baixa velocidade desempenhada pelos veículos de transporte (Machado, 2009).

3.8 Análise em rede e rotas de transporte

A maioria dos sistemas de transporte são redes, que vão desde as redes físicas de rodovias e linhas ferroviárias às mais efêmeras como as rotas marítimas e as rotas aéreas. Independentemente da sua natureza física, podem ser representadas como nós e elos de ligação que possibilitam serem analisadas por várias técnicas, incluindo Sistema de Informações Geográficas (SIG) (UPCHURCH et al. 2004). O SIG são reconhecidos como uma das novas tecnologias que podem ser usados para apoio à decisão das rotas de veículos. (KEENAN, 2008)

A análise em rede (*Network Analysis*) é uma abordagem potencialmente poderosa para resolver problemas de transporte e planejamento de rotas (ABDULLAH et al, 2012). Esse tipo de análise espacial, permite em ambiente de SIG, calcular o caminho ótimo na rede. (NIARAKI, 2011).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da Região de estudo

A área de estudo abrange a rede viária florestal de uma empresa florestal em Minas Gerais, compreendida entre as coordenadas 19° 15' 0" e 19° 35' 0" de latitude sul e 42° 20' 0" e 42° 48' 0" de longitude oeste (Figura 1).

Segundo a classificação internacional de Köppen, o clima da região é classificado como "tropical de altitude, com chuvas de verão e verões frescos" (Cwb). A área de estudo é de 1.321 km² e a altitude média da região é de 520 metros variando entre 173 e 1245 metros.

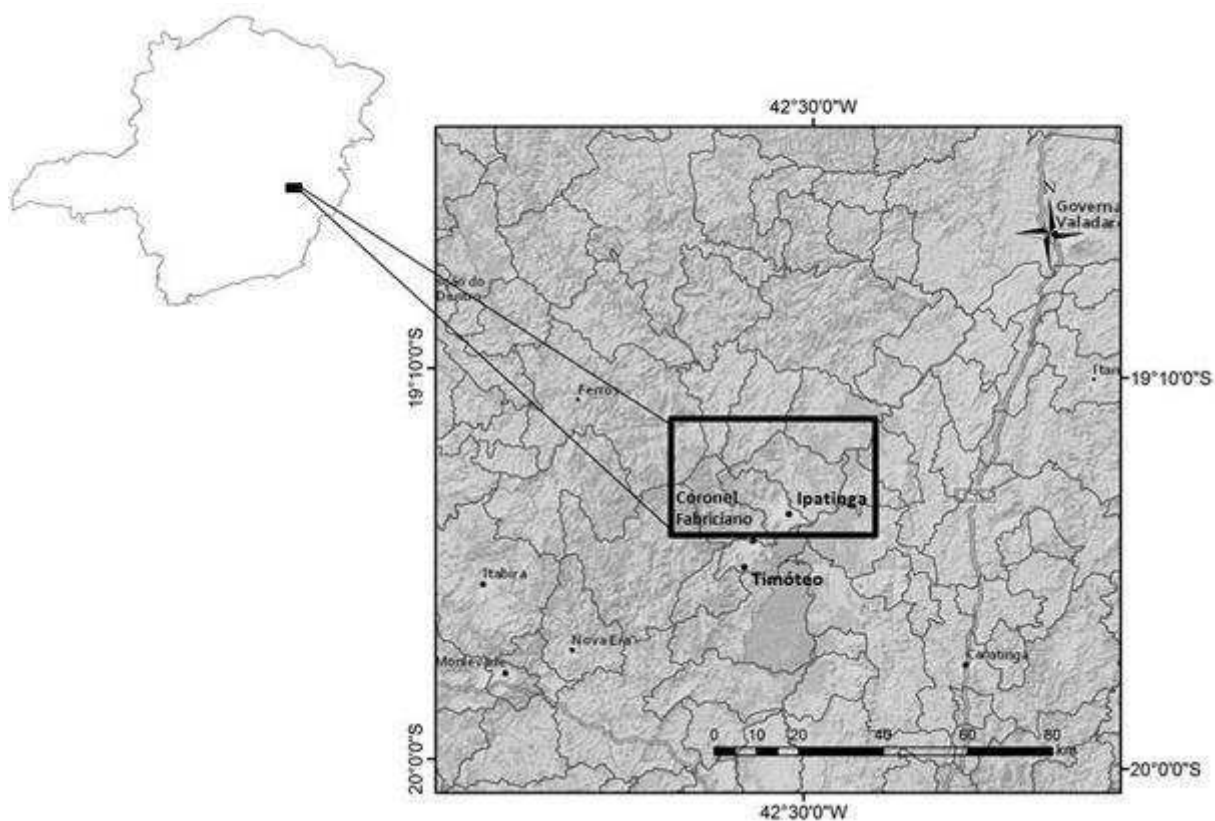


Figura 1 - Localização da área de estudo

4.2 Os softwares utilizados:

Para este trabalho foi utilizado o ArcGis 10.1 desenvolvido pelo *Environmental Systems Research Institute* (ESRI), e suas principais aplicações, ArcToolBox e ArcMap.

Adicionalmente, o software Microsoft Excel 2010, foi utilizado para proceder cálculos referentes geobase da rede de estradas.

4.3 A base de dados

Os dados da rede viária florestal foram fornecidos pela empresa. Adicionalmente obteve-se através do INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais por meio do projeto TOPODATA os Modelos Digitais de Elevação (MDE) do terreno. A base cartográfica foi então preparada no software ArcGis, com a junção desses dados.

4.4 O tratamento dos dados espaciais

O eixo das estradas georeferenciado foi vetorizado e fragmentado no sistema topológico arco-nó possibilitando individualizar os segmentos da estrada. Cada um desses segmentos representava uma linha na tabela de dados (atributos) do software.

Com o Modelo Digital de Elevação do terreno, foi feita a sobreposição das curvas de nível do terreno no eixo de estradas, permitindo classificar a geometria vertical das vias.

A partir da tabela de atributos, foram utilizadas ferramentas de análise espacial e classificadas as vias conforme: tipo de pavimento, largura e geometria horizontal.

Com as vias classificadas os dados foram exportados para o software Excel, onde procedeu-se com o cálculo da velocidade do veículo de transporte. Depois dessa etapa, o dados foram foram importados para o software ArcGis novamente, onde foi criado um modelo de análise de rede para a determinação de rotas (Figura 2).

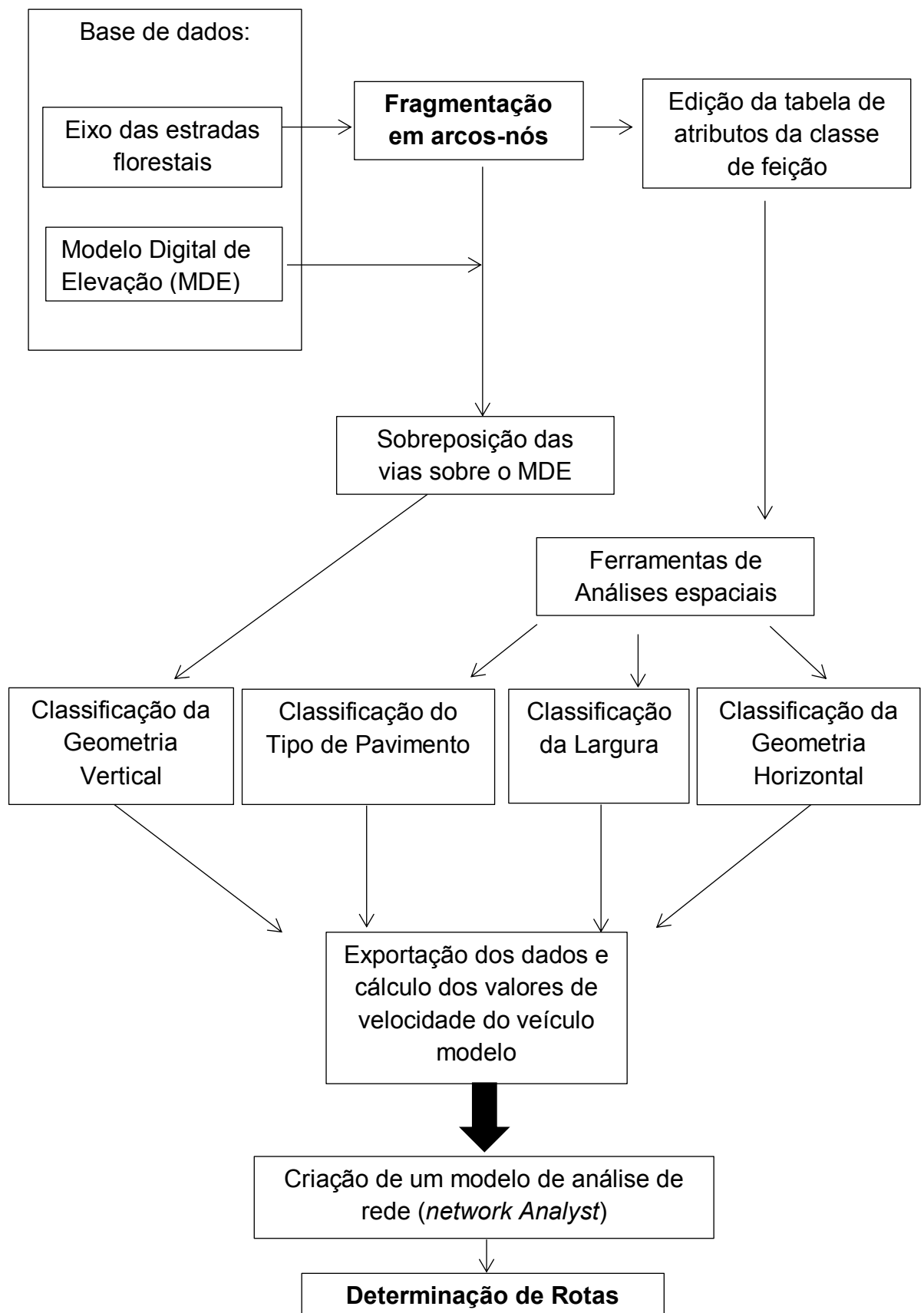


Figura 2 - Fluxograma Operacional do tratamento dos dados da a rede viária florestal

4.5 Classificação da rede viária florestal

Os critérios utilizados para classificar as vias florestais foram: geometria horizontal, geometria vertical; largura da superfície de rolamento e tipo de pavimento da via. Esses parâmetros são de grande importância por afetar o desempenho do transporte de madeira.

4.5.1 Geometria horizontal

A classificação da Geometria Horizontal da rede viária florestal foi estabelecida a partir da razão obtida pelo raio médio de curvas de um segmento variável de estrada dividido pelo número de curvas por quilômetro, conforme a equação (LOPES, et al, 2002 e LEITE, 2010):

$$GH = \frac{R}{NC} \quad (1)$$

em que:

GH = geometria horizontal.

R = raio médio da(s) curva(s) de um segmento variável de estrada (m); e

NC = número de curvas por quilômetro.

Para calcular o raio médio, foi necessário obter o raio (R) de cada curva individual. Para isso, deve-se conhecer o comprimento dos segmentos semi-corda (c) e flecha (F), conforme representado na Figura 3:

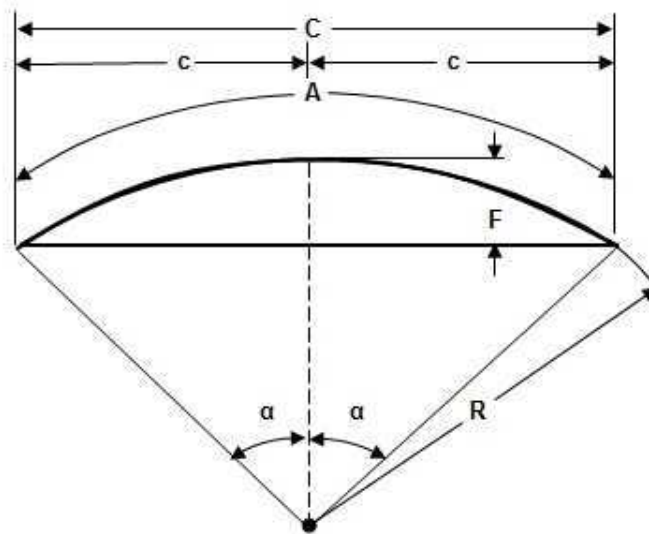


Figura 3 - Representação dos componentes horizontais de uma curva

O comprimento da semi-corda e a flecha foram obtidos adicionando na tabela de atributos as coordenadas (X,Y) do pontos onde iniciava e terminava cada um desses segmentos. Conhecidos estes pontos é possível obter o comprimento do segmento e proceder com um cálculo conforme a fórmula :

$$R = \frac{c^2 + F^2}{2 \times F} \quad (2)$$

Onde:

c = semi corda

F = Flecha

R = Raio

Os valores da tabela de atributos foram exportados para o software Excel onde procedeu o cálculo. Obtidos os resultados, estes foram importados novamente para o software ArcGis.

Após o cálculo da Geometria Horizontal, a cada segmento foi atribuído uma classe conforme a Tabela 1. As classes foram divididas em quatro categorias, de acordo com o valor do GH

Tabela 1 - Classes de geometria horizontal (GH)

Classe	Classificação	GH
1	Excelente	≥ 48
2	Boa	25 – 47
3	Média	10 – 24
4	Ruim	< 9

Fonte: MACHADO, 1989; Leite (2010)

4.5.2 Geometria vertical ou greide

A classificação das estradas florestais quanto a sua geometria vertical, foi estabelecida conforme o percentual de inclinação do leito. Por meio do Modelo Digital de Elevação do terreno, foram gerados mapas de declividade com curvas de nível equidistantes em 20 metros. A rede de estradas foi fragmentada e o tipo de relevo foi dividido em quatro classes: plano, ondulado, montanhoso e altamente montanhoso, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Classes de Geometria Vertical (GV)

Classe	Tipo de relevo	Greide
1	Relevo plano	$< 5 \%$
2	Relevo ondulado	5,1 – 8%
3	Relevo montanhoso	8,1 – 12 %
4	Relevo altamente montanhoso	$> 12,1\%$

Fonte: Leite (2010)

4.5.3 Tipo de Revestimento

Pavimento corresponde às múltiplas camadas de revestimento sobre a superfície da terraplanagem. Para este trabalho, foram consideradas três classes de pavimento: estradas pavimentadas, estradas com revestimento primário, estradas sem revestimento.

4.5.3.1 Estradas pavimentadas

São aquelas revestidas com camada asfáltica (Figura 4). Possuem um melhor padrão de construção, permitem o tráfego de veículos durante todo o ano.



Figura 4 - Rodovia com cobertura asfáltica utilizada no transporte de madeira

4.5.3.2 Estradas com revestimento primário

São estradas revestidas com uma camada granular, composta de agregados naturais e/ou artificiais, aplicada sobre o subleito compactado com a função de assegurar o tráfego de veículos durante todo o ano, conforme representado na Figura 5.



Figura 5 - Estrada Florestal coberta com revestimento primário

4.5.3.3 Estradas sem revestimento

São aquelas vias que não apresenta qualquer tipo de revestimento. Seu leito é constituído por solos compactados e expostos. A Figura 6 representa este tipo de estrada.



Figura 6 - Estrada Florestal sem revestimento

4.5.4 Largura

A rede de estradas florestais foi classificada conforme dois critérios: estradas com pista simples, as quais possuem a largura inferior a seis metros e estradas com pista dupla, que tinham a largura superior a seis metros.

4.5.5 Velocidade do Veículo de Transporte

Para calcular a velocidade do veículo, considerou-se que para haver movimento ou para que um veículo mantenha em movimento, é necessário que sua força seja igual ou superior à soma das forças resistivas. As forças resistivas encontradas por um veículo são: força aerodinâmica, força normal (atrito com o solo), e força de resistência da rampa. Desconsiderando a resistência aerodinâmica, em virtude da baixa velocidade desempenhada pelos veículos de transporte florestal (Machado, 2009), a estimativa da velocidade foi obtida através da fórmula:

$$v = \frac{\text{Potência do motor}}{\mu \cdot m \cdot g \cdot \cos(\theta) + m \cdot g \cdot \sin\theta} \quad (3)$$

Onde :

V = Velocidade

Potência do motor (kW)

μ = coeficiente de resistência dinâmica ao rolamento

(asfalto = 0,01; revestimento primário = 0,03; sem revestimento = 0,06).

m= massa do veículo (Kg);

gravidade = 9,8 m/s⁻²;

sen (θ) = seno do ângulo da rampa;

cos (θ) = cosseno do ângulo da rampa;

Considerou-se neste trabalho um veículo de 400 cv de potência, com um peso bruto total combinado de 53 toneladas, o desempenho ótimo a 75 % da potência do veículo, onde se encontra o torque ótimo dentro da faixa de rotações por minuto de 1200 a 1500 rpm, em que há um menor consumo de combustível.

4.5.6 Determinação de rotas de transporte

Para determinar as rotas de transporte foi criado um modelo de análise de dados em rede no ArcGIS utilizando a extensão *Network Analyst*.

Com os valores de velocidade conhecidos e o comprimento de cada segmento no modelo arco-nó, a análise em rede permitiu traçar a rota conforme o critério desejado.

Conhecidos o ponto de partida e o destino final, foi possível através da ferramenta determinar a rota do veículo de transporte conforme o critério de tempo ou distância.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Classificação da rede viária florestal

Com a tecnologia de geoprocessamento, os dados foram editados e a rede viária florestal foi classificada. O Sistema de Informação Geográfica é capaz de fornecer ferramentas para analisar e extrair informações das estradas para apoiar o processo de tomada de decisões (Petropoulos et al. 2014). Além disso, a visualização dos dados e informações torna mais fácil a compreensão dos aspectos da rede viária (Emmert, 2010).

5.1.1 Geometria horizontal

Com a aplicação das ferramentas de geotecnologia, as estradas foram classificadas em quatro classes: excelente, boa, média e ruim. A importância de classificar as estradas quanto a geometria está ligada a fatores que afetam a eficiência e a segurança do transporte (SEMEIDA,2013).

Os resultados indicam que a região possuía 15 km de vias da classe 1 (excelente), seguido por 146 km da classe 2 (boa), 1142 km classe 3 (média) e da classe 4 (ruim) com 245 km, conforme indicado na Tabela 1.

Tabela 3 - Classificação das Estradas conforme o Índice de Geometria Horizontal e as respectivos extensões das classes

Classe	Índice de Geometria Horizontal	Extensão (km)
1 Excelente	≥ 48	15
2 Boa	25 – 47	146
3 Média	10 – 24	1142
4 Ruim	< 9	245
Total		1548

Os resultados mostraram uma menor ocorrência das classes Excelente (1%) e Boa (9%), as quais representam estradas com maiores raios de curva e maiores Índices de Geometria Horizontal. São estradas mais facilmente projetadas e proporcionam aos motoristas adotarem velocidades mais elevadas (Gonçalves, 2011). Permitem aos condutores um melhor desempenho, porém a segurança diminui em função da maior velocidade. O excesso de velocidade é um dos principais fatores que determinam a segurança do tráfego, afetando o risco de acidentes e a gravidade de suas consequências (Yannis, 2013).

As estradas classificadas pelo Índice de Geometria Horizontal como Média (74%) e Ruim (16%) estão presentes em uma maior extensão da Rede Viária Florestal. O relevo acidentado da região favorece a ocorrência desse padrão, onde os raios de curva são menores e há mais curvas para contornar o relevo. Caracterizam por terem uma menor distância de visibilidade, proporcionando menos segurança. A velocidade de operação é mais baixa nos trechos onde o raio das curvas é menor (Machado et al., 2009) tornando o tempo de viagem mais longo.

Com a aplicação dessa Geotecnologia gerou-se um mapa temático da rede viária florestal com a representação das estradas nas suas respectivas Classes de Geometria Horizontal Figura 7.

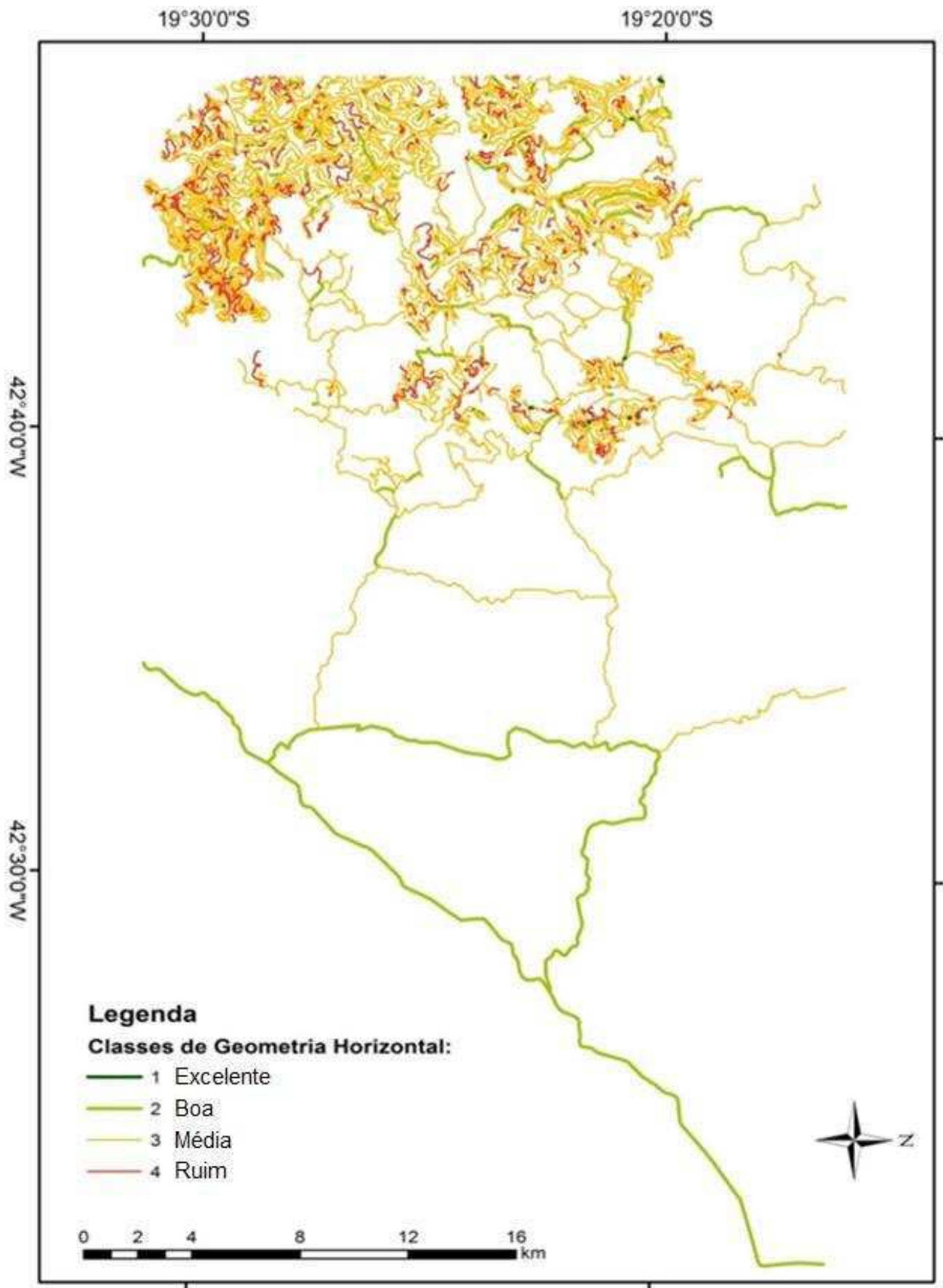


Figura 7 - Representação das Classes de Geometria Horizontal da região de estudo

5.1.2 Geometria vertical ou greide

Os resultados indicaram que houve uma predominância do padrão de relevo altamente montanhoso (Classe 4), com um total de 627,7 km de vias. A classe 1 representada pelo relevo plano, possuía uma extensão de 361,7 km; seguido pelo relevo ondulado (Classe 2) com 350,7 km de vias e por fim relevo montanhoso classe 3 com 208 km, totalizando 1548 quilômetros de estradas. A Tabela 4 apresenta a distribuição dos quilômetros nas classes encontradas.

Tabela 4 - Extensão em quilômetros das classes de Geometria Vertical

Classe de Geometria Vertical	Greide	Extensão km
1 plano	<5%	362
2 ondulado	5,1-8%	351
3 montanhoso	8,1-12%	208
4 altamente montanhoso	>12,1%	627
		1548

As vias que foram classificadas como planas e onduladas tendem a favorecer o desempenho do transporte. Os veículos em trânsito conseguem melhores performances quando as demais características das estradas também são benéficas, melhorando o tempo de entrega do frete. Corrêa et al. (2006) sugere que quanto menor o declive, menor será a manutenção da estrada e que greides menores que 10 % permitem um trânsito mais eficiente e sem perigo.

Nas regiões onde o relevo foi classificado como montanhoso ou altamente montanhoso, classes 3 e 4 respectivamente, além do transporte ser mais lento e impactar no tempo de viagem, há uma tendência de maior desgaste de componentes do veículo. Segundo Machado et al. (2009) do ponto de vista econômico, pode se optar por greides mais acentuados, visando diminuir a extensão, porém pode acarretar com uma elevação drástica dos custos do transporte e de sua manutenção devido à dificuldade imposta por essa barreira geográfica. Além disso, a opção por aclives menos acentuados tende a ser mais seguros pois diminuem a chance de ocorrência de falhas mecânicas causadas pelo desgaste excessivo imposto pelo relevo.

A manipulação do Sistema de Informações Geográficas permitiu e gerar um mapa da rede viária florestal com as respectivas classes do relevo das estadas florestais, conforme a Figura 8.

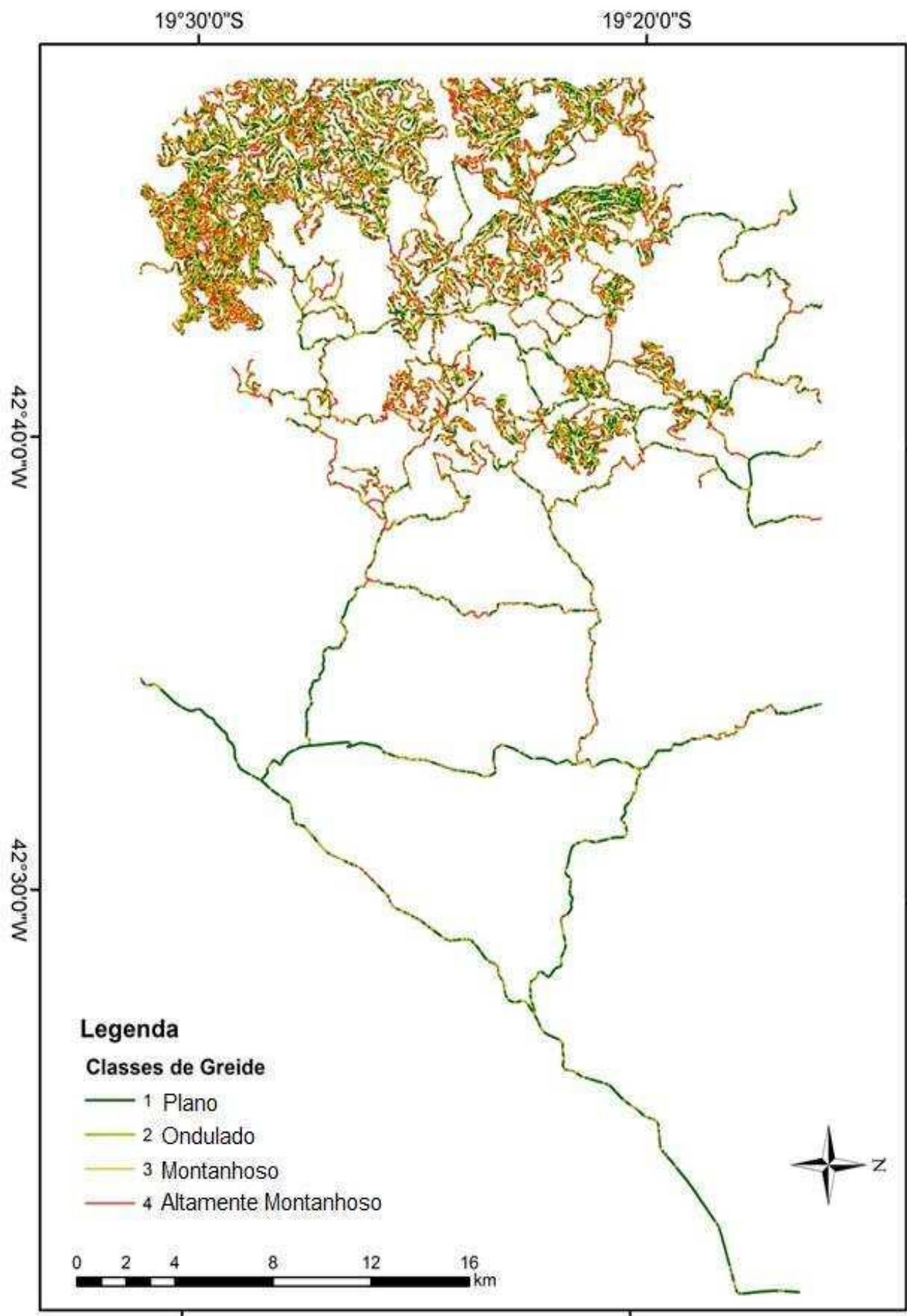


Figura 8 - Representação das classes de Geometria de Greide da Rede Viária Florestal

5.1.3 Tipo de Revestimento

No total dos 1548 quilômetros de estradas da rede viária florestal, 1160 km de vias foram classificadas como Sem Revestimento. Ainda restaram 311 km, os quais eram cobertos por cascalho representando a classe Revestimento Primário; e 77 km das vias eram estradas asfaltadas, representando a classe Pavimento Asfáltico conforme a Tabela 7.

Tabela 5 - Extensão e percentual da rede viária florestal classificada de acordo com o tipo de pavimento.

Tipo de Pavimento	Quilômetros	Porcentagem
Pavimento Asfáltico	77	5%
Revestimento Primário	311	20%
Sem Revestimento	1160	75%
Total	1548	100.00%

A maior parte das estradas 1160 km foi classificada como Sem Revestimento, classe onde não há recobrimento de nenhum material sobre o leito principal. Essas vias podem impactar na eficiência do transporte. Veículos tendem a serem mais lentos nas estradas florestais sem revestimento. Heinonen e Nurminen (2007), mostraram que em estradas sem revestimento a velocidade média era inferior à velocidade desenvolvida em estradas com revestimento primário e pavimentadas, afetando na eficiência do transporte. Além disso, em períodos de alta pluviosidade algumas de suas vias tornam-se intransitáveis, especialmente naquelas onde o greide é desfavorável.

O conhecimento dos trechos onde ocorre esse tipo de pavimento torna-se extremamente importante para o planejamento do transporte. Em função das condições ruins em períodos críticos tem crescido o interesse em melhorar o padrão das estradas para tornar possível o tráfego durante todo ano (OLSSON, 2007).

O custo de estradas sem revestimento é menor devido ao seu baixo padrão de construção e nível de tráfego, necessitando de reparos em pontos críticos, (LOPES 2002). Porém o custo do transporte tende a elevar em períodos chuvosos, pois além do aumento no tempo das viagens, máquinas muitas vezes são mobilizadas para fazerem reparos nas estradas e algumas vezes para rebocarem os veículos que atolam.

As estradas com revestimento primário, totalizaram 311 km. O principal material para o recobrimento do solo é o cascalho. Esse tipo de material possibilita uma maior trafegabilidade dos veículos devido ao maior atrito proporcionado na região de contato da superfície dos rodados com o pavimento.

As estradas com pavimento asfáltico representam 77 km ou 5 % do total. As vias asfaltadas estão em áreas de domínio público, onde se localiza uma rodovia nacional. Embora não sejam vias de propriedade da empresa, os veículos de transporte utilizam os 77 km. de estradas pavimentadas.

Com a aplicação de geotecnologia foi possível representar as vias classificadas quanto ao tipo de revestimento e foi gerado um mapa da rede viária florestal, conforme a Figura 9.

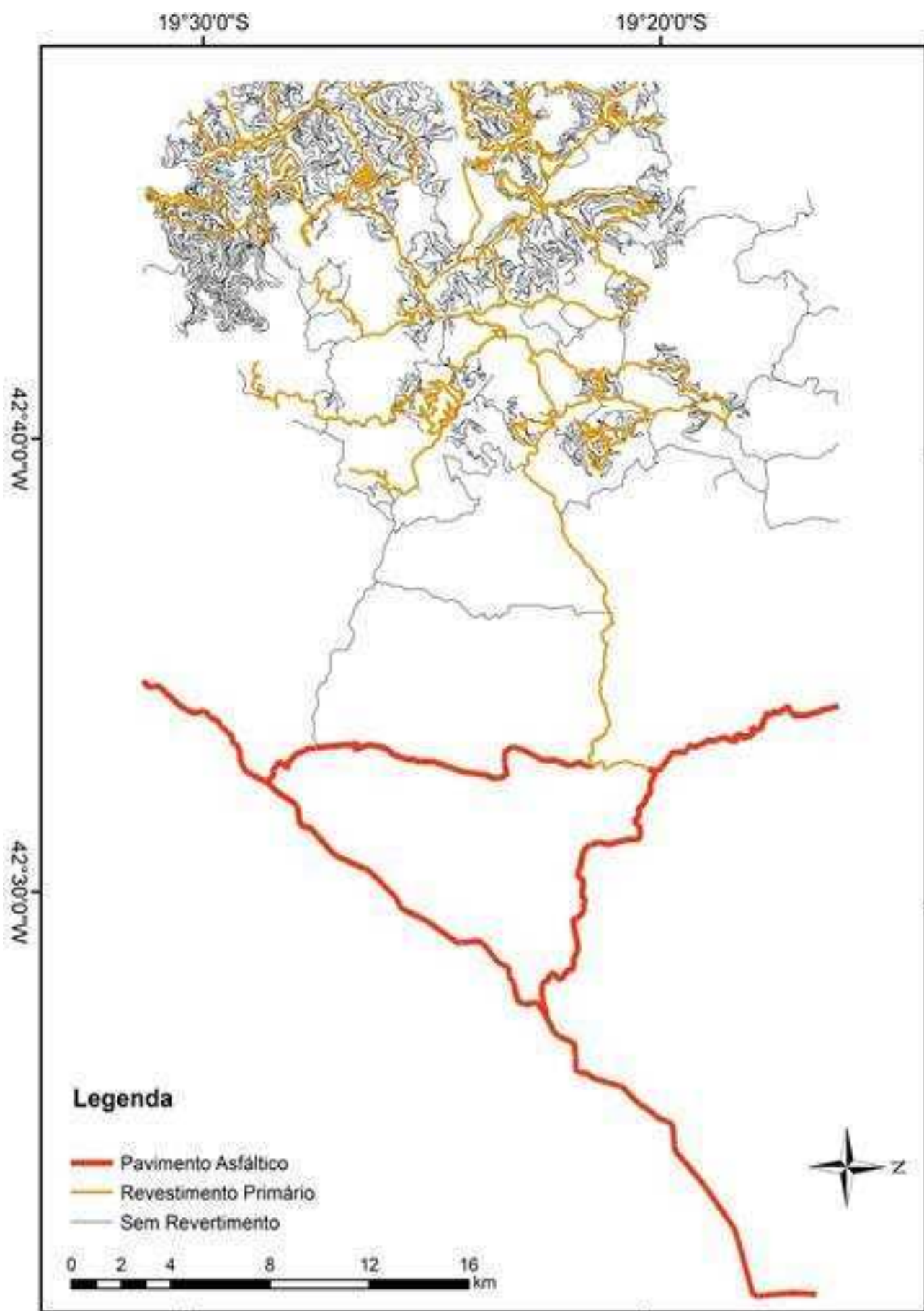


Figura 9 - Representação das Casses de Revestimento

5.1.4 Largura

Em relação à largura das pistas de rolamento das vias, os resultados indicaram um total de 1160 km de estradas florestais com a largura inferior a 5 metros representando 75 % da rede viária com pista simples (Tabela 6). Já as vias que foram classificadas como pista dupla, representaram 388 km, 25% do total.

A classificação das vias quanto à largura da pista também poderá auxiliar no desempenho da operação. Em casos que haja condições de pista simples (75%), o planejamento do transporte deve levar em consideração a existência de rotas por onde transitem veículos em sentidos opostos, ocasionando uma lentidão quando ocorrer esse encontro. Através do Sistema de Informações Geográficas da região poderá ser feita uma visualização e demarcação de rotas para que veículos carregados e veículos vazios não encontrem em trechos críticos.

Nas estradas florestais o fluxo de veículos normalmente é baixo. Embora a maior parte das vias sejam construídas para as atividades florestais, eventualmente outros tipos de veículos se utilizam de alguns trechos das estradas e o fluxo torna-se mais lento pois os veículos transitam em velocidades inferiores. Moradores usuários das vias próximas às comunidades podem se sentir lesados pela lentidão causada pelo transporte florestal, acarretando problemas inclusive junto à certificação. Assim, a classificação das vias torna-se uma importante ferramenta para o planejamento do transporte, evitando rotas em que aproxime de comunidades e que venham causar conflitos ocasionais com moradores.

Tabela 6 - Extensão e percentual da rede viária florestal classificada de acordo com a largura da pista

Largura da pista	Comprimento (km)	Porcentagem
Dupla	388	25 %
Simple	1160	75 %
Total	1548	100.00%

5.2 Estimativa da Velocidade do veículo de Transporte

O desempenho de um veículo em estradas florestais é influenciado pelo tipo de pavimento, geometrias horizontal e vertical. As estimativas da velocidade encontram-se na Tabela 8.

Os resultados indicaram que em melhores condições, onde o revestimento da estrada, o relevo e a geometria horizontal são mais favoráveis, o veículo pode alcançar maiores velocidades.

Nas vias onde o leito das estradas é coberto por asfalto, o terreno é plano e pouco sinuoso o veículo de transporte pode atingir velocidades maiores que 60 km/h porém não trafega dessa maneira devido ao limite estabelecido pela lei é de 60 km/h nas estradas da região.

Os resultados sugerem que o veículo tem sua velocidade reduzida pelas limitações das vias, onde o relevo é altamente montanhoso, o pavimento não apresenta nenhum recobrimento e a estrada é sinuosa (geometria horizontal - classe 4). Nessas situações o veículo tem seu desempenho reduzido, devido principalmente ao peso e ao menor coeficiente de atrito entre os rodados e a via que impacta diretamente na velocidade.

Segundo um estudo conduzido por Holzleitner et al. (2011), a média de velocidade do veículo de transporte varia entre 82 km/h em estradas asfaltadas e em melhores condições de trafegabilidade e 12km/h em estradas florestais não pavimentadas e de menor importância.

Considerando a classificação das estradas, o maciço florestal predominantemente possuía vias em relevo altamente montanhoso, sem revestimento e a classe do índice de geometria horizontal era média, a velocidade média nessas vias é de 10,7 km/h (Tabela 8).

Porém, essa velocidade não representa a média em uma rota de transporte pois o veículo constantemente transita por outros padrões de vias.

Tabela 7 - Estimativa da velocidade do veículo de transporte de acordo à classificação das estradas

Tipo de Revestimento	Tipo de relevo	Classe de Geometria Horizontal	Velocidade (Km/h)
Asfalto	Plano	1 Excelente	80.0
		2 Boa	67.0
		3 Média	62.0
		4 Ruim	58.0
	Ondulado	1 Excelente	31.9
		2 Boa	31.2
		3 Média	30.3
		4 Ruim	29.6
	Montanhoso	1 Excelente	21.9
		2 Boa	21.3
		3 Média	20.2
		4 Ruim	19.8
Altamente Montanhoso	1 Excelente	16.0	
	2 Boa	15.7	
	3 Média	15.2	
	4 Ruim	14.9	
Revestimento Primário	Plano	1 Excelente	41.8
		2 Boa	39.7
		3 Média	37.6
		4 Ruim	35.5
	Ondulado	1 Excelente	23.9
		2 Boa	23.4
		3 Média	22.7
		4 Ruim	22.2
	Montanhoso	1 Excelente	17.4
		2 Boa	17.1
		3 Média	16.5
		4 Ruim	16.2
Altamente Montanhoso	1 Excelente	13.7	
	2 Boa	13.5	
	3 Média	13.0	
	4 Ruim	12.8	
Sem Revestimento	Plano	1 Excelente	24.7
		2 Boa	24.2
		3 Média	23.4
		4 Ruim	22.9
	Ondulado	1 Excelente	17.4
		2 Boa	17.1
		3 Média	16.5
		4 Ruim	16.2
	Montanhoso	1 Excelente	13.7
		2 Boa	13.4
		3 Média	13.0
		4 Ruim	12.7
Altamente Montanhoso	1 Excelente	11.3	
	2 Boa	11.1	
	3 Média	10.7	
	4 Ruim	10.5	

5.3 Determinação das rotas de transporte

Classificadas as vias da rede viária florestal, conforme os parâmetros de geometria horizontal, geometria vertical, tipo de pavimento e largura da pista, e estimada a velocidade operacional para cada trecho foi possível determinar rotas de transporte, conforme dois critérios distintos, menor distância e menor tempo para percorrer todo o caminho.

As Figuras 10 e 11, ilustram a simulação de uma rota partindo de um projeto localizado numa região central da rede viária. A Figura 10, mostra uma rota simulada e estabelecida pelo *Network Analyst*, onde o critério utilizado foi a menor distância percorrida pelo veículo de transporte. A rota, iniciou no talhão e terminou na indústria. A extensão total foi de 64,7 km. A velocidade média de deslocamento de acordo com a simulação foi de 17,4 km/h totalizando um tempo de 3 horas e 43 minutos.

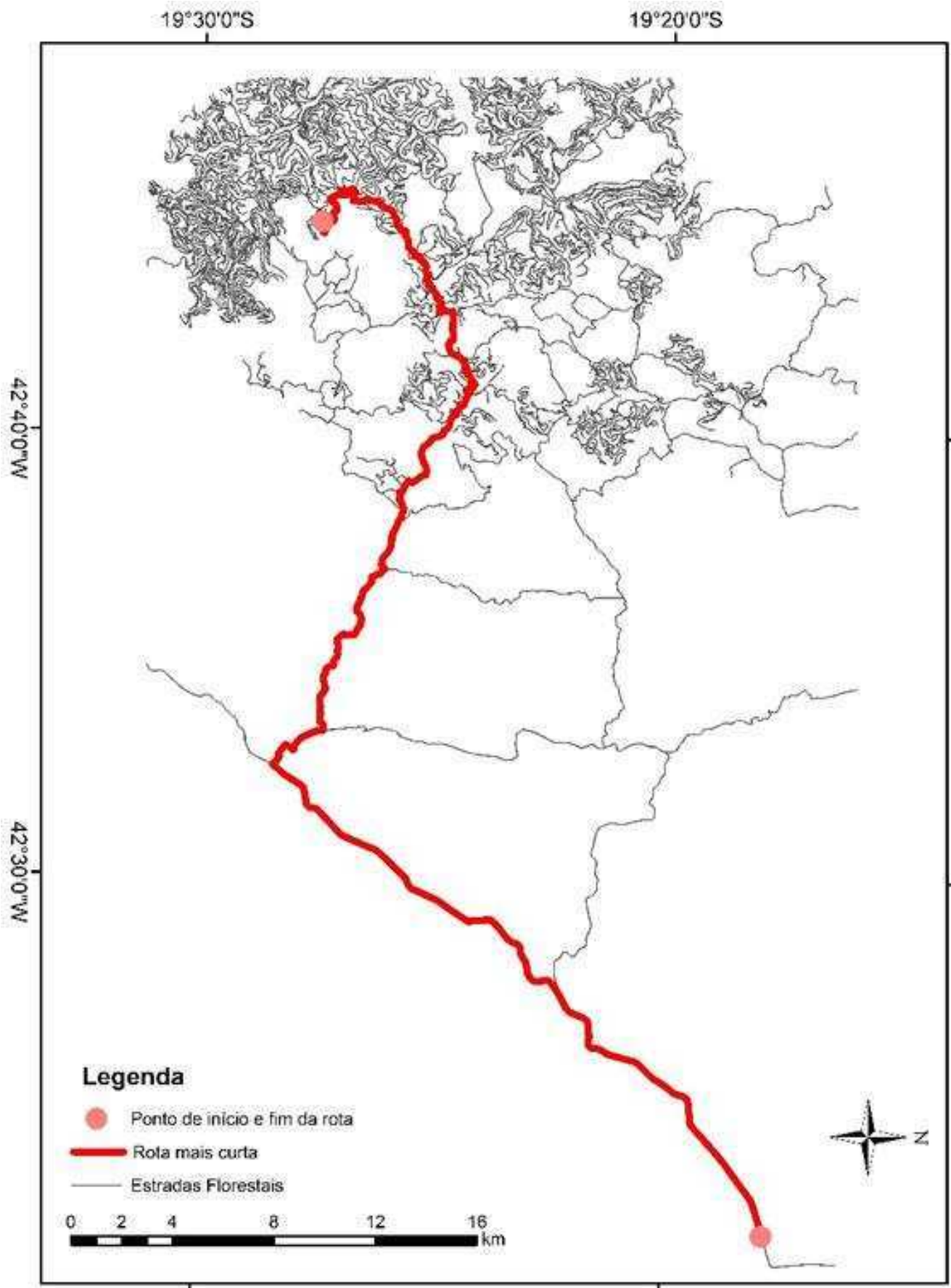


Figura 10 - Representação da simulação de uma rota utilizando o critério do caminho mais curto

A Figura 11, ilustra a simulação de uma rota partindo do mesmo ponto da rede viária. Porém, foi aplicada uma segunda opção de rota no *Network Analyst*, onde o critério utilizado foi o menor tempo. A extensão total foi de 65,0 km. A velocidade média de deslocamento de acordo com a simulação foi de 18,4 km/h totalizando um tempo de 3 horas e 31 minutos.

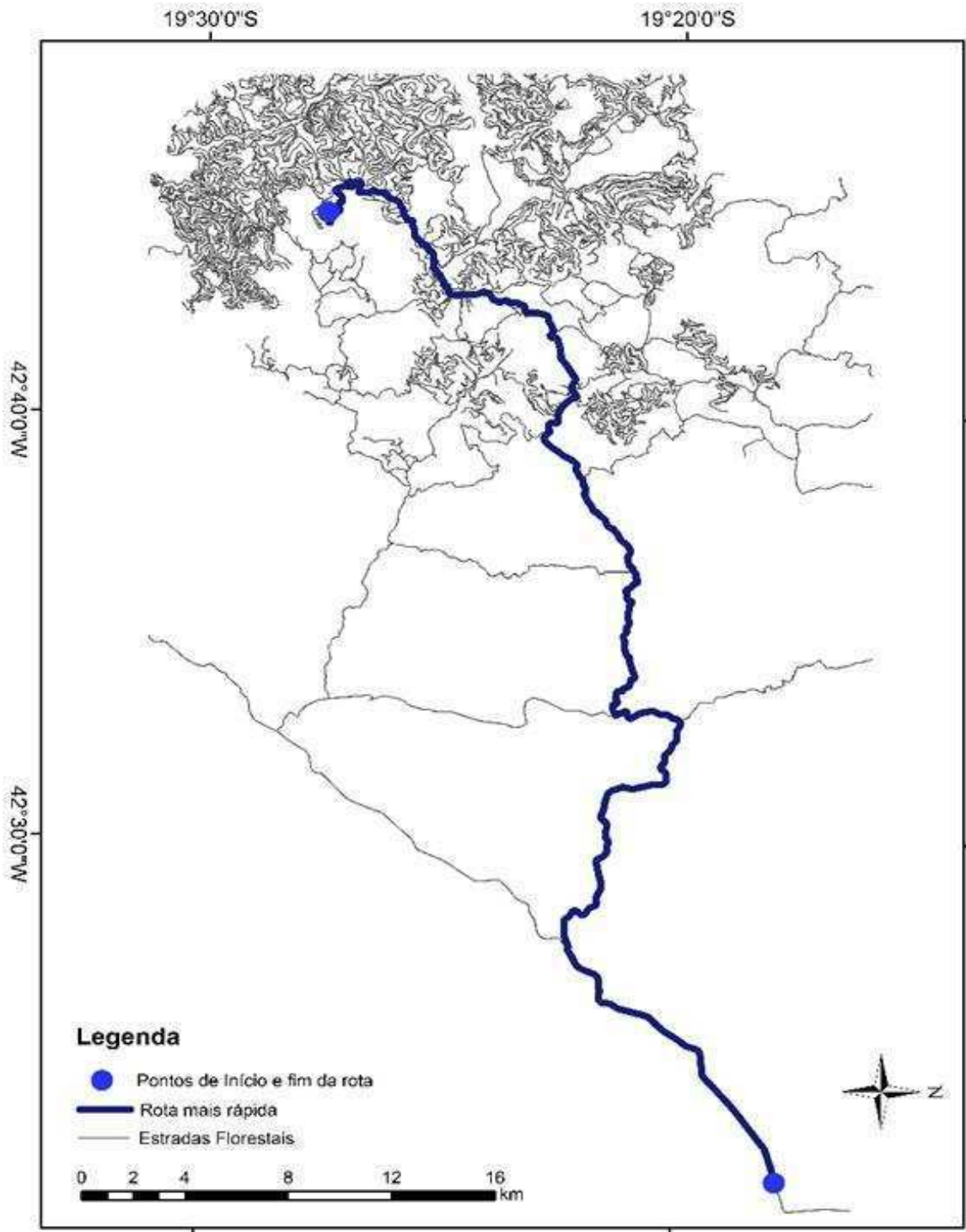


Figura 11 - Representação da simulação de uma rota utilizando o critério do caminho mais rápido

A Figura 15 representa outra simulação de rota, partindo de um outro talhão. O veículo de transporte no critério de menor tempo, totalizou 75,7 km percorridos, gastando um tempo de 4 horas e 23 minutos e a velocidade média de 17,2 km/h, durante o percurso. Na segunda opção de rota, onde o critério utilizado foi a menor distância, da origem à indústria o veículo percorreu um total de 73,4 km, levando um tempo de 4 horas e 37 minutos e uma velocidade média de 15,8 km/h.

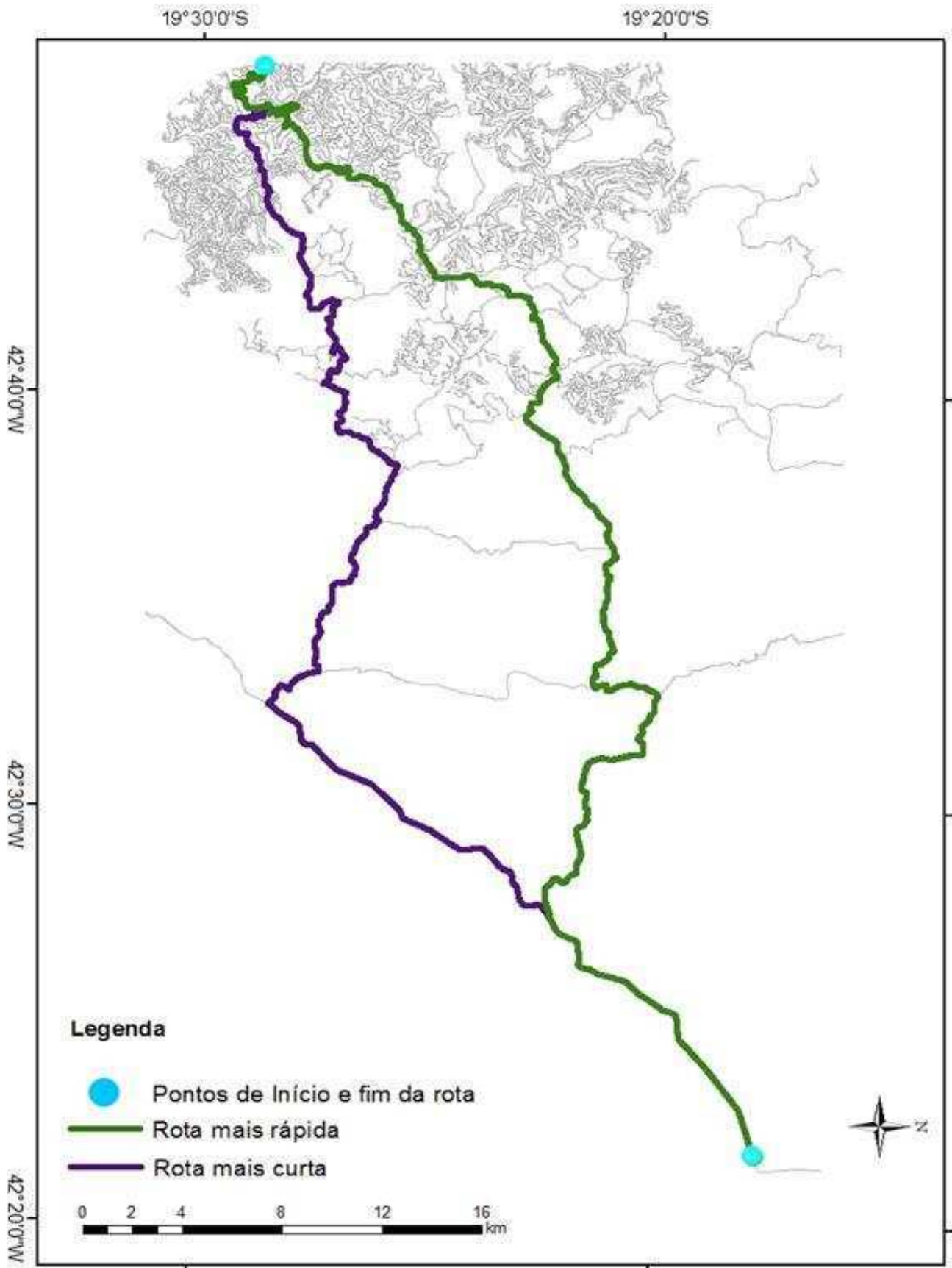


Figura 12- Representação da simulação de duas rotas partindo do mesmo talhão

Outras rotas foram simuladas partindo de cinco talhões e tendo como destino final a indústria. Os resultados encontram-se na Tabela 8.

Tabela 8 - Resultados de doze simulações de rotas baseadas nos critérios de menor distância e menor tempo.

Talhão	Menor Distância			Menor Tempo			Variação		
	Distância Percorrida	Velocidade Média	Tempo	Distância Percorrida	Velocidade Média	Tempo	Metros	km/h	Minutos
	(km)	(km/h)		(km)	(km/h)				
1	64.7	17.4	3h 43min	65	18.4	3h 31min	300	1	12
2	73.4	15.8	4h 37min	75.7	17.2	4h 23min	2300	1.4	14
3	49.1	16.3	3h 01min	49.3	17.4	2h 49min	200	1.1	12
4	50.1	15.7	3h 12min	50.4	16.8	2h 55min	300	1.1	17
5	49.8	18.7	2h 40min	53.1	20.1	2h 38min	3300	1.4	12
6	69.2	16.7	4h 07min	69.6	17.7	3h 56min	400	1	11

Os resultados indicaram pequenas variações das rotas em termos de distância percorrida, bem como no tempo em deslocamento. Partindo do talhão 5, obteve-se a maior variação da distância percorrida 3,3 km. Através da simulação de rota no critério de menor tempo o ganho foi 12 minutos e a velocidade média foi superior em 1,4 km/h.

A maior redução no tempo foi de 17 minutos, partindo do talhão 4, percorrendo 1,1 km a mais e uma velocidade média superior em 1,4 km/h.

O planejamento das operações de transporte com o geoprocessamento torna-se uma ferramenta importante para a tomada de decisões. A escolha do melhor caminho, pode abordar além do tempo e distância, o padrão das estradas. Com a classificação das vias, é possível optar por rotas cujos critérios sejam relevantes para o transporte florestal. Devlin et al. (2008) sugere que com a aplicação de SIG e manipulação dos dados, rotas de transporte de madeira podem ser definidas em termos da classe das rodovias, distância percorrida, velocidade das vias e ainda pelo tempo de viagem.

Neste sentido, a elaboração de planos de transporte baseados no tempo, distância e padrão das estradas pode reduzir os impactos econômicos das

atividades, buscando rotas que proporcionam menor custo das operações, através de estradas que desgastam menos os veículos. De acordo com Oliveira Filho (2005), a escolha de rota de transporte em função do desempenho operacional, pode reduzir custos, pois o veículo desenvolve velocidades mais homogêneas, permitindo menor consumo de combustível e menos desgaste excessivo e quebras de peças e componentes como freios, embreagens, pneus e transmissão.

Dessa forma, a determinação de rotas com o uso de SIG pode maximizar os retornos, pois é feito de uma maneira mais consistente e organizado em critérios técnicos.

6 CONCLUSÕES

A utilização da tecnologia de geoprocessamento através de Sistemas de Informações Geográficas, permitiu determinar o padrão da malha viária da região estudada, classificando-a conforme os critérios de geometria horizontal, geometria vertical, tipo de pavimento e largura da pista.

De acordo com o critério de geometria horizontal, houve uma predominância das classes de estradas Média e Ruim.

A classificação de geometria vertical, apontou que as estradas estão locadas em relevo montanhoso.

A classificação quanto ao tipo de pavimento mostrou uma maior ocorrência de estradas sem revestimento.

De acordo com o critério de largura predominaram estradas de pista simples.

A velocidade do veículo de transporte foi influenciada pelas características das estradas e a velocidade média de maior ocorrência foi de 10,7 km/h.

Com a utilização da geotecnologia foi possível determinar diferentes rotas para o veículo de transporte.

Ocorreram pequenas variações de tempo e distância no traçado de rotas de transporte.

7 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se que mantenha a base de dados atualizada constantemente, coletando e adicionando informações ao SIG, para que se tenha precisão das informações, pois estradas eventualmente são abandonadas ou reformadas, alterando a rede viária e seu padrão, e conseqüentemente mudança nas rotas.

Recomenda-se ainda que integre as informações do SIG ao sistema de “Global Positioning System”- GPS, para que ocorra o processamento das informações em tempo real, permitindo uma melhor utilização dessa tecnologia.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDULLAH, E.; WING, M. G.; SIVRIKAYA, F.; SAKAR, D. A GIS-based decision support system for determining the shortest and safest route to forest fires: a case study in Mediterranean Region of Turkey. **Environmental Monitoring and Assessment**. v.184, n.3, p.1391- 1407, 2012.

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas**. Aplicações na agricultura. 2. Ed. Rev. E ampl. – Brasília: Embrapa,. 1998. 434p.

AKAY, A. E.; WING, M. G.; SIVRIKAYA, F.; SAKAR, D. A GIS-based decision support system for determining the shortest and safest route to forest fires: a case study in Mediterranean Region of Turkey. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 184, p. 1391-1407, 2012.

ARUGA, K.; SESSIONS, J.; AKAY, A. E.; Heuristic planning techniques applied to forest road profiles. **Journal of Forest Research**, v.10, n.2, p.83-92, 2005.

ARUGA, K.; SESSIONS, J.; AKAY, A. E. Application of an airborne laser scanner to forest road design with accurate earthwork volumes. **Journal of Forest Research**, v.10, p.113-123, 2005.

BASKENT, E. Z.; KELES, S. Spatial forest planning: A review. **Ecological Modelling**, v.188, p.145–173, 2005.

BYRNE, J.J. et al. **Cost of hauling logs by motor truck and trailers**. Portland, USDA, Forest Service, 1956. 116p.

BORNES, V.; AAKRE, A. Description, Validation and Use of a Model to Estimate Speed Profile of Heavy Vehicles in Grades. **Procedia Social and Behavioral Sciences**. v.16, n.1, p.409-418, 2011.

CAVALLI R.; GRIGOLATO S. Influence of characteristics and extension of a forest road network on the supply cost of forest woodchips. **Journal of Forest Research**, v.15, p.202-209, 2010.

CHESNEAU, J. B.; NET, E. L.; BERG, S. A transport tool to evaluate sustainability impacts of transport processes within the Forest Wood Chain. **European Journal of Forest Research**. v.131, n.1, p. 73-80, 2012.

CORRÊA, C. C. M.; MALINOVSKI, J.R.; ROLOFF, G. Bases para planejamento de rede viária em reflorestamento no sul do Brasil. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 36, n. 2, mai./ago.2006.

DEVLIN, G. J.; MCDONNELL, K.; WARD, S. Timber haulage routing in Ireland: an analysis using GIS and GPS. **Journal of Transport Geography**, v.16, n.1, p.63-72, 2008.

EMMERT, F. et al. Geoprocessamento como ferramenta de apoio à gerência de pavimentos em estradas florestais. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 1, p. 81-94, 2010.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (ESRI). **What is GIS?** Disponível em :< <http://www.esri.com/what-is-gis>> Acesso em: 09 de setembro de 2014.

FAO. **Guide to Forest Road Engineering in Mountainous Terrain**. Forest Harvesting and Engineering Working Paper 2. FAO Forestry Paper 2. FAO, Rome, Italy. 88p.

GONÇALVES, A. B. **Estudo da velocidade operacional dos veículos em trechos viários de rodovias rurais de pista simples**. 2011. 118 f. Dissertação (Mestrado em Transportes) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2011.

HASSAN, Y.; SARHAN, M. Modelling Operating Speed, Synthesis Report. **Transportation Research Circular**. Washington, DC, n.151, Jul 2011.

HENNINGSSON, M.; KARLSSON, J.; RÖNNQVIST, M. Optimization Models for Forest Road Upgrade Planning. **Journal of Mathematical Modelling and Algorithms**, v. 6, n.1, 3-23, 2007.

HOLZLEITNER, F.; KANZIAN, C.; STAMPFER, K. Analyzing time and fuel consumption in road transport of round wood with an onboard fleet manager. **European Journal of Forest Research**. v.130, n.2, p.293-301, 2011.

HONG, Q.I; S. FANG, WEN, F. Development of component geographic information systems applying in forest resources management. **Journal of Forestry Research**. v.16, n.1, p.47-51, 2005

KEENAN, P. Modelling vehicle routing in GIS. **Operational Research**. v8, n.3, p. 201-218, 2008.

LEITE, E. S.; **Desenvolvimento de planos de colheita florestal de precisão utilizando tecnologias de geoprocessamento**. 2010. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

LOPES, E. S.; MACHADO, C. C.; SOUZA, A. P. et al.; 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.

NIARAKI, A. S.; VARSHOSAZB M.; KIM, K.; JUNG, J. J.; Real world representation of a road network for route planning in GIS. **Expert Systems with Applications**, v. 38, n. 10, p.11999-12008, 2011.

NURMINEN, T.; HEINONEN, J. Characteristics and time consumption of timber trucking in Finland. **Silva Fennica** v.41, n.3. p.471-487, 2007.

machado 2002

MACHADO, C. C. **Sistema brasileiro de classificação de estradas florestais (SIBRACEF): Desenvolvimento e relação com o meio de transporte florestal rodoviário**. 1989. 188 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 1989.

MACHADO, C. C.; GARCIA, A. R.; SILVA, E.; FONTES, A. M. Comparação de taxas de erosão em estradas florestais estimadas pelo modelo wepp (water erosion prediction project) modificado em relação a medições experimentais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.3, p.295-300, 2003.

MACHADO, C. C. et al.; Transporte Rodoviário Florestal. In: **Transporte Rodoviário Florestal. 2**. Ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2009. 217 p.

MARCELINO, F. A. **Avaliação dos sistemas de redes viárias florestais em função dos custos e do risco de erosão**. 2007. 128p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2007.

MOREIRA M. A.; Processamento de Imagens Digitais. In: **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação 3**. ed. atual. ampl. - Viçosa, MG: Editora UFV, 2005. 320 p.

MOREIRA, A. A. **Mapeamento de áreas de preservação permanente e dos conflitos de uso da terra em propriedades rurais**. 2009. 128p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

OLIVEIRA, R. J. GLERIANI, J. M.; MACHADO, C. C.; PEREIRA, R. S.; CORDEIRO, S. A. Análise da trafegabilidade em estradas florestais utilizando métodos computacionais. **Revista Árvore**, Viçosa- MG, v. 37, n.2, p.355-360, 2013.

OLIVEIRA FILHO, P.C.; LOPES, E. S.; MAGRAF, W.; DISPERATI, A. A. Determinação da rota ótima de transporte com auxílio de um sistema de informação geográfica. **Ciência Florestal**, v. 15, n. 4, p. 403-409, 2005.

OLSSON, L. Optimal upgrading of forest road networks: Scenario analysis vs. stochastic modelling. **Forest Policy and Economics**, v.9, n.1, p.1071-1078, 2007

PETROPOULOS, G. P.; KALIVAS, D. P.; GRIFFITHS, H. M.; DIMOU, P. P. Remote sensing and GIS analysis for mapping spatio-temporal changes of erosion and deposition of two Mediterranean river deltas: The case of the Axios and Aliakmonas rivers, Greece. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**. V.35, n.2, p.217-228, 2014

RIBEIRO, A. A. S. Floresta de Precisão. In: MACHADO, C. C. (Ed). **Colheita florestal**. 3. Ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2014. 543 p.

ROH, T. H; SEO, D. J.; LEE, J. C. AN accuracy analysis for horizontal alignment of road by the kinematic GPS/GLONASS combination **KSCE Journal of Civil Engineering**. v.7, n.1, p. 73-79, 2003

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

SEMEIDA, A. M.; Impact of highway geometry and posted speed on operating speed at multi-lane highways in Egypt. **Journal of Advanced Research**, v. 4, n.6, p. 515-523. 2013.

SILVA, M. L; OLIVEIRA, R. J.; VALVERDE, S. R.; MACHADO, C. C.; PIRES, V. A. V. Análise do custo e do raio econômico de transporte de madeira de reflorestamentos para diferentes tipos de veículos. **Revista Árvore**, Viçosa- MG, v. 31, n.6, p. 1073-1079, 2007.

SILVEIRA, F.L.; Inclinações das ruas e das estradas. **Física na Escola, São Paulo**. v.8 p16-18, 2007.

UPCHURCH, C.; KUBY, M.; ZOLDAK, M.; BARRANDA, A. Using GIS to generate mutually exclusive service areas linking travel on and off a network. **Journal of Transport Geography**. v.12, n.1, p.23-33, 2004.

YANNIS, G.; LOUCA, G.; VARDAKI, S.; KANELLAIDIS, G. Why do drivers exceed speed limits. **European Transport Research Review**. v.5, n.3, p165-177, 2013.