

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA

RICARDO VICENTE FERREIRA

MAPEAMENTO DE REDES EM SIG:
PROPOSTA DE OTIMIZAÇÃO DO TEMPO DE VIAGEM DA POPULAÇÃO
RURAL AOS SERVIÇOS DE SAÚDE

São Paulo

2011

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

MAPEAMENTO DE REDES EM SIG:
PROPOSTA DE OTIMIZAÇÃO DO TEMPO DE VIAGEM DA POPULAÇÃO
RURAL AOS SERVIÇOS DE SAÚDE

RICARDO VICENTE FERREIRA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física do Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de Doutor em Geografia Física.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Raffo

São Paulo

2011

Ao meu filho, Artur
À minha esposa, Luiza
duas pérolas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Jorge Raffo, pela confiança e apoio durante os 4 anos deste doutorado.

Ao amigo Marcos Roberto Martines pelas sugestões, indicações e, principalmente, a amizade.

Ao professor e colega Reinaldo Perez, pelas sugestões para a pesquisa e pelas indicações do que há de melhor da música cubana para a vida.

Ao professor Quintanilha pelas sugestões no exame de qualificação.

Ao pesquisador (*e primo*) Luis Eduardo (SES/SP) pelas contribuições; e ao dr. Jorge Harada (SES/SP) pela hospitalidade e indicações.

À *schwägerin* Zezé, pelo estímulo e revisão do texto e seu marido *schwager* Andreas Christ pelo apoio e revisão do Abstract.

Aos amigos e *brigadistas do GIS*: Ricardo Nader, Fernando Kawakubo e Rúbia Morato.

À Luiza, pela fé de que no final tudo daria certo! Ao Artur, por cada sorriso que serviu de combustível para continuar!

À minha mãe Vera e ao meu pai Alcebiades, a quem devo toda minha formação. E especialmente pela ajuda, incentivo e cuidado nesta fase final da pesquisa.

Ao meu irmão (Prof. Dr.) Rogério que desde o começo me incentivou na carreira acadêmica.

A *belle sœur* e madrinha Sandra por ajudar a cuidar do pequeno Artur.

Aos demais familiares: Renato e Paula, Lázaro e Ivana, Ludovic, Edmur e Rosani; à irmã de coração Zeila e família, a toda “sobrinhada”, primos e primas, bisa, etc. etc. :-)

Ao IFSP e colegas

A Deus, maior parceiro!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE QUADROS	x
LISTA DE MAPAS.....	xi
LISTA DE SIGLAS	xii
APÊNDICES	xiv
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvi
1. INTRODUÇÃO E PROPOSTA DA PESQUISA	1
1.1 PROPOSTA.....	3
1.2 OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICO.....	5
1.3 ESTRUTURA DA PESQUISA.....	6
2. ORIENTAÇÕES TEÓRICAS.....	7
2.1 A abordagem geográfica do conceito de distância	7
2.2 Acessibilidade e Mobilidade Geográfica.....	9
2.2.1 <i>Indicadores de acessibilidade e mobilidade</i>	15
2.3 Mobilidade e Acessibilidade da população rural à saúde: Revisão da Bibliografia	25
3. SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA.....	41
3.1 Modelo de Redes nos Sistemas de Informação Geográfica	43
3.1.1 <i>Geometria da Rede</i>	43
3.1.2 <i>Topologia: Redes como Grafos</i>	44
3.1.3 <i>Estruturação da Rede</i>	45
3.1.4 <i>Propriedades dos Grafos Aplicados às Redes</i>	49
3.1.5 <i>Erros de Identificação</i>	52
3.1.6 <i>Relações Espaciais dos Dados</i>	55
3.2 Impedâncias em Rede.....	57
3.3 Representação vetorial: funcionalidades dos SIG para a análise da acessibilidade	60
3.4 Avaliação Multicritério e Sistemas de Informação Geográfica.....	64
3.4.1 <i>Multi-objetivo</i>	68
3.4.2 <i>Multi-atributo</i>	69
3.4.3 <i>Processo Analítico Hierárquico (Analytic Hierarchy Process – AHP)</i>	70
4. ATRIBUTOS DA REDE DE ACESSIBILIDADE	78
4.1 Vias de circulação.....	80
4.1.1 <i>Sistema Funcional das Rodovias Rurais</i>	80
4.1.2 <i>O Sistema Local não-Pavimentado</i>	84
4.2 Uso da terra e cobertura vegetal	87
4.3 Relevo.....	89
4.4 Espaço rural	91
4.5 Barreiras Geográficas	93
4.6 Elementos de difíceis abordagens.....	93

4.7	Localidades e Áreas de interesse	96
4.7.1	<i>Habitacões rurais</i>	96
4.7.2	<i>Região Administrativa e Região de Saúde</i>	98
5.	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	103
5.1	Concepção e processo de seleção e organização de dados espaciais	104
5.1.1	<i>Digitalização da rede viária</i>	105
5.1.2	<i>Identificação e Classificação de rodovias rurais Sistema Local</i>	109
5.1.3	<i>Projeção e Ajustes topológicos</i>	112
5.1.4	<i>MDE (Modelo Digital de Elevação)</i>	115
5.1.5	<i>Verificações em campo</i>	118
5.1.6	<i>Barreiras geográficas</i>	127
5.1.7	<i>Localidades: habitacões rurais e postos de atendimento à saúde</i>	130
5.2	Combinação de mapas e tratamento de dados	139
5.2.1	<i>Especialização da rede: combinação de mapas e atualização da tabela de atributos relacional</i>	139
5.3	Impedâncias de viagem em rodovias rurais	146
5.3.1	<i>Procedimentos para a determinação das Impedâncias</i>	149
5.3.2	<i>Aplicação das Impedâncias aos limites de velocidade</i>	157
5.4	Representações e aplicações	160
5.4.1	<i>Análise espacial e visualizações cartográficas: Geometria, Velocidade e Tempo na Rede</i>	160
5.4.2	<i>Acessibilidade Geográfica em diferentes superfícies</i>	165
5.4.3	<i>Roteirização de caminhos e rede de cobertura: exemplos de aplicações com uso dos SIG</i>	174
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	181
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	185
	APÊNDICE	195

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Esquema da tese. Assuntos tratados e abordagens	6
Figura 2	Rota de menor custo entre duas zonas	15
Figura 3	Acessibilidade integral e relativa	16
Figura 4	Ilustração das classes topológicas das redes	46
Figura 5	Exemplo da representação dos grafos	46
Figura 6	Relação de planaridade e não planaridade entre os grafos	47
Figura 7	Dois exemplos de grafos em isomorfismo	47
Figura 8	Exemplo de padrões de grafos	48
Figura 9	Demonstração da igualdade de Euler considerando o caso planar bidimensional	50
Figura 10	Grafos, áreas e atributos	51
Figura 11	Condições para a digitalização de mapas	53
Figura 12	Detecção de inconsistências topológicas usando a igualdade de Euler	54
Figura 13	Exemplo de igualdades de Euler para grafos	55
Figura 14	Codificação alfanumérica das feições lineares	56
Figura 15	Definições alternativas de distância mínima em redes	59
Figura 16	Exemplo de relação entre objetos e tabela de atributos da rede	61
Figura 17	Modelo de organização das partes para a resolução de problemas de decisão multicritério	66
Figura 18	Exemplo de estrutura hierárquica dos objetivos e atributos associados	71
Figura 19	Esquema síntese do AHP aplicado aos SIG	75
Figura 20	Linhas de desejo	81
Figura 21	Relação entre os níveis de acesso e mobilidade nas diferentes classes funcionais de rodovias rurais	83
Figura 22	Ilustração da “geometria” dos objetos e do espaço de ocupação na área rural	97
Figura 23	Mosaico de imagens do Google Earth; cobertura da Microrregião de saúde de Registro (SP)	106
Figura 24	Imagem SPOT 5, 2.5 m pancromática	107
Figura 25	Exemplos de ajustes topológicos	114

Figura 26	Comparação entre as curvas digitalizadas a partir de carta topográfica (IBGE, 150.000) e isolinhas geradas a partir da grade <i>raster</i> GDEM	116
Figura 27	Exemplo da visualização das habitações rurais pelas imagens do Google Earth e a correspondência em campo	133
Figura 28	Exemplo da visualização das vilas rurais pelas imagens do Google Earth e fotografias correspondentes	134
Figura 29	Exemplo da combinação de duas camadas de implantação gráfica diferente – polígonos e linhas	141
Figura 30	Exemplo de aplicação <i>Tunneling</i> para o cálculo do índice de sinuosidade (IS)	143
Figura 31	Exemplo do processo adotado para atribuir classes de visibilidade aos arcos da rede	144
Figura 32	Esquema conceitual das relações entre atributos e descrições da rede rodoviária rural	146
Figura 33	Impedâncias das classes de atributos das rodovias rurais Coletoras	156
Figura 34	Impedâncias das classes de atributos das rodovias rurais Locais	156
Figura 35	Representação das variações nas velocidades diretrizes com impedâncias por classe de atributos	158
Figura 36	Área de cobertura em minutos a partir dos hospitais	165
Figura 37	Exemplo das etapas de elaboração de um mapa de restrições	167
Figura 38	Perfis da relação tempo e distância na superfície de acessibilidade	170
Figura 39	Relação do tempo gasto a partir das localidades rurais aos serviços básicos de saúde e aos serviços hospitalares	171
Figura 40	Exemplo de aplicação da ferramenta custo mínimo	176
Figura 41	Exemplo do recurso de cálculo da área de serviço da extensão de redes do gvSIG	177
Figura 42	Exemplo do recurso que identifica o evento mais próximo a uma dada localidade (gvSIG)	178
Figura 43	Exemplo do recurso de árvore de recobrimento do gvSIG	179
Figura 44	Recurso de geração de matriz de origem destino	180

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Seleção de publicações que tratam da temática da Acessibilidade da população rural à saúde	40
Tabela 2	Escala de valores AHP para comparação pareada	73
Tabela 3	Comparação pareada dos critérios de avaliação	73
Tabela 4	Etapas para do cálculo AHP	74
Tabela 5	Determinação da razão de consistência	74
Tabela 6	Hierarquia das vias rurais	82
Tabela 7	Descrição das condições da estrada de acordo com a especificação do defeito (RIVERSON et al, 1987)	86
Tabela 8	Velocidades estimadas para os tipos de cobertura.	88
Tabela 9	Organização da Rede Regional de Atenção à Saúde	99
Tabela 10	Descrição da base de dados utilizada na pesquisa	104
Tabela 11	Registro de observações tomadas em campo	110
Tabela 12	Velocidades Diretrizes de traçados em função da classe de rodovia, do relevo e declividade	117
Tabela 13	Relatório parcial das verificações em campo	127
Tabela 14	Resultado do georeferenciamento das construções rurais por interpretação visual	134
Tabela 15	Hierarquia dos Níveis de complexidade dos serviços de saúde	136
Tabela 16	Número de unidades mapeadas na pesquisa	137
Tabela 17	Valores de corte do índice de sinuosidade das rodovias rurais da Microrregião de Registro (SP)	143
Tabela 18	Atributos e classes de atributos descritos na tabela relacional da rede	145
Tabela 19	Associações entre classe de rodovia e classes de atributos; (implicações e definições de impedância)	150
Tabela 20	Atributos de Impedância nas Classes de Rodovias	152
Tabela 21	Hierarquia de atributos e descrições explicativas	154
Tabela 22	Modelo de sintaxe AHP apresentada no software SRING	155
Tabela 23	Síntese das Impedâncias aplicadas à velocidade	158
Tabela 24	Velocidade de viagem por veículo automotor estimada para o tipo de uso da terra e cobertura vegetal	166

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Exemplo de script do arquivo <i>kml</i> , com dados textuais e coordenadas geográficas	107
-----------------	--	-----

LISTA DE MAPAS

Mapa 1	Classes de Rodovias Rurais (Região de Registro/SP)	87
Mapa 2	População absoluta por setores censitários na região de Registro (SP). Fonte de dados- IBGE, 2007	92
Mapa 3	Rede Regional de Atenção à Saúde (fonte: SES/SP)	100
Mapa 4	Divisão administrativas das Regiões de Saúde do Estado de São Paulo	101
Mapa 5	Mapa de declividade da Microrregião de Saúde de Registro (SP)	118
Mapa 6	Recorte da área visitada em campo	119
Mapa 7	Visualização de alguns dos pontos visitados sobrepostos a representação da declividade e hipsometria.	124
Mapa 8	Barreiras Geográficas	130
Mapa 9	Representação dos pontos de identificados como construções rurais e postos de atendimento à saúde georreferenciados (Microrregião de Registro/SP)	138
Mapa 10	Conectividade da rede de rodovias rurais na Microrregião de Registro (SP).	162
Mapa 11	Mobilidade geográfica pela velocidade na Microrregião de Registro (SP)	163
Mapa 12	Acessibilidade geográfica pela velocidade aos serviços de saúde na Microrregião de Registro (SP).	164
Mapa 13	Superfície de acessibilidade pelo tempo de viagem (Microrregião de Registro/SP)	169
Mapa 14	Representação do índice de acessibilidade aplicado às unidades de saúde e clínicos gerais	173

LISTA DE SIGLAS

AHP	Analytic Hierarchy Process
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
AUSTROADS	Association of Australian and New Zealand road transport and traffic authorities
CNES	Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde
DEA	Data Envelopment Analysis
DER	Departamento de Estradas de Rodagem
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
GDEM	Global Digital Elevation Model
GEIPOT	Empresa Brasileira de Planejamento de Transporte
GPS	Global Position System
gvSIG	Generalitat Valenciana de Sistemas de Informação Geográfica
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ILWIS	Integrated Land and Water Information System
MAUP	Modifiable Areal Unit Problem
MC-PIN	Maximal Covering Network Improvement Problem
MDE	Modelo Digital de Elevação
OMS	Organização Mundial da Saúde
PCV	Pesquisa de Condições de Vida
PDI	Processamento Digital de Imagens
QGIS	Quantum Geographic Information System
SAD69	South American Datum 1969 (sistema geodésico regional para a América do Sul)
SEADE	Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados

SES/SP	Secretaria Estadual de Saúde de São Paulo
SIG-RB	Sistema de Informações Geográficas do Ribeira de Iguape e Litoral Sul
SIS	Sistema de Informações em Saúde
SPOT	Satellite Pour l'Observation de la Terre
SPRING	Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas
SR	Sensoriamento Remoto
SUS	Sistema Único de Saúde
TIN	Triangulated Irregular Network
UBS	Unidades Básicas de Saúde
UTM	Projeção Universal Transversa de Mercator
WGS	World Geodetic System
2SFCA	Two-step Floating Catchment Area Method

APÊNDICES

- APÊNDICE A Relatório e tabulação de dados de campo
- APÊNDICE B Fotos classe rodovias locais: (a) natural; (b) natural composta; (c)
revestimento primário.
- APÊNDICE C Aplicação do método AHP: Tabelas e Matrizes

RESUMO

FERREIRA, R. V. **Mapeamento de redes em SIG: proposta de otimização do tempo de viagem da população rural aos serviços de saúde.** 2011. 202f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

A distância e o tempo de viagem são elementos de importância para a avaliação do acesso aos serviços de saúde, esta é uma questão que para a população do campo tem uma importância especial devido às particularidades geográficas do espaço rural. A presente pesquisa tem como objetivo desenvolver uma metodologia de mapeamento da rede de rodovias rurais com indicações de impedâncias de viagem, utilizando-se para isso dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e tendo em vista a otimização do traslado da população rural aos serviços de saúde. A orientação teórica se apóia no conceito de distância na Geografia e em concepções sobre a medida da acessibilidade e mobilidade espacial. Faz-se uma ampla observação das abordagens e metodologias voltadas ao estudo da acessibilidade geográfica das populações rurais aos serviços de saúde, sobretudo, as que tratam de fatores espaciais e fazem uso dos SIG. Dados relativos às classes de rodovias rurais, declividade da paisagem, sinuosidade, visibilidade e uso da terra, são considerados na composição de uma síntese de impedâncias. A avaliação toma como parâmetro o tempo de viagem por veículo automotor e as medidas se fazem com base na rede rodoviária ponderada por impedâncias. A população rural e as unidades de atendimento à saúde são os referencias para a avaliação da acessibilidade geográfica. A metodologia foi aplicada à Microrregião de Registro (SP) e os resultados indicam que a velocidade nos percursos muda de acordo com os atributos associados às rodovias, sendo as estradas locais não-pavimentadas as que apresentam maior variabilidade para a geração de condições ótimas de viagem. A distribuição espacial dos serviços de saúde reflete na acessibilidade geográfica e algumas regiões são mais penalizadas no acesso aos serviços hospitalares. O modelo aqui apresentado orienta à montagem de um SIG para a análise da acessibilidade da população rural aos postos de saúde e hospitais e atende a duas principais aplicações: (i) o apoio ao planejamento da viagem da população rural aos postos de atendimento à saúde; (ii) e auxílio em facilitar o acesso da população rural às consultas e atendimento de ocorrências emergenciais, pela aplicação de recursos de análise de rede, tais como: caminho mínimo, matriz de origens-destinos e área de serviço. Ambas as aplicações poderão resultar num melhoramento do planejamento das áreas de influencia dos centros de saúde na região rural.

Palavras-chave: mapeamento, sistemas de informação geográfica; impedâncias em rede; tempo de viagem; serviços de saúde.

ABSTRACT

FERREIRA, R. V. GIS Mapping Network: Contributions to the Optimization of the Travel Time of the Rural Population to Health Service Facilities. 2011. 202f. Thesis (PhD) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. (Faculty of Philosophy, Languages and Social Sciences, University of São Paulo)

Distance and travel time are important parameters in the evaluation of access to health services. For the population living in the countryside, this has become a significant issue due to geographical particularities of rural areas. The objective of this work is the development of a GIS-based methodology for the mapping of rural road networks and the determination of travel impedances in order to optimize the travel time of the rural population to health care facilities. The theoretical orientation is based on the concept of geographical distance and on the conception of the extent of accessibility and mobility. A general overview is given of approaches and methodologies which study the geographical accessibility of health services facilities by the rural population with particular consideration of those which deal with spatial factors and make use of GIS (Geographic Information System). Data on rural roads classes, slope, sinuosity, visibility and land use are considered in the composition of the impedances synthesis. The evaluation uses the travel time by car as a parameter, and the quantifications are based on the road network with velocities adjusted by the impedances. This way, network distances, velocity and the travel time are the criteria for the evaluation of the geographical accessibility to health care facilities by the rural population. The methodology was applied to the Region of Registro (SP), and the results indicate that the velocity on the particular road sections changes depending on the attributes associated with the road classes with the observation that unpaved roads represent the worst conditions for establishing optimum travel conditions. The distribution of health service facilities is reflected in the geographical accessibility, and some regions are highly penalized regarding access to hospital services. The model presented here points out methods for the installation of a GIS for the analysis of the accessibility of health care facilities by the rural population with respect to the following applications: (i) support of the rural population when planning journeys to health care facilities; (ii) improved access to medical examination and emergency assistance by analysis of the network, i.e., by determining the minimum traveling distance, the origin-destination matrix and the service areas of the health care facilities. Both applications may improve covering and planning rural health service facilities.

Key words: mapping, geographic information system; network impedances; travel-time; health care.

1. INTRODUÇÃO E PROPOSTA DA PESQUISA

As considerações a respeito das necessidades de traslado para urgência ou consultas ambulatoriais comuns são geralmente feitas levando-se em conta a média de tempo e as distâncias que separam os pacientes dos locais de atendimento. A promoção do acesso igualitário aos serviços médicos é uma das preocupações do sistema de atenção à saúde e diferentes questões concorrem para a promoção desse equilíbrio, dentre eles os percursos e tempo de viagem.

Nos centros urbanos a preocupação com o tempo gasto para se movimentar no espaço é de interesse de todos e um fato que acompanha a vida da população. Cada cidadão calcula diariamente o tempo que será gasto para chegar ao trabalho, escola, comércio, etc. O morador do campo prevê as distâncias que irá percorrer para visitar os espaços da fazenda e calcula o tempo que levará para realizar uma viagem de ida e volta até a cidade. Estas são ações que apesar de coletivas são efetivadas por cada pessoa em suas decisões individuais. Estas decisões se fazem com base no que se pode prever, pois existem situações que são menos suscetíveis às mudanças do que outras e por isso com maior probabilidade de ocorrer: o carro que irá partir, a distância a percorrer e o tempo que será gasto estão na ordem dessas situações.

A rede como uma estrutura para o deslocamento pode ser tomada de forma semelhante, pois sua organização se dá com base em elementos mais ou menos fixos, como a própria paisagem do entorno e os recursos que promovem as condições de mobilidade e acessibilidade para as populações.

O acesso a grande parte dos bens e serviços essenciais à qualidade de vida estão concentrados no espaço urbano. Em geral, quase a totalidade dos equipamentos que servem à população no tocante à saúde, educação, comércio e demais serviços encontram-se na cidade. Em se tratando da população rural, observa-se que a relação de dependência desta com a cidade ocorre em diferentes dimensões. Ainda que no campo boa parte da economia doméstica se processe de maneira independente da esfera urbana, no conjunto de hábitos mantidos pelas populações rurais está a necessidade de uma variedade de recursos e serviços que só podem ser plenamente satisfeitos a partir da cidade, citando-se como exemplos notórios dessa questão o campo da saúde e da educação.

Para muitas populações a separação espacial é uma barreira importante a se superar, seja porque as distâncias são por vezes longas, ou porque os habitantes dispõem de meios limitados para o deslocamento no espaço (à pé ou tração animal) ou, ainda, porque a própria paisagem geográfica é constituída de obstáculos que limitam o acesso às regiões adjacentes.

Considerando que em geral as pessoas se aproximam ou se distanciam fisicamente dos lugares por percursos que se desenham na forma de linhas, raramente as distâncias se processam de forma euclidiana¹, pois as estruturas que perfazem os trajetos são diferentes vias de circulação, concebidas de forma a prover meios seguros para o traslado das pessoas no espaço. O desenho destas vias depende, sobretudo, das características físicas do espaço por onde se está atravessando.

No dizer de Lacoste (1985), hoje as pessoas se deslocam sobre distâncias maiores que num passado remoto, quando transcendiam à pé a maioria dos espaços, todavia agora tais percursos são feitos de forma passiva (por automóveis, aeronaves, trens) e sobre espaços desconhecidos em suas dimensões, isso porque o deslocamento se faz por “eixos canalizados” que, segundo Lacoste, se faz “sinalizado por flechas que atravessam espaços ignorados”.

Hoje, graças aos veículos automotores e as estruturas rodoviárias, as distâncias antes consideradas longas se “encurtaram”, oferecendo maiores possibilidades de vivências espaciais e possibilitando a ampliação das práticas sociais. A proporção relativa entre a população rural e urbana diminuiu drasticamente nos últimos cinquenta anos, e a relação de dependência do homem do campo dos recursos disponibilizados nos centros urbanos se fez em diferentes dimensões: o trabalho, a escola, o lazer, o hospital. Assim pode-se dizer que para as populações rurais e para aquelas que habitam grandes cidades, a participação nos serviços, negócios e produtos se define geograficamente, e nesse caso as atividades são espacialmente distintas e mantêm uma forte dependência com a natureza, a cultura e a economia dos lugares.

A estrutura que proporciona condições ótimas de viagem às populações rurais é a rede rodoviária rural e, nesse caso, existem diferentes fatores que concorrem para a promoção de qualidade do serviço que é prestado pelas rodovias. A melhor condição de mobilidade e acessibilidade geográfica de uma pessoa depende não apenas de fatores particulares como: a posse de um veículo automotor, acesso à informação e perfil

¹ A distância ou métrica euclidiana é a medida direta entre dois pontos, dada por uma reta.

socioeconômico, mas também de características estruturais que podem ser identificadas na rede de circulação.

A melhor aproximação que se pode obter de uma rede de circulação é através do mapeamento. Uma das tarefas da Geografia tem sido o estudo das redes a partir da representação em mapas e aplicação de métodos de análise espacial. Nos dias atuais a transposição desse fato para o plano analítico tem sido mais bem conduzida a partir das novas tecnologias da informação. As possibilidades de criação de modelos de representação, análise e síntese de dados apoiados pelo instrumental tecnológico têm se ampliado grandemente a partir dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), oferecendo infinitas possibilidades de aplicação, dentre elas o estudo das distâncias, medidas de acessibilidade e mobilidade.

Muitos princípios, métodos e técnicas acumulados há, pelo menos, dois séculos de ciência Geográfica, hoje podem ser melhor compreendidos graças ao apoio das geotecnologias. A obtenção e tratamento de dados de vínculo geográfico foi por muito tempo o calcanhar de Aquiles na pesquisa geográfica, em boa medida ainda o é. Contudo, o acesso e a manipulação de grande volume de dados só são possíveis hoje pelos recursos computacionais. Métodos de difícil consecução na geografia, agora podem ser facilmente aplicados pelo processamento de dados e o desenho cartográfico automatizados. Diante disso, presencia-se uma infinidade de possibilidades e aberturas para que metodologias sejam revisitadas, testadas e reconsideradas, tendo como apoio a tecnologia dos SIG.

1.1 PROPOSTA

A hipótese da presente pesquisa é que, partindo do mapeamento da rede de rodovias rurais e de distintos atributos espaciais a ela relacionados, é possível desenvolver uma metodologia para a escolha otimizada dos caminhos para o traslado das populações habitantes das regiões rurais aos postos de atendimento à saúde. Os recursos para a execução desse propósito devem prover condições de integração e manipulação de dados de modo a permitir a montagem de um banco de dados geográficos fundamentado na determinação das impedâncias² existentes nos tramos das

² “Em análises de redes geográficas [...], é a medida da resistência imposta ao fluxo na rede. Uma impedância maior indica maior resistência ao movimento. O valor da impedância depende de um número de fatores, tais como a característica do arco [...], o tipo de recurso ao longo do arco na rede e a direção do movimento na rede. Um caminho ótimo numa rede de arcos é aquele que apresenta menor resistência (menor impedância)”. (TEIXEIRA; CHRISTOFOLETTI, 1997, pg. 138).

rodovias rurais. Esses instrumentos se encontram disponíveis nos Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

O menor tempo de traslado entre uma habitação rural e um determinado serviço prestado na cidade não corresponde necessariamente à menor distância em uma rede de circulação, mas da manutenção da velocidade ótima. A velocidade em rodovias rurais depende de diversas variáveis que num contexto global são muito difíceis de serem modeladas, todavia alguns elementos são factíveis e podem ser mapeados e modelados nos SIG. Esta adoção oferece uma aproximação das condições de viagem das pessoas no espaço geográfico de traslado.

O entendimento da mobilidade e acessibilidade em áreas ruralizadas se faz sobre o trinômio distância-tempo-custo, esta é uma questão que se sobressai em diversos estudos sobre o assunto (SHANNON; BASHSHUR; METZNER, 1969; THOUÉZ; BODSON; JOSEPH, 1988; HIGGS; WHITE, 1997; NEMET; BAILEY, 2000; MARTIN et al., 2002; BRABYN; SKELLY, 2002; BRABYN; BARNETT, 2004; GUAGLIARDO, 2004; ARCURY et al., 2005). Aqui enfoque é para a rede de rodovias rurais como promotora de condições ótimas de viagem e esse aspecto reflete na compreensão da mobilidade das populações no campo e, conseqüentemente, na acessibilidade das mesmas aos serviços de saúde.

O custo nesse caso não é um fator monetário, mas a síntese de diversos elementos que estão relacionados à rede de circulação e ao espaço geográfico. As componentes desses elementos não são fixas no espaço, ao contrário, mudam conforme a geografia dos lugares. Assim, a aproximação dessa realidade deve ter como apoio um conjunto de análises que permitam modelar, armazenar e combinar dados espaciais de diferentes origens.

Com base nestas questões, entende-se que a representatividade destas dimensões só é possível através dos SIG. Esta tecnologia é fundamental, pois através dela o conjunto de fatores envolvidos no processo podem ser decompostos em variáveis espaciais e receberem tratamento independente e/ou integrado. Estas manipulações podem conduzir à síntese geográfica que melhor se ajusta à realidade.

Uma vez propostos procedimentos e métodos de ação que possibilitem dimensionar essa realidade, é possível se fazer a leitura de um dado espaço geográfico (município, região, estado, país), tendo como objeto de estudo o tempo de viagem entre o local de oferta de serviço e a localização do cliente (usuário). Os SIG podem oferecer

modelos que possibilitam analisar o espaço para a tomada de decisões com relação ao impacto da acessibilidade geográfica aos serviços urbanos essenciais a vida rural.

A análise de redes é o processo que possibilita a identificação de caminhos ótimos e de restrições quando se pretende verificar a viagem da população em área rural até os núcleos urbanos. A adoção de uma metodologia orientada pela síntese de elementos permite a modelagem cartográfica em redes para esse fim, nesse caso, é preciso identificar quais são as impedâncias aplicadas às rodovias rurais e como se combinam de modo a refletir na viagem das populações até os serviços de saúde.

Dado o grande volume de dados que são levados em conta, somente os modelos computacionais estruturados nos SIG permitem a obtenção de resultados com um nível de detalhe espacial elevado e cobertura no âmbito regional.

1.2 OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICO

A presente pesquisa tem como objetivo desenvolver e aplicar uma metodologia de mapeamento e determinação de impedâncias de viagem em rodovias rurais, tendo em vista a otimização no tempo de viagem das populações rurais aos serviços de saúde.

Especificamente, a intenção é investigar e selecionar alguns dos atributos e critérios que implicam em restrições à capacidade de rolamento nas rodovias rurais. A partir daí, traduzir esses atributos em impedâncias de viagem e, então, conduzir análises de modo a avaliar a metodologia para a investigação do tempo de viagem previsto para a população rural chegar ao posto atendimento à saúde, como hospitais e UBS.

A região geográfica selecionada para esta investigação corresponde a Microrregião de Registro (SP), que é a unidade administrativa regional proposta pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Sobre essa área foi construída uma base de dados geográficos em SIG, com informações referentes à malha rodoviária rural, relevo, uso da terra e cobertura vegetal, população e locais de serviços de saúde. Com base nesses dados desenvolveu-se uma metodologia para a atribuição de impedâncias que se reportam à fricção para a realização de viagens por meio de veículos automotores.

1.3 ESTRUTURA DA PESQUISA

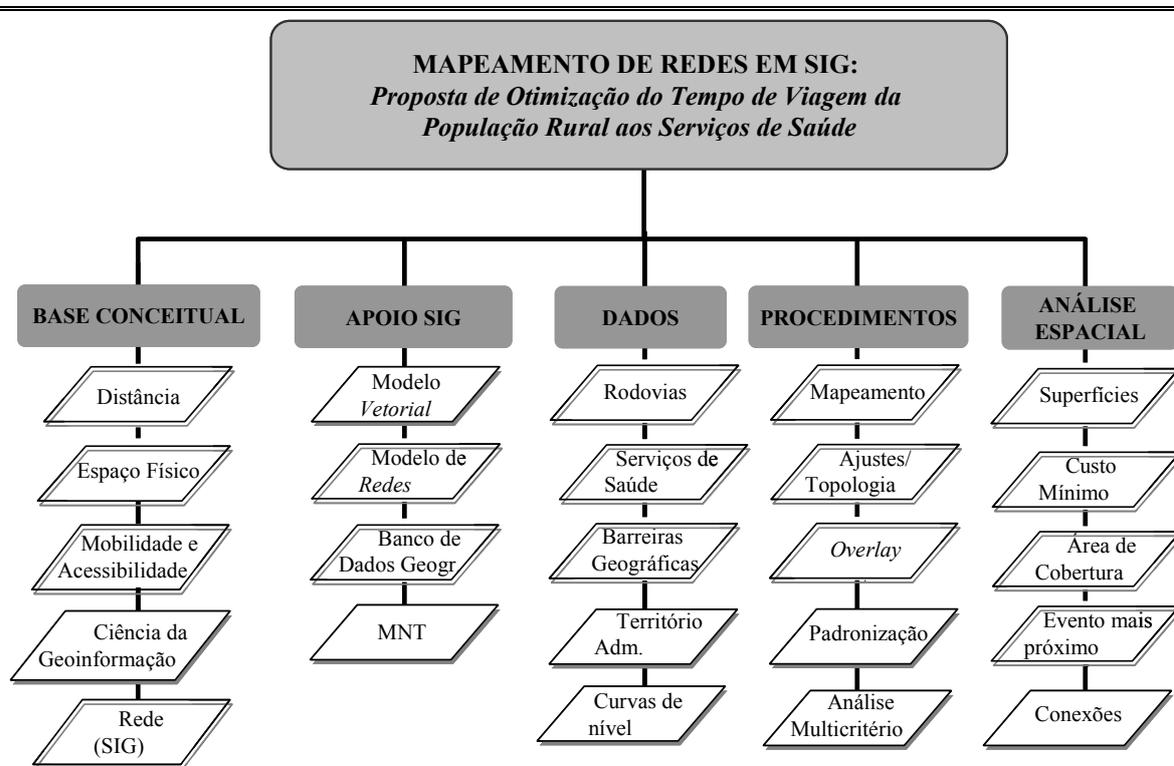


Figura 1: Esquema da tese. Assuntos tratados e abordagens

2. ORIENTAÇÕES TEÓRICAS

2.1 A abordagem geográfica do conceito de distância

No sentido mais abrangente a concepção de distância é entendida como uma medida que especifica a separação entre dois pontos ou objetos no espaço, sendo geralmente indicada por uma unidade de referência que se reporta ao comprimento ou intervalo de tempo. Em geral, é um conceito que está associado à noção de extensão espacial, podendo ser dimensionado em diferentes níveis: astronômico, geográfico, atômico.

O espaço geográfico pode ser especificado pela distância quando trata de relações de medida de proximidade, separação, acessibilidade e descontinuidade entre objetos e fenômenos geográficos.

Harvey (1969, p. 210) considera que na Geografia a medida da distância deve ser concebida como uma linguagem espacial. A concepção filosófica do espaço absoluto baseia-se na métrica isotrópica e constante - questão anteriormente debatida por Kant e depois retomada por Hartshorne -, nessa idéia o conceito de espaço é explicado com base em preceitos da geometria euclidiana, em que as relações entre os objetos sobre a superfície da Terra poderiam ser medidas por meio da extensão direta no espaço. Esta é uma perspectiva limitada, e na visão de Harvey (ibid., p.212) deve ser superada por uma outra concepção, formulada a partir da noção de espaço relativo.

Embora algumas questões possam ser respondidas pelo modelo euclidiano, outras linguagens espaciais podem e devem ser exploradas uma vez que o espaço geográfico não é isonômico. Nesse sentido, a investigação sobre a teoria da localização tem encaminhado essa discussão para uma nova idéia, a de espaço relativo. Harvey (ibid.) pontua que as atividades e os objetos espaciais definem campos e forças que influenciam as propriedades do espaço geográfico, estas interferências refletem nas ações humanas, modificando-as e distorcendo sua geometria espacial. Para explicar essa questão, Olsson (1967) toma como exemplo o caso das cidades, que alteram as propriedades dos espaços ao seu redor e influenciam o padrão das atividades humanas. Esta complexidade da geometria espacial das atividades humanas impõe dificuldades no que diz respeito à busca por modelos que traduzam essa realidade.

A superação do espaço absoluto deve advir de uma melhor compreensão das forças que moldam os padrões geográficos. Ao fazer referência a um trabalho escrito em

1955 por James Wreford Watson, intitulado *Geography: a discipline in distance*, Harvey (1969, p.210) destaca que a distância deve ser avaliada em termos de tempo, custo (atividades econômicas) e interação social (difusão da informação). Dessa forma, como a distância só pode ser medida com base em processos e atividades, sua métrica não pode ser feita seguindo um modelo independente, como na visão kantiana.

Harvey (ibid., p.211) comenta que os modelos teóricos atuais não se prendem exclusivamente às medidas derivadas da idéia eucliana de distância, havendo assim outras medidas que interessariam às ciências humanas, como aquelas que determinam custos, tempo, contato social; ou mesmo aqueles fatores de ordem física, onde o relevo, a hidrografia, a cobertura vegetal e outras estruturas são de relevância para a economia humana.

Colocada dessa maneira, a discussão teórica encaminha para uma concepção de espaço-distância não-isotrópico, ou seja, puramente relativo. Na Geografia, a distância não pode ser definida independente de algum tipo de atividade ou processo, pois a métrica é determinada pela relação entre uma dada atividade e a influência dos objetos.

Witthuhn (1979, p.179) conduz o debate do conceito de distância na geografia de maneira bastante objetiva. Para ele os geógrafos estão se divorciando de uma geometria locacional absoluta e estão passando a explorar novas distâncias métricas, distintas daquelas associadas às medidas lineares. A reflexão desse autor reitera a necessidade de se incorporar, na análise espacial, a concepção de espaço relativo.

A proposição de medidas de distância de Witthuhn (ibid., p.178-179) desenvolve-se em torno de quatro métricas que ocorrem simultaneamente no espaço: (i) a linear, que pode ser dada por medidas de comprimento; (ii) a de custo dirigido, que no caso se refere a uma relação econômica; (iii) a de tempo relativo, que se reporta à duração dos acontecimentos; (iv) a orientada pela percepção, pela qual não é possível estabelecer um padrão definitivo, pois parte de um julgamento particular do que vem a ser “distância” e que pode estar associado as características culturais e modos de pensamento.

O aprofundamento do conceito de distância como uma instância relativa pode também ser vista a partir da noção de espaço físico. Nessa concepção a superfície terrestre é o elemento fundamental da vinculação espaço-distância, pois as medidas de comprimento, custo e tempo, se fazem sobre a natureza física do espaço geográfico.

Uma discussão feita por Robert David Sack³, na década de 1970, sugere algumas bases teóricas que salientam a importância da formulação de um conceito de espaço físico no contexto da ciência geográfica. Esse autor defende que na geografia esse conceito deve estar em conformidade não apenas com a categoria geométrica de espaço, ou seja, aquela feita pela relação da superfície terrestre com coordenadas geográficas, mas deve estar associada a uma ou mais instâncias não geométricas, às quais ele chama de essência.

Ao rever as colocações de Sack, Ernst (2004, p.12) atesta que a noção de espaço físico na geografia necessariamente deve perfazer dois significados. (i) O primeiro, e imutável, ocorre independentemente do caráter da relação espacial geográfica, pois é definido pelo espaço euclidiano tridimensional e georeferenciado na superfície terrestre. Nessa assunção os objetos se definem no espaço de uma única maneira, pela localização geográfica. (ii) O segundo diz respeito à identidade que se estabelece na relação com o espaço geométrico. Como em geografia nenhum espaço é vazio, enquanto não houver a atribuição de significados que se combine com os termos geométricos (localizações), nada pode ser dito a respeito de um espaço. A explicação de Ernst (ibid.) faz a ponte entre as categorias necessárias à ciência: a da geometria espacial e da essência geográfica. Esta segunda pode ser de ordem cultural, econômica ou ambiental.

Ao colocar lado a lado espaço absoluto e relativo, a asserção de Sack instaurou critérios científicos para a concepção de espaço físico. Se a explicação de um dado espaço físico se dá na relação desse com diferentes essências, pode-se afirmar que dessa relação instauram-se também diferentes distâncias físicas, que só são reveladas na combinação específica das qualidades originais de cada lugar geográfico.

2.2 Acessibilidade e Mobilidade Geográfica

As discussões conceituais a respeito da acessibilidade e mobilidade não são novas e têm sido feitas por diferentes campos do conhecimento: geografia humana, geografia urbana, economia, engenharia dos transportes e saúde pública.

No Brasil, a maior atenção tem sido dada pela engenharia dos transportes, nesse caso, pode-se citar algumas pesquisas acadêmicas desenvolvidas em nível de livre docência, doutorado e mestrado. A tese de doutoramento de Mouette (cf., 1998, p.34-211) conduz um estudo a respeito da mobilidade de pedestres em áreas de grande

³ SACK (1973).

adensamento urbano. Esse trabalho tem como apoio alguns índices clássicos que tratam de medidas de acessibilidade.

Silva (cf., 1998, p.66-87), em sua tese de livre docência, faz uma avaliação da acessibilidade ao transporte urbano em Araraquara (SP) e trata da introdução dos Sistemas de Informações Geográficas para planejamento de transportes no Brasil.

Uma pesquisa com fins de construção de um índice potencial de viagens é encaminhada por Raia Jr. (cf., 2000, p.11-91), nessa tese faz-se ainda profunda revisão bibliográfica sobre o conceito e as proposições de medidas de acessibilidade outrora apenas pontuadas por Silva (op. cit.).

No tocante à revisão bibliográfica sobre os conceitos de acessibilidade e dos índices de medidas de distância, uma dissertação é conduzida por Machado (cf., 2008, p.85-114). Essa autora contextualiza os termos e se utiliza de recursos de Sensoriamento Remoto para calcular a acessibilidade no município de Osasco (SP).

O ponto comum entre esses diferentes trabalhos reside não apenas na temática da acessibilidade, mas na convergência dos referenciais teóricos. Praticamente todo o apoio conceitual advém do campo da geografia, sobretudo da escola anglo-saxônica e da área da engenharia de transportes. Cumpre ressaltar que nessas pesquisas citadas identifica-se abordagens conceituais distintas e, do ponto de vista da aplicação, tratam de aspectos específicos da acessibilidade em espaços urbanos.

No leque de abordagens revisados a partir desses trabalhos, foi possível identificar claramente que o conceito de acessibilidade, sob o viés espacial, está mais próximo da idéia da inserção do indivíduo ou das populações em uma determinada atividade ou conjunto de atividades. Esta inserção, por seu turno, é condicionada pelo sistema de transporte e uso do solo.

Pensando numa ordem espacial ampla que ultrapassa os limites da fronteira urbana, o estudo da acessibilidade pode ser de fundamental importância para a avaliação das condições da população rural. Conforme Vickerman (1974, p.676), ao combinar dois elementos fundamentais que são o posicionamento geográfico de possíveis locais de destinos e as características da rede de transporte, o esclarecimento sobre os alcances e limitações do acesso é mais bem conduzido.

Em geral as investigações a respeito da acessibilidade das populações a determinadas atividades se faz com fins econômicos. A proposição de cenários e a

identificação das condicionantes que interferem no movimento de pessoas e mercadorias no espaço adquire uma importância fundamental na minimização de custos monetários. No entanto, estas mesmas avaliações podem orientar medidas de mitigação de fatores de fricção ou impedância ao deslocamento, entendidos nesse caso como custos de tempo de viagem, o que para a presente pesquisa adquire uma importância maior.

No contexto espacial a acessibilidade implica na capacidade de uma determinada localidade ser alcançada, sendo assim, isso envolve parâmetros de referência ou de medida que, de alguma maneira permitem julgar sobre a separação espacial que existe entre dois ou mais pontos. Pensando-se em espaços de grande dimensão onde a mobilidade depende da capacidade de rolamento, a acessibilidade dependerá de um sistema de transporte capaz de promover condições para se transpor longas distâncias entre diferentes localidades. Nesse caso, a eficiência está associada a um custo mínimo possível de valor, energia e tempo e a um custo máximo de segurança e conforto. Logo, a acessibilidade pode ser definida como uma vantagem própria de um local no que diz respeito a um modo de superação dos efeitos espaciais da fricção. Segundo Ingram (1971, p.101) acessibilidade está relacionada à habilidade de um sistema de transporte promover, por meio de custos eficientes, a superação da barreira da distância que separa diferentes localidades.

Como o nível de acessibilidade entre dois pontos depende da distância espacial entre eles, tal fato reflete no tempo e custo de viagem. A importância que os indivíduos atribuem ao custo de viagem pode variar entre o valor monetário e o de tempo de espera para se atingir um destino, só que estas são decisões subjetivas. Todavia, quando se trata da saúde humana o usuário do sistema de transporte penaliza mais o tempo de viagem que a distância percorrida, sobretudo em condições emergenciais. Nesse caso, a unidade de medida mais representativa para se medir a acessibilidade é o tempo de acesso aos locais de interesse.

Quanto à mobilidade, essa engloba o grau de facilidade ou dificuldade de se locomover. Em geral é medida pelo número possível de deslocamentos que uma pessoa pode realizar em um dado período de tempo (MOUETTE, 1998, p. 16). Enquanto a acessibilidade se refere à capacidade de atingir um determinado lugar, a mobilidade está relacionada à facilidade com que o deslocamento pode ser realizado (RAIA Jr, 2000, p. 16).

Muito embora aqui esteja se ressaltando que a mobilidade está relacionada mais aos movimentos e aos deslocamentos que se dão no espaço, a mobilidade por vezes se confunde com acessibilidade, pois em ambos os casos é posto em questão o grau de facilidade ou dificuldade que se tem para se locomover (MOUETTE, 1998, p. 16). Na literatura especializada alguns autores parecem combinar estas definições com a idéia de localização das oportunidades no espaço, nesse caso a fronteira que delimita esses conceitos se torna imprecisa. Isso aparece em Hoggart⁴ (1973 apud Silva, 1998, p. 67) ao formular sua definição de Acessibilidade:

“A aplicação do termo tem em comum a interpretação, implícita ou explícita, da facilidade de contato com oportunidades de alguma forma distribuídas no espaço. Assim sendo, a acessibilidade parece depender não somente da localização das oportunidades, mas também da facilidade com que se ultrapassa a separação espacial entre o indivíduo e locais específicos” (tradução livre de Silva, 1998).

A necessidade por mobilidade atinge tanto populações urbanas quanto rurais, pois a separação espacial hoje submete a grande maioria das pessoas aos sistemas de transporte para se locomover. Em contrapartida, como colocado por Hanson⁵ (1995, apud Machado 2008, p. 104), o aumento da mobilidade contribui para o aumento da separação espacial entre os pontos de origem e destino. Esta questão, sem dúvida, resulta da melhora do nível de acessibilidade provida pelo sistema de transporte, pois hoje as condições são favoráveis para que os usuários desse sistema possam viajar para destinos cada vez mais distantes, muitas vezes, sem ônus significativo do tempo de viagem.

A acessibilidade perpassa a noção de traslado entre pontos e a ligação entre esses pontos define um percurso sobre uma superfície heterogênea que pode ser toda superfície terrestre ou parte desta. A ação do traslado desenha uma geometria que se dá na forma de linha. A viabilidade de se transpor grandes distâncias depende de fatores elementares, tais como: a natureza do espaço atravessado, a estrutura montada para o acesso e o(s) meios(s) disponível(is) para o deslocamento.

⁴ HOGGART, K. (1973) **Transportation accessibility**: some references concerning applications, definitions, importance and index construction. Monticello, Council of Planning Librarians: Exchange Bibliography 482, 42p.

⁵ HANSON, S. Getting There. In: **The geography of urban transportation**. Ed. HANSON, S. 2. ed. New York: The Guilford Press, 1995, 478 p.

O deslocamento entre localidades interesse (origem-destino) pode se dar sobre diferentes superfícies: continental sólida ou líquida, como no caso de rodovias, ferrovias e hidrovias; em subsuperfície continental, a exemplo de linhas férreas subterrâneas e túneis de longas distâncias; sobre a superfície marítima, como no caso de embarcações transoceânicas e cabotagem; e ainda através da atmosfera terrestre, como é o caso do transporte aéreo.

A maioria desses ambientes deve estar equipado por infra-estruturas viárias para que seja possível o deslocamento através de sua extensão territorial, esse é o caso do asfaltamento para o transporte rodoviário e do sistema de trilhos para as vias férreas. A necessidade de infra-estruturas caras se faz também nos demais meios de transportes, que exigem a seleção de espaços para a implantação de qualquer tipo de terminal.

Outra questão a se destacar é que a viabilidade do deslocamento depende ainda dos meios utilizados para o movimento, os modos. Dentre os modais disponíveis para o percurso, pode-se citar: a força motriz, a tração animal, a automotiva, a ferroviária, a naval e a aérea, que reúnem os indivíduos e os transportam no espaço. Em uma primeira instância, o que os torna especiais, é o fato de serem recursos eficientes para se atravessar longas distâncias em um espaço de tempo ótimo; num segundo momento, pela capacidade de carga que alguns podem transferir de um lugar para outro; grandes volumes de mercadorias e/ou pessoas. Cumpre ainda destacar que a acessibilidade por estas funcionalidades não se faz senão mediante recursos monetários que, por seu turno, são apenas expressões finais dentre um conjunto de fatores que viabiliza o traslado, ou seja, refere-se a questões de ordem tecnológica, de consumo de energia, da prestação de serviço e da arquitetura inerente a cada um desses modos. As distâncias percorridas por esses meios de transporte podem definir dimensões espaciais distintas e em escalas variadas, que perpassam a dimensão local, regional, nacional, continental e intercontinental.

Como visto, a especificação da distância é um fator primordial para se definir relações de proximidade, acessibilidade e separação entre as pessoas, mercadorias e serviços. E mais, a idéia que se faz da distância como barreira geográfica se modifica quando são especificados os meios de transporte disponíveis para atravessá-la.

A discussão a respeito da acessibilidade envolve a questão da proximidade, nesse aspecto toda atenção dada à distância vem acompanhada do interesse em se conhecer os menores percursos e os caminhos mais eficientes em termos de custo para se viajar, e

isso em geral se relaciona com os caminhos mais curtos. Miller (2004, p.285) coloca que a proximidade é uma questão central e muito flexível na análise espacial. Destaca que as relações espaciais geográficas se dão entre pares de objetos sobre a superfície terrestre com relações que se definem pelo caminho mais curto. Uma ilustração bastante didática destas relações foi feita por Gatrell (1983, p.52-53) ao retomar a assunção clássica da Teoria da Localização sobre a superfície uniforme de transporte. Na asserção teórica o caminho entre dois pontos que minimiza os custos é, em qualquer tipo de paisagem, uma linha reta, no entanto, Gatrell (1983, p.52) aponta que distância física e distância custo são comprimentos intercambiáveis, não podendo se falar em uma uniformidade constante entre estas duas categorias, mesmo porque o custo geodésico⁶ é inerente a qualquer situação sobre a superfície da Terra. Citando as considerações de Lösch⁷, Gatrell (ibid.) e Witthuhn (1979, p.179) retomam a idéia de que uma rota pode ser refratada ao atravessar o limite entre duas zonas com custos diferentes, à maneira que a luz é refratada quando atravessa dois meios físicos distintos. Dada duas zonas com custos diferentes Y e X o problema da localização está em determinar o ponto em que uma rota deve atravessar a fronteira entre elas de modo a minimizar custos (Figura 2). Imaginando-se viajando por entre dois pontos, cada um em ambientes distintos, por exemplo, terra e mar, o caminho mais curto entre Y e X será a a reta b , isso caso não se considere custo algum para se percorrer os dois ambientes. Por outro lado, considerando que o custo monetário é geralmente maior para o transporte terrestre e, tendo que o objetivo seja minimizar essa questão, a opção a ser adotada deverá reduzir a distância percorrida sobre o continente e maximizar o percurso por sobre o mar, nesse caso a adoção correta é a rota a . Agora, se o objetivo for minimizar o tempo de viagem, valorizando-se assim o custo tempo, a opção mais apropriada será a rota c , pois a velocidade em continente é maior. No caso dos custos de construção sobre ambos ambientes a decisão se fará pela identificação do ponto ótimo dado pela igualdade entre os ângulos θ_1 e θ_2 (custo $X * \text{sen } \theta_1 = \text{custo } Y * \text{sen } \theta_2$), nesse caso, se o custo sobre X for maior maior do que o custo em Y , fará sentido buscar por recursos que minimizem o percurso pelo mar, ou seja, que reduzam o ângulo θ_1 .

⁶ Qualquer medida sobre a Terra se reportará a uma superfície curva. Esse é um custo inerente à geometria do planeta.

⁷ 1954, apud GATRELL, 1983. LÖSCH, A. **The economics of location**. Yale University Press, New Haven, Connecticut, 1954.

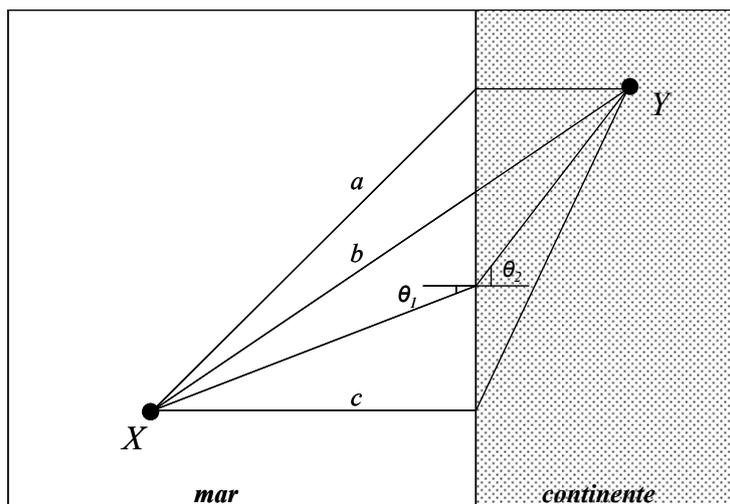


Figura 2: Rota de menor custo entre duas zonas (modificado de Gatrell (1983, p.53; Witthuhn 1979, p.179)

Nos estudos em geografia a noção de proximidade, tendo por base a distância euclidiana, deve ser substituída pelo raciocínio de relações advindas de imposições definidas pelos atributos espaciais, por exemplo, o uso da terra e cobertura vegetal, tráfego, topografia. Nesse sentido, Miller (2004, p. 286) propõe substituir o conceito de distância pelo de caminho de menor custo. Isso implica em tratar os atributos espacialmente contínuos como esferas de custos que afetam o movimento ou a interação entre as pessoas. Embora a proximidade seja um princípio fundamental no estudo da acessibilidade geográfica, ela não requer a abordagem da métrica euclidiana, ao contrário, a heterogeneidade dos elementos que compõem o espaço geográfico determina as menores distâncias e relações de proximidade entre as populações.

2.2.1 Indicadores de acessibilidade e mobilidade

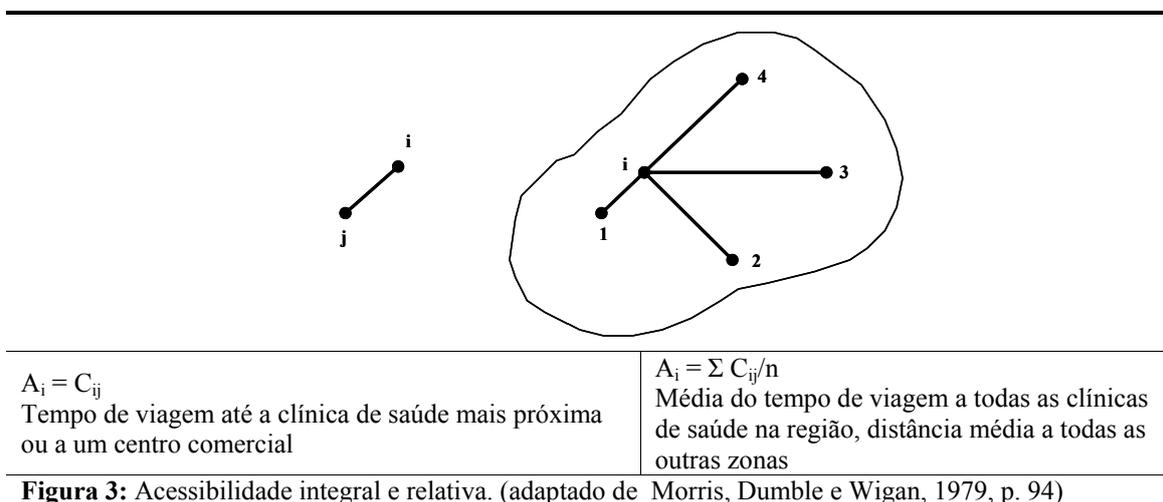
Os indicadores de acessibilidade e mobilidade são modelos em geral construídos com base na linguagem matemática e que permitem quantificar as relações envolvidas no processo de análise. Uma vez que a compreensão da separação espacial intui a idéia de medida de valor, cumpre estabelecer parâmetros para a modelagem de observações empíricas, e sobre essa questão diversos autores propõem tipos e classificações de indicadores de acessibilidade e mobilidade. Aqui apenas alguns são tratados, pois se relacionam com os objetivos propostos nesta pesquisa.

2.2.1.1 Indicadores de Acessibilidade Espacial

De acordo com Morris, Dumble e Wigan (1979, p. 92) os índices de medidas de acessibilidade são baseados na premissa de que as oportunidades estão distribuídas de maneira restrita no espaço geográfico.

A opção por um determinado método de medida de acessibilidade depende da intenção da aplicação. Como as oportunidades são variadas e a realidade espacial não é a mesma para qualquer região geográfica, observa-se um amplo leque de proposições sobre o assunto.

No intuito de organizar as diferentes propostas de medidas de acessibilidade, Morris, Dumble e Wigan (ibid., p.93) propõem uma classificação geral dos indicadores de acessibilidade mais proeminentes na literatura especializada. A maioria das proposições identificadas advém da área de transportes. Os autores (ibid.) salientam que suas considerações se constroem de modo a explicar a idéia de *acessibilidade relativa* e *acessibilidade integral* proposta por Ingram (1971, p.101), que define: (i) *acessibilidade relativa* como sendo a medida com que dois pontos estão conectados numa mesma superfície, e (ii) *acessibilidade integral* como a medida de interconexão de um ponto com todos os outros pontos na mesma superfície (Figura 3).



Em geral, as pesquisas científicas orientadas ao estudo do acesso espacial se voltam mais para as medidas de acessibilidade integral, isso se deve ao fato de estas oferecerem a percepção de todas as oportunidades de viagem numa dada região geográfica. Segundo Morris, Dumble e Wigan (ibid., p. 94), o surgimento de uma

variedade de índices reflete o interesse na análise do comportamento humano e das relações da sociedade para com o espaço. Para esses autores as preocupações estão centradas principalmente em três aspectos: (i) a escolha de uma medida apropriada da impedância no sentido de traduzir o custo de viagem; (ii) suposições sobre as escolhas observadas no conjunto de oportunidades; (iii) a escolha adequada das variáveis de atratividade no sentido de refletir a disponibilidade de destinos que satisfazem os desejos particulares dos viajantes.

Observações críticas tem sido feitas com relação a utilização indiscriminada de índices para a modelagem de dados geográficos, pois nota-se uma forte dependência à aplicação e nem sempre isso é observado. A opção por um tipo de índice na medida da acessibilidade deve incorporar elementos da separação espacial que implica em compreender mudanças de desempenho do sistema de transporte e que por sua vez interferem na mobilidade. Outro aspecto é o do comportamento da população analisada, pois a compreensão do contexto socioeconômico que estas estão inseridas deve orientar as proposições analíticas e a realidade geográfica é um fator preponderante nesses casos. De acordo com Morris, Dumble e Wigan (1979, p. 94) a formulação do índice de acessibilidade deve ser tecnicamente viável e operacionalmente simples, permitindo a fácil interpretação e de preferência inteligível para o leigo.

A observação dos indicadores de acessibilidade mais significativos foi feita na tese e doutoramento de Raia Jr (2000). Dentre os principais índices levantados por esse pesquisador, notam-se aqueles que têm sido emprestados com maior recorrência pelos estudos de acessibilidade conduzidos na área da saúde. Os identificados como de maior relevância, por enfatizarem os aspectos da rede e da impedância, são: (i) *Indicadores do tipo atributos de redes* dentre os quais destacam-se os Indicadores do tipo simples ou topológico e os Indicadores do tipo separação espacial; (ii) *Indicadores de dados agregados derivados do modelo de Hansen*.

(i) *Os indicadores do tipo atributos de redes*

Resultam de medidas de separação espacial entre pontos ou a ligação entre pontos tendo por base as localizações relativas na rede. Esses indicadores têm sua arquitetura desenvolvida com base na Teoria dos Grafos; são compostos por *links* e nós. Os nós têm uma função de pontos ou locais de interesse, enquanto que os arcos representam as ligações entre esses nós.

Os indicadores do tipo simples ou topológico representam essa categoria, sua função está em estabelecer conexões entre dois pontos no espaço e permitir o deslocamento entre eles, tendo como base um sistema de transporte (RICHARDSON; YOUNG⁸, 1982 apud RAIA Jr, 2000, p. 32). A rede é normalmente descrita como sendo composta de *links* que se encontram nos nós.

Indicadores do tipo separação espacial é uma formulação advinda da medida de acessibilidade de Ingram (1971, p.102), que por sua vez generalizou a medida de Shimbel⁹ (1953, apud VIKERMAN, 1974, p.675). Em sentido prático a acessibilidade integral é definida para um determinado ponto como o grau de interconexão com todos os outros pontos na mesma superfície. Em termos operacionais a acessibilidade integral depende da obtenção de um conjunto de acessibilidades relativas a um determinado ponto de referência. Ou seja, o acesso integral de um *i-ésimo* ponto é uma função escalar das acessibilidades relativas em relação a esse ponto.

Esses indicadores de rede podem adotar uma função ou valor que represente o efeito da impedância de viagem, que resulta em valores representativos de custos de viagem de cada ponto ou zona de origem em relação ao ponto ou zona de referência. Para a determinação da acessibilidade integral adota-se a soma de todos os pontos ou zonas da área em estudo.

Um substituto do cálculo da acessibilidade relativa é a distância em linha reta entre dois pontos. Nesse caso, o acesso integral até uma dada localidade é definido pela média das acessibilidades em relação a mesma.

(ii) *Indicadores de dados agregados derivados do modelo de Hansen*

Esses indicadores usam dados agregados que combinam aspectos de transportes e uso do solo. O modelo original formulado por Hansen¹⁰ em 1959, propõe que a acessibilidade é uma medida da distribuição espacial das atividades ao redor de um ponto (localidade), ajustada para a capacidade e vontade das pessoas ou empresas de superar a separação espacial (HANSEN, *ibid.*, p.73). Nesse caso a acessibilidade num determinado ponto até um particular tipo de atividade é diretamente proporcional à

⁸ RICHARDSON, A.J.; YOUNG, W. A measure of linked-trip accessibility. **Transportation Planning and Technology**, v.7, n.2, p.73-82, 1982.

⁹ SHIMBEL, A. Structural parameters of communications network. **Bulletin of mathematical biophysics**, 15, 501-507, 1953.

¹⁰ HANSEN, W.G. (1959). How accessibility shapes land use. *Journal of the American Institute of Planners*, v.25, n.2. p.73-76.

quantidade disponível dessa atividade numa dada área (zona) e inversamente proporcional à função de distância que a separa do ponto de demanda. A acessibilidade total à atividade a partir de um ponto é a soma das acessibilidades individuais na mesma área. Assim, quanto mais atividades estiverem sendo disponibilizadas próximas de um determinado ponto, maior estará sendo a acessibilidade do mesmo a estas atividades.

As variações derivadas desse modelo em geral utilizam funções de ponderação para o cálculo da acessibilidade de uma determinada zona. Esses pesos ponderativos aparecem com diferentes nomes na literatura especializada: impedância, fricção, restrição e resistência.

Conforme Raia Jr (2000, p.44), muitas críticas recaíram sobre o modelo de Hansen pelo trato da impedância de viagem (distância - d) como uma função de potência negativa ($d^{-\beta}$). Para alguns autores isso representou uma limitação do modelo, pois ao alegar que a distância é necessariamente a melhor forma para se representar dificuldade de viagem, Hansen estava subtraindo outras possibilidades de modelagem de impedâncias de viagem. Vickerman (1974, p.678) propõe que o efeito da impedância poderia ser medido por outras funções, distintas da opção de potência negativa.

As novas abordagens utilizadas para o cálculo da acessibilidade a um determinado ponto (ou zona) passaram a levar em conta a agregação das oportunidades disponíveis em cada ponto, ponderados por uma função de resistência (impedância) para se atingir esses locais, ou seja, as oportunidades disponíveis em cada ponto ou zona são subtraídas de acordo com a dificuldade existente para se atingir essas localidades. Na revisão de Raia Jr (2000, p.44) identificam-se duas variações da medida de Hansen que são, muitas vezes, tratadas como sendo medida de Hansen normalizada e *medida de Hansen ponderada pela população*. A primeira medida estabelece que a atratividade de uma determinada zona é dada pela relação entre as oportunidades existentes ali e as oportunidades existentes em todas as demais zonas da área considerada. A segunda proposição associa acessibilidade às oportunidades que os residentes (população) na área considerada possuem para participar de uma atividade particular ou um conjunto de atividades.

Em geral o que se pode depreender é que a proposta por hora valoriza um aspecto ou outro. Nas medidas consideradas simples como as de rede e separação espacial são

exigidos poucos dados (SALES FILHO¹¹ 1998, apud RAIA Jr, 2000 p.39). No caso das medidas derivadas do modelo de Hansen, a inserção de informações adicionais pode resultar numa aproximação maior com as diferentes realidades geográficas, mas as dificuldades e limitações podem ser encontradas na adoção de procedimentos para a definição de valores de ponderação das impedâncias, já que as orientações nesse sentido são diversas.

2.2.1.2 Indicadores de Mobilidade Geográfica

Em relação aos índices de mobilidade, Raia Jr (cf., 2000, p.68-72) descreve os que são mais utilizados nas pesquisas sobre o assunto. Como a mobilidade pode ser descrita como a capacidade de se deslocar no espaço, esse conceito pode parecer equivalente ao de acessibilidade, todavia as distinções são necessárias, pois a mobilidade reflete, no mais, a capacidade da pessoa usar diferentes modos de transporte ou se deparar com condições restritivas ao deslocamento. Nesse caso as medidas de mobilidade não levam em consideração as localidades onde estão as oportunidades que podem ser atingidas. A medida de mobilidade traduz o grau de impedância do deslocamento, ou seja, indica o grau de dificuldade para efetuar o deslocamento através do sistema de transporte (Rosado; Ulysséa Neto¹², 1999, apud RAIA Jr p.30),

Como a mobilidade condiz com a capacidade de uma pessoa se deslocar no espaço, isso implica em aspectos ainda mais específicos, por exemplo, o uso ou não de mais de um modo, e outras características particulares, como as socioeconômicas, os aspectos da região geográfica, entre outros. Em certo sentido isso implica na soma de aspectos subjetivos, pois são pertinentes a cada indivíduo que está em movimento.

Os indicadores observados por Raia Jr (2000, p. 68), nas diferentes assunções, permitem concluir que as medidas de mobilidade, primeiramente, dependem do tipo de aplicação, pois acabam considerando um ou outro aspecto mais ou menos importante. O engajamento do autor em identificar uma variedade de aplicações e classificá-las de acordo com as proposições específicas fornece um panorama de indicadores de mobilidade, que no geral podem ser agrupados em três principais categorias que refletem seus objetivos:

¹¹ SALES FILHO, L.H. The accessibility matrix - a new approach for evaluating urban transportation networks. In: WORLD CONFERENCE ON TRANSPORTATION RESEARCH, 8. **Proceedings**. Antuérpia, Bélgica. 20p, 1998.

¹² ROSADO, M.C.; ULYSSÉA NETO, I. Determinação de índices de acessibilidade a serviços de educação utilizando sistema de informações geográficas. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, XIII. **Anais...** São Carlos, 1999. ANPET. v.I, p. 29-39, 1999.

(i) Indicadores relativos aos tipos de viagens. São construídos com base em parâmetros de média de viagens diárias por pessoa;

(ii) Indicadores que tratam das facilidades de viagens. Estão associados às oportunidades disponibilizadas pelo sistema de transporte;

(iii) Indicadores que tratam do potencial de viagens onde são abordadas a possibilidade de ocorrência de viagens por parte dos indivíduos.

Raia Jr (2000, p.69) observa que em todos esses grupos as propostas de índices se fazem sobre os tradicionais indicadores de acessibilidade e nas considerações de medidas de espaço-tempo. Existem ainda outros indicadores de mobilidade que tratam da relação espaço-tempo, só que numa outra dimensão. Tratam-se de índices sobre aspectos mais específicos, aqueles relativos às mudanças de padrão da mobilidade por parte de determinados grupos sociais numa escala temporal histórica. Nesse caso, a pesquisa requer a análise de numa dada região geográfica por longos períodos, na ordem de anos.

2.2.1.3 Indicadores de acessibilidade aplicados aos serviços de saúde

Os indicadores de acessibilidade inicialmente desenvolvidos no campo dos estudos em transportes, há algum tempo vem sendo adotados nas pesquisas envolvendo a área de saúde. Desde meados da década de 1970 esse tipo de abordagem tem recebido maior atenção de pesquisas científicas com foco voltado para medida de acessibilidade aos serviços de atendimento básico, hospitais e emergências.

De acordo com Guagliardo (2004, p.4) as proposições sobre medidas de acessibilidade espacial em saúde em geral adotam métodos que podem ser classificados sinteticamente em quatro categorias (i) *proporção provedor-população*; (ii) *distância até o provedor mais próximo*; (iii) *distância média até um conjunto de provedores*; (iv) e os *modelos gravitacionais de influência espacial*.

(i) *proporção provedor-população*. São modelos que calculam a proporção de provedores de serviços em relação à população em uma dada área. Essas áreas, em geral, são limites regionais, municipais ou administrativos definidos por políticas de saúde. Como esse tipo de análise não requer o uso de SIG para se fazer, acabam sendo de uso recorrente para a estimação da demanda de população assistida ou potencial para um determinado posto de atendimento ou centro provedor. Nesse índice o numerador

especifica a capacidade dos serviços de saúde, que pode ser o número de médicos, clínicas, atendimento especializado ou leitos hospitalares. O denominador se refere ao tamanho da população dentro da área. Como indicador de comparações simples esse modelo pode oferecer indicações modestas. Dois problemas advindos dessa adoção metodológica dizem respeito às variações comuns nas bordas das áreas delimitadas, conhecida como *Modifiable Areal Unit Problem* (MAUP¹³), pois são áreas potencialmente sujeitas ao erro de medida espacial por se utilizarem de fontes de dados agregados. O segundo problema está no fato desse método não realizar medidas de distância ou tempo de viagem da população que é coberta pela área administrativa, ou seja, as populações que se inserem na superfície recoberta pelo setor administrativo acabam não sendo analisadas.

(ii) *distância até o provedor mais próximo*. Nesses índices a distância é geralmente calculada tendo como ponto de partida a residência do paciente ou o centro populacional de demanda, que costuma ser definido pelo centróide geométrico de polígonos censitários ou municipais. Esse modelo se difere do anterior principalmente por especificar a distância, que representa a relação de viagem do paciente ou comunidade até o(s) posto(s) de atendimento. Esta relação de distância também costuma ser dada em tempo de viagem e pode ser definida pela distância direta (euclidiana) ou por uma rede de transporte (rodovias, ferrovias). Segundo Guagliardo (2004, p.4), esse método tem sido considerado adequado para a análise da acessibilidade geográfica em áreas rurais, onde a escolha entre provedores de serviço são bem mais limitadas e onde o posto de atendimento mais próximo tende a ser o mais procurado. Para áreas urbanas essa medida não é muito adequada pois é insensível às variações do tráfego. Nesse índice a combinação de distância/tempo de viagem com a disponibilidade de serviços são fundamentais para se compreender a acessibilidade geográfica.

(iii) *distância média até um conjunto de provedores*. É uma medida combinada de acessibilidade e disponibilidade. Como no caso anterior, esse cálculo é feito a partir de um ou mais pontos onde habitam os pacientes ou população de interesse. A partir desse(s) ponto(s), determina-se a impedância média de viagem a todos os postos de atendimento dentro de uma área, que pode ser uma cidade ou região.

Sobre essa medida duas questões têm sido alvo de críticas: (a) a sobrevalorização da influência de serviços que estão numa posição geográfica desvantajosa, nesses casos

¹³ Problema da Unidade de Área Modificável.

os resultados podem surtir efeitos dúbios quando uma opção pode parecer vantajosa, mas sua posição geográfica não o é; (b) semelhantemente ao MAUP, a delimitação da fronteira política nem sempre tem relação com a população, pois os pacientes podem estar atravessando as fronteiras administrativas e procurando serviços de saúde nas proximidades adjacentes.

(iv) *modelos gravitacionais de influência espacial*. Esse é também um indicador que combina acessibilidade e disponibilidade de serviços. Conforme Guagliardo (2004, p.5), esse indicador pode fornecer as medidas mais válidas de acessibilidade espacial tanto para áreas urbanas como rurais. Esses modelos representam adequadamente o potencial de interação espacial de distância entre qualquer dado pontual referente a população e todos os pontos de serviços, podendo ainda levar em conta a fricção, que é o coeficiente de decaimento. Pelo fato de os modelos de gravidade espacial considerarem todas as alternativas de postos de atendimento, eles costumam ser tratados como medidas de oportunidade cumulativa.

Referindo-se aos modelos de medida de acessibilidade, Thouez, Bodson e Joseph (1988, p.36) observam que os índices de acessibilidade espacial propostos no campo da saúde são de complexidade variada, mas que em geral todos se caracterizam por um critério comum que é o da dependência da distância. Dessa forma, com base nas considerações de Guagliardo (loc. cit.) e Thouez, Bodson e Joseph (loc. cit.) pode-se indicar que os encaminhamentos mais significativos têm sido feitos com base no modelo de gravidade espacial.

O modelo original pressupõe que o potencial de acessibilidade de um dado serviço se dá por uma relação direta com número de serviços disponíveis num dado limite de abrangência de viagens de uma população, e numa relação inversa às distâncias que separam cada localidade desses mesmos serviços. Guagliardo (loc. cit.) refaz essa relação de maneira mais formal citando a seguinte fórmula:

$$A_i = \sum_j S_j / d_{ij}^\beta$$

A_i é a acessibilidade espacial ou o acesso potencial que pode ser calculado para uma população, ou centróide de um setor censitário ou mesmo uma residência localizada no ponto i .

S_j é a capacidade do serviço disponibilizada no local ou área j . Geralmente essa capacidade é dada pelo total de profissionais em atividade, mas pode ser alguma outra medida, por exemplo, o número de postos de saúde da cidade.

d é a impedância de viagem, podendo ser, por exemplo, a distância ou o tempo de viagem entre os pontos i e j .

β é um coeficiente de decaimento da gravidade, por vezes referido como o coeficiente de atrito de viagens. No caso β representa a dificuldade de se viajar. Assim, a acessibilidade espacial melhora à medida que aumenta a soma dos serviços disponíveis (numerador) ou a soma das impedâncias de viagens diminuem (denominador). Altos valores refletem alto nível de acessibilidade, esse caso ocorrerá quando a população habitar próximo aos serviços de saúde. β é um coeficiente de decaimento pela gravidade, alguns autores se referem ao termo como *coeficiente de atrito* (CROMLEY; MCLAFFERTY, 2002, p.247; THOUENZ; BODSON; JOSEPH, 1988, p.36).

Como o expoente da distância, β , descreve o efeito *coeficiente de atrito* sobre a acessibilidade a um determinado serviço, quando β for igual a $0,0$ (zero), a distância não tem nenhum impacto sobre essa acessibilidade, ou seja, será como se toda a população morasse a uma mesma distância do serviço e em iguais condições de movimento. Nesse caso apenas a atratividade do serviço seria relevante. O expoente $1,0$ (um) anula qualquer efeito de atrito sobre a distância que separa cada uma das localidades do(s) provedor(es), ou seja, desconsidera qualquer relação de impedância sobre a distância, passando essa a ser o fator absoluto. Por outro lado, quando β passa a limiares superiores a $1,0$ a distância possui um efeito de atrito significativo, e o acesso tende a depender cada vez mais da separação espacial.

No modelo gravitacional clássico, a acessibilidade é diretamente proporcional à atratividade e inversamente proporcional à distância elevada a potência dois ($\beta=2$), esse modelo reproduz uma concepção proveniente da física Newtoniana, mas conforme Cromley e McLafferty (2002, p.247), não há motivos para se adotar tal modelo no caso de aplicações em saúde. Segundo as autoras, na utilização de dados empíricos sobre os usuários dos serviços deve-se buscar por um expoente que melhor represente a realidade, todavia na maioria dos estudos encaminhados empiricamente os resultados variaram o valor do expoente entre $1,0$ a $2,0$.

Para qualquer região geográfica os efeitos da atratividade dos serviços e das distâncias dos usuários variam ao longo do tempo e o efeito de fricção da distância pelo expoente pode variar significativamente de uma realidade socioeconômica e geográfica para outra. Segundo Cromley e McLafferty (ibid.), as pesquisas indicam que o expoente da distância tende a ser menor para as regiões mais centralizadas onde há maiores oportunidades de serviços e maiores para as regiões periféricas, mais distantes destas áreas. Assim, um expoente não pode ser transferido de um caso para outro, pois o arranjo geográfico, as características da população e dos serviços mudam de um lugar para outro.

A calibração do expoente é o elemento fundamental para a medida de acessibilidade e sua determinação deve ser feita com base em critérios explícitos. Nesse sentido, o pesquisador é dependente de informações sobre as facilidades e dificuldades para se viajar, além de conhecer aspectos da realidade socioeconômicas da população, caso deseje identificar características mais específicas e assim ponderar os valores.

2.3 Mobilidade e Acessibilidade da população rural à saúde: Revisão da Bibliografia

No campo da saúde pública o estudo da acessibilidade ocupa um lugar especial e várias pesquisas têm sido conduzidas com objetivo de melhor compreender como as populações acessam serviços e atendimentos necessários às suas diferentes necessidades médicas. Muitas pesquisas relativas à acessibilidade aos serviços de saúde, tendo por enfoque a separação espacial, têm sido realizadas em diversos países, denotando a importância de tal questão no debate acadêmico e, conseqüentemente, no planejamento em saúde pública.

Nessa seção serão apresentadas as concepções e propostas de estudo que foram observadas na literatura especializada e que versam sobre distintos aspectos do campo da acessibilidade geográfica das populações rurais aos serviços de saúde, no caso, aqueles que têm relação com fatores espaciais.

Inicialmente convém verificar qual o significado do termo acessibilidade e como tem sido empregado pela saúde pública. Nessa área o termo denota vários significados, e por essa razão carece de uma taxonomia apropriada para não suceder conflitos de interesse.

Na busca por uma especificação para o conceito de *acesso* no campo da saúde pública, Penchansky e Thomas (cf. 1981, p.127-140) o define com base em concepções taxonômicas que, num sentido geral, sintetizam um conjunto de dimensões que descrevem a relação entre o usuário e o sistema de serviço. Delimitam assim cinco categorias: Disponibilidade, Acessibilidade, Acomodação, Custeio e Aceitação.

A dimensão de interesse aqui é do termo acessibilidade que, segundo os autores supracitados, deve ser entendida como aquela que considera o local de atendimento e a localização do usuário dos serviços, inserindo nessa relação informações sobre meios de transporte, tempo de viagem, distância e custos diversos para ocorrer. Entende-se que essa dimensão é ampla e implica numa variedade de fatores que perpassam esferas distintas, como a geográfica, demográfica, física, de infra-estrutura e da administração. Assim, ainda que o termo acessibilidade se refira apenas aos aspectos de ordem espacial, diferentes categorias de atividades e diversos conjuntos fatores podem ser identificados e considerados nesse contexto. Tal fato pode ser constatado pela diversidade de abordagens e propostas presentes na literatura especializada, que permite a identificação de distintos adjetivos associados à palavra:

Acessibilidade Física (JOSEPH; BANTOCK, 1982; PERRY; GESLER, 2000; NOOR, 2003, 2004; BLACK et al. 2004; RAY; EBENER, 2008);

Acessibilidade Geográfica (BOSANAC; PARKINSON; HALL, 1976; THOUZET et al., 1988; CROMLEY; McLAFFERTY 2002; DONABEDIAN, 1973; BRABYN; SKELLY, 2002);

Acessibilidade Espacial (LUO, 2003, 2009; GUAGLIARDO, 2004; BAGHERI; BENWELL; HOLT, 2005; YANG, 2006; LANGFORD; HIGGS, 2006; CINNAMON; SCHUURMAN; CROOKS, 2008; McGRAIL, 2009);

Acessibilidade a Serviços de Saúde (HIGGS; WHITE, 1997; PARKER e CAMPBELL, 1998; MARTIN et al., 2002; MURAWSKI e CHURCH, 2009; LOVETT et al., 2002).

Dada a amplitude dessa categoria, aqui se propõe um recorte específico que se faz sobre as relações dadas entre: o espaço geográfico, os sistemas de transporte rodoviário rural e a localização das atividades de saúde no contexto regional. Diante disso, tais relações adentram também em questões relativas à mobilidade das populações e a facilidade que estas têm para chegar aos serviços de saúde partindo das áreas rurais

onde habitam. Nesses espaços as pessoas necessitam se deslocar até as áreas urbanas para obter atendimento à saúde, e é sobre essa separação espacial que por vezes se faz referência à expressão *espaço físico*. Também no decorrer desta pesquisa os termos *mobilidade geográfica* e *acessibilidade geográfica* são utilizados no contexto desse recorte específico.

De acordo com Shannon et al. (1969, p.143), as primeiras atenções dadas ao conceito de distância entre pacientes e provedores de serviços de saúde data da década de 1920. Esses estudos inicialmente mostraram a distribuição de serviços bem como as relações de utilização e de distância. Logo nos trabalhos pioneiros foi possível constatar que a distribuição dos serviços de saúde é desigual em relação à população.

Desde então, várias pesquisas têm tratado da acessibilidade aos serviços de saúde, sendo hoje possível identificar uma diversidade de resultados, produtos de aplicações metodológicas, estudos de caso, proposições de conceitos e indicadores de medida. Em geral são estudos feitos por pesquisadores de (e em) países desenvolvidos.

Desde a abordagem de Shannon (cf., 1969, p.143-161) as preocupações recaem sobre as dificuldades de se medir distâncias e definir a acessibilidade de uma maneira apropriada. A observação das pesquisas orientadas pelo viés da acessibilidade a serviços de saúde da população rural, permite depreender diferentes metodologias, que em geral se orientam por objetos específicos de análise ou por contextos geográficos particulares que seguem encaminhamentos próprios.

Segundo Joseph e Bantock (1982, p. 86) a medida da acessibilidade a serviços de saúde pode ser vista a partir de duas propostas:

(i) Uma primeira envolve medidas da acessibilidade real, que esses autores designam de *revelada*. Sob esse enfoque a investigação deve ser encaminhada a partir da análise efetiva dos dados sobre a utilização dos serviços e, para que uma pesquisa possa ocorrer, deve-se necessariamente consultar as informações fornecidas pelo sistema de saúde. Estas medidas de acessibilidade são limitadas a um dado comportamento no tempo e no espaço, relacionando-se com demandas e atendimento em um ou mais hospitais ou postos de atendimento.

As pesquisas sobre a *Acessibilidade Revelada* em geral se referem a estudos de caso, que tomam como ponto de partida a observação de dados disponibilizados por hospitais e outras esferas de ação em saúde. Os trabalhos que se orientam por esse viés

se caracterizam por duas abordagens: a primeira se reporta à medida de privação ou desvantagem das populações ruralizadas aos serviços de saúde; e a segunda aos casos que se apóiam em dados empíricos e que analisam uma determinada realidade, por exemplo, a qualidade de atendimento dos postos de saúde ou a acessibilidade para a solução de um determinado tipo de doença, procurando a partir daí identificar padrões de comportamento que podem dar respostas para a melhor organização dos serviços prestados.

(ii) A segunda proposta de medida converge para a noção de *acessibilidade geográfica* aos serviços de saúde pela população em geral. A esse caso, Joseph e Bantock (cf., 1982, p.86-89) denominam de acessibilidade física *potencial*, pois não implica em nenhuma interação real entre as pontas demanda e atendimento. Considerando-se o alcance máximo de um determinado serviço de saúde e assumindo que cada pessoa da área administrativa ou geográfica em que tal serviço se insere é um usuário potencial do mesmo, a medida de acessibilidade no espaço físico depende apenas da posição relativa da população aos serviços. (JOSEPH; BANTOCK, 1982, p.86). Esta visão reitera uma colocação antes vista por Shannon et al. (1969, p.144) quando pontuam que todas as populações têm necessidades similares com relação ao acesso à saúde e isso implica em assumir que toda comunidade necessita de um dado número de médicos e serviços. A medida da *acessibilidade física potencial* vem ao encontro desse raciocínio e promove uma espacialização mais ampla da questão ao considerar a separação espacial.

Tomando estas considerações como o ponto de partida conceitual para a organização do pensamento relativo à acessibilidade das populações rurais aos serviços de saúde, é possível a identificação de abordagens apoiadas por metodologias distintas. Existem estudos que se orientam por medidas de *Acessibilidade Potencial* e que em geral fazem uso da concepção da Gravidade Espacial. Outras abordagens têm a atenção voltada para a avaliação da mobilidade e acessibilidade das pessoas no espaço. A questão das redes de deslocamento, geralmente a rodoviária, está no escopo de algumas pesquisas, sobretudo quando se busca compreender o tempo gasto para o traslado e a roteirização de viagens. Existem também estudos que combinam diferentes métodos no intuito de apoiar o planejamento dos serviços de saúde. Outros fazem uso intenso de técnicas de geoprocessamento, objetivando não exatamente o apoio ao planejando dos

serviços, mas a valorização do potencial dos SIG para a promoção de conhecimentos em saúde pública.

2.2.2.1 Acessibilidade Potencial: propostas metodológicas

Gravidade Espacial

A adoção de modelos de gravidade espacial é recorrente nas pesquisas em acessibilidade da rural. Sob essa perspectiva o trabalho de referência é o de Shannon et al.(cf., 1969, p.143-161) que propõem a aplicação do modelo gravitacional para a medida de acessibilidade das populações até os centros de atendimento à saúde, chamando a atenção em particular para a importância da restrição ao deslocamento no espaço, expresso no expoente negativo da função.

Como a formulação clássica do cálculo da gravidade espacial não leva em consideração a variabilidade de postos de atendimento no que diz respeito à quantidade e distribuição no espaço, Joseph e Bantoc (cf., 1982, p.85-90) propõem uma medida para calcular a disponibilidade relativa de clínicos ou serviços num dado espaço com base no adensamento populacional e assim avaliar a demanda das localidades.

Radke e Mu (cf., 2000, p.105-112) tomam o modelo de gravidade espacial como referência para desenvolver uma metodologia de medida da acessibilidade que leva em conta o efeito das comunidades vizinhas na avaliação do provimento dos cuidados em saúde. Nessa aplicação a utilização de SIG é fundamental no tocante à definição de zonas de atenção médica e na estimativa potencial de famílias assistidas por pontos de atendimento. O método calcula a relação de demanda de residentes dentro de uma área de serviço centrada na localização de um provedor de saúde e calcula a proporção de moradores que se localizam nas áreas onde os serviços de diferentes provedores se sobrepõem. As áreas de análise podem ser separadas por círculos sobrepostos (*buffers*), e as áreas de serviço são conjuntos decompostos dessa área de sobreposição.

A metodologia proposta por Radke e Mu (ibid.) foi revista por Luo e Wang (cf., 2003, p.865-884) e aprofundada, tornando-se mais eficiente pela incorporação da decomposição espacial chamada “*two-step floating catchment area method*”, o método ficou conhecido pela sigla *2SFCA*¹⁴. Considerado pelos próprios autores como uma

¹⁴ método em duas etapas para captação de áreas flutuantes. No primeiro passo calcula-se a proporção de médicos em uma área, adotando um limiar de tempo de viagem; num segundo passo, somam-se as

variação do método de gravidade espacial clássico, o *2SFCA* sintetiza em duas etapas a essência da medida de acessibilidade. Nesta abordagem substitui-se medida de distância pela medida de tempo e viagem (com limiar de 30 minutos) e refina-se os dados de localização da população por uma unidade de referência geográfica menor, podendo ser o código postal. O desenvolvimeto do método se faz totalmente apoiado pelos SIG.

O método da decomposição espacial *2SFCA* recebeu atenção em pesquisas posteriores pois se destacou ao atingir dois interesses importantes na pesquisa em acessibilidade em saúde pública: (i) identificar em que medida a gravidade espacial varia na superfície e (ii) apresentar quais são os alcances dos serviços de saúde disponibilizados em uma determinada região geográfica. No entanto, não ficou imune às críticas. Considerações foram então feitas com relação aos alcances dos dados utilizados por Luo e Wang (cf., 2003, p.865-884), a esse respeito Langford e Higgs (2006, p.296) chamam atenção para a limitação do uso do centróide dos polígonos censitários como referência geográfica da população atendida, pois generaliza-se demais a localização da demanda, e propõem a adoção do método dasimétrico¹⁵ para o refinamento da localização das populações, isso porque na prática há uma situação pior de acessibilidade das áreas rurais do que geralmente se observa nas abordagens que se utilizam da referência baseada nos centróides destas zonas censitárias.

McGrail e Humphreys (cf., 2009, p.124-136) conduzem uma nova pesquisa que tem como ponto de partida o método da decomposição espacial *2SFCA* de Luo e Wang (ibid.), no entanto, esboçam um método alternativo para mensurar a acessibilidade combinando novos elementos de acesso espacial. Assim, três asserções passam a ser consideradas chave para compor a medida: (i) o modelo *2SFCA* é aplicado, mas com modificações quanto às restrições de distâncias, a capacidade do serviço e sua abrangência; (ii) fazem-se inferências a respeito das necessidades de saúde da população rural, mas com base na identificação etária, de gênero, do nível educacional e da etnia das mesmas; (iii) na medida da mobilidade da população leva-se em conta o modo de transporte utilizado, no caso, o carro de passeio foi considerado, só que refinado pelo perfil etário, ou seja, atribuindo maior condição de mobilidade para as pessoas com idade entre 18 anos e 75 anos.

proporções, identificadas no primeiro passo, que caem num limiar de tempo de viagem, só que desta vez partindo da localização da população rural.

¹⁵ O mapeamento dasimétrico é o processo de desagregação de dados espaciais em unidades de análise mais detalhada, utilizando dados auxiliares para ajudar a refinar locais da população ou outros fenômenos (Mennis, 2003, p.32).

A proposição de McGrail e Humphreys (ibid) insere novos elementos ao *2SFCA*, mas não se afasta do princípio conceitual identificado na gravidade espacial de que a acessibilidade decai numa proporção maior que a distância.

Mobilidade e Acessibilidade

Do ponto de vista conceitual, a distinção entre o conceito de mobilidade e acessibilidade é um procedimento necessário, todavia, no contexto analítico, a combinação destas duas abordagens pode resultar em aprofundamentos importantes para a pesquisa em saúde pública. De um modo geral, a medida da mobilidade geográfica das populações se faz no sentido de melhor compreender as restrições para se deslocar no espaço e avaliar os alcances dos serviços no contexto de uma dada região ou zona de saúde. Os índices de acessibilidade em geral contemplam a dificuldade de se mover no espaço, no caso dos modelos de gravidade essa dificuldade é expressa pelo expoente negativo da distância, todavia a explicação destas restrições implica em dimensões bem mais específicas que podem atravessar questões socioculturais, econômicas, além de fatores subjetivos que perpassam decisões e interesses particulares dos usuários e provedores. Nesse sentido, a observação da mobilidade e acessibilidade para uma dada região ou espaço geográfico pode não ser facilmente generalizada para outras situações aparentemente semelhantes, o que implica numa dificuldade em se fazer proposições investigativas gerais para a combinação desses dois elementos.

Uma pesquisa que se enquadra no estudo da mobilidade é encaminhada por Benthan e Haynes (cf., 1985, p.231-239) e referida ao Condado de Norfolk (Inglaterra). Comparando resultados de morbidade da população com dificuldades de mobilidade, esses autores analisam as relações que se estabelecem entre as necessidades de atendimento à saúde, mobilidade pessoal, acessibilidade espacial e o uso dos serviços. A avaliação da mobilidade é feita considerando a disponibilidade e acesso da população a veículos automotores e levou em conta a posse de linha telefônica como um indicador auxiliar para a avaliação da acessibilidade. Como a pesquisa é anterior ao advento da popularização da telefonia móvel, a posse de uma linha telefônica em área rural era algo bem menos acessível, porém um importante facilitador para a obtenção de informações e um indicador de acessibilidade das pessoas. Os resultados apontam que a morbidade aumenta muito com a idade, enquanto a mobilidade pessoal propende a declinar. A morbidade tende a ser maior entre as mais baixas classes sociais, que têm menos probabilidade de ter carro. As mulheres tendem a ter maior necessidade de cuidados de

saúde que os homens, mas são menos propensas a ter acesso imediato a um carro particular. Do ponto de vista metodológico é interessante frisar que a pesquisa não faz uso de representações cartográficas para chegar a essas observações. Em suas conclusões os autores defendem que as principais tendências descritas na pesquisa podem ser generalizadas para muitas partes do país, e sugerem que os problemas podem ainda ser mais graves em áreas remotas, com menos serviços e pouca população.

Lovett et al. (cf., 2002, p.97-111) realizam uma investigação sobre a acessibilidade por carro e ônibus na mesma região de Anglia Oriental, que agrega três Condados: Norfolk, Cambridge e Suffolk. O estudo se utiliza de SIG para analisar informações espaciais diversas: locais que realizam procedimentos cirúrgicos gerais; características da rede rodoviária; disponibilidade de transporte público expresso pelas rotas de ônibus e outros meios de transporte coletivo utilizados pela comunidade local. A pesquisa de Lovett et al. (cf., 2002, p.97-111) é reconhecida como um estudo sobre acessibilidade, pois faz indicações de procedimentos para a medida de acessibilidade geográfica para cirurgias com base no tempo de viagem por diferentes modais de transporte. Todavia, entende-se aqui que pela sobrevalorização dada aos resultados advindo do modo de transporte que são utilizados pela população, e aos procedimentos de medida de movimento no espaço, feitos sobre a organização da rede rodoviária, velocidades praticadas, tempo de espera e tempo de viagem, essa pesquisa adquire uma dimensão mais afinada com a medida de mobilidade geográfica.

Martin et al. (cf., 2002, p.3-13) publicam no mesmo ano um trabalho sob enfoque semelhante, só que aplicado à outra região geográfica, no caso, o Sudoeste da Inglaterra. A modelagem de dados geográficos na direção desta pesquisa se fez com base em relatórios sobre o uso dos transportes públicos no Condado da Cornwall (Inglaterra), e teve como finalidade, avaliar como fontes de dados digitais imediatas podem ser incorporadas na avaliação do acesso da população. O estudo faz diferenciações entre o transporte público e privado no cálculo da medida da mobilidade e chama atenção para a importância da dinâmica desses modos, bem como, do sistema de transportes para se compreender as barreiras de acesso aos hospitais mais próximos. Salientam que existe uma significativa diferença entre a avaliação da acessibilidade feita com base na distância em rede e as medidas que tomam como referências a densidade populacional ou as medidas euclidianas. Martin et al. (ibid) apontam que o procedimento adotado por Lovett et al. (loc. cit.) em incorporar dados de medidas do tempo de viagem,

provenientes do departamento de administração dos transportes, com os dados sobre os pacientes da autoridade de serviços de saúde da família, apenas aproxima a medida de acessibilidade, mas não a explica completamente. A abordagem de Martin et al. (loc. cit.) reforça que a medida da acessibilidade depende da base de informação que especifica os meios de transporte e o tempo de viagem. Pode-se dizer que pelo fato de os modos estarem sendo analisados e modelados em base empírica, o trabalho tem um caráter integrador das duas esferas conceituais – Acessibilidade Potencial e Revelada – e promove uma melhor compreensão das medidas de acesso em regiões rurais.

Método de redes

As medidas de acessibilidade com base na rede de transportes são em geral apoiadas pelos SIG e nesses casos a atenção se faz principalmente no tempo de viagem gasto para se percorrer os tramos viários. Algumas pesquisas que se destacam por essa abordagem são as de Bagheri, Benwell e Holt¹⁶ (2005), Cinnamon, Schuurman e Crooks, (cf. 2008, p.140-151) e Murawski e Church (cf., 2009, p.102-110).

Com vistas a atender um programa da OMS (Organização Mundial de Saúde) e do governo da Nova Zelândia, Bagheri, Benwell e Holt (loc. cit.) empreendem uma pesquisa para medir a acessibilidade espacial aos serviços básicos de saúde tendo como escopo a determinação de caminho ótimo até os postos de atendimento. Com apoio dos SIG, a pesquisa foi conduzida fazendo-se a modelagem da rede rodoviária e considerando as impedâncias dos fatores que interferem na mobilidade sobre a mesma, tais como: topografia, perímetro, uso da terra e cobertura vegetal, velocidades, horários diferenciados. Na pesquisa são ainda considerados a localização e distribuição da população e postos de atendimento no espaço.

Na busca por respostas para a dimensão espacial da acessibilidade orientada à medicina paliativa, Cinnamon, Schuurman e Crooks, (loc. cit.) selecionaram serviços que oferecem atendimento especializado na região da Columbia Britânica (Canadá) e calcularam a área de cobertura com base na rede rodoviária e no limiar de tempo de uma hora de viagem. O trabalho pode ser caracterizado como um caso de medida de *Acessibilidade Potencial*, pois não considera os casos efetivos de uso dos serviços, apenas analisam a cobertura espacial do serviço com base no tempo de viagem. Os resultados advindos desse procedimento oferecem elementos mais adequados para o

¹⁶ BAGHERI, N.; BENWELL, G. L.; HOLT, A. Measuring spatial accessibility to primary health care. **Apresentação** no SIRC 2005 – The 17th Annual Colloquium of the Spatial Information Research Centre. Universidade de Otago, Dunedin, Nova Zelandia. 24 e 25 de novembro de 2005.

juízo das áreas carentes e que necessitam de uma atenção especial do serviço. Segundo os autores, a melhoria do acesso espacial é potencialmente importante na redução do tempo de viagem dos pacientes, dos profissionais que fazem visitas domiciliares e dos profissionais que necessitam viajar para realizar suas atividades.

Um trabalho de caráter técnico e ao mesmo tempo crítico do ponto de vista das premissas de sua consecução é o de Murawski e Church (loc. cit.), que propuseram um novo modelo para a melhoria da acessibilidade rural, sobretudo em regiões subdesenvolvidas, o modelo chamado de *Maximal Covering Network Improvement Problem* (MC-PIN¹⁷) é formulado como um problema de programação linear inteira e pode ser aplicado pela base SIG. Os autores esclarecem que a acessibilidade aos serviços de saúde deve ser vista como um fator crítico, que penaliza muitas pessoas em áreas rurais por reduzir a acessibilidade de alguns grupos pela falta de estradas capazes de atender a população em todas as épocas do ano. Na verdade, o acesso acaba sendo sazonal pelo fato de submeter as populações rurais à condicionante meteorológica. Do ponto de vista metodológico, o trabalho de Murawski e Church (cf., 2009, p.102-110) se utiliza de modelos que tratam da localização-alocação de serviços de saúde tendo em vista a maximização da acessibilidade, nesse sentido é uma adoção nova, pois em geral os modelos são baseados no pressuposto de que as redes de transportes são estruturas estáticas e sempre disponíveis, que na prática é um raciocínio que pode não encaminhar análises adequadas sobre as áreas mais prejudicadas pelo acesso. O viés crítico advém das considerações dos autores quando destacam que os trabalhos anteriores ignoram os impactos potenciais das melhorias do sistema de transporte na modelagem do acesso. Nesse caso há uma abordagem que trata da questão da acessibilidade de uma maneira inversa, ou seja, a do acesso do serviço à população rural através da melhoria da situação das ligações da rede de transportes a todas as estradas e em diferentes condições de tempo.

Técnicas de geoprocessamento

O apoio do geoprocessamento para o estudo da acessibilidade ganhou notoriedade a partir da década de 1990, desde então a utilização desses sistemas para a realização de análises acompanha a grande maioria das pesquisas em acessibilidade geográfica. Em alguns trabalhos o apoio dos SIG se faz desde a obtenção de dados para mapeamento - a exemplo do uso de produtos de Sensoriamento Remoto, passando pelo tratamento e

¹⁷ Problema da Melhoria da Rede de Máxima Cobertura.

análise de informações espaciais. A facilidade com que alguns procedimentos podem ser conduzidos por meio dos SIG tem permitido sua aplicação a partir de diferentes propostas metodológicas e também permitido a integração de vários métodos numa única pesquisa.

Bullen, Moon e Jones (cf., 1996, p.801-816) desenvolveram uma metodologia em SIG para definir localidades para o planejamento da saúde. É um trabalho que utiliza as capacitações dos sistemas de informação geográfica (SIG) para hierarquizar localidades na gestão dos cuidados básicos no oeste de Sussex, Inglaterra. A análise da cobertura espacial dos serviços de saúde foi feita definindo-se níveis temáticos de mapeamento e como fontes de dados utilizaram-se dos limites administrativos e dos alcances espaciais identificados a partir de distintas bases: informações que foram fornecidas pela população usuária dos serviços; dados de georeferenciamento dos serviços; traçado das rodovias e barreiras geográficas. A aplicação de recursos de análise espacial foi utilizada no processo analítico, para isso fizeram: consultas espaciais; modelagem de superfície a partir dos resultados do questionário de entrevistas; emprego de polígonos de *Thiessen* a partir dos centros de serviço. Os autores concluíram, dentre várias questões, que os SIG podem auxiliar o desenho de regionalizações mais sofisticadas e o tratamento mais refinado dos dados, oferecendo significativas vantagens em termos de integração de dados e sua apresentação na forma de mapas.

Novas metodologias e desenvolvimento de recursos integrados aos SIG são abordados no trabalho de Black et al.(cf., 2004, p.1-22), os quais propõem o uso dos SIG para mensurar a acessibilidade física da população hondurenha aos atendimentos de saúde. Utilizam-se de várias ferramentas de modelagem de dados como MNT, polígonos de *Thiessen*, *buffering* e modelos de superfície. A investigação empreendida por esses autores teve como principal objetivo a avaliação do uso dos SIG para melhorar a medição do acesso físico aos cuidados de saúde, e, por conta desse escopo, a investigação levou ao desenvolvimento de um módulo GIS chamado *AccessMod* que funciona como extensão do *software ESRI ArcView 3.2*. Em uma pesquisa posterior Ray e Ebener (cf., 2008, p.63-80), descrevem uma nova versão desse módulo de análise (*AccessMod 3.0*) e fornecem um exemplo de aplicação dessa ferramenta, que permite calcular a cobertura geográfica aos cuidados de saúde usando informações do terreno e distribuição da população. Com esse módulo são possíveis quatro níveis de análise: (i) modelagem, pelo tempo de viagem, áreas de cobertura que estejam ligadas a uma rede

de saúde; (ii) modelagem da cobertura geográfica com base na disponibilidade dos serviços; (iii) projetar a ampliação de uma rede de cobertura existente; (iv) fornecer informações para análise de custo/eficácia com base poucos dados sobre a rede.

Na década de 1990 passa a ser recorrente o uso dos SIG nos trabalhos que tratam da acessibilidade a serviços de saúde. A partir da metade da década de 1980 os sistemas computacionais dispunham de aplicativos, capacitação gráfica avançada, meios para o processamento de atributos e análise espacial. A consolidação dessas estruturas fez com que na década de 1990 houvesse um aumento significativo da integração do usuário com os SIG, facilitando o uso dos aplicativos (SILVA, 2003, p.66).

Ao tratarem da acessibilidade aos serviços de saúde, muitas pesquisas usaram como recorte o espaço das regiões de saúde e trataram da demanda/suprimento de serviços de modo a identificar padrões de organização dos serviços, dando mais ênfase em questões de ordem sociocultural e administrativa. Por vezes esses trabalhos definem uma cartografia da distribuição dos clientes e provedores de serviços especializados, fazendo a partir daí considerações que colaboram com o planejamento estratégico de regiões de saúde.

2.2.2.2 Acessibilidade Revelada: aplicações

Privação e Desvantagem

Segundo Higgs e White (1997, p.442), o conceito de *privação* é de difícil definição nos estudos científicos, isso se deve ao fato de envolver questões que muitas vezes se resolvem em contextos que são próprios das pesquisas. Além disso, é comum o assunto ser tratado juntamente com outros termos, como: “pobreza”, “menos favorecidos”, “desvantagem” dificultando assim uma proposição conceitual geral. Na visão de Townsend¹⁸ (1987, apud HIGGS; WHITE op. cit.), *privação* pode ser definida como um estado de desvantagens observadas e demonstradas para um grupo social de um local ou comunidade.

Higgs e White (cf., 1997, p.441-450) mostram que a natureza e extensão da *privação* em áreas rurais é um tema que tem sido pesquisado desde o final da década de 1970 e destacam a necessidade de se dar a devida atenção aos problemas que afligem as populações que vivem em áreas rurais muito isoladas e que estão sujeitas à degradação da qualidade de vida. A pesquisa encaminhada a partir daí, defende a idéia de que a

¹⁸ TOWNSEND, P. Deprivation. *Journal of Social Policy*. 16(2), 125-146. 1987.

privação em áreas rurais deve ser analisada sob uma ótica particular, diferenciando-a da realidade urbana. Nessa diferenciação o elemento espacial é essencial, pois a consideração da privação decorrente da dificuldade de mobilidade resulta do isolamento espacial que as populações rurais estão submetidas. Para Higgs e White (ibid.), o apoio dos SIG na investigação destas questões é fundamental, sobretudo para a identificação de mudanças que podem estar ocorrendo na prestação de serviços as estas populações. Pontuam que estas tecnologias atendem a quatro importantes alcances: espacializar os serviços de saúde, auxiliar a análise temporal da provisão desses serviços, apoiar a tomada de decisão nas políticas públicas, verificar a acessibilidade através do cálculo distância-tempo.

Outra pesquisa com enfoque na desvantagem é vista em Field (cf., 2000, p.305-332). A distribuição equitativa dos recursos é fundamental na melhoria e manutenção da saúde coletiva, e nisso as medidas de desvantagem são utilizadas para avaliar os níveis diferenciais de necessidade. Esse autor realiza uma pesquisa que se orienta pelo desenvolvimento de um índice relativo de desvantagem, que se aplica às necessidades de cuidado de saúde. Empiricamente considera não só o estado de saúde da população, mas também os meios de acesso ao serviço disponível, por essa razão pode ser entendido como um estudo orientado pela idéia de *Acessibilidade Revelada*, desenvolvendo-se no contexto da privação e desvantagem. A elaboração do índice se fez com base em dados referentes ao distrito de Northamptonshire (Inglaterra).

Estudos de Caso

Nas pesquisas em *Acessibilidade Revelada* o enfoque está no estudo de caso, são investigações que geralmente têm como propriedade encontrar respostas aos problemas reativos à acessibilidade geográfica em regiões e lugares específicos. Pelo fato de o desenvolvimento destas pesquisas se orientar por necessidades emergentes, que geralmente visam atender a uma determinada circunstância, os resultados dificilmente podem ser transferidos para outras realidades geográficas, e raramente pode-se depreender inovações nas proposições metodológicas.

Existe grande interesse por parte da pesquisa em saúde pública em compreender os problemas específicos da acessibilidade e assim orientar medidas de planejamento exclusivas. Nesse sentido, os estudos de caso que adotam metodologias particulares e se utilizam de dados específicos para identificar características menos gerais, estão na

verdade produzindo resultados muito mais adequados a distintas realidades, ou seja, oferecendo respostas mais condizentes com a demanda específica do lugar geográfico.

Numa pesquisa realizada em Lothian Oriental (Escócia), Parker e Campbell (cf., 1998, p.183-193) exploram o potencial dos SIG para identificar variáveis que influenciam no uso dos serviços de atendimento médico básico. Para isso investigam a acessibilidade geográfica dos habitantes aos serviços prestados por dezoito médicos da região, especificando o tipo de atendimento buscado pelos pacientes. A pesquisa foi conduzida com base em relatórios de questionários aplicados pelo período de sete dias, contendo respostas a respeito dos meios de transporte utilizados, tempo de viagem, percepção da acessibilidade ao local de atendimento por parte dos pacientes. Os SIG foram usados para a aplicação de técnicas de geocodificação de endereços, análises de consultas espaciais, análises de redes (rodovias), recursos de *buffer* e *hull* e polígonos de *Thiessen* para se definir medidas de acessibilidade a serviços primários. O trabalho chama bastante atenção para o potencial dos SIG nesse tipo de investigação, coincidindo com o fato de que recursos de grande potencial para a análise espacial podem ser facilmente empregados no desenvolvimento das pesquisas que fazem uso da informação espacial.

Outro exemplo dessa natureza pode ser visto na pesquisa de Patel et al. (cf., 2007, p.47-59), que utilizaram dos SIG para avaliar e visualizar a acessibilidade da população cardíaca na província de Alberta (Canadá), considerando para isso as facilidades de acesso aos procedimentos de cateterismo cardíaco. Na pesquisa foram feitas análises espaciais com base nas orientações para a realização do primeiro contato médico em 90 minutos, levando em conta a viagem pelos modos de transporte aéreo e terrestre. Assim, avaliaram os lugares povoados que estão dentro de um tempo de transferência de 90 minutos para uma cidade que provê o atendimento especializado do cateterismo cardíaco e concluíram que 70% da população da região tem acesso ao atendimento em 90 minutos, mas com forte dependência no apoio do transporte aéreo.

No trabalho de Lopez e Aguilar (cf., 2004, p.185-209) a distribuição de serviços públicos de saúde dos municípios periféricos da região metropolitana de Cidade do México foi analisada no intuito de identificar possíveis desarmonias territoriais decorrentes das políticas sociais que regem a distribuição dos serviços de saúde. Os autores mostraram através de uma profunda investigação da esfera espacial, administrativa e das políticas públicas, que as decisões no campo de saúde promoveram

ao longo do tempo uma distribuição desigual dos recursos de saúde, tanto humana (profissionais) quanto material (hospitais e recursos). A ausência de uma concepção territorial no desenvolvimento das políticas de saúde resultou numa distribuição desequilibrada dos serviços médicos e, por conseguinte, as unidades médicas ficaram exageradamente alocadas nas áreas mais urbanizadas, causando segregação sócio-espacial devido às ações centralizadoras do sistema de saúde.

Nos estudos em acessibilidade, fazer uso de dados e informações que podem ser representadas espacialmente não implica dizer que o uso dos SIG se torna uma condição *sine qua non*, ou mesmo que seja indispensável uso de representações cartográficas. O caso da pesquisa de Nemet e Bailey (cf., 2000, p.1197-1208) é um desses exemplos. Ao estudarem a relação entre a distância e a utilização de serviços de saúde por um grupo de idosos residentes na zona rural de Vermont (EUA), avaliaram a influência da separação espacial no acesso aos serviços. Na condução metodológica utilizaram-se de um questionário e aplicaram, ao acaso, à população idosa residente da região. Os autores exploraram como se dão as atividades relativas às compras, às viagens até o local de trabalho, à localização da residência em relação a serviços ofertados, o acesso ao transporte privado, e associaram estas variações ao número de visitas aos médicos que prestam atendimento básico. Foi observado que o comportamento de uma atividade social sugere que a distância pode ser recompensada pelo estreitamento das relações sociais no interior da comunidade. É interessante destacar que os resultados apresentaram conclusões de ordem geográficas importantes, dentre elas, de que o aumento da distância até o provedor do serviço de saúde reduz a frequência da utilização que se faz mesmo. No entanto, estas e outras conclusões puderam ser atingidas sem a necessidade de uma cartografia ou técnicas de geoprocessamento.

Como é possível notar, os estudos de *Acessibilidade Revelada* podem ser entendidos como casos de atenção particular e de comportamento, os produtos destas pesquisas oferecem material mais refinado a respeito de uma dada situação problema e em geral se aplicam a uma realidade regional ou local específica (Tabela 1).

Já os estudos orientados pelas metodologias da *Acessibilidade Potencial* podem ser tomados como aplicações mais gerais, o que não impede que encaminhem propostas metodológicas mais profundas (Tabela 1). É comum que a escala espacial de abordagem seja mais ampla nesses estudos, por vezes compreendendo grandes regiões ou todo um país. Pode-se presumir que tais investigações são importantes para a orientação do

planejamento ou mesmo para investigações exploratórias no nível local ou regional, mas devem ser repensadas quando se pretende verificar casos mais particulares, que tratem de determinados atendimentos médicos ou que tenham relação com um município ou alguns postos de saúde. As avaliações mais gerais estão mais sujeitas às críticas, pois muitas respostas só podem ser obtidas mediante considerações muito específicas que, dependendo do objetivo, requerem uma investigação mais aprofundada.

Tabela 1: Seleção de publicações que tratam da temática da Acessibilidade da população rural à saúde (Revisão da Bibliografia)

<i>Concepção de Joseph e Bantock (1982)</i>			
Acessibilidade Potencial		Acessibilidade Revelada	
Gravidade espacial	<ul style="list-style-type: none"> - Shannon et al.(1969) - Joseph e Bantoc (1982) - Radke e Mu (2000) - Luo e Wang (2003) - Langford e Higgs (2006) - McGrail e Humphreys (2009) 	Privação e Desvantagem	<ul style="list-style-type: none"> - Knox e Cottam (1981) - Higgs e White (1997) - Field (2000)
Mobilidade e acessibilidade	<ul style="list-style-type: none"> - Benthon e Haynes (1985) - Lovett et al. (2002) - Martin et al. (2002) 	Estudos de caso	<ul style="list-style-type: none"> - Parker e Campbell (1998) - Patel et al.(2007) - Lopez e Aguilar (2004) - Nemet e Bailey (2000),
Método de redes	<ul style="list-style-type: none"> - Bagheri, Benwell e Holt.(2005) - Cinnamon, Schuurman e Crooks, (2008) - Murawski e Church (2009). 		
Técnicas de geoprocessamento	<ul style="list-style-type: none"> - Bullen, Moon e Jones (1996) - Ray e Ebener (2008) - Black et al.(2004) 		

3. SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Diversos trabalhos e publicações têm definido o que são os SIG. Hoje é possível encontrar literatura completa sobre o assunto, que trata desde a arquitetura informacional que compõe esses sistemas, passando por aspectos do gerenciamento das informações, representações, modelagens e aplicações. Não é de interesse aqui refazer questões gerais pertinentes aos SIG, pois certamente se cairia no superficialismo e em abordagens incompletas. Todavia muitos trabalhos podem suprir essa lacuna (BURROUGH, 1986, 1988; ARONOFF, 1989; STAR e ESTES, 1990; TOMLIN, 1990; PEUQUET e MARBLE, 1990; LAURINI; THOMPSON, 1992; MAGUIRE et al., 1993a,b; BONHAM-CARTER, 1994; CÂMARA et al., 1996, 1999; BERNHARDSEN, 1999; SILVA, 2003), que permitem compreender o estado da arte dessas tecnologias.

A atenção aqui traz questões mais específicas que atendem aos objetivos da presente pesquisa. A abordagem que se fará adiante é dos modelos de redes vetoriais presentes nos SIG, todavia, primeiramente far-se-á nos próximos parágrafos uma breve explanação sobre a concepção das tecnologias dos SIG no contexto da Ciência Geográfica.

Os SIG são hoje os sistemas mais bem equipados para o tratamento da informação geográfica no que diz respeito à construção de modelos e análises quantitativas. Por ser um recurso para o tratamento da informação geográfica, seu potencial reside na estrutura de suporte à decisão e análise espacial, traduzindo o raciocínio do especialista quando esse faz referências aos fatos e elementos localizados no espaço.

O estudo da informação espacial feito por diferentes ramos do conhecimento tem colaborado para redirecionar as pesquisas e aplicações no âmbito dos SIG. As mais variadas disciplinas que se utilizam da informação espacial têm se apropriado dos benefícios providos pelos *softwares* de SIG, não apenas usufruindo da praticidade com que é possível manipular os dados, mas ampliando o conhecimento científico em termos metodológicos pelas possibilidades de expansão da análise dos fenômenos estudados. Os avanços feitos nesse sentido têm redefinido o conceito de informação espacial e encaminhado os estudos em SIG para a esfera da ciência, processo esse ainda em curso.

A compreensão do que vem a ser a Ciência da Geoinformação atravessa questões do momento histórico pelo qual passa a ciência geográfica. Hoje o reflexo da simbiose entre ciência e tecnologia está presente na maioria das ciências. Maguire (2008, p.3)

coloca que os SIG são instrumentos na mão do geógrafo, assim como o telescópio o é para o astrônomo, no entanto a ciência da Geoinformação tem suas atenções voltadas para os princípios fundamentais que formam as bases dos SIG, essa compreensão é essencial no trato de toda e qualquer informação geográfica. O fato de especialistas não tratarem suficientemente bem da qualidade das informações que são trabalhadas no ambiente dos SIG, resultam em análises equivocadas e isso se deve à falta de conhecimento científico. Outra questão que o autor chama atenção é para os conhecimentos de cartografia necessários à ciência da Geoinformação, principalmente porque foi na perspectiva dessa ciência que o sistema foi desenhado. Maguire considera esse saber de vital importância no uso dos atributos dos SIG.

Na busca de uma base epistemológica para a ciência da geoinformação tendo o apoio dos SIG como uma estrutura fundamental, Câmara, Monteiro e Medeiros (cf., 2001, p.1-2) tomam o conceito de *espaço geográfico* como uma noção-chave para construção dos fundamentos teóricos desta ciência. Conscientes dos alcances das representações computacionais para a definição de modelos de aproximação do espaço geográfico, esses autores colocam que a reflexão geral em torno dessa nova ciência deve se construir com base na episteme geográfica.

De acordo com Ferreira (2006, p.121), o conjunto de operações que se faz sobre mapas, dados e informações geográficas implementadas nos SIG tem as bases teórico-metodológicas estabelecidas em funções de análise espacial, que por sua vez advém de avanços no campo da ciência geográfica desde a década de 1960, sobretudo no pensamento da geografia quantitativa de tradição geométrica¹⁹.

A crescente relação entre ciência e tecnologia atingiu a Geografia e tem tornado os geógrafos dependentes dos SIG para descrever processos e fenômenos espaciais. Daí a importância em se (re-)pensar em bases teórico-conceituais para a ciência da Geoinformação. Ao se utilizar das tecnologias da informação para construir análises e modelos o cientista está colocando em prática seu raciocínio, nesse caso os recursos computacionais apenas auxiliam a compreensão de como se dão os complexos processos que operam no espaço e no tempo. (MAGUIRE, 2008, p.7)

¹⁹ O autor se reporta às contribuições advindas da geografia Anglo-Saxônica.

3.1 Modelo de Redes nos Sistemas de Informação Geográfica

3.1.1 Geometria da Rede

Nos SIG os dados geográficos são representados pelo modelo matricial (*raster*) e vetorial. A opção por um ou outro desses modelos na construção de uma base de dados em geral vem acompanhada da pergunta sobre quais são os méritos de cada um para a consecução do trabalho. Essa é uma visão onde se presume que existe um modelo de dados que é melhor do que outro e que, como em um embate, cada um explora as fraquezas do outro e usa suas forças para representar a realidade geográfica de uma maneira melhor. Todavia a tendência, tanto na pesquisa quanto na prática, tem sido perceber que as necessidades podem incorporar diferentes modelos de dados espaciais, tornando desnecessário fazer distinção entre *matriz x vetor* com base em suas “vantagens/desvantagens”. Em vez disso, é mais interessante adotar uma postura que considere as necessidades de mapeamento, de software, de dados, da visualização e das operações geográficas nos processos que envolvem a análise espacial (HARMON; ANDERSON, 2003).

É comum associar o arranjo espacial das redes à estrutura vetorial dos SIG, pois é praticamente intuitiva a associação dos objetos geográficos da rede às representações lineares e pontuais inerentes à modelagem vetorial. As redes também podem ser representadas por matrizes, e a exemplo disso existem recursos de análise espacial que trabalham sobre modelos matriciais e identificam redes de drenagem, extraem feições e geram representações de fluxo.

O suporte teórico-metodológico que alicerça a presente pesquisa é aquele que trata da modelagem de dados com base em uma estrutura que, segundo Haggett e Chorley, se define como *circuito de rede* (1969, p.31), exemplo disso são os sistemas de transportes e telecomunicações. Todavia, nas próximas seções serão verificados aspectos gerais da estruturação da rede nos SIG, nesse caso, os caracteres lineares são importantes nos estudos da estrutura desses sistemas por traduzirem em representações gráficas essas diferentes instâncias, além disso, o estudo das dimensões lineares, da sinuosidade, direção, da orientação e da topologia da rede possibilita a realização de inferências geográficas que permitem a transformação dos dados em informações espaciais. Essas representações e geometrias possuem características dimensionais da entidade linha, chamada na rede de arcos ou segmentos. De acordo com Burrough (1986, p.13), as

estruturas de representação dos dados seguem o modelo conceitual da cartografia temática, que por sua vez se aplica à representação de fenômenos espaciais. Dessa forma, todo fenômeno geográfico pode, em princípio, ser representado por um ponto, linha ou área, acrescentando-se uma indicação de seu significado. No caso de uma rodovia sua representação se dá por uma linha que consiste em um começo e fim, podendo ter pontos de inflexão, que são os vértices com coordenadas definidas. Essas são as definições geométricas da feição linha, associado a isso faz-se uma indicação de caractere textual, numérico ou codificado. As entidades espaciais com características lineares são armazenadas como estruturas vetoriais que graficamente são representadas por arcos, pontos e nós.

Do ponto de vista dos fundamentos geométricos destas entidades, o objeto ponto é criado por cada conexão ou terminação de linhas. Pontos não possuem uma dimensão específica, por isso são entendidos como adimensionais. A noção de linha é concebida a partir da idéia de separação espacial que existe entre dois pontos; sendo representado por um traço ou reta que conecta esses dois pontos e que segue de um para outro, dando então a idéia de sentido. Segundo Laurini e Thompson (1992, p.75) as linhas podem ser definidas como unidimensionais, distintas em extensão e dimensão e representadas como uma reta ou curva que liga dois pontos.

Com relação à estruturação do modelo vetorial nos SIG, a obra de Laurini e Thompson (1992) se tornou uma referência importante para o desenvolvimento das colocações que são feitas aqui. É, principalmente, com base nesses autores que se organizam as próximas seções.

3.1.2 Topologia: Redes como Grafos

A Teoria dos Grafos, um ramo da matemática que lida com redes topológicas, é a base conceitual por detrás das funções que tornam possível a análise de topologia vetorial dos SIG. A combinação de linhas e arcos na rede pode ser lida como grafos. No caso dos mapas, uma aplicação prática dos grafos relacionada aos sistemas de transporte envolve questões relativas à forma e comprimento da linha. Assim, a orientação e as coordenadas do mapa não são mais importantes do que as ligações que perfazem toda a malha, pois os principais elementos da rede são as conectividades.

Nos SIG, se um conjunto de dados possui topologia, isso significa dizer que as relações de adjacência - para o caso das funções entre polígonos (bidimensionais) - ou

relações de conectividade – para as conexões entre linhas (unidimensionais) - estão explicitamente armazenadas na base de dados (HARMON; ANDERSON, 2003, p. 85).

No caso da rede, a conectividade entre as feições espaciais é de fundamental importância, a posição dos pontos que formam segmentos de retas que definem arcos é um elemento dominante, pois é a partir destas posições espaciais que se dão as conexões entre os objetos que se ligam por nós. O reconhecimento do começo e o fim do arco é que define a direção de uma linha - sua orientação -, essa informação é por vezes importante.

3.1.3 Estruturação da Rede

De acordo com Kansky²⁰ (1963, apud Haggett e Chorley, 1969, p.5) a rede pode ser definida em termos espaciais como “um conjunto de localizações geográficas interconectadas em um sistema por um número de rotas”.

Na análise geográfica, as redes são modeladas por pontos e linhas conectados. Nem todos os pontos necessitam se comunicar diretamente por meio das linhas, mas para que integre a rede, todo ponto necessita estar ligado a pelo menos uma linha.

Haggett e Chorley (ibid., p.7) afirmam que a estrutura topológica da rede se organiza de modo a ser possível distinguir três grandes classes (Figura 4):

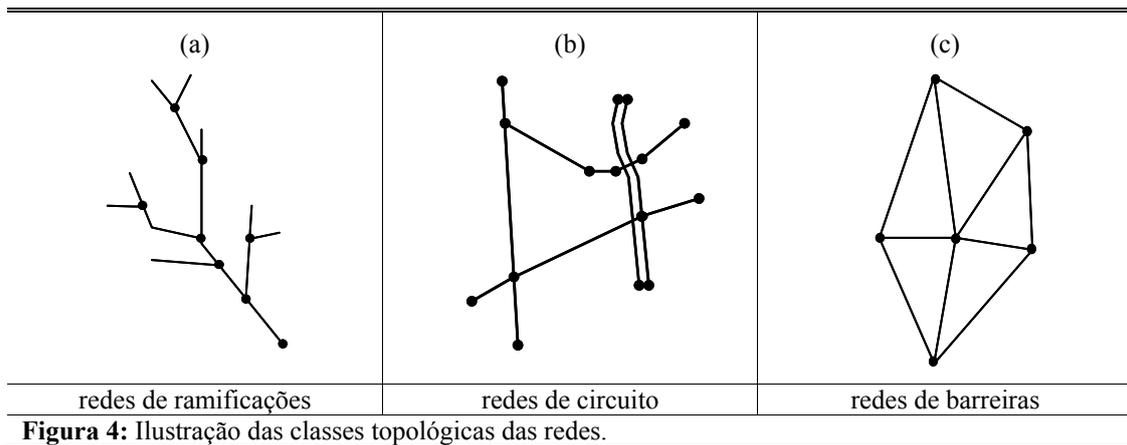
(i) *redes em ramificações*, que são estruturas que se organizam em árvores conectando linhas mas sem definir circuitos. Esse tipo de estruturação aplica-se aos estudos em hidrografia e geomorfologia fluvial (fig 4a).

(ii) *redes de circuitos*, são estruturas de giro e se aplicam a Geografia dos transportes, urbana ou comunicações. Assim como no primeiro caso esse modelo serve como canais que conduzem fluxo ou indicam a passagem de algum atributo (fig4b).

(iii) *redes de barreiras*, diferentemente das outras duas acepções trata-se de modelos que bloqueiam ou retêm o fluxo ou movimento. Do ponto de vista da representação a característica principal dessa categoria é a linha fechada que isola o espaço. Como exemplo pode-se citar a Rede Irregular de Triângulos (TIN²¹) ou o Diagrama de Voronoi (fig 4c).

²⁰ KANSKY, K. J. **Structure of transport network**: relationships between network geometry and regional characteristics. University of Chicago, Dept. of Geography, Research Papers, 84, 1963.

²¹ Triangulated Irregular Network.



Segundo Laurini e Thompson (1992, p.176) os grafos que integram uma rede possuem quatro elementos básicos (Figura 5):

i) intersecções: que são os pontos finais das linhas, geralmente entendidos como vértices e nós;

ii) linhas conectadas: geralmente desenhadas como ligações em segmentos retos ou arqueados;

iii) linhas solteiras: são linhas separadas, ou conjunto de linhas separadas, podendo ser chamadas de sub-grafos.

iv) espaços vagos: são espaços existentes entre ou fora das ligações em segmentos retos.

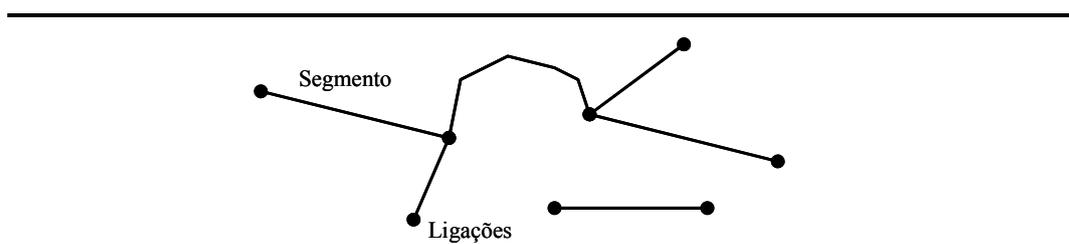


Figura 5: Exemplo da representação dos grafos.

Com relação aos cruzamentos entre os grafos, faz-se necessário distinguir entre os planares, quando todo cruzamento ocorre no mesmo plano; e os não-planares, quando os cruzamentos se fazem sem produzir a intersecção (Figura 6). No caso dos transportes sobre terra é possível identificar esses dois casos: grafos planares podem estar relacionados a cruzamento de vias que se dão no mesmo plano (Ex. Av. Ipiranga com a

Av. São João, São Paulo), enquanto que os não-planares em planos diferentes, como no caso das passagens elevadas (Ex. O Elevado do Gasômetro, Rio de Janeiro) ou passagens inferiores (Ex. túnel Airton Senna, São Paulo).

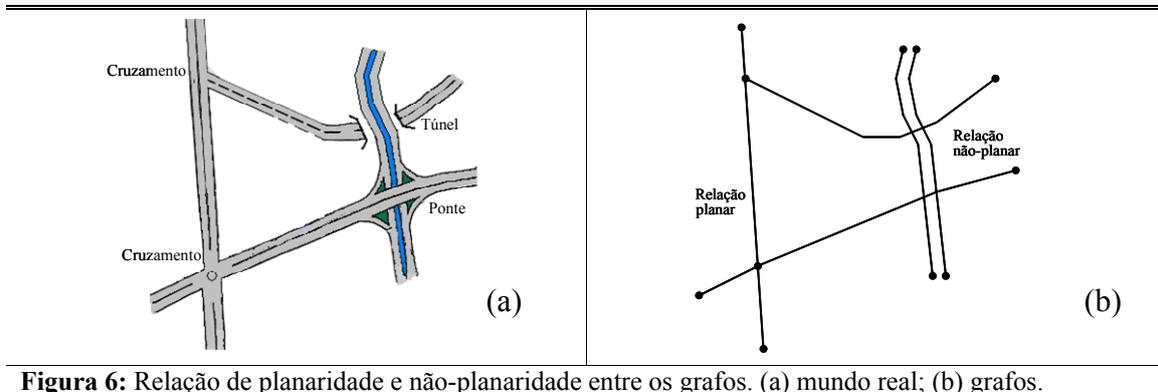


Figura 6: Relação de planaridade e não-planaridade entre os grafos. (a) mundo real; (b) grafos.

Laurini e Thompson (1992, p.178) especificam que as relações de conectividade um-a-um entre os vértices de arcos dos grafos definem uma propriedade de isomorfismo (Figura 7). Isso significa dizer que, mesmo que as formas gráficas possam parecer bastante diferentes, a condição de conexão e adjacência é preservada. No caso dos SIG essas relações são importantes, mas cobrem apenas uma parte das necessidades para se fazer análises espaciais (distância; direção), para isso são necessárias outras especificações, como será visto mais adiante.

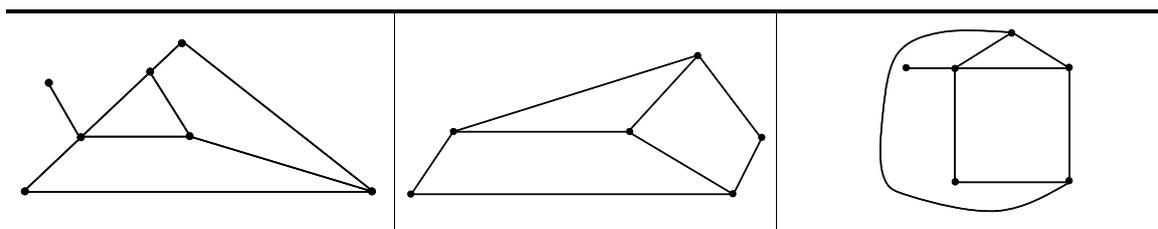


Figura 7: Dois exemplos de grafos em isomorfismo (HAGGETT; CHORLEY, 1969, p.5).

Um grafo pode ser cíclico ou acíclico. Um ciclo (ou circuito) é um conjunto de arcos conectados que, eventualmente, retorna a um nó, a rede de rodovias é um exemplo desse caso. Na teoria dos grafos um grafo acíclico é chamado de árvore (*tree graph*), exemplos desse tipo são as redes de ramificações (HAGGETT; CHORLEY, 1969, p.8).

Tanto os grafos cíclicos quanto os acíclicos podem ser dirigidos ou orientados. No caso de sua aplicação nos SIG, estas direções são definidas no processo de digitalização

dos vetores. No modelo de redes estas direções podem ser modificadas pelo usuário e, como os grafos definem fluxos, esses podem estar na direção da digitalização, contrária a ela ou nas duas direções. No exemplo da rede de transportes isso se aplicaria às ruas ou estradas de sentido único ou duplo (Figura 8)

A configuração da rede pode especificar essas condições, as formas cíclicas ou acíclicas devem ter as direções modeladas adequadamente, caso contrário um fluxo pode ser interrompido sem que haja interesse nisso; ou pode não haver movimento entre determinados arcos por um erro de edição topológica.

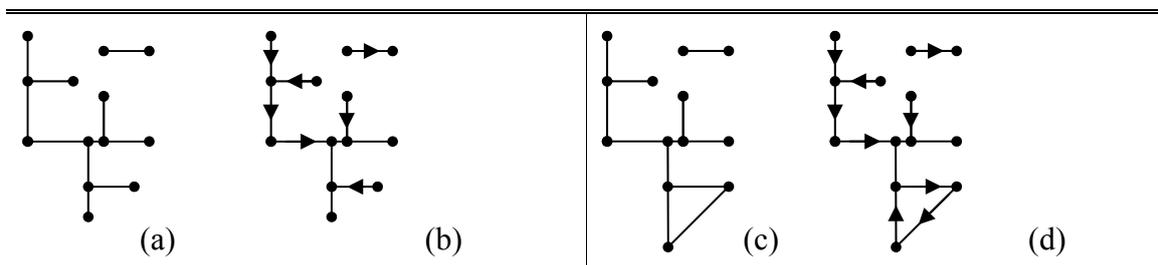


Figura 8: Exemplo de padrões de grafos: (a) sem orientação (exemplo: ferrovias); (b) orientado (exemplo: drenagem); (c) sem orientação definida e com um ciclo (exemplo: caminhos de uma praça); (d) orientado e com um ciclo (exemplo: ruas da cidade). (modificado de Laurini e Thompson, 1992, p.179).

3.1.4 Propriedades dos Grafos Aplicados às Redes

Para que uma rede possa funcionar adequadamente os grafos que a compõem devem possuir uma coerência interna. Em princípio o que habilita o funcionamento da rede é a consistência topológica dos grafos.

Segundo Laurini e Thompson (1992, p.180), existem diversas proposições de métodos para se medir as propriedades dos grafos no sentido de verificar suas integridade. As medidas se relacionam com elementos específicos, como os vértices ou arcos, ou mesmo todo um circuito de um grafo. Além da contagem do número dos vértices, arcos e sub-grafos, existem medidas de propriedades de conectividade que ajudam em aplicações orientadas ao nível de acesso a diferentes pontos; mudanças de sentido de fluxo e inserção de barreiras; definição de rotas com medidas de impedâncias.

Outra maneira de analisar um grafo é concebê-lo por parâmetros descritivos, onde as medidas se baseiam nas condições de conectividade interna de todo o grafo. Por essa observação é possível identificar trechos com maior acesso aos nós ou com maior quantidade de ciclos, que são definidos pelo maior número de arcos conectados. A condição de conectividade para a rede toda pode ser resumida pela contagem de nós totais ou sua média; ou ainda, pode-se utilizar medidas baseadas no número de vértices; número de arcos em relação ao máximo número possível; ou número de circuitos em relação ao máximo número possível; a razão de arcos e vértices.

Algumas propriedades dos grafos são especiais e seguem um sistema lógico que tem por princípio conceitos matemáticos. Foi Leonhard Euler quem, na primeira metade do século XVIII, postulou os primeiros resultados no campo da Teoria dos Grafos. Na literatura, as definições básicas da teoria dos grafos variam bastante, todavia algumas das propriedades elementares dos grafos podem ser representadas por uma equação simples.

Um grafo simples, desenhado na sua forma plana e conexa divide o plano em certo número de regiões, incluindo regiões totalmente fechadas e a região infinita exterior. Euler estabeleceu uma relação entre o número de arestas, o número de vértices e o número de regiões, esta relação de igualdade é dada pela fórmula:

$$v - a + r = 2$$

onde v é o número de vértices, a é o número de arestas e r é o número de regiões²².

Seguindo a citação de Wilson²³ (1985, apud LAURINI; THOMPSON, 1992, p.180) e traduzindo a equação para o caso das redes em SIG, pode-se adotar o modelo de grafos bidimensionais, que se aplicam principalmente aos modelos poligonais. Assim, a fórmula anterior pode ser adaptada da seguinte maneira

$$V + F = E + S$$

onde, V é o número de vértices, E é o número de arcos, F denota espaços entre um ciclo de arcos e S um número que provê um equilíbrio numérico para a equação. Esse número varia dependendo se a área externa à região de um grafo ou de um conjunto de polígonos é considerada e contada como uma face. Estas igualdades especificam uma relação constante para o conjunto de ligações em uma superfície plana. Como pode ser visto na Figura 9 o numero de vértices e faces dependem do número de arcos.

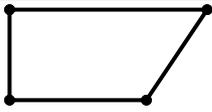
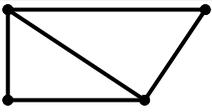
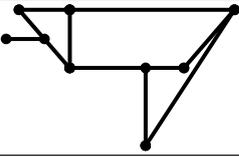
$V + F = E + S$		
onde, $S = 2$, se F for definido como polígono interno e externo ($F=i, e$); $S = 1$, se F for definido apenas pela região interna ($F=i$)		
		
(a)	(b)	(c)
$V = 4; E = 4; F = 2; S = 2$ <i>Para $F = i, e$</i>	$V = 4; E = 5; F = 2; S = 1$ <i>Para $F = i$</i>	$V = 9; E = 11; F = 3; S = 1$ <i>Para $F = i$</i>

Figura 9: Demonstração da igualdade de Euler considerando o caso plana bidimensional. (a) Caso de quatro vértices conectados; (b) Adição de um arco para os vértices de “a”; (c) um exemplo de grafos mais complexo.

As relações topológicas observadas na Figura 9 exemplificam o raciocínio lógico de que a adição de arcos em linhas sem ligações resulta em igual número de vértices, equilibrando assim a equação (c). Adicionar arcos aos vértices existentes não muda a contagem dos mesmos, mas acrescenta mais ligações.

A combinação de arcos e vértices produz um grafo, ou rede (*network*). A seleção de determinados arcos produz um caminho, que pode ser selecionado como um roteiro. Os arcos podem ser colocados em seqüências, ou encadeados, como se percorrendo um

²² A parte exterior de um grafo fechado é contada como uma região.

²³ WILSON, P. Euler formulas and geometric modeling. **IEEE Transactions on Computer Graphics and applications** 5(8): 24-36, 1985.

trajeto e definindo a menor rota de um lugar ao outro, ou desenhando drenagem de um rio.

Um aspecto importante destas definições é a possibilidade de estabelecer uma orientação, ou seja, direcionar um conjunto ordenado de arcos que parte de uma origem específica e segue até um vértice de destino especificado. Um caminho pode não estar orientado, nesse caso, um conjunto ordenado de intersecções não especifica terminações de origem e destino.

Os caminhos entre os nós de uma rede podem ocorrer segundo diferentes contextos (caminhos mais curto; caminhos que passem por pontos previamente definidos; caminho que evita determinadas passagens, etc.). Nos grafos de uma rede, uma solução prática pode exigir que um arco em particular seja subdividido em segmentos para reconhecer atributos específicos, por exemplo, declividades ao longo da representação de um rio, velocidades diretrizes em uma malha rodoviária.

No caso dos grafos em rede o espaço interno a um conjunto de arcos que fazem um circuito não se refere a um objeto com atributos de interesse em particular. Para as aplicações sobre áreas, por exemplo, um mapa de uso da terra e cobertura vegetal, a relação topológica da face interna do circuito é um fator importante. No caso dos transportes os vértices e arcos são entidades que merecem atenção. Na Figura 10a o espaço que recai sobre o interior dos triângulos não possui nenhum significado, ao contrário do que ocorre para o caso dos espaços discretos, como aparece no mapa dos tipos de solo (Figura 10b).

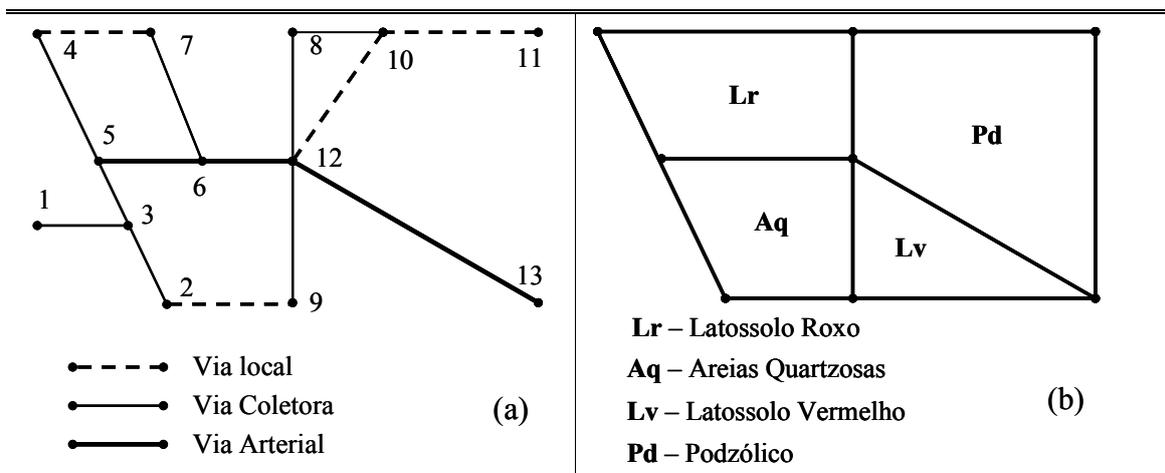


Figura 10: Grafos, áreas e atributos. (a) Conexões de grafos de uma rede rodoviária; (b) Atributos discretos de espaços poligonais. (modificado de Laurini e Thompson, 1992, p. 182)

Para os grafos de rede, os atributos podem ser associados com arcos, para produzir grafos contendo impedâncias, por exemplo, a *velocidade diretriz*²⁴ de uma rodovia como fator para determinar o tempo de viagem.

Conforme Laurini e Thompson (1992, p.183) ao longo da história dos SIG as unidades bidimensionais (poligonais) sempre foram as que mais estiveram em evidência, sendo aplicadas a diversos estudos (ambiental, geológico, urbano), refletindo as aplicações orientadas aos recursos naturais e mapeamento temático de dados populacionais. Só mais adiante na história dos SIG é que a análise espacial envolvendo redes (unidade unidimensionais) passou a possuir maior interesse, sendo utilizada para diversos fins: esgotamento sanitário, gás, eletricidade, transportes, aviação. Esses são fenômenos que prestam maior atenção ao fenômeno linear.

3.1.5 Erros de Identificação

Condições possíveis em mapas digitais

A elaboração de uma rede vetorial em SIG é por vezes uma tarefa laboriosa de digitalização e verificação de dados que exige do especialista atenção e conhecimentos sobre como os dados estão armazenados. Algumas condições que podem resultar da digitalização de mapas solicitam uma validação dos erros (ou possíveis erros) que em muitos dos casos resulta de uma avaliação externa, ou seja, a averiguação do especialista. Para esses casos, quando as ferramentas automatizadas de correção topológica não identificam erros e os corrige, é porque a solução não se resolve em uma única opção lógica. Esses casos, portanto, exigem uma solução particular, que se faz pela edição manual. Laurini e Thompson (1992, p.191) resumizam algumas condições num quadro sintético, sobre o qual aqui se faz observações adicionais (Figura 11).

²⁴ É a velocidade máxima especificada para cada classe de rodovia. É a maior velocidade com que um trecho viário pode ser percorrido com segurança. Esta velocidade é definida de acordo com o projeto geométrico da via, por isso, é também chamada de *velocidade de projeto* (DNER, 1999).

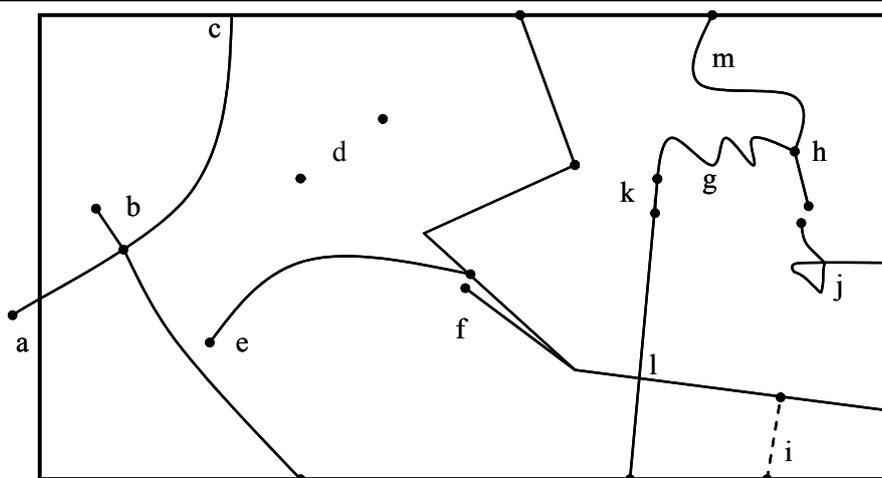


Figura 11: Condições para a digitalização de mapas.

Condição	Modo de Edição
a. Limite excedido	manual ou automática
b. Possível limite excedido	manual
c. Nó solteiro	manual ou automática
d. Dois pontos de referência, provável linha perdida	automática
e. Limite não alcançado	automática; depende do limiar
f. arco duplicado	automática
g. Excesso de vértices	automática
h. Nós que não se conectam	automática; depende do limiar
i. Linha perdida	manual
j. Linha cruzada	manual
k. Nós redundantes	manual
l. Cruzamento planar digitalizado como não-planar	manual ou automática

(modificado de Laurini e Thompson, 1992, p. 191)

Na prática, as soluções topológicas poderão ser descobertas por procedimentos automatizados ou semi-automatizados de edição de dados ou inspeção visual do mapa, ou ainda outras técnicas de inspeção associadas ao gerenciamento de banco de dados do sistema (ex. tabela de atributos). Algumas adoções automáticas devem ser vistas com atenção, pois dependem do *software*, em alguns casos o resultado pode ser generalizado para todos os grafos da base, surtindo efeitos indesejados, como a conversão de cruzamentos não-planares em planares.

Alguns procedimentos de checagem de erros

A construção de ferramentas que identificam e corrigem automaticamente os erros topológicos se fazem com base na equação simples de Euler. Através dos elementos básicos em um grafo ou mapa é possível checar esses desvios. Se o teste da igualdade de Euler falhar, então o grafo não é topologicamente consistente, muito embora o

equilíbrio da igualdade não seja necessariamente uma garantia, pois pode haver erros de cálculos. Por exemplo, um nó a menos e um arco a mais poderá equilibrar a equação, mas não significa que a topologia esteja correta (Figura 12) (LAURINI; THOMPSON, 1992, p.192)

No caso da Figura 12b em comparação com a 12a, um vértice não é gravado na tabela de dados; ou, como na Figura 12d e c, deve haver um arco sem nós soltos, ou com um nó solto. Na Figura 12e a linha perdida reduz a contagem e arco em um, embora o número de vértices e regiões esteja corretamente registrados.

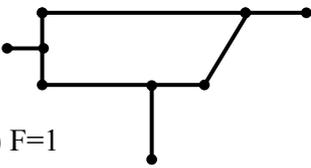
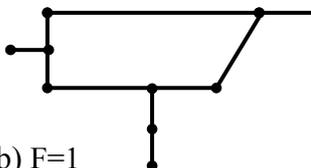
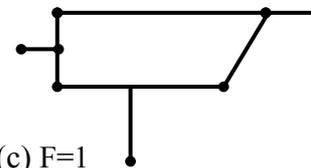
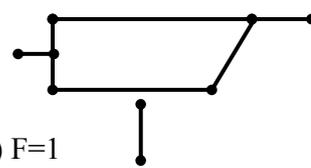
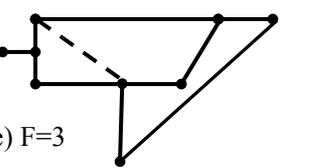
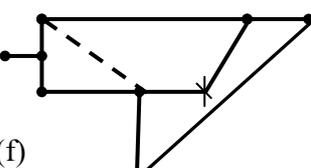
$V + F = E + 1^*$	* F define apenas região(ões) interna(s) , portanto $S = 1$	
 <p>(a) $F=1$</p>	 <p>(b) $F=1$</p>	 <p>(c) $F=1$</p>
$V + F = 10; E + 1 = 10$	$V + F = 11; E + 1 = 10$	$V + F = 9; E + 1 = 10$
 <p>(d) $F=1$</p>	 <p>(e) $F=3$ - - - Linha perdida</p>	 <p>(f) † Nó perdido</p>
$V + F = 10; E + 1 = 9$	$V + F = 12; E + 1 = 11$	$V + F = 11; E + 1 = 11$

Figura 12: Detecção de inconsistências topológicas usando a igualdade de Euler. (a) Grafo original sem erro; (b) arco com nó redundante; (c) arcos se tocam, mas não se conectam; (d) arcos sem conexão; (e) arco perdido; (f) arco e nó perdido. (modificado de Laurini e Thompson, 1992, p. 193).

Várias situações possíveis são mostradas na Figura 13, onde se pode observar a variação de S para os diferentes casos. Se S for incorretamente especificado, então a igualdade está incorreta.

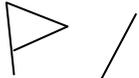
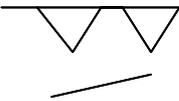
Grafo	V	+	F	=	E	+	S
	2		0		1		1
	3		0		2		1
	4		1		4		1
	6		1		5		2
	9		2		9		2

Figura 13: Exemplo de igualdades de Euler para grafos (modificado de Laurini e Thompson, 1992, p. 194).

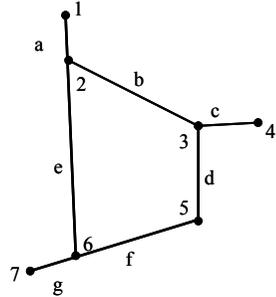
3.1.6 Relações Espaciais dos Dados

No ambiente digital as propriedades geométricas devem ser explicitadas de modo a serem codificadas as relações entre os atributos gráficos nós/linhas e os registros descritivos de posição e direção. Estas interações podem ser compreendidas no relacionamento entre a geometria da rede e a tabela de dados codificados que descrevem a conectividade e contiguidade dos elementos da rede.

A conectividade é descrita na tabela por caracteres alfanuméricos que se referem aos nós da rede, manejando a legenda de letras e números em distintas tabelas, definem-se as posições e ligações entre os objetos (Figura 14).

A contiguidade é descrita na tabela por caracteres alfanuméricos que se referem às linhas com dados descritivos que indicam se entre uma linha e outra está estabelecida a continuidade do fluxo, se ele é interrompido ou se muda sua direção (Figura 14).

Conectividade (Ilustração 1)

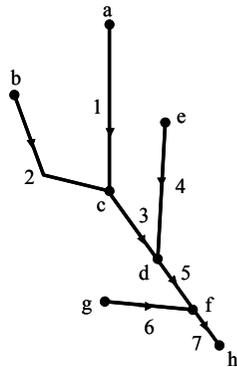


Ligação	do nó – para o nó
a	1 2
b	2 3
c	3 4
...	...

Nó	1 2 3 4 ...
1	- 1 0 0 ...
2	1 - 1 0 ...
3	0 1 - 1 ...
...

Nó	Conectado a ...
1	2
2	1, 3, 6
3	2, 4, 5
...	..., ..., ..., ...

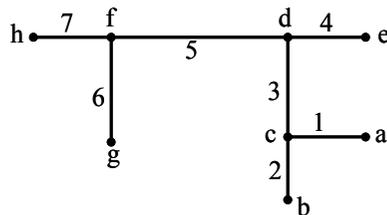
Contiguidade Grafo Orientado (ilustração 2)



Ligação	Conexão à ligação...
1	3
2	3
3	5
4	5
5	7
6	7
7	?

Ligação	Conexão ao nó...
1	c
2	c
3	d
4	d
5	f
6	f
7	h

Contiguidade Grafo Não Orientado (ilustração 3)



Ligação	Conexão à ligação..
1	2, 3
2	1, 3
3	1, 2, 4, 5
4	3, 5
5	3, 4, 6, 7
6	5, 7
7	6, 5

Ligação	Conexão ao nó...
1	a, c
2	b, c
3	c, d
4	e, d
5	d, f
6	f, g
7	h, f

Nós	Ligações adjacentes...
a	1
b	2
c	1,2,3
d	3,4,5
e	4
f	5,6,7
...	...

Figura 14: Codificação alfanumérica das feições lineares (modificado de Laurini e Thompson, 1992, p.209, 2011).

3.2 Impedâncias em Rede

YUE et al. (2004) consideram o modelo de redes em SIG como traduções realísticas da Teoria dos Grafos, empregadas a partir do espírito prático da questão. Aplicado aos métodos e aos recursos da informática, a interpretação dessa matemática sistematizou os modelos de vetores, tornando-os parte inerente às representações computacionais para a definição de imagens geradas em descrições geométricas de formas.

Todavia, no contexto das redes vetoriais dos SIG estas estruturas são traduzidas em outros sete itens fundamentais, cuja arquitetura se faz necessária à análise do espaço geográfico:

(i) *Dados*: diz respeito à informação espacial em larga escala e assimetricamente distribuída no espaço.

(ii) *Posição espacial do arco e do nó*: referência geográfica do arco e do nó correspondendo ao dado original e não distante do significado geográfico do mesmo. Faz parte também da representação geométrica das características do mundo real.

(iii) *A determinação da impedância do arco*: diferente da teoria dos grafos, o *peso* do arco no modelo de análise de rede é afetado por vários fatores dependendo do problema a se resolver. Por exemplo, tanto o perímetro de uma rota quanto a velocidade de um dado veículo devem ser computados quando se pretende definir o custo de uma viagem. Assim, as funções são muitas vezes usadas para representar valor de um arco no contexto de uma rede.

(iv) *A determinação da impedância do nó*: o nó na rede pode também influenciar o fluxo de um dado recurso na rede, assim como no *peso de importância do arco*.

(v) *A determinação da impedância da direção*: a direção é definida como a maneira que os recursos fluem através de um nó passando de um arco para outro. Exemplos disso são os diferentes retornos (voltas) em uma rodovia poderiam corresponder aos diferentes custos para se percorrer a rede ou a direção de fluxo de um rio.

(vi) *Segmentação dinâmica*: na estrutura gráfica conceitual do SIG, um arco corresponde a um registro definido por relações topológicas definidas em coordenadas (numéricas, geográficas, planas). No modelo de redes, a representação de uma rodovia,

se faz por relações topológicas (espaciais) e descrições de atributos (não-espaciais). Para descrever um arco, uma estrutura de referência linear é introduzida e um campo específico no dado é usado para registrar a posição do sub-arco na referida estrutura. A capacidade de definir diferentes cortes lógicos de uma rede, sem a necessidade de duplicar (ou repetir) a estrutura topológica da mesma, faz parte da segmentação dinâmica. Por exemplo, ao se asfaltar parte de uma estrada de terra, é possível atualizar essa informação no banco de dados sem ter que redigitalizar todas as coordenadas de localização da estrada. Assim, a segmentação dinâmica permite separar os diferentes níveis de informação relativos a uma mesma rede (CAMARA, 2001).

(vii) *Relação topológica*: uma seqüência de pontos forma um arco; um conjunto de arcos são *linkados* através de nós. Esses tipos de relações entre as entidades gráficas são topológicas e os *softwares* de geoprocessamento que disponibilizam pacotes de rede devem proporcionar meios para a manutenção dessas relações.

No contexto dessas descrições a impedância diz respeito aos atributos do modelo vetorial aplicados especificamente aos SIG. Em termos práticos refere-se a quantidade de resistência (ou custo) necessário para percorrer uma linha a partir do seu nó de origem até o nó de destino ou para fazer uma curva (ou seja, passar de um arco para outro através de um nó). Esta resistência pode ser uma medida da distância da viagem, tempo, valor monetário, ou outro especificado. A impedância com valores numéricos elevados indica maior resistência ao movimento, valor igual a 0 (zero) indica que não há custo algum. Em alguns casos, pode haver valor de impedância negativa indicando, por exemplo, uma barreira.

Conforme Teixeira e Christofoletti (1997, p. 138), em análise de redes geográficas (caminho ótimo, alocação de recursos, etc.), o valor da impedância depende de um número de fatores, tais como a característica do arco (tipo de estrada ou canal, por exemplo), o tipo de recurso movendo-se ao longo do arco na rede e a direção do movimento na rede.

Como foi visto, em muitas aplicações o menor caminho entre duas localidades não é necessariamente uma linha reta, e mesmo que seja direta, seu comprimento nem sempre reflete uma medida significativa da distância. A distância em muitos casos é melhor definida em termos de movimento expresso em tempo de viagem, custo monetário, ou de energia que pode ser consumida em taxas que variam ao longo do tempo e espaço.

Num sentido geral, a minimização da distância parece ser o objetivo principal da análise de redes. Em termos de impedância de acesso, sem dúvida o fator distância aparece em primeiro plano, no entanto a questão do caminho mais curto depende antes do desenho da rede. Haggett e Chorley (1969, p.193) ilustram condições geométricas da rede onde a impedância da distância anula qualquer tentativa de minimização do custo caso o objetivo seja identificar o menor conjunto de linhas que conectam todos os cinco pontos da Figura 15, ainda que aparentemente essa resposta pareça ser dada pela ilustração *d*, na verdade, em não se havendo outro tipo de custo a se considerar, a impedância é igual em todos os casos.

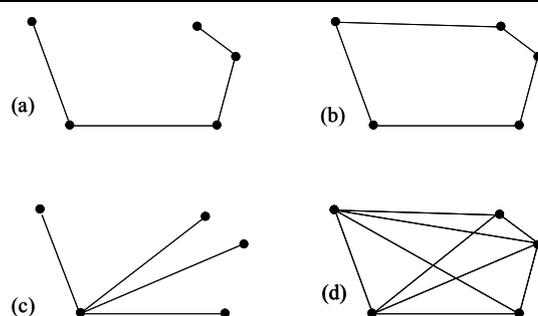


Figura 15: Definições alternativas de distância mínima em redes: (a) modelo *Paul Revere*; (b) modelo *Caixeiro Viajante*; (c) modelo *hierárquico*; (d) rede de menor custo (modificado de Haggett e Chorley, 1969, p.193).

Conforme Berry (1993, p.23), os efeitos que modificam a distância são denominados barreiras²⁵, que é um conceito que implica em dizer que a facilidade do movimento no espaço nem sempre é constante.

Os bancos de dados em GIS permitem ao usuário alocar e calibrar as barreiras. O procedimento analítico possibilita a computação manter o controle das interações complexas das variações do terreno e das barreiras. Nesse sentido, dois tipos de impedâncias podem ser identificados pelos seus efeitos barreira:

(i) *Barreiras Absolutas*: são as que restringem completamente o movimento tornando infinita a distância que separa dois pontos ou áreas. Um rio pode ser considerado como uma barreira absoluta para um modo de transporte não aquático. Por outro lado, para um barco ou balsa, o mesmo rio pode ser considerado uma barreira relativa.

²⁵ Que nesse contexto significa impedância.

(ii) *Barreiras Relativas*: as barreiras relativas são aquelas que podem ser ultrapassadas, só que mediante a um custo que, no caso espacial, geralmente se faz com base no aumento da distância, do tempo ou da fricção do terreno.

A adoção da noção de barreiras nos SIG possibilita analisar as distâncias de uma maneira mais eficaz, pois se aproxima da idéia de movimento através do espaço real, estas são relações de impedâncias.

3.3 Representação vetorial: funcionalidades dos SIG para a análise da acessibilidade

Os SIG possuem uma poderosa capacidade de gerenciamento de dados geográficos, tanto que se convencionou defini-los como um sistema/tecnologia contendo ferramentas ou funções capazes de colecionar, armazenar, recuperar, exibir, transformar, manipular, analisar espacialmente dados referenciados do mundo real. (SILVA, 2003, p.42-43). Sem dúvida a gestão dos dados irá depender do objetivo proposto pelo especialista e da coleção que esse dispõe para a composição de seu banco de dados. Muitas funções implementadas atendem diferentes objetivos e isso se deve ao tipo de tratamento do dado geográfico e de como o mesmo pode ser modelado no contexto dos SIG. Mesmo com estruturas bem equipadas para modelar dados de distintas naturezas, faz-se necessário a adoção de uma atitude seletiva que se detém a elementos essenciais para investigação científica.

Em geral a aplicação das redes de circuito se orientam por duas esferas de atividades: (i) serviços de utilidade pública, tais como, energia elétrica, gás, água, telefone, etc.; (ii) os sistemas de transportes: infra-estruturas, serviços e os modos (automóveis, trens, caminhões).

Do ponto de vista da geometria, as estruturas fundamentais que definem a rede vetorial nos SIG são os arcos e os nós. Como fora visto, os arcos são retas ou segmentos que se conectam através de nós, permitindo a transferência dos fluxos. Necessariamente um arco possui duas extremidades e para que faça parte de uma rede, depende que pelo menos uma dessas extremidades esteja ligada por um nó a outro(s) arco(s). Diferentemente do arco, o nó pode fazer múltiplas conexões. O resultado destas relações entre os nós e os arcos promove feições que caracterizam graficamente a redes. Nesse sentido, todo o conjunto de objetos que define essa trama encontra-se relacionada a uma ou mais tabelas de atributos no sistema computacional (ZEILER, 1999, p. 130). Do

ponto de vista lógico, a rede também é uma coleção de arcos e nós não espaciais que armazenam a conectividade da informação e se vinculam com certos atributos definidos numa tabela de dados, como fora visto na *seção 3.1.6*.

Uma grande vantagem dessa estrutura é que a rede geométrica permanece sempre associada a uma rede lógica, e esses elementos lógicos podem ser atualizados automaticamente sempre que for necessária a edição das feições da rede. Esta organização não aparece para o usuário, pois diz respeito a processamentos internos nos SIG, na verdade, o usuário interage com a rede geométrica e o sistema lógico oferece as bases para a execução de comandos.

A base do sistema lógico é a relação com a tabela de atributos, que descreve como os elementos da rede estão conectados (Figura 16).

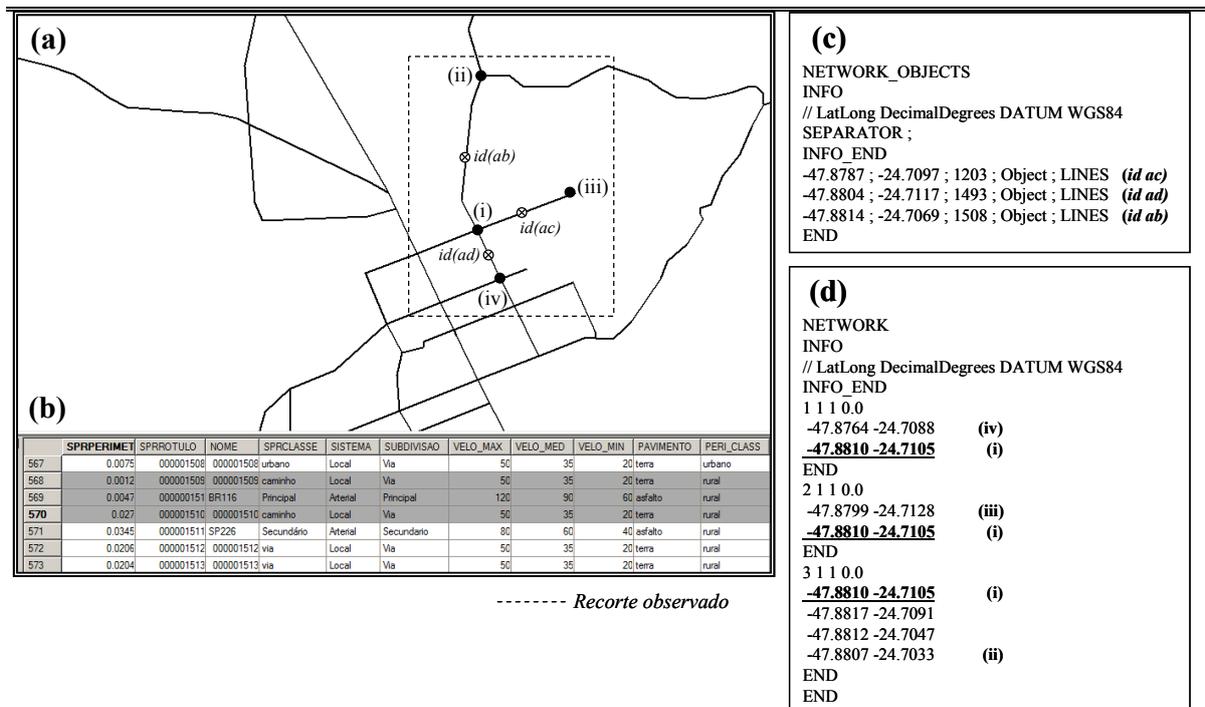


Figura 16: Exemplo de relação entre objetos e tabela de atributos da rede: (a) Geometria da rede (objetos); (b) tabela de atributos; (c) *script* que descreve a relação entre *objeto* e *atributos*; (d) *script* que descreve as relações topológicas da rede.

Nos modelos de dados descritos em redes nos SIG, o processo de modelagem espacial é definido por objetos geográficos. Cada feição do mapa possui uma localização geográfica exata e está associada a atributos descritivos presentes no banco de dados (Figura 16c,d).

Como os objetos possuem relação topológica, o sistema permite a determinação do sentido do fluxo, que se dá pela direção da digitalização dos arcos (com possibilidades de inversão e fluxo bilateral); os nós da rede, que são as junções entre arcos, podem carregar informações sobre o custo de percurso ou impedimentos.

Estas estruturas permitiram aos desenvolvedores a implementação de ferramentas que se aplicam ao conhecimento do espaço geográfico, revertendo em resultados práticos que se aplicam à diversas finalidades: para a identificação de caminho ótimo entre dois ou mais pontos; para o reconhecimento da área de influência de dado objeto pontual, que pode representar um centro fornecedor ou receptor de um dado recurso; para a identificação de objetos (serviços) mais próximos de um determinado ponto; para a geocodificação de endereços. A maior eficácia dessas aplicações está no fato de o cálculo das distâncias se fazer sobre a rede e não por referências euclidianas, além disso, os modelos geralmente possibilitam a inserção de restrições sobre estas medidas, que são as impedâncias para o deslocamento.

O modelo de rede se estrutura com base em princípios que partem de conceitos da análise espacial. Os recursos de rede disponibilizados nos SIG prestam a aplicações práticas que se respaldam em conhecimento. Deve-se também entender como análise espacial a adoção e aplicação de metodologias e técnicas ao longo de todo o processo de seleção, construção, verificação e tratamento de dados que se faz em um SIG. Dessa forma, a análise espacial não é um mapa, mas o mapa pode ser produto de análise(s) espacial(is) que se dá(ão) no encaminhamento das atividades que organizam, estruturam e atribuem significados à rede e outros modelos geográficos. As análises são, por assim dizer, definidas nestas etapas e o resultado pode ser representações cartográficas ou descrições que remetem às reflexões, conjecturas e tomadas de decisão.

De acordo com Ferreira (2006, p. 102), a análise espacial é “a razão máxima e condição primordial da existência de um SIG”. Como atividade intelectual a análise espacial implica de conhecimento geográfico e por isso se sobrepõe a qualquer algoritmo implementado nos SIG. A propósito, o conjunto de funções disponibilizados nos SIG decorre da transferência de paradigmas fundamentais da ciência geográfica para o plano tecnológico. Foi, sobretudo a escola geográfica de origem anglo-saxônica, desenvolvida após a década de 1950, que desempenhou importante papel nessa esfera do conhecimento (FERREIRA, 2006, p.105).

No campo da análise de redes a investigação principia na geometria espacial. A estrutura de conexões é a base onde se desenvolvem as relações topológicas e a forma da rede define extensões e proximidades.

Haggett e Chorley (cf., 1969, p.31-318) identificam e descrevem diversas proposições de análise de redes em Geografia. As investigações sobre esta arquitetura podem se dar em diversos campos:

- da estrutura geométrica da rede, onde a forma, a densidade, o padrão e ordem são colocados em evidência.
- dos movimentos e fluxos, analisados com vistas à compreensão dos custos diversos: implantação das redes, capacidade, direção, distribuição e eficiência;
- da alocação de redes, onde pode-se verificar aspectos ligados à localização espacial de empreendimentos;
- dos reflexos da rede sobre as áreas adjacentes, que eventualmente podem ser investigadas para a identificação de impactos promovidas pela própria rede;
- das condições para a implantação ou modificação da geometria das estruturas da rede.

Na prática, a situação geográfica da rede determina condições específicas que interferem na eficiência de seus atributos. As mudanças contínuas no tempo e no espaço exigem da governança intervenções constantes de análise e verificação das variações no padrão e função da rede que, por seu turno, requerem medidas preditivas e proposições de mudanças.

3.4 Avaliação Multicritério e Sistemas de Informação Geográfica

A avaliação multicritério implica num conjunto de técnicas que auxiliam um decisor a sistematizar os diversos componentes partícipes de um problema de modo a tomar uma decisão com base em procedimentos lógicos e organizados. Faz-se mediante formulações conceituais que podem criar condições de aplicação prática. Por não se ater a uma especialidade, desenvolve-se com certas liberdades, que atendem a distintos campos de aplicação, porém como um procedimento, a avaliação apóia-se em métodos comuns, tendo em vista definir valores, ranques, incertezas e outras questões de relevância para se chegar à melhor decisão sobre um dado problema. A avaliação multicritério existe no contexto da Teoria da Decisão, que é um conhecimento interdisciplinar aplicado à identificação de melhores resultados ou julgamentos sobre um determinado assunto.

Os modelos que dão suporte à decisão se fundamentam na racionalidade inerente ao processo de seleção, organização e de julgamentos feitos sobre dados e informações que promovem alternativas de solução para o decisor. Segundo Moreira et al. (2001, p. 9), dentre as várias proposições metodológicas que apóiam a tomada de decisão é possível identificar em todas elas, quatro procedimentos comuns: (i) A definição de um problema, que é a questão emergente e que exige uma tomada de decisão ou solução; (ii) A investigação de alternativas, as quais se sustentam por critérios de avaliação e oferecem as possíveis soluções para o problema inicial; (iii) O julgamento das alternativas, que se faz mediante um rol de opções e define a síntese de argumentos; (iv) A seleção de alternativas, que dão condições para a tomada de decisão e atendem às necessidades de solução do problema inicial.

Assim, define-se *Decisão* como a escolha entre alternativas, que podem representar diferentes localizações, planos, classificações e hipóteses sobre um dado fenómeno e *Critério* como uma racionalidade que pode ser quantificada, classificada ou avaliada, contribuindo para a tomada de decisão (MALCZEWSKI, 1999, p.83).

Ao fazer julgamentos sobre quais são os elementos que possuem maior importância num sistema, o decisor está fixando as bases da avaliação que pretende construir. Consequentemente, nesta ação, uma alternativa poderá ser considerada melhor opção e outras terão importâncias relativas, o relatório desse resultado irá apresentar os critérios considerados mais relevantes para a caracterização da medida

satisfatória. Conforme Soares, (2004, p. 971), a análise multicritério deve ser vista como uma atividade que se desenvolve sobre dois princípios: da construção do modelo e de sua gerência.

Para Malczewski (loc. cit.) a análise decisória é um conjunto de procedimentos sistemáticos que tem por objetivo analisar problemas complexos. A estratégia básica é dividir o problema em partes menores de modo a torná-lo mais compreensível, e assim permitir a análise e integração das partes de uma maneira lógica, promovendo assim uma solução significativa. Como é um procedimento multidisciplinar, torna-se de grande importância tanto para o campo das ciências da sociedade quanto da natureza, por sua vez, é de interesse para a Geografia, sobretudo quando há necessidade de tomada de decisão sobre critérios conflitantes, por exemplo, quando as relações entre os atributos não são quantificáveis, ou ainda, quando as proposições analíticas se dão sobre campos distintos do conhecimento.

Os métodos de decisão multicriterial se utilizam de uma matriz para sistematizar a análise dos níveis de integração, de incerteza e de avaliação, de forma a permitir o julgamento e a classificação das alternativas de decisão. No contexto da análise multicriterial, quase todas as metodologias seguem etapas semelhantes de organização da matriz de decisão, distinguindo-se apenas na maneira com que cada uma sintetiza informações. Diferentes métodos requerem então diferentes tipos de julgamento, aqueles que forem necessários para o melhor encaminhamento das análises. No conjunto de técnicas que podem ser adotadas é possível identificar diferentes proposições: aquelas que classificam as opções; as que definem uma única alternativa ideal; as que ranqueiam os resultados; as que diferenciam as alternativas entre aceitáveis e inaceitáveis.

A matriz de colunas e linhas representa a saída da decisão para um conjunto de critérios alternativos e de avaliação. A estrutura de colunas consiste dos atributos que representam as escolhas do decisor, suas preferências e critérios de avaliação. Esses elementos são organizados hierarquicamente. As decisões implicam uma análise de julgamentos dos atributos que integram e afetam a decisão. São em geral caracterizadas com base nas relações de importância relativa tendo como pano de fundo quais decisões estão sendo avaliadas. As preferências são operacionalizadas em termos de pesos assinalados ao critério de avaliação (Figura 17).

Pelo fato de envolver distintas ordens de atividades, que podem ser: econômica, social, ambiental, cultural ou jurídica, a decisão multicritério é elaborada num contexto que foge do alcance do decisor. Estas esferas de atividades podem participar em conjunto no processo decisório, só que pelo fato de serem de naturezas distintas, são propensas a uma infinidade de estados e mudanças. O decisor tem pouco ou nenhum controle sobre essa situação, pois estas instâncias são independentes e podem implicar em uma infinidade de variações internas, ampliando ainda mais o grau de incerteza dos resultados e das alternativas de decisão. Esses fatores são chamados por Malczewski de estados da natureza ou estados do ambiente (1999, p.82).

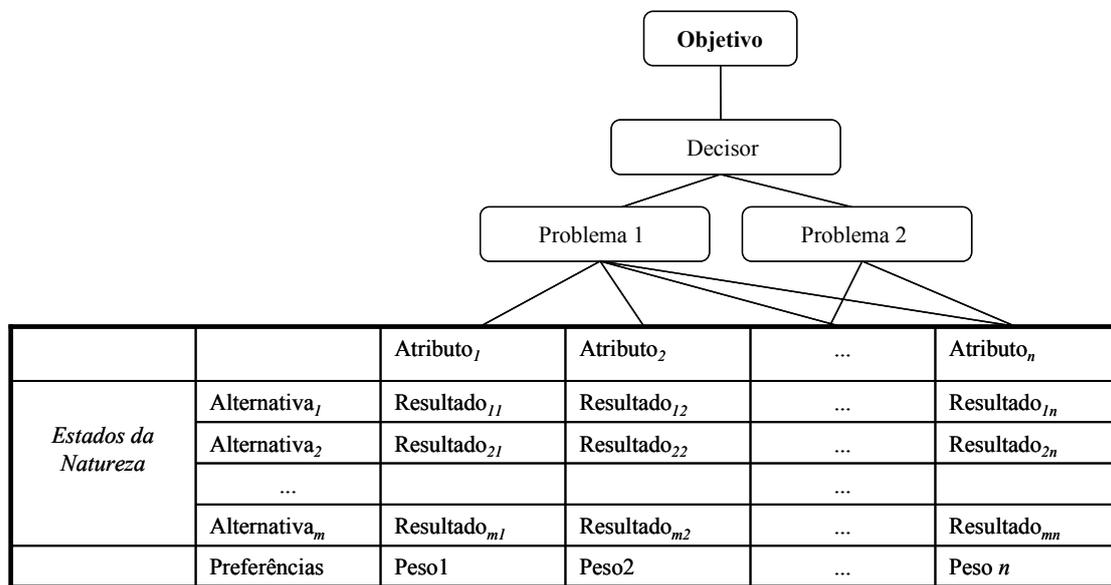


Figura 17: Modelo de organização das partes para a resolução de problemas de decisão multicritério. (modificado de Malczewski, 1999, p. 82)

O resultado da decisão depende do conjunto de atributos que são levados em consideração. Na matriz de objetivos um dado que intersecta uma linha e uma coluna é uma opção de decisão indicativa de uma alternativa particular e de um atributo em particular. Se um único estado de natureza for considerado, as células da matriz conterão uma única entrada, se a situação de decisão requerer a consideração de vários estados da natureza as células conterão uma maior quantidade de resultados. Dessa forma, os resultados de decisão em cada coluna da matriz são representados como níveis de atributo, os quais medem o níveis de performance de uma alternativa de decisão. O

problema então requer que o conjunto de saídas seja ordenado de modo que seja possível identificar a melhor alternativa (MALCZEWSKI, 1999, p.84)

De um modo geral, os problemas multicriteriais podem ser tratados a partir de duas abordagens: a multi-objetivo e a multi-atributo.

Na *análise multi-objetiva* os objetivos são explícitos e diferentes atributos podem ser considerados para se completar a avaliação em curso. Esta categoria se pauta em definições rígidas entre os atributos que compõem a análise e se constroem com base no conhecimento de sobre qual decisão tomar e quais suas conseqüências.

Partindo da premissa de que a análise visa alcançar um novo estado para um dado sistema em avaliação, existem apenas duas possibilidades de ação: maximização ou minimização dos atributos observados (MARTINS 2009, p. 36). Problemas multi-objetivo envolvem então projetar a melhor alternativa para um conjunto de fatores conflitantes, seja maximizando ou minimizando seus atributos. Este campo da abordagem multicritério envolve a elaboração de alternativas e a busca por melhores decisões dentre um conjunto infinito ou muito grande de alternativas possíveis. O papel da abordagem multi-objetivo no processo de decisão visa dar suporte para a concepção de um conjunto de alternativas. De acordo com Malczewski (1999, p.238), em um problema multi-objetivo a intenção é encontrar um conjunto de valores para as variáveis de decisão que otimiza um conjunto de funções, nesse caso, o conjunto de variáveis que produz o resultado ótimo é designado como sendo o melhor conjunto organizado para se alcançar o objetivo.

Por exemplo, se uma medida visa alocar um posto de saúde no sentido de minimizar o tempo de viagem dos pacientes até os mesmo e maximizar a população assistida, tal análise deve especificar seus múltiplos objetivos. Suponha-se então que essa população deva se limitar a 5.000 pessoas e que a cobertura espacial deva ter como parâmetro o tempo de viagem de 30 minutos até o posto de saúde, nesse caso, tal decisão deve ser resolvida por meio da abordagem multi-objetiva.

A *análise multi-atributo* refere-se ao tipo de observação feita sobre escolhas e caracteriza-se pela existência de uma quantidade finita de alternativas explicitamente conhecidas. Esse modelo requer que as relações entre os atributos sejam especificadas de maneira a compor um elenco de alternativas que possibilitem a seleção da melhor opção. Assim, no processo de avaliação adotam-se procedimentos que lidam com situações de incertezas.

Nos problemas de decisão multi-atributo as alternativas de decisão são ordenadas com base na importância destas para os objetivos propostos. A partir daí escolhe-se a alternativa preferida dentre as disponíveis. Segundo Martins (2009, p.37), na abordagem multi-atributo uma alternativa é geralmente descrita por um conjunto de atributos que muitas vezes podem estar em conflito, pois representam propriedades de naturezas distintas. Um atributo também pode ser definido com base num aspecto qualitativo (nominal ou ordinal) ou quantitativo (proporcional ou intervalar) de acordo com o nível de medida explicitado.

Considerando uma situação-problema, a resposta para a pergunta, “qual o caminho ótimo até o posto de saúde mais próximo?” poderia ser dada com base na avaliação multi-atributos. Levando em conta que vários fatores interferem na mobilidade geográfica, o julgamento das variáveis inerentes a tais fatores pode ser feito com base na contribuição relativa de cada uma para a compreensão do traslado até o posto de saúde mais próximo, minimizando assim o tempo de viagem. Nesse caso o julgamento dos atributos oferece alternativas para a decisão.

Em resumo, a solução de um problema multi-objetivo implica num processo de projeto e indica uma direção no que fazer. Diante de um conjunto de atributos sabe-se o que é preciso melhorar para se alcançar o objetivo. Já a solução de um problema multi-atributo procura-se conhecer o conjunto de elementos e sua performance no alcance de determinados objetivos. No problema multi-atributo as propriedades dos elementos, medidas quantitativamente, qualitativamente ou resultante de relações estabelecidas entre pares de elementos, são as variáveis e os padrões do próprio julgamento, a partir dos quais se testa a conveniência das alternativas decididas (MALCZEWSKI, 1999, p.83; 85-86).

3.4.1 Multi-objetivo

Como visto anteriormente, em um problema multi-objetivo a intenção é identificar um conjunto de valores que seja capaz de aperfeiçoar o conjunto de funções que definem as variáveis de decisão.

As resoluções de problemas multi-objetivo geralmente definem explicitamente as restrições e os limites de um determinado atributo e por essa razão os problemas acabam sendo resolvidos usando procedimentos de programação linear. Isso ocorre

porque é comum um grande ou infinito conjunto de alternativas possíveis para se avaliar.

De acordo com Malczewski (1999, p. 258), os SIG têm uma capacidade muito limitada para gerarem resultados quando o conjunto de alternativas é definido por relações causais e por restrições que são impostas sobre as variáveis de decisão. Tal fato é observado quando as variáveis de decisão são de natureza contínua e as alternativas de decisão consistem da combinação de objetos espaciais e tais variáveis, nesses casos o modelo gera uma infinidade de opções de escolha. Por conseguinte, o autor enfatiza que é usualmente impossível programar o modelo multi-objetivo no GIS usando modelagem cartográfica, pois esses modelos requerem uma combinação de *software* de programação matemática (em geral programação linear), assim as aplicabilidades do GIS funcionam apenas como ferramentas para a exploração dos dados de entrada e para a visualização cartográfica.

A título de exemplificação pode-se tomar os modelos de Análise Envoltória de Dados (DEA²⁶), que são modelos de avaliação de eficiência e têm sido utilizados em estudos envolvendo SIG. Nesses modelos são consideradas medidas de eficiência estabelecendo-se relações de entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*).

Numa situação mais geral onde existem várias entradas e saídas, a eficiência de um modelo é definida como a combinação linear das saídas divididas pela combinação linear das entradas, geralmente padronizadas e ponderadas por um valor (GOMES; MELLO; NETO, 2003, p. 8).

3.4.2 Multi-atributo

Conforme Malczewski (1999, p. 198), dentre as inúmeras regras de decisão multi-atributo presentes na literatura, é possível distinguir as que são mais ou menos utilizadas. Em se tratando de SIG, as regras de decisão *aditivas* são as mais recorrentes, destacando-se:

(i) os métodos que simplesmente aplicam um peso de ponderação para os atributos partícipes do processo decisório;

(ii) as funções de valor/utilidade. Nesse caso, a função de valor é aplicável em situações de decisão sobre certezas. O conceito de utilidade é genérico e trabalha sobre

²⁶ Data Envelopment Analysis.

probabilidade, julgando dentre um conjunto de atributos aqueles que são mais e menos preferíveis e hierarquizando-os;

(iii) o Processo Analítico Hierárquico (*Analytic Hierarchy Process – AHP*) é um método de escolha baseada na lógica da comparação pareada. Nesse procedimento, os diferentes fatores que influenciam a tomada de decisão são comparados dois a dois e um critério de importância relativa é atribuído ao relacionamento dado entre esses fatores conforme uma escala pré-definida. O princípio do julgamento comparativo requer a avaliação de pares de elementos dentro de um determinado nível da estrutura hierárquica, ou seja, os objetos são comparados em pares, levando um, depois o outro e, então, levando de novo o primeiro e o segundo, e assim sucessivamente, até que se forme um julgamento quanto ao peso relativo de cada par de objetos.

Na próxima seção aprofunda-se o conhecimento a respeito do funcionamento dessa terceira proposição e avalia sua aplicação pela base SIG.

3.4.3 Processo Analítico Hierárquico (*Analytic Hierarchy Process – AHP*)

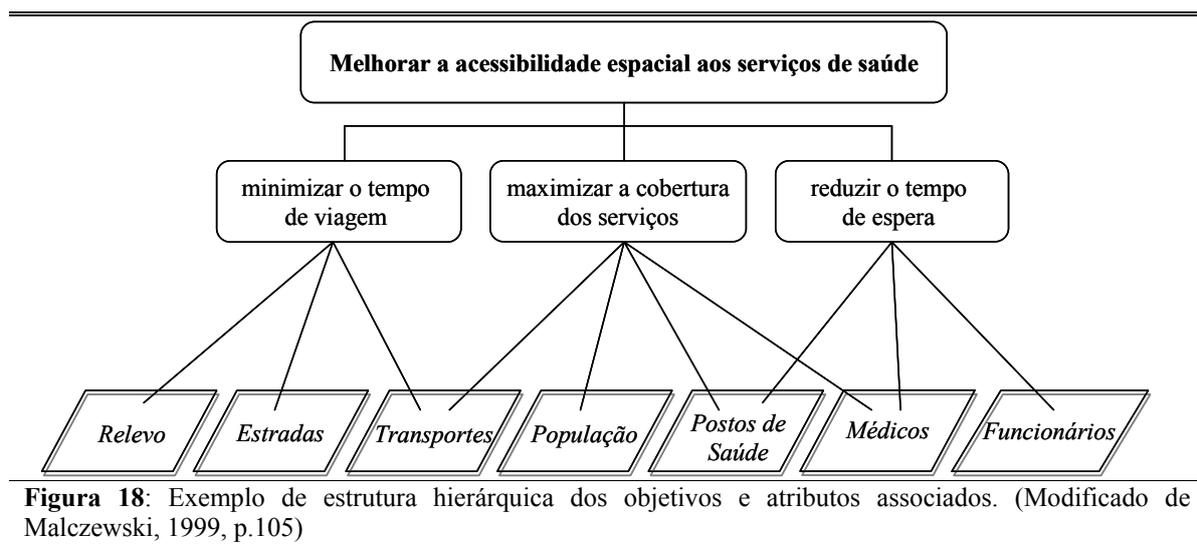
A compreensão do AHP como método para a execução da análise multicriterial segue diversas etapas e diferentes passos no contexto destas etapas. Uma explanação bastante didática é feita por Malczewski (cf., 1999, p.182-187; p.217-223), mostrando detalhadamente, e de forma prática, todo o procedimento e aplicação desse método. É com base nessas explicações que se fará a seguir a descrição do AHP, fazendo-se algumas modificações nas colocações e na exemplificação dos critérios observados pelo autor.

O procedimento AHP é baseado em três princípios,

(I) princípio da decomposição, a qual requer que o problema da decisão seja decomposto em uma hierarquia que abarque os elementos essenciais do problema. Como sugerido por Malczewski (1999, p.103), a avaliação de critérios é um termo genérico que inclui tanto a concepção do objetivo, quanto dos atributos. Nesse caso um objetivo se refere a um estado desejado, é o que se espera, ou gostaria de alcançar no processo de análise de um sistema. Os atributos, por sua vez, são os indicadores que influenciam as saídas, pois são os elementos que norteiam a avaliação. Geralmente para se melhor compreender estas indicações, são adotadas escalas quantificadas, pois elas são capazes de oferecer parâmetros para se avaliar o quão distante ou próximo se está de um objetivo.

Um objetivo observado pode representar a maximização de um conjunto de atributos ou sua minimização. Nesse sentido, funções de maximização ou minimização podem ser utilizadas. A relação entre os objetivos e atributos tem uma estrutura hierárquica, no nível mais elevado pode estar um objetivo geral (ex. melhorar a acessibilidade espacial da população aos serviços de saúde); em seguida outros objetivos subjacentes (ex. minimizar o tempo de viagem, maximizar a cobertura dos serviços, reduzir o tempo de espera); no nível inferior estão os atributos, que são indicadores quantificáveis e representam o conjunto selecionado de elementos que podem contribuir para a realização do(s) objetivo(s) (ex. número de postos de saúde, população, estradas, meios de transporte, tipos de serviços, etc.) (Figura 18).

Estas observações estabelecem que os atributos relacionados a um objetivo são de importância fundamental no sentido de oferecer elementos para o desenho da estrutura hierárquica do critério de avaliação.



(II) princípio do julgamento comparativo, o qual requer que a avaliação dos pares de elementos seja feita no contexto de um dado nível de estrutura hierárquica com relação aos seus semelhantes do próximo nível hierárquico. A condução desse processo envolve três principais procedimentos:

1) hierarquizar os elementos, no caso, os atributos da tabela que irão compor a decisão.

Ao definir uma hierarquia, o nível mais elevado representa o objetivo principal e as prioridades descendem do geral ao específico. É então com base nesse escopo que as alternativas subseqüentes são ordenadas, assim cada nível inferior estará articulado ao superior.

A estrutura da hierarquia se dá em quatro planos: finalidade, objetivo, atributos e alternativas. No caso dos SIG, cada camada de mapa tem seus atributos descritivos padronizados para compor as alternativas, e cada alternativa tem uma relação hierárquica no conjunto de atributos (Figura 19).

2) Comparar em pares os elementos de decisão.

A comparação pareada é o modo de medida básica do AHP. Tal procedimento reduz a complexidade da tomada de decisão, uma vez que apenas dois elementos são comparados por vez. Para essa etapa três passos são necessários: (2.1) desenvolver uma matriz de comparação em cada nível da hierarquia, começando pelo nível mais alto e descendendo; (2.2) computar os pesos para cada elemento da hierarquia; (2.3) estimar a razão de consistência.

A comparação pareada são os dados de entrada do modelo e os pesos relativos são os dados de saída. Os pesos são determinados pela normalização do autovetor associado com o autovetor máximo da matriz recíproca. Para melhor compreensão toma-se o seguinte exemplo:

Suponha que uma situação problema deseja avaliar a acessibilidade espacial de um conjunto de localidades aos postos de saúde, tomando como base três critérios: velocidade média nas pistas (v), distância (d), relevo (r). Primeiramente é necessário avaliar a importância relativa dos três critérios. Isso pode ser resolvido pela comparação pareada, que deve seguir os três passos citados anteriormente:

(2.1) Matriz de comparação pareada:

Conforme a proposição de Saaty (1980), aplica-se uma escala com valores de 1 a 9 para relacionar as preferências relativas de cada par de critérios (Tabela 2). Tomando o problema colocado, suponha-se que a distância tem um peso de importância *entre moderada e forte* em relação à velocidade, seu valor é então 4; e uma *importância muito forte* em relação ao relevo, nesse caso o valor será 7. A última relação possível é entre velocidade e relevo, considerando-se uma *forte importância* do primeiro, o valor será 5.

Tabela 2: Escala de Valores AHP para Comparação Pareada

<i>Intensidade de Importância</i>	<i>Explicação</i>
1	Igual importância
3	Moderada Importância
5	Forte Importância
7	Muito Forte Importância
9	Importância Extrema
2, 4, 6, 8	Importâncias intermediárias entre os níveis descritos acima

Fonte: Adaptado de Saaty, 1980.

Os valores descritos na relação pareada são em seguida organizados na forma matricial (Tabela 3). Considera-se então a reciprocidade dos dados na matriz, por exemplo, se um dado critério *A* é duas vezes mais importante que o critério *B* ($2 \cdot A$), conclui-se que o Critério *B* tem a metade da importância em relação a *A* ($0.5 \cdot B$). Dessa forma, usa-se a mesma lógica para completar as demais relações pareadas da tabela. Cumpre-se dizer que quando se compara qualquer elemento com ele mesmo, o valor atribuído será 1, representando *igual importância*. Retomando a situação problema colocada a pouco, a Tabela 3 mostra a organização deste raciocínio.

Tabela 3: Comparação pareada dos critérios de avaliação

Critério	Distância (<i>d</i>)	Velocidade (<i>v</i>)	Relevo (<i>r</i>)
Distância (<i>d</i>)	1	4	7
Velocidade (<i>v</i>)	1/4	1	5
Relevo (<i>r</i>)	1/7	1/5	1

(2.2) Cômputo dos pesos dos critérios:

Esse passo implica em somar os valores de cada coluna da tabela de comparação pareada, dividir cada elemento da matriz pelo total de sua coluna (o resultado desses cálculos é uma matriz de comparação pareada normalizada) e computar a média dos elementos em cada linha da matriz normalizada, dividindo a soma dos valores normalizados de cada linha pelo número de critérios considerados, no caso, 3 (*d*, *v*, *r*) (Tabela 4). Estas médias oferecem uma estimativa dos pesos relativos dos critérios que estão sendo comparados. Por esse método, os pesos são interpretados como a média de todas as possibilidades de comparações pareadas entre os critérios, como pode ser visto na Tabela 4. Os pesos dos critérios são Distância ($d=0.675$), Velocidade ($v=0.252$) e Relevo ($r=0.073$).

Tabela 4: Etapas para do cálculo AHP

critério	Hierarquização			Normalização			Pesos		
	Passo I			Passo II			Passo III		
	(d)	(v)	(r)	(d)	(v)	(r)			peso
Distância (d)	1	4	7	0.718	0.769	0.538	(0.718+0.769+0.538)/3 =		0.675
Velocidade (v)	1/4	1	5	0.179	0.192	0.385	(0.179+0.192+0.385)/3 =		0.252
Relevo (r)	1/7	1/5	1	0.102	0.039	0.077	(0.102+0.039+0.077)/3 =		0.073
	1.393	5.200	13	1.0	1.0	1.0			1.0

(2.3) estimacão da razão de consistência:

Nessa etapa determina-se se as comparaes são consistentes. Isso implica em realizar as seguintes operaes: determinar a soma ponderada do vetor através da multiplicaco do peso para o primeiro critério (ex. distância) vezes a primeira coluna da matriz de comparao pareada original, em seguida multiplicar o segundo peso (ex. velocidade) vezes a segunda coluna, e o terceiro critério (ex. relevo) vezes a terceira coluna da matriz original e concluir somando esses valores sobre as linhas; e numa segunda instância determinar a consistência do vetor dividindo a soma dos vetores ponderados pelos pesos dos critérios anteriormente determinados (Tabela 5).

Tabela 5: Determinao da razão de consistência

Critério	Passo I	Passo II
Distância (d)	$(0.675) \cdot (1) + (0.252) \cdot (4) + (0.073) \cdot (7) = 2.194$	$2.194 / 0.675 = 3.250$
Velocidade (v)	$(0.675) \cdot (1/4) + (0.252) \cdot (1) + (0.073) \cdot (5) = 0.786$	$0.786 / 0.252 = 3.119$
Relevo (r)	$(0.675) \cdot (1/7) + (0.252) \cdot (1/5) + (0.073) \cdot (1) = 0.220$	$0.220 / 0.073 = 3.014$

Uma vez calculado o vetor de consistência,  necessário computar os valores para mais dois termos, λ (lmbda), que  a média do vetor de consistência:

$$\lambda = (3.250 + 3.119 + 3.014) / 3 = 3.128$$

,e o ndice de consistência (IC) que se baseia sobre a observao de se λ  sempre maior ou igual ao número de critérios sob considerao (n) para matrizes recíprocas. Se λ for igual a n a matriz de comparao pareada  consistente. Conseqüentemente, $\lambda - n$ pode ser considerado como uma medida do grau de inconsistência, se normalizada da seguinte maneira:

$$IC = (\lambda - n) / (n - 1) = (3.128 - 3) / (3 - 1) = 0.064$$

Onde, IC se refere ao *ndice de Consistência*, que aponta a medida de afastamento da consistência. Especialistas indicam que se o ndice de consistência indicar um valor

menor que 0,1 o processo de julgamento é bom; se o índice se mostrar maior que 0,1, deve-se rever os julgamentos.

A figura 19 sintetiza as etapas do AHP e ilustra a aplicação para o caso dos SIG, fazendo referências a planos de informação como mapas.

(III) Princípio da síntese

Esse princípio se efetiva através da construção de uma classificação de prioridade global, onde cada um dos resultados que ocorrem em diferentes níveis da hierarquia se consolidam como alternativas.

Esse é o passo final do procedimento AHP, que agrega os pesos relativos dos níveis obtidos nos passos anteriores. É uma etapa necessária para a integração dos objetivos, nesse caso haverá diferentes prioridades definidas para cada objetivo subjacente à uma finalidade mais geral. Por exemplo, a síntese de prioridades do objetivo global (finalidade) “Melhorar a acessibilidade espacial aos serviços de saúde” depende dos objetivos subjacentes: “Minimizar o tempo de viagem”; “Maximizar a cobertura do serviço”; e “Reduzir o tempo de espera” deve se fazer através da construção de uma classificação geral das prioridades oriundas dos objetivos secundários.

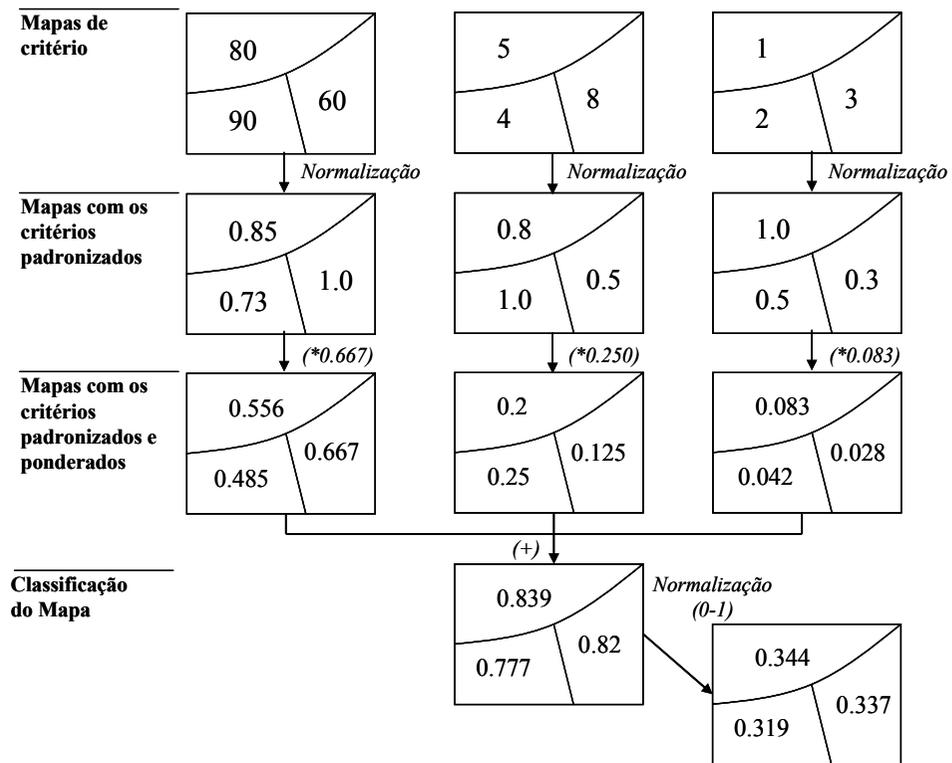
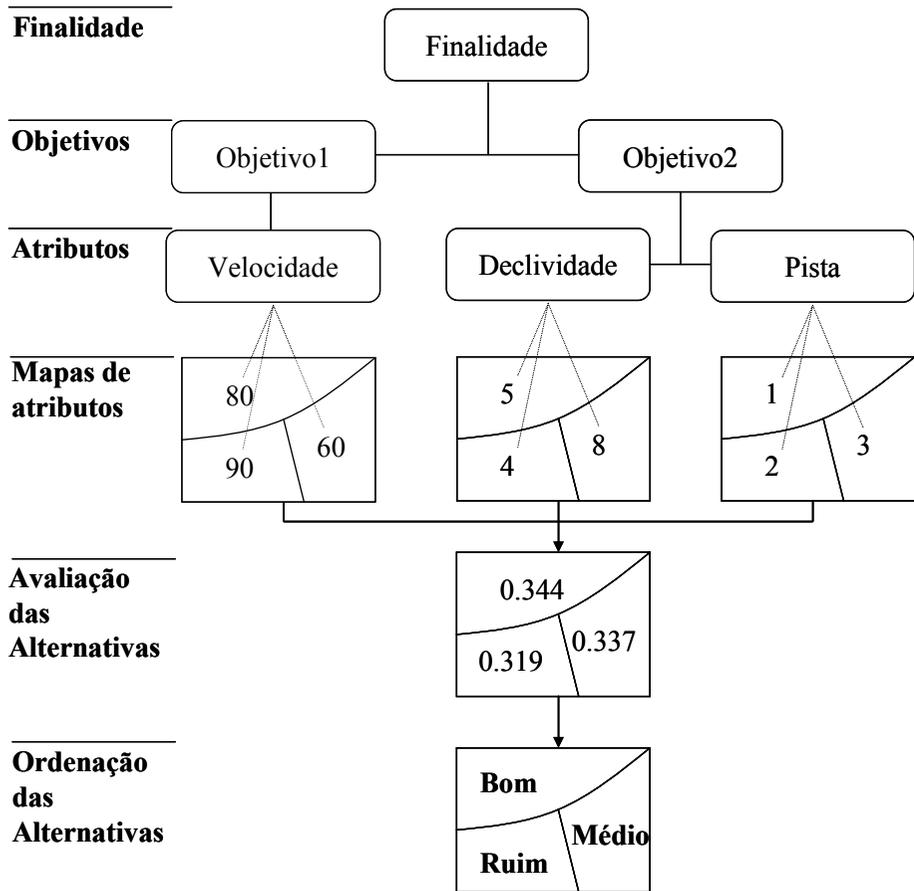


Figura 19: Esquema síntese do AHP aplicado aos SIG: (a) Procedimentos do AHP; (b) Modelo da classificação AHP em ambiente SIG (modificado de Malczewski, 1999, p. 219).

Considerações a respeito do procedimento AHP

Apesar da consistência lógica do AHP, o método tem sido alvo de observações e críticas. Primeiramente é importante salientar que a quantificação dos dados é uma necessidade nesse tipo de objetivo e a síntese deve expressar o cuidado do pesquisador para com a condução de todo o processo de montagem do banco de dados, atribuição de significados às variáveis e o tratamento quantitativo das mesmas. Alguns autores (Goodwin; Wright²⁷ 1998; Belton²⁸ 1986, apud MALCZEWSKI, 1999 p. 223) chamam atenção para incertezas e subjetividades que permeiam os julgamentos sobre importâncias relativas e para a hierarquização em uma escala de 1 a 9. Haveria ainda limitações do processo de comparação pareada, pois o fato de o especialista indagar a respeito de “quão mais importante o atributo x é em relação ao y (?)” não resulta em um devido esclarecimento sobre os valores adotados, pois não se apóiam em medidas específicas.

A observação que se faz é que em geral o usuário do método se pauta em valores médios, prejudicando a obtenção de um julgamento razoável. Uma outra questão posta em discussão diz respeito à comparação por pares de atributos, que é um fator limitante, pois nem sempre uma situação preferencial entre um par de atributos pode continuar a ser caso um terceiro venha a compor a relação.

Quanto à aplicação em geoprocessamento, Moreira et al. (2001, p.27) consideram o processo AHP uma das técnicas mais úteis para apoiar a organização e a racionalidade na combinação de dados e mapas. Avaliam o AHP como um suporte importante à tomada decisão, permitindo classificar o espaço em áreas mais ou menos adequadas para uma dada finalidade.

²⁷ GOODWIN, P.; WRIGHT, G. **Decision analysis for management judgment**. Chichester, West Sussex, England: Wiley, 1998.

²⁸ BELTON, V. A comparison of the analytic hierarchy process and a simple multiattribute value function. **European Journal of Operational research**. 26(1); 7-21. 1986.

4. ATRIBUTOS DA REDE DE ACESSIBILIDADE

O estudo integrado dos elementos que compõem a superfície terrestre é um desafio presente no método da ciência geográfica desde, pelo menos, os idos do século XIX. Ainda que o estudo da natureza destituída da sociedade seja uma abordagem pouco apropriada numa pesquisa de cunho geográfico, teoricamente sabe-se que a integração é um desafio a se fazer, no entanto, do ponto de vista analítico, entende-se como uma proposição possível e fundamental na pesquisa em Geografia.

Na presente pesquisa encaminha-se uma investigação que se orienta primeiramente pelo objeto, dando liberdade para o tratamento analítico e não conceitual do que aqui se aproxima de um estudo da paisagem geográfica. Nessa busca, a orientação se faz pela identificação elementos que podem dar suporte ao desenvolvimento de uma metodologia apoiada pelos SIG que, por suas funcionalidades, permitem fazer a síntese cartográfica e orientar ao estudo da determinação de impedância para o traslado da população rural até os centros urbanos onde, geralmente, se localizam os serviços de saúde.

Aqui a abordagem da paisagem geográfica não deve intuir uma menção restrita apenas aos elementos da natureza, mas também a algumas estruturas e objetos da paisagem geográfica que se organizam de maneira a funcionar como barreiras ou facilitadores da mobilidade humana no espaço. Tais elementos se manifestam fisicamente na paisagem, mas podem ser produtos da construção humana.

O olhar sobre a paisagem geográfica depreende diversas formas, estruturas e funcionalidades, todavia, é a ação do observador que seleciona aquilo que lhe é de interesse. Segundo Martinelli e Pedrotti (2001, p.41), por mais simples que seja uma dada paisagem, sua essência é complexa e perpassa aspectos sociais e naturais, subjetivos e objetivos, espaciais e temporais.

Bertrand (1971) afirma que as delimitações geográficas resultam de decisões de quem mapeia, não existem limites rígidos entre os elementos, sobretudo entre os da natureza, essa é uma razão para se recorrer a tipologia como uma maneira de se aproximar da realidade geográfica. A adoção do raciocínio analítico se faz ao longo do processo de pesquisa e atinge o momento em que se definem os conjuntos homogêneos que irão compor a síntese.

Segundo Martinelli (2003, p.90) a cartografia de síntese não se faz pela simples superposição de mapas, mas pela fusão desses em tipos, onde os atributos ou variáveis espaciais são agrupados segundo concordâncias espaciais, colocando em evidência conjuntos que correspondem aos referidos agrupamentos. Martinelli e Pedrotti (2001, p.42) destacam que essa é uma cartografia que apresenta conjuntos espaciais com identidade peculiar e marcante, que são agrupamentos de lugares caracterizados com base na disposição e relação entre os atributos que a pesquisa individualizou.

Rimbert (1964, p.64), descreve a cartografia de síntese como um encaminhamento metodológico que estabelece critérios de relação entre os elementos em observação. É uma cartografia que se caracteriza pela supressão de dados isolados em favor da fusão desses mesmos dados em tipos, podendo ser tanto de natureza qualitativa como quantitativa. Porém, ressalva que os dados quantitativos, por serem menos suscetíveis à classificações subjetivas, se mostram mais fáceis de se trabalhar do que aqueles que se caracterizam como variáveis descritivas (qualitativos). Do ponto de vista científico, a cartografia de síntese tem seu lugar na cartografia temática e nesse contexto pode se desenvolver sob distintas metodologias.

Entende-se aqui que o raciocínio emprestado da cartografia de síntese é fundamental para a construção de um sistema lógico no contexto dos SIG de modo a orientá-lo à construção de uma síntese de impedâncias de viagem. As restrições que podem interferir numa viagem são variadas e agregam uma diversidade de elementos que se distinguem na paisagem geográfica. Cada um desses elementos é descrito pelos seus atributos nos SIG, é aí que a atenção desta pesquisa se dá e por isso que esse capítulo recebe esse nome.

A realidade aqui tratada está permeada de fatores ainda intangíveis, alguns talvez ainda demorem muito tempo até que se possam ser alcançados plenamente a partir dos SIG, porém, reitera-se que o tratamento da questão da acessibilidade física deve ser conduzido com base nesses sistemas, ainda que mediante as possibilidades de resultados (ainda) incompletos devido às limitações tecnológicas e da modelagem cartográfica.

Nos próximos itens são abordados os elementos que constituem e/ou auxiliam na composição de uma base de dados geográfica contendo atributos e descrições para a composição de impedâncias de viagem numa rede de rodovias rurais. Alguns desses atributos cumprem um papel auxiliar (relevo, uso da terra e cobertura vegetal) outros

integram a síntese de impedâncias. Neste capítulo a respeito de como esses elementos se organizam no espaço e quais são os aspectos constitutivos da composição do sistema.

4.1 Vias de circulação

4.1.1 Sistema Funcional das Rodovias Rurais

No ano de 1999 o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), órgão vinculado ao Ministério dos Transportes, divulgou o Manual de projeto Geométrico de Rodovias Rurais contendo importantes orientações técnicas e normativas a respeito das vias de circulação do país. A averiguação detalhada de tal documento permite identificar informações sobre a estrutura física do transporte.

A observação dos fatores apresentados no manual permite compreender as bases das estruturas da malha rodoviária. Para os fins desta pesquisa esta é uma questão de importância e dela decorre uma série de fatores que permitem um maior esclarecimento de como se dá o deslocamento das pessoas no espaço. Partindo da interpretação de alguns aspectos funcionais das rodovias rurais, identificou-se que o projeto geométrico das mesmas segue especificações que muito tem a ver com a natureza do espaço geográfico na qual elas estão inseridas.

As rodovias são classificadas por diferentes critérios, todavia para efeito de consecução de projetos de engenharia, há a necessidade de uma convergência de interesse em torno de uma nomenclatura que aponte para o nível de qualidade do serviço que a rodovia presta. Do ponto de vista funcional, cumpre-se entender que uma malha viária rural está subdividida em estágios diferenciados que atendem movimentos e volumes de tráfego específicos, formando uma estrutura de hierarquia funcional. As vias rurais dizem respeito aos sistemas funcionais viários contidos em áreas onde a densidade populacional é baixa e o uso do solo se diferencia do urbano. A rede viária segue uma ordem lógica de organização que conectam diferentes origens e destinos (localidades) que se classificam pelo número de viagens e indicam a intensidade de geração e atração das mesmas (Figura 20).

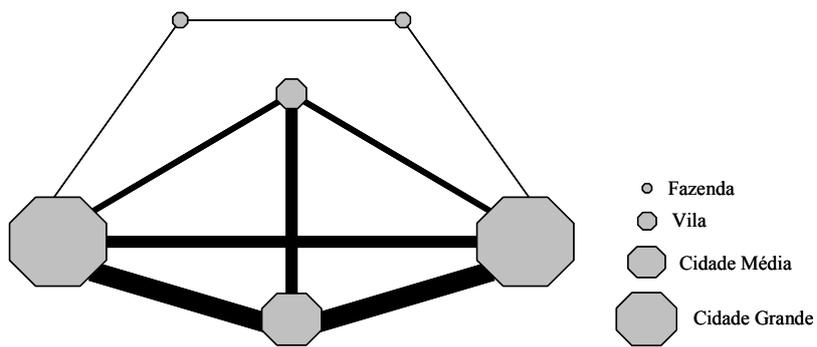


Figura 20: Linhas de desejo (DNER, 1999, p. 14).

Os sistemas funcionais propostos pelo DNER (cf., 1999, p.13-28) permitem a classificação hierárquica em três diferentes níveis, que por sua vez se separam em outros subníveis que guardam especificidades quanto ao tipo de serviço que oferecem e a função que exercem (Tabela 6).

Tabela 6: Hierarquia das vias rurais.

Sistema	Características	Subdivisão	Características	Velocidade de operação
Arterial	Possibilita mobilidade a grandes volumes de tráfego Promove ligação de cidades e outros centros geradores de tráfego capazes de atrair viagens de longa distância Proporciona acesso a distâncias razoáveis a todas as áreas desenvolvidas e de grande densidade, por meio de adequado espaçamento interno. Geralmente se enquadra na classe de projeto 0, I-A e I-B	Principal	Conecta cidades com população acima de 150.000 habitantes e as capitais dos estados.	60 a 120 km/h
		Primário	Conecta cidades com população acima de 50.000 habitantes a menos que esteja servida por sistema principal	50 a 100km/h
		Secundário	Conecta cidades com população acima de 10.000 habitantes, a não ser que já estejam servidas por sistema superior. Servem a viagens intra-estaduais e outras não servidas por rodovias de nível superior	40 a 80km/h
Coletor	Tem como função atender o tráfego intermunicipal e centros geradores de tráfego de menor vulto não servidos pelo sistema arterial. São comuns velocidades mais moderadas. Complementa o Sistema Arterial, formando uma rede contínua que possibilita a ligação de áreas rurais e centros municipais à malha arterial, proporcionando mobilidade em área específica do Estado. Geralmente Classe II e III	Primário	Conecta cidades com população acima de 5.000 habitantes não servidas por rodovias de nível superior. Dar acesso a outros centros importantes de geração de tráfego (ex. parques turísticos, portos) Fazer ligação ao Sistema arterial	30 a 70km/h
		Secundário	Conecta cidades/vilas população acima de 2.000 habitantes. Dar acesso a áreas servidas com Sistema Coletor Primário ou com Sistema Arterial	30 a 60 km/h
Local	Em geral composto por rodovias de pequena extensão destinada essencialmente a proporcionar acesso ao tráfego intra-municipal de áreas rurais e de pequenas localidades às rodovias de nível superior, pertencentes em geral ao Sistema Coletor secundário. Pode apresentar descontinuidades, mas não pode ser isolado do restante da rede rodoviária. Classe IV-A e IV-B	--	Estradas vicinais, geralmente pioneiras. Geralmente não-pavimentada. Classe IV-A: volume médio diário de veículos é entre 50 e 200 Classe IV-B: volume médio diário de veículos é inferior a 50 Os níveis de serviço variam muito, pois as condições de manutenção da superfície de rolamento são os fundamentais para a manutenção da velocidade e conforto.	20 a 50km/h

Fonte: DNER (modificado)

A diferenciação hierárquica das rodovias se faz então com base numa série de fatores: conectividade, qualidade, tráfego e espacialidade, implicando assim no grau de acessibilidade e mobilidade das populações sobre estas superfícies (Figura 21).

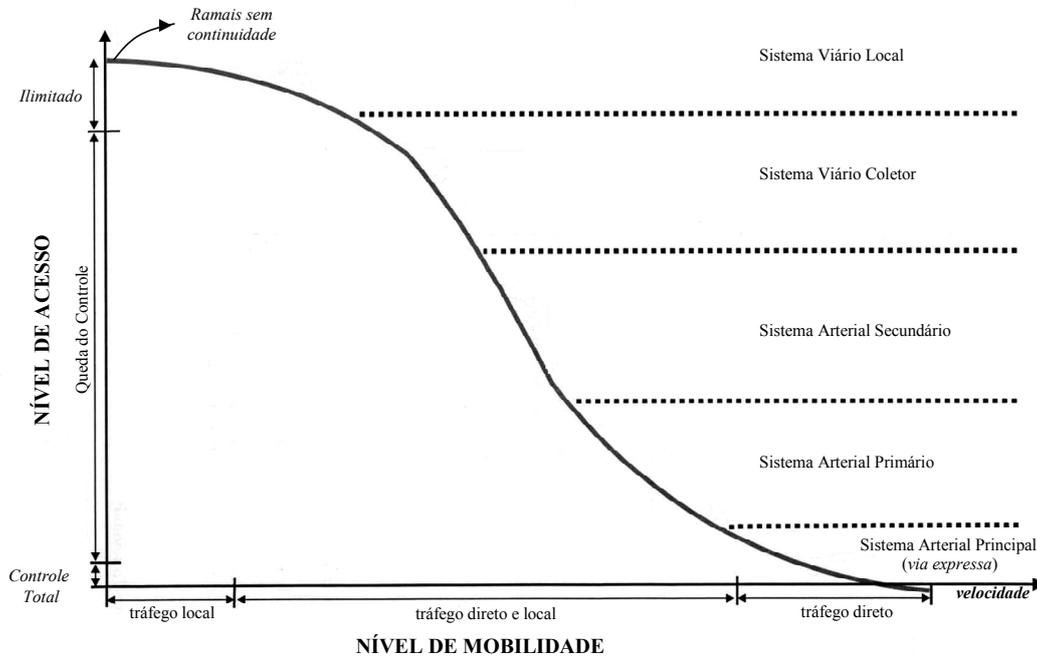


Figura 21: Relação entre os níveis de acesso e mobilidade nas diferentes classes funcionais de rodovias rurais (modificado do DNER, 1999, p.16).

Na Figura 21, no topo do eixo “Y” são identificados os ramais sem continuidade. Ao longo desse eixo indentificam-se diferentes ramificações e sua relação com o nível de mobilidade é substancial para se descrever medidas de acesso entre pontos de *origem* e *destino* da malha.

Transferindo esse modelo para o caso da presente pesquisa, pode-se pensar nos pontos de *origem* como sendo as localidades rurais, representadas por fazendas, casas de campo, sítios e outras construções onde residem pessoas. Em geral estas localidades são servidas por vias não-pavimentadas e decorrem em importante limitação ao desenvolvimento de velocidades; e os pontos de *destino* podem ser interpretados como postos de saúde, locais de atendimento localizados nas áreas urbanas, mas que não são necessariamente descontínuos, como parece no gráfico, pois estas localidades estão contidas na malha urbana do município.

4.1.2 O Sistema Local não-Pavimentado

O sistema local tem importância maior nesta pesquisa, pois além de corresponder a maior extensão rodoviária do país²⁹, é o sistema que atende as necessidades de transporte da população rural. Conforme Oliveira (2005, p.3), as rodovias não-pavimentadas são fundamentais no meio rural e muitas vezes é a única estrutura de acesso a escolas, comércio, saúde e demais atividades.

As rodovias locais apresentam condições bastante variadas com relação à qualidade, pois geralmente são estruturadas sobre a camada natural, que por si justifica essa variabilidade, haja vista os diferentes tipos de solos e variações de declividade inerentes a essa camada. Oliveira (ibid., p.4) aponta que nas rodovias sem revestimento ou com revestimento primário é comum observar falta de atenção com relação aos desníveis do terreno e aos tipos de solo, além de que, são sempre construídas acompanhando as divisas que delimitam propriedades rurais, não se valendo de atenções técnicas adequadas. Esses fatos sujeitam estas rodovias a uma série de danos como erosão, assoreamento e falta de drenagem do leito rodoviário.

Tomando como base levantamento bibliográfico especializado, Oda (1995, p.57) e Oliveira (op. cit.) listam os defeitos que são comuns às rodovias não-pavimentadas. Os defeitos são entendidos por “evidências visíveis de uma variação indesejável na forma da superfície de movimento de veículos de rodovia”. (AUSTROADS³⁰, 1987, apud Oliveira, 2005, p.12). Os defeitos mencionados pelos autores, são: seção transversal inadequada (deformações, abaulamentos na pista); Corrugação (ondulações perpendiculares ao sentido do tráfego); movimentação de materiais que alteram as curvas e superelevação; drenagem lateral inadequada; trilhas de rodas; buraco; atoleiro; sulcos de erosão; afloramento de rochas; areões (de espigão e baixada); materiais soltos (cascalhos, matéria orgânica; rochas).

A fragilidade das rodovias rurais não-pavimentadas decorrentes da inconsolidação dos materiais, de sua exposição às intempéries e ao trânsito de cargas e passageiros produz alterações no revestimento e em sua geometria. No tocante a classificação destas rodovias, ainda que existam orientações técnicas que estabelecem parâmetros e normas para sua construção e manutenção, as proposições são diversas e geralmente

²⁹ Cerca de 90% da malha nacional, segundo a Empresa Brasileira de Planejamento de Transporte (GEIPOT, 2001)

³⁰ AUSTROADS: **a guide to the visual assessment of pavement condition**. Report, Sidney, A4, 76p. , AP 8/87. 1987.

correspondem à posicionamentos particulares de que as fazem. Oliveira (2005, p.29) identificou que diferentes proposições bibliográficas se pautam principalmente na avaliação da superfície e seus defeitos para classificar as rodovias não-pavimentadas. Pela indicação da AUSTROADS³¹ (1987, apud Oliveira, 2005, p.29) essa classificação pode se dar em três categorias:

i) *Naturais*: são caminhos implantados pelo uso, definidos pela passagem contínua de veículos ou resultante da mão-de-obra humana.

ii) *Naturais Compostas*: abertos pela passagem de veículos, mas que receberam algum tratamento tecnológico mais sofisticado, que pode ser o uso de motoniveladora, mas não necessariamente.

iii) *Com revestimento primário*: vias naturais compostas que receberam tratamento tecnológico e detém maior resistência às intempéries e carga de veículos.

Na revisão de alguns métodos de avaliação das condições das rodovias rurais não-pavimentadas, Oda (1995, p.71) apresenta algumas propostas que tratam de diferentes fatores que interferem na superfície de rolamento. Dentre as abordagens tratadas pela pesquisadora, cita-se a de Riverson et al.³² (1987 apud ODA, 1995, p.73) que se orienta pela avaliação do conforto e segurança dos usuários ao tentarem trafegar pelas estradas numa velocidade constante pré-estabelecida. Apesar da carga subjetiva, a metodologia de Riverson et al. (ibid.) permite uma aproximação razoável da avaliação das estradas. Dessa adviria uma classificação baseada na variação da velocidade que reflete na qualidade da viagem e na identificação da densidade de defeitos na superfície. Nesse caso, quanto maior a ocorrência de defeitos na superfície de rolamento, maior variação da velocidade. Uma escala qualitativa organizada em cinco níveis e em torno de cinco tipos de defeitos orienta a classificação das rodovias (Tabela 7).

³¹ Association of Australian and New Zealand road transport and traffic authorities.

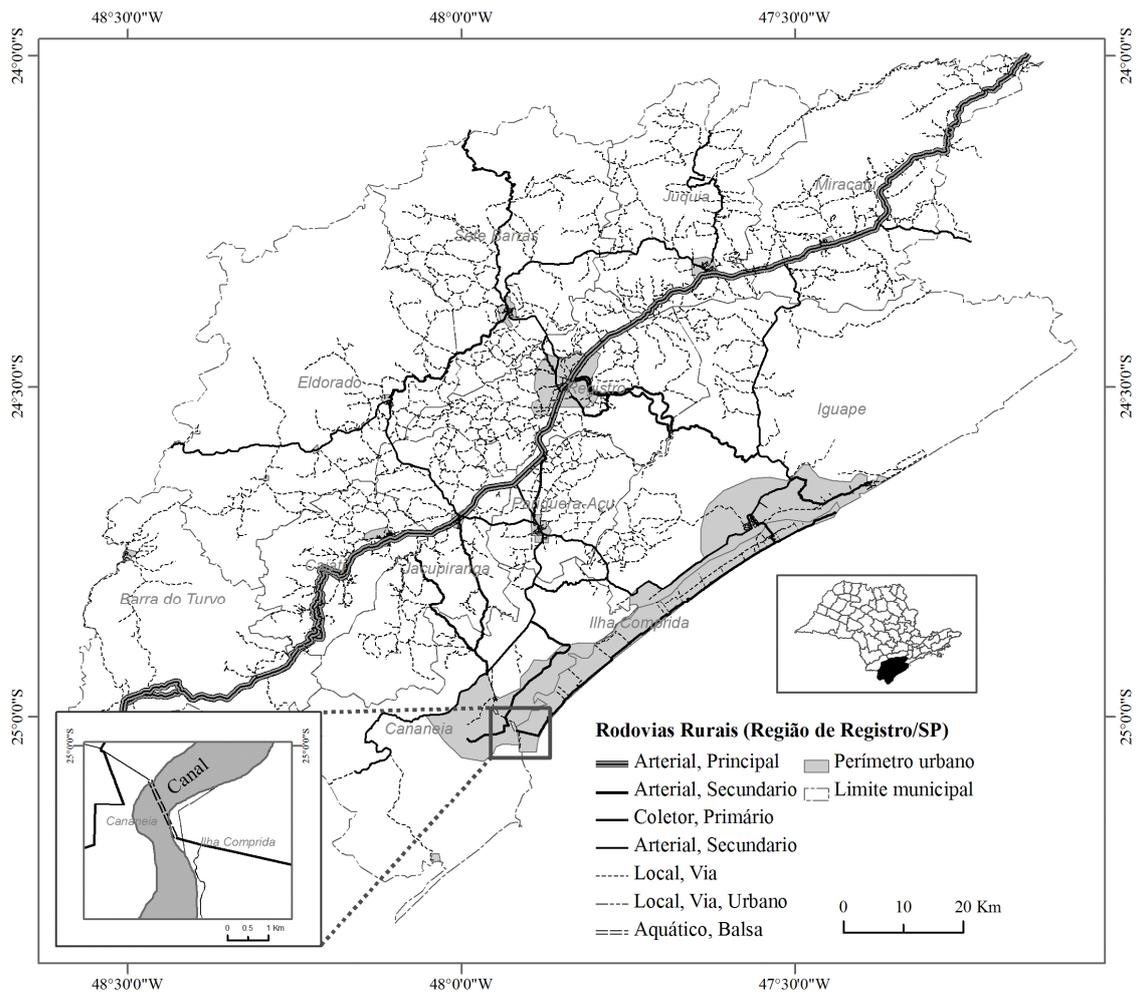
³² RIVERSON, J. D. N.; SINHA, K. C.; SCHOLER, C. F.; ANDERSON, V. L. Evaluation of Subjective Rating of Unpaved County Roads in Indiana. **Transportation Research Record** 1128, págs. 53–61, 1987.

Tabela 7: Descrição das condições da estrada de acordo com a especificação do defeito.(RIVERSON et al., 1987, apud ODA, 1995, p.73)

Descrição	Defeito / Especificação do Defeito				
	Condições de Rolamento	Trilhas de rodas	Corrugações	Buracos	Perda de agregado
Muito ruim (muito severo)	Viagem muito desconfortável, com grandes mudanças de velocidade; velocidade baixa de operação dos veículos ($\approx 20\text{km/h}$)	Profundidades maiores que 5cm; os veículos podem ser obrigados a escolher outros caminhos	Mais de 5cm de altura/profundidade;	Mais de 40 buracos em 100m de estrada.	Cascalhos ou pedras colocadas, sem compactação.
			A qualidade da viagem é baixa		
Ruim (severo)	Viagem desconfortável; velocidade máxima de 30km/h	Trilhas entre 2.5 e 5cm; caminhos de veículos são forçados	De 3.5 a 5cm de altura/profundidade;	Entre 30 e 40 buracos em 100m.	Cascalhos ou pedras colocadas, levemente compactadas.
			A qualidade da viagem é de baixa a média		
Regular (moderado)	Qualidade média da viagem; velocidade máxima 40km/h	Trilhas de quase 2.5cm; caminhos de veículos podem ser forçados	Cerca de 2,5cm de altura/profundidade;	Entre 20 e 30 buracos em 100m de estrada.	Cascalhos compactados nas trilhas das rodas; poucas pedras soltas.
			A qualidade da viagem é média		
Bom (fraco)	Velocidade máxima de 50km/h	Trilhas de aproximadamente 1.5cm; caminhos de veículos são apenas afetados.	Cerca de 1,5cm de altura/profundidade;	Máximo de 10 buracos em 100m.	Cascalhos ou pedras colocadas bem compactadas; poucos cascalhos ou pedras soltas.
			A qualidade da viagem é entre média e alta		
Muito Bom	Qualidade alta de viagem; velocidade de 60km/h sem redução	Trilhas são apenas percebidas ou ausentes	Não percebidas; qualidade da viagem é alta.	Menos de 10 buracos em 100m.	Cascalhos ou pedras colocadas muito bem compactadas; poucas pedras soltas.
			A qualidade da viagem é alta		

Modificado de Oda (1995, p.73)

A presente pesquisa analisa a malha de rodovias rurais da Região de Registro (SP), onde se identificam três sistemas e cinco subdivisões de rodovias, bem como a classificação das rodovias locais não-pavimentadas (Mapa 1). A descrição pormenorizada da modelagem dessa malha rodoviária e sua classificação nos SIG é apresentada na seção 5.1.1



Mapa 1: Classes de Rodovias Rurais (Região de Registro/SP)

4.2 Uso da terra e cobertura vegetal

O mapa de uso da terra e cobertura vegetal é um documento de grande valor para a análise da distribuição dos objetos geográficos no espaço e serve como um material de consulta que auxilia a interpretação da paisagem. A observação desse produto permite interpretar a distribuição das populações no espaço, uma vez que nele estão descritas tematicamente as classes de uso humano e as coberturas naturais, que em certa medida, oferece uma percepção das porções ocupadas da superfície terrestre. No caso do estudo da acessibilidade física, as informações presentes no mapa de uso da terra e cobertura vegetal podem auxiliar na compreensão das distâncias que separam as habitações rurais da rede rodoviária, pois a descrição das parcelas embora não dê informações específicas do caminho percorrido até o eixo rodoviário, o tipo de uso e cobertura dá indicações de possíveis limitações ao deslocamento.

Segundo o Manual Técnico de Uso da Terra do IBGE (2006) esse tipo de mapeamento é bastante útil ao conhecimento atualizado das formas de ocupação do espaço, constituindo numa importante ferramenta de planejamento e de orientação à tomada de decisão. Esse manual intera que os levantamentos orientados a consecução desse mapa fornecem subsídios para as análises e avaliações a respeito das mudanças oriundas das atividades econômicas que promovem altos índices de urbanização e de transformações nas áreas rurais.

Como sua representação constitui-se num documento cartográfico qualitativo que expressa a existência, a localização e a extensão dos diversos objetos que compõem paisagem (MARTINELLI, 2003, p.37).

O mapa de uso terra e cobertura vegetal contribui com três aspectos significativos para o presente trabalho:

(i) a observação dos detalhes do conjunto de usos referentes à área, sendo assim um recurso auxiliar para a identificação da população e sua distribuição no espaço;

(ii) sua leitura também oferece a visão de conjunto da paisagem geográfica, permitindo a observação das adjacências, rupturas e continuidades dos objetos na paisagem;

(iii) pode ser traduzido como entrada de dados para a geração da superfície do tempo de viagem.

Sobre este terceiro aspecto a utilização da informação de uso da terra e cobertura vegetal como um dado para medir o tempo de viagem foi feita por Black et al. (2004) em um estudo realizado em Honduras. Nessa pesquisa os autores inferiram valores de velocidades médias para cada tipo de uso e cobertura de modo a estimar superfícies, assim a velocidade de viagem se definiu em 9 classes associadas a distintos tipos de cobertura e referindo-se aos modos de transporte à pé e por veículo motorizado (Tabela 8).

Tabela 8: Velocidades estimadas por Black et al. (2004) para os tipos de cobertura.

Cobertura	Modo	Velocidade (km/h)
Água	--	0.06
Urbano e área construída	À pé	5
Vegetação de baixa densidade	À pé	5
Vegetação de densidade média	À pé	4
Vegetação densa	À pé	3
Solo exposto	À pé	6
Rodovias principais	Motorizado	100
Rodovias secundárias	Motorizado	70
Estradas de terra	Motorizado	20

Modificado de Black et al. (2004, p.13)

4.3 Relevo

Dentre as preocupações econômicas da engenharia dos transportes o relevo está no centro das atenções, pois é um elemento definidor do projeto geométrico das vias de circulação, orientando a tomada de decisão e a condução dos programas de desenvolvimento rodoviário.

De acordo com o DNER (1999, p.22) o nível de serviço prestado por uma rodovia se define, dentre outros fatores, pela natureza das formas do terreno. Isso se deve ao fato de o trânsito, sobretudo de carga pesada, depender em muito da inclinação das rampas de alinhamentos horizontais. Os limites de segurança compatíveis com as tecnologias automobilísticas da atualidade exigem a observação desse aspecto da superfície, atribuindo a esse elemento um peso de grande importância.

No que tange às características dos terrenos atravessados por uma rodovia, a nomenclatura técnica adota três referências:

(i) *Terreno plano*: que permite aos veículos pesados desenvolverem uma velocidade semelhante aos carros de passeio. Esse terreno facilita a implantação de rodovias com grandes distâncias de visibilidade.

(ii) *Terreno ondulado*: que promove temporariamente a redução substancial das velocidades dos veículos de carga pesada. Os acidentes naturais destas vias exigem freqüentes cortes e aterros para a que se faça respeitado os parâmetros necessários às obras.

(iii) *Terreno montanhoso*: obriga os veículos pesados a operarem com redução de velocidade por período significativo. Nestas áreas são necessários aterros e cortes laterais nas encostas para que seja possível implantar as obras.

No contexto das classificações técnicas das rodovias estão as classes de projeto que se definem pela função e volumes de tráfego, ambos estão associados ao grau de dificuldade de implantação que resultam do terreno atravessado (DNER, 1999, p.24). São cinco (5) as classes que definem a tipologia de rodovias. Numa extremidade estão as estradas de rodagem de alto padrão técnico (vias Expressas) e noutra as vicinais e pioneiras, inclusive aquelas desprovidas de pavimentação. Dentre as diversas funcionalidades que se prestam estas vias, destaca-se o fato de assegurarem a conectividade entre os diferentes núcleos populacionais que integram a nação. Assim,

visam garantir a ligação dos pequenos povoados, vilas e cidades aos centros urbanos maiores.

Classe 0 – Via Expressa como muito alto volume de tráfego. Quando implantadas sobre terreno plano, permite o desenvolvimento de velocidade em torno de 120km/h, ondulado 100km/h e montanhoso 80km/h

Classe I – Vias de padrão ainda elevado podendo ser de pista dupla ou simples, com alto volume de tráfego. Quando implantadas sobre terreno plano, permite o desenvolvimento de velocidade em torno de 100km/h, ondulado 80km/h e montanhoso 60km/h

Classe II- Rodovia de pista simples com capacidade para baixo volume de tráfego (entre 700 e 1400 veículos por dia). Quando implantadas sobre terreno plano, permite o desenvolvimento de velocidade em torno de 100km/h, ondulado 70km/h e montanhoso 50km/h

Classe III- Rodovia de pista simples com capacidade para baixo volume de tráfego (entre 300 e 700 veículos por dia). Quando implantadas sobre terreno plano, permite o desenvolvimento de velocidade em torno de 80km/h, ondulado 60km/h e montanhoso 40km/h

Classe IV – Rodovia de pista simples, geralmente não-pavimentada que faz parte do sistema local, apresenta muito baixo volume de tráfego, entre 50 a 200 veículos por dia. Quando implantadas sobre terreno plano, permite o desenvolvimento de velocidade em torno de 70km/h, ondulado 50km/h e montanhoso 35km/h. Em função do tráfego estas rodovias podem variar muito, isso tende a refletir no nível do serviço prestado. Nesse sentido diferencia-se em Classe IV-A, que são as vias que atendem uma demanda entre 50 a 200 veículos diários e a Classe IV-B, que atendem até 50 veículos dia.

De um modo geral pode-se depreender que o relevo impõe restrições ao desempenho da velocidade, de modo que fique em concordância com capacidades e níveis de segurança das vias de circulação.

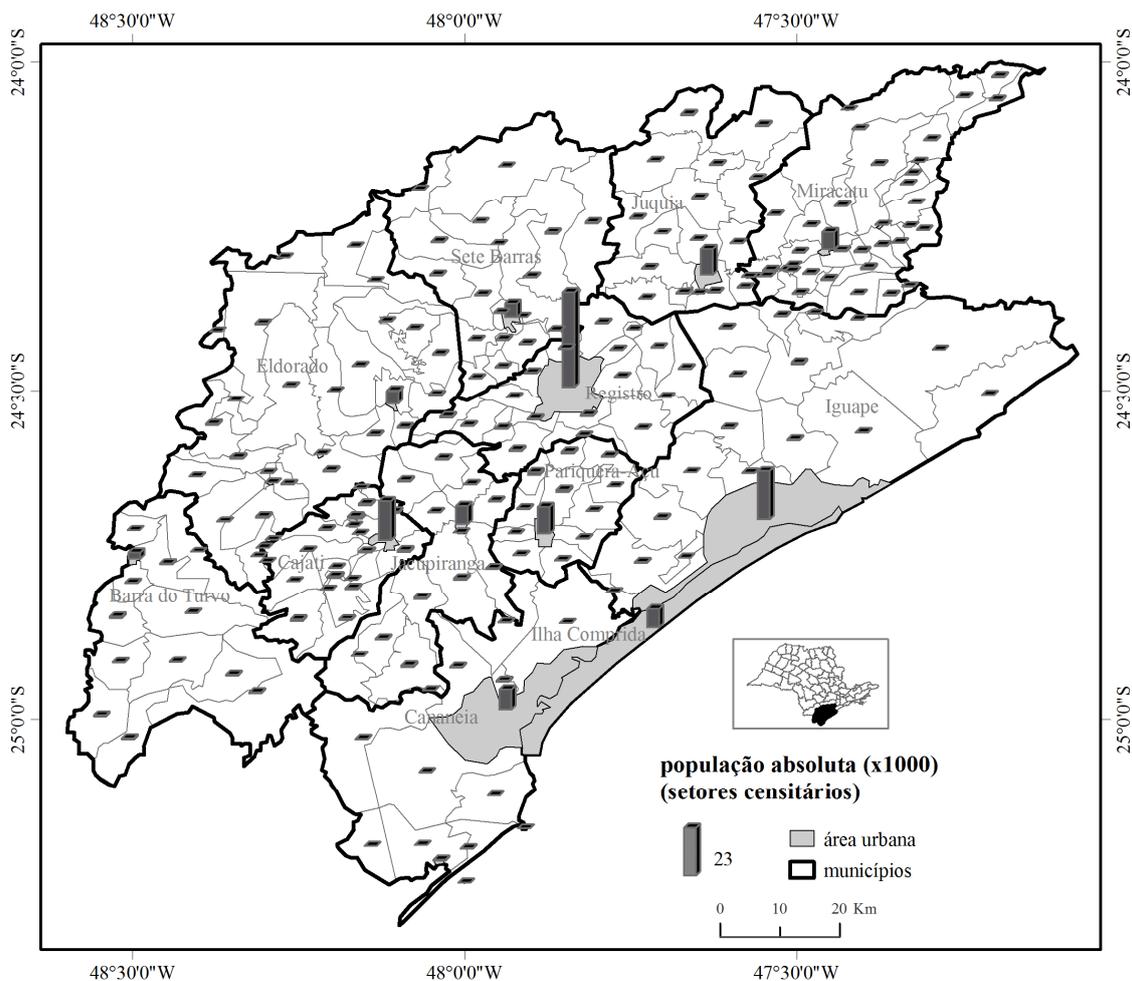
4.4 Espaço rural

No contexto da presente investigação o espaço rural será entendido como um domínio administrativo, delimitado geograficamente e que se diferencia do espaço urbano apenas por suas características demográficas e de infra-estrutura de transportes.

De acordo com Ponte (2004, p. 23-24), o espaço rural possui uma íntima relação de dependência com o espaço urbano, isso implica em reconhecer que qualquer definição de programas de prestação de serviços deve ser viabilizado para atender igualmente estas duas realidades. As políticas de desenvolvimento rural não devem pressupor uma realidade puramente do campo, mas devem considerar que existem cidades que se caracterizam por condições socioeconômicas típicas do rural. Muitos municípios, principalmente os de pequeno porte, apesar de terem a maior parte de sua população habitando na cidade, apresentam uma dinâmica de atividades que os caracterizam mais pela função rural do que urbana.

A relação de subordinação econômica do espaço rural ao urbano tornou as populações cada vez mais dependentes das oportunidades que são ofertadas na cidade. Tal dependência se faz, sobretudo, em relação ao usufruto de serviços essenciais à vida como alimentação, saúde e educação. Nos dias atuais muitas distâncias deixaram de ser obstáculos intransponíveis graças ao advento da indústria automobilística e à ampliação da estrutura rodoviária. O distanciamento físico que separa as populações que habitam o campo em relação à cidade foi “*encurtado*” pelo tempo. Emprestando a frase de David Harvey em *A Condição pós-Moderna* (1989, p.220), “as inovações nos transportes que aniquilam o espaço por meio do tempo” tende a estimular a ocupação de áreas cada vez mais longínquas.

A leitura desses espaços feitos a partir da representação cartográfica pode apontar, com maior clareza, a dimensão espacial das superfícies que definem o que é campo do que é cidade. Em princípio, é bastante notória a diferença entre cada um desses espaços, sobretudo em termos de ocupação. Uma rápida observação permite concluir sobre os maiores adensamentos populacionais no contexto dos limites municipais (Mapa 2).



Mapa 2: População absoluta por setores censitários na região de Registro (SP). Fonte de dados: IBGE, 2007

As áreas rural e urbana delimitam realidades distintas. O fato da cidade polarizar recursos essenciais ao bem estar da população, fez com que os fluxos se orientassem a partir do campo. Nos espaços rurais, geralmente, as vias de circulação são de baixo tratamento técnico, sendo comum a vias sem pavimentação e cuidados com manutenção (OLIVEIRA, 2005, p.5).

A densidade demográfica é em geral muito baixa e as populações tornam-se mal servidas pelo transporte público, o que tende a aprofundar a dependência das pessoas em relação aos meios de transporte privados para que possam se deslocar entre campo-cidade.

Ao contrário, nas regiões urbanas, as vias tendem a ser em quase sua totalidade pavimentadas, com modos de transporte mais diversificados e com maior possibilidade de interação social. Como na cidade a centralização das atividades e serviços que

atendem a economia doméstica é muito alta, a maioria das necessidades pode ser acessada diretamente, muitas vezes, sem exigência de meios de transporte automotores como ônibus e carros.

Nessa pesquisa observaram-se as regiões rural-urbana como referencial de ocupação que delimita realidades distintas. A área rural agrega a população de origem, e a urbana os serviços, que são os pontos de destino.

4.5 Barreiras Geográficas

No contexto da acessibilidade física, as barreiras geográficas devem ser entendidas como obstáculos que orientam a organização do movimento de pessoas numa dada área ou região. Podendo ser de ordem natural ou oriunda das atividades/construções humanas, esses obstáculos criam "distâncias relativas" que variam em escala (UNGLERT, 1987, p.441).

As barreiras geográficas atuam ativamente no trajeto das populações e mercadorias pelo território, organizando a geometria das vias de circulação em torno de objetos espacializáveis, tais como: hidrografia, efeito barreira (*community severance*³³), coberturas vegetais, escarpas, cercamentos rurais. Boa parte da rede de circulação é orientada por imposições desses objetos, sobretudo os de ordem natural, por exemplo, a hidrografia. Nesses casos o *design* das vias de circulação adquire uma forma física inseparável às barreiras, ou seja, seus desenhos são resultados das imposições desses objetos.

4.6 Elementos de difíceis abordagens

Como visto anteriormente a complexidade dos elementos que interferem nas condições de viagem integra algumas diversidades de fatores. Alguns elementos são de considerável importância para se compreender as condições de mobilidade da população no espaço rural, porém são de difícil modelagem de dados. Dentre esses fatores, podem-se destacar as condições atmosféricas, solos e substrato rochoso e fluxos nas vias de circulação.

³³ Implica em uma condição em que os habitantes de uma determinada área do município ou núcleo urbano têm seu acesso dificultado à outras áreas ou regiões, em virtude da existência de um obstáculo. É um efeito decorrente da implantação de estruturas que tem uma forma linear, como uma rodovia ou uma ferrovia, e tal fato implica na queda da mobilidade das populações no espaço (MOUETTE, 1998).

Condições Atmosféricas

Não há dúvida que num dia chuvoso o trânsito nas rodovias não mantém a mesma fluidez que num dia de tempo bom. A alteração da visibilidade e a instabilidade da pista são os principais fatores que limitam o trânsito de veículos nas pistas. Em vias não-pavimentadas o resultado é ainda mais agravante, pois se somam os freqüentes pontos de alagamento, instabilidade do revestimento e precária infra-estrutura das rodovias. O estado atmosférico certamente pode impor dificuldades para a mobilidade das pessoas, porém o tratamento dessa informação é de abordagem complexa no contexto dos SIG, uma vez que imprevisibilidades das chuvas e dos locais de agravamento dificultam a definição de um padrão que possa ser modelado computacionalmente, e assim, garantir um sistema de informações que prescreva a ocorrência de eventos decorrentes das instabilidades atmosféricas de uma dada área.

No contexto dos alcances da presente pesquisa, a obtenção de respostas às indagações como: “Quais são as localidades mais afetadas? Qual o caminho ótimo nestas condições?” certamente exigiriam a construção de um sistema sofisticado capaz de combinar dados relativos ao tempo e às condições meteorológicas com o das condições das pistas, uma estrutura dessa monta traria respostas relativas a eventos muito específicos, que não se desenhariam num único plano de informação.

Solos e substrato rochoso

Outro aspecto que pode ser de importância para a definição de impedância de viagem diz respeito ao solo e à geologia, sobretudo em sua relação com as condições das rodovias rurais não-pavimentadas. O solo e substrato rochoso são elementos que podem ser analisados sob diferentes pontos de vista: para um engenheiro agrônomo, estas camadas condicionam o desenvolvimento da vida vegetal, sendo mais importantes para o tratamento de questões relacionadas à fertilidade; já para a engenharia dos transportes estas camadas são utilizadas como suporte para a implantação de rodovias, ferrovias e dutovias.

Na presente abordagem, considerações feitas sobre os tipos de solo e tipos rochosos poderiam orientar uma avaliação sobre as vias não-pavimentadas, tratando das instabilidades e conseqüentemente da maior dificuldade à acessibilidade física em determinadas áreas. No entanto, entende-se que esta abordagem é de difícil consecução dada a dificuldade em se produzir uma cartografia que discrimine as condições das vias não-pavimentadas ponto a ponto em nível de detalhe.

Uma metodologia que poderia conduzir a um primeiro encaminhamento dessa questão poderia, em primeira instância, se fazer sobre a interpretação de aerofotos ou imagens de satélite de alta resolução espacial que permitisse o detalhamento das vias não-pavimentadas. A partir desses levantamentos far-se-ia a averiguação em campo das condições das pistas e tomada de pontos de agravamento; em gabinete procederia em torno de combinações desses dados com modelos numéricos do terreno cartas de declividade e solos e a identificação de modelos de previsibilidade. A consecução de uma metodologia bem estruturada nesse sentido poderia abrir possibilidades para a identificação de padrões que pudessem implicar em restrições e impedâncias de viagem, todavia cabe destacar que a presente pesquisa não avançou nesse sentido.

Fluxo de veículos

Assim como as condições atmosféricas, o fluxo de veículos nas vias de circulação é imprevisível boa parte do ano. Exceto por padrões de velocidade de atraso mensuradas relativamente em finais de semana e em feriados prolongados, considerar esse elemento como um critério de Impedância de viagem somente seria possível com base num sistema de informações de trânsito fornecedor de dados de fluxo pautados em pontos de monitoramento para cada um dos diferentes ramais rodoviários.

Sabe-se que uma estrutura de informações dessa monta só ocorre para locais com ramais arteriais de grande importância, em geral aqueles que fazem conexões com regiões centralizadoras da economia ou em grandes cidades que dispõem de coordenadorias de engenharia de tráfego bem equipadas dispondo de sistema de monitoramento por câmeras, radares e unidades de atenção.

O DNER (1999, p.21) salienta que em rodovias alocadas em regiões de terreno ondulado e montanhoso a presença de carga pesada pode resultar em velocidades de atraso no fluxo de veículos por tempo significativo. Em condições de pista simples onde a frequência de carga pesada é constante, a interferência desse fator no desempenho da velocidade média dos veículos de passeio é certamente importante, todavia dada as assimetrias destas relações, torna-se difícil a identificação de um padrão que possa conduzir à adoção de critérios razoáveis para a modelagem desse tipo de informação. Diante destas colocações, entende-se a questão do fluxo de veículos em vias de circulação como sendo um fator de difícil abordagem no contexto do presente estudo.

4.7 Localidades e Áreas de interesse

4.7.1 Habitações rurais

Uma dificuldade para a avaliação da acessibilidade da população rural com base na distância está no problema da localização das pessoas no campo. Identificar adensamentos ou mesmo definir pontos que correspondam a localidades em áreas rurais (habitações das fazendas, construções) exige um procedimento particular, pois aí as habitações estão geralmente dispersas no espaço.

Nas áreas urbanas a localização geralmente se faz por geocodificação de endereços e a identificação de adensamentos populacionais em mapas coropléticos por polígonos censitários, essas adoções em muitos casos podem resultar numa aproximação satisfatória. No caso das cidades, o fato de a densidade demográfica ser muito maior que no campo, favorece à municipalidade uma organização espacial que se define pelo cadastro urbano, dispensando referenciais geodésicos para a determinação de pontos de localização. Assim o sistema de latitudes e longitudes ou outro semelhante são substituídos por coordenadas espaciais estabelecidas pelas avenidas, ruas, praças, condomínios, setores censitários urbano, que passam a batizar esses lugares pelo código de endereçamento postal, pela toponímia, por referenciais arquitetônicos, ou identificadores administrativos.

No caso da área rural essa questão não é facilmente resolvida uma vez que a dispersão das habitações no espaço são menos regulares. No campo os acidentes e barreiras geográficas acabam por definir traçados irregulares dos logradouros, tornando-os bastante distintos dos habituais quarteirões comuns às áreas urbanas. Esta realidade exige um procedimento diferenciado para o georeferenciamento de localidades rurais, onde também as habitações estão muito espaçadas entre si (Figura 22).



Figura 22: Ilustração da “geometria” dos objetos e do espaço de ocupação na área rural (a) e urbana (b). (Imagem Quickbird/Pan_MS1; 16/07/2005; município de Registro/SP)

De acordo com o IBGE (2003) a área rural não é caracterizada por construções, arruamentos e intensa ocupação humana, mas é entendida como um território externo ao urbano não reservada à expansão da urbe.

Na pesquisa realizada em 2007 pelo IBGE, a contagem da população se fez com base em áreas agregadas definidas por setores censitários, os quais definem polígonos que representam unidades territoriais estabelecidas para fins de controle cadastral. Tanto na área urbana como na rural estas unidades formam uma área contínua com dimensão e número de domicílios ou de estabelecimentos que permitem levantamento das informações de interesse. Todavia nas áreas rurais os dados agregados em polígonos de grande perímetro acabam por esconder a localização das habitações onde estão alocadas as populações. Essa medida de recenseamento tem a ver com a baixa densidade demográfica observada nesses espaços.

Muitos trabalhos usam o centróide dos polígonos censitários como referência geográfica para alocar a população das áreas ruralizadas (THOUEZ, 1988; BLACK et al., 2004; BRABYN; BARNETT, 2004; LANGFORD; HIGGS, 2006), no entanto uma pesquisa que propõe uma metodologia para o melhoramento dessa referência (LANGFORD; HIGGS, 2006, p.296) considera a adoção da área censitária um procedimento limitado para a representação da demanda da população, sobretudo no que se refere às populações rurais. No sentido de melhorar essa localização os autores propõem um procedimento que identifica conjuntos de áreas ocupadas e vazias, e a partir daí alocam uniformemente a população contada somente nos locais identificados como áreas de ocupação. É uma metodologia que se aproxima ao método dasimétrico, e

como dado auxiliar no processo de alocação da população sugere-se a utilização de diferentes produtos, que podem ser imagens de satélite, cartas planimétricas ou outro recurso qualquer, contanto que seja possível fazer a separação de áreas ocupadas das não ocupadas.

No Brasil os recenseamentos estão se utilizando de recursos mais eficazes para o georeferenciamento das populações rurais. No censo agropecuário iniciado em 2006, o IBGE já fez uso de georeferenciamento por GPS (*Global Position System*), onde nas áreas rurais se obteve a coordenada geográfica da entrada das fazendas. Os dados obtidos a partir desse levantamento é de uso controlado são de difusão restrita por questões de preservação da identidade dos indivíduos.

4.7.2 Região Administrativa e Região de Saúde

As necessidades de organização e planejamento territorial da saúde têm levado muitos países a estruturar uma base espacial de ação inspirada na região geográfica. No Brasil essa medida se faz em macro, meso e microrregiões de saúde, que representam uma ordem territorial de planejamento que se define no âmbito da esfera estadual onde cada Estado organiza os territórios de acordo com suas características estratégicas que dizem respeito a variáveis geográficas, sanitárias, epidemiológicas, de oferta de serviços, entre outras.

Desde o ano de 2006 uma nova orientação política para o processo de regionalização da saúde tem surgido com objetivo de promover maior eficiência e qualidade às necessidades identificadas junto ao sistema de saúde. Através de um conjunto de reformas institucionais no âmbito do Sistema Único de Saúde (SUS), as diligências incentivam à convenção de acordos que perpassam a esfera da União, dos Estados e dos Municípios com o objetivo de promover melhores resultados às necessidades do sistema. Cabe destacar que junto a estas ações institucionais está a identificação e definição das regiões de saúde.

De acordo com Harada e Furtado (2009, p.102), todo desenho da regionalização se faz, fundamentalmente, baseado na oferta de serviços de saúde disponível em cada território. Esses autores salientam que um dos grandes desafios do SUS no contexto de um pacto de gestão entre as esferas administrativas está na possibilidade de construção

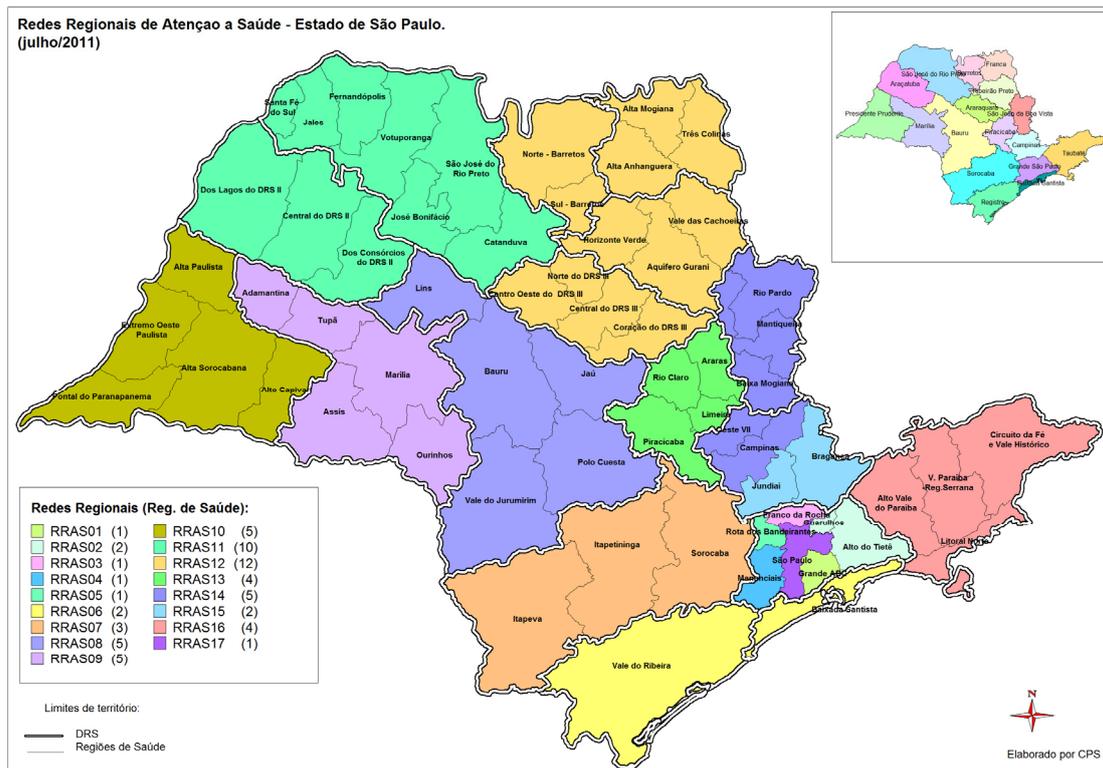
de uma regionalização com um desenho mais adequado aos fluxos e dinâmicas das populações de cada território.

Orientada por novas diretrizes de ação, a Secretaria Estadual de Saúde de São Paulo (SES/SP) tem avaliado o desenho das microrregiões do Estado e re-qualificado a regionalização atual. Os dados considerados como prioritários nesse processo são de ordem demográfica, territorial e de saúde, tais como: número de municípios, densidade demográfica, população, consulta básica por habitante, consulta especializada por habitantes, patologia clínica por habitante, radiodiagnóstico por habitante, ultrasonografia por habitante, rede urbana. Novas medidas têm sido avaliadas hoje, procurando acrescentar fatos da realidade locorregional e suas características no que diz respeito ao contexto socioeconômico e cultural.

O plano diretor do Estado de São Paulo hoje se define pela Rede Regional de Atenção à Saúde, que se organiza a partir dos municípios do estado, que juntos formam os Colegiados de Gestão Regional; os Colegiados perfazem um Departamento Regional de Saúde e o conjunto de todos os Departamentos definem a Rede (Tabela 9; Mapa 3).

Tabela 9: Organização da Rede Regional de Atenção à Saúde

Rede Regional de Atenção à Saúde	Regiões de Saúde/população	Número de municípios	População Total 2010
1	Grande ABC	7	2.551.328
2	Guarulhos, Alto do Tietê	11	2.663.739
3	Franco da Rocha	5	517.675
4	Mananciais	8	986.998
5	Rota dos Bandeirantes	7	1.710.732
6	Baixada Santista e Vale do Ribeira	24	1.937.702
7	Itapeva, Itapetininga, Sorocaba	48	2.243.016
8	Lins, Bauru, Jaú, Vale do Jurumirim, Polo Cuesta	62	1.624.623
9	Adamantina, Tupã, Assis, Marília, Ourinhos	68	1.068.408
10	Alta Paulista, Extremo Oeste Paulista, Alta Sorocabana, Alto Capivari, Pontal do Paranapanema	45	722.192
11	Sta Fé do Sul, Jales, Fernandópolis, Votuporanga, S.J.Rio Preto, José Bonifácio, Catanduva, Dos Lagos do DRS II, Central do DRS II, Dos Consórcios do DRS II	141	2.189.671
12	Alta Mogiana, Três Colinas, Alta Anhanguera, Vale das Cachoeiras, Aquífero Guarani, Horizonte Verde, Centro Oeste do DRS III, Norte do DRS III, Central do DRS III, Coração do DRS III, Sul de Barretos, Norte de Barretos	91	3.309.743
13	Araras, Rio Claro, Limeira, Piracicaba	26	1.412.584
14	Rio Pardo, Mantiqueira, Baixa Mogiana,, Oeste VII, Campinas,	42	3.577.072
15	Bragança, Jundiá	20	1.228.619
16	Circuito da Fé, Região Serrana, Litoral Norte, Alto V. Paraíba	39	2.264.594
17	São Paulo	1	11.253.503
Total Estado de São Paulo		645	41.262.199



Mapa 3: Rede Regional de Atenção à Saúde (fonte: SES/SP)

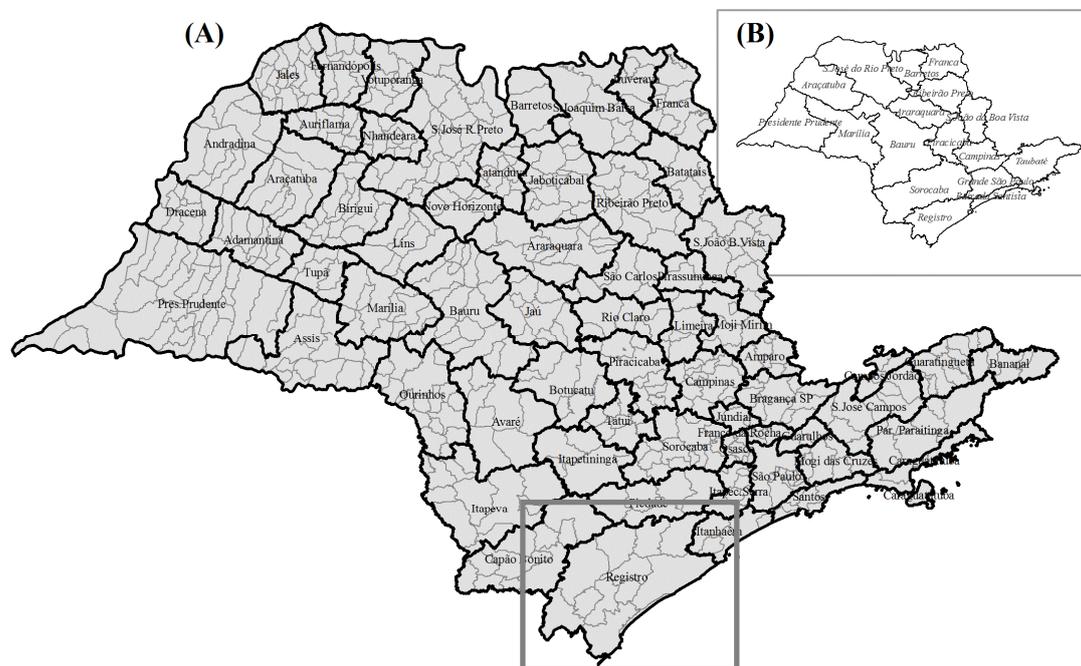
No presente estudo foi definido a Microrregião de Registro (IBGE) como local de investigação (Mapa 4). A opção por essa área se fez com base em características de ordem demográfica, de saúde e da geografia física.

Segundo pesquisa realizada em 2006 pela Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (SEADE) intitulada “Pesquisa de Condições de Vida (PCV)”, a Região de Registro aparece como a que apresenta as mais baixas condições no Estado de São Paulo.

Com base em resultados sobre a saúde, ficou constatado que essa é a região administrativa que mais tem dependido do sistema público de atendimento para suprir as necessidades da população. Nesse sentido, a PCV revelou que de um modo geral a rede pública do SUS foi utilizada de maneira mais expressiva no interior do Estado do que na metrópole paulistana, com destaque para a referida região de Registro, que apresentou uma procura da ordem de 88% dentre aqueles que se utilizaram de serviços de saúde.

Outro fator de interesse é a condição física da Região, que integra o Vale do Ribeira localizado no sul do estado de São Paulo (Mapa 4). A região é destacada por

amplios terrenos de mata preservada, relevo diversificado. A rede viária se articula de forma heterogênea, seguindo acidentes geográficos e integrando localidades distantes.



Mapa 4: Divisão administrativas das regiões de saúde do Estado de São Paulo: (A) Microrregiões; (B) Regiões. Destaque na Microrregião IBGE de Registro (SP)

Serviços de saúde (postos de atendimento)

Os postos de saúde estão restritos à área urbana ou áreas de extensão urbana. A necessidade de acesso a esses ambientes é imprescindível para se obter serviços básicos de saúde, o que acaba por complicar a condição das populações rurais, uma vez que estas necessariamente se vêem obrigadas a percorrer longas distâncias para chegar à cidade. Ainda que o poder público local disponibilize um programa de atendimento à saúde da família, mantendo planos de visitas regulares às localidades, o que está posto em questão é o espaço de traslado das pessoas entre campo-cidade, e é essa superfície que interessa aqui.

A política de saúde vigente no Brasil promove o ideário da regionalização dos serviços de saúde e, nesse sentido, a estruturação do sistema público observa a condição regional de saúde para viabilizar diretrizes orientadas a descentralização, hierarquização, integralidade e equidade do sistema.

O atendimento à saúde obedece a uma lógica espacial que se organiza em torno do potencial de atendimento e demanda de uma dada região. Com base no número de habitantes, tamanho das cidades, demanda por serviços e identidade regional convencionou-se delimitar áreas de abrangência dos postos de atendimento disponíveis em diferentes regiões geográficas.

A plenitude do atendimento irá depender de fatores de ordem administrativa e política, o que nesse aspecto foge ao alcance do objetivo aqui proposto. Todavia, a inferência sobre a localização e distribuição espacial dos postos de atendimento, da população rural e da rede rodoviária pode orientar medidas de decisão a respeito da acessibilidade geográfica destas populações.

A necessidade de uma regionalização da saúde indica que a oferta de serviços é desigualmente distribuída, assim como o é o nível de sofisticação do atendimento. Assim, para diferentes populações a busca por atendimento especializado pode representar maior dificuldade de deslocamento. Como os serviços estão concentrados na cidade, a acessibilidade geográfica da população rural mantém relações também com a estrutura do espaço de deslocamento que a conecta a cidade, e diante disso o enfoque dado ao espaço físico pode oferecer resultados importantes do ponto de vista analítico.

5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os referenciais teórico/metodológicos expostos nos capítulos anteriores dão suporte ao desenvolvimento do processo de seleção e montagem do banco de dados geográfico para a análise da rede rodoviária rural da Microrregião de Registro (SP). A abordagem aqui adota um procedimento para determinar impedâncias de viagem e assim prever distâncias e tempo de viagem da população rural até as unidades de atendimento à saúde, tendo para a realização dessa tarefa o apoio dos SIG. Inicialmente faz-se necessário a compreensão dos alcances e limitações desses sistemas para a condução de um método com essa finalidade.

Cumprir destacar que duas abordagens referentes à separação espacial têm sido tratadas aqui: a da acessibilidade e mobilidade geográfica. Inicialmente é necessário reiterar que o uso do termo acessibilidade se reporta, explicitamente, à localização dos serviços de saúde, no entanto, ao estabelecer um procedimento para a definição de impedâncias para a locomoção no espaço, a questão assume uma conotação de mobilidade que, no caso, reporta-se transporte por meio de veículos automotores em rodovias rurais, os quais atendem grande parte das necessidades da população do campo.

Os procedimentos aqui apresentados se referem à coleta de dados; montagem do banco de dados geográfico, que envolveu a modelagem, correção e padronização de dados, verificações em campo e análise espacial.

A pesquisa tem como elemento norteador o desenvolvimento de uma metodologia para o mapeamento de impedâncias de redes em SIG. Muitos dos procedimentos que serão descritos nas seções seguintes resultaram de testes sobre modelos espaciais hipotéticos que fizeram sobre uma base experimental. Isso envolveu aplicações de técnicas que estiveram sujeitas à tentativas que implicaram em erros e acertos; verificou-se também a natureza dos atributos selecionados na composição da síntese e de sua eficiência para o escopo do trabalho.

Em dado momento julgou-se importante a transferência dos êxitos do plano experimental para o plano geográfico. Assim, fez-se necessário a montagem de uma base de dados orientada ao estudo do sistema rodoviário rural de uma dada porção do território brasileiro, e foi por essa razão que se selecionou a Microrregião de Registro (SP), tendo por base os critérios descritos na *seção 4.7.2*.

5.1 Concepção e processo de seleção e organização de dados espaciais

A aquisição de dados para a pesquisa se fez a partir de diferentes fontes. A base de rodovias foi obtida através de digitalização de mapa rodoviário e interpretação de imagens; os dados para a modelagem numérica do terreno, mapas de uso da terra e cobertura vegetal e hidrografia foram obtidos no Sistema de Informações Geográficas do Ribeira de Iguape e Litoral Sul³⁴ (SIG-RB), que é um SIG mantido e disponibilizado pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Ribeira de Iguape e Litoral Sul. Dados de saúde foram obtidos no Sistema de Informações em Saúde (SIS), disponibilizado pelo Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (CNES). As divisões administrativas dos municípios e informações demográficas foram obtidos na base de dados do IBGE e fundação SEADE (Tabela 10)

Tabela 10: Descrição da base de dados utilizada na pesquisa.

BASE	FONTE	PROCESSO
Rodovias	DNER, DER, imagens <i>Googe Earth</i>	Digitalização, Tabulação
MDE	SIG-RB	Seleção, Exportação <i>*shp</i>
Uso da terra e cobertura veget.	SIG-RB	Seleção, Exportação <i>*shp</i>
Hidrografia	SIG-RB	Seleção, Exportação <i>*shp</i>
Divisões Administrativas	IBGE, SEADE	<i>Download</i> na base de dados IBGE; tabulação de dados
Postos de saúde e Hospitais	CNES	Digitalização, tabulação
Habitções Rurais	IBGE, imagens <i>Google Earth</i>	Digitalização, tabulação

Em campo, foram feitas observações das condições das estradas rurais no que diz respeito ao tipo de revestimento, inclinação, sinuosidade, velocidade e outras observações auxiliares, utilizando-se, principalmente, da percepção e usando equipamentos simples, como: GPS, câmera fotográfica e automóvel de passageiros. A seleção de pontos para visitação se fez com base na malha rodoviária digitalizada, situação (perímetro rural), declividade do terreno e sinuosidade da pista.

Nos próximas seções far-se-á a descrição dos procedimentos adotados para a seleção e organização desses dados e informações.

³⁴ SIG-RB - Sistema de Informações Geográficas do Ribeira de Iguape e Litoral Sul: banco de dados mantido pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Ribeira de Iguape e Litoral Sul (UGRHI-11). Disponível em: <<http://www.sigrb.com.br/index.php>>. Acesso em: 14 fev. 2010.

5.1.1 Digitalização da rede viária

O mapeamento das rodovias e caminhos rurais se fez a partir de duas fontes: mapa Rodoviário (DER, 2010) a partir do qual se classificou as rodovias rurais previamente digitalizadas; e mosaico de imagens de satélite do *Google Earth* a partir de onde se digitalizou por interpretação visual a malha rodoviária regional.

O mapa disponibilizado pelo Departamento de Estradas de Rodagem (ibid.) abrange os eixos principais do sistema rodoviário rural, cobrindo o nível regional em escala de 1/260.000, e descrevendo apenas as malhas arteriais e coletoras. Para o refino das feições da malha rodoviária utilizou-se mosaico de imagens do *Google Earth* o que permitiu o mapeamento em escala de 1/10.000 ou maiores e abranger a maioria das rodovias vicinais, incluindo alguns caminhos.

A extração das feições para a composição da rede vetorial exige a visualização em detalhe do terreno de forma a preservar o comprimento dos eixos, isso requer a consulta de imagens com maior resolução espacial. Dado os recursos limitados para a pesquisa, essa demanda se fez pela consulta aos mosaicos *Google Earth*. Esta ferramenta é um programa de computador desenvolvido e distribuído pela empresa estadunidense *Google* cuja função é mostrar um modelo tridimensional do globo terrestre, construído a partir de imagens de satélite de fontes diversas (Figura 23). A vetorização das vias de circulação se fez com o próprio recurso do programa, que permite o desenho na tela do computador e a exportação dos dados em formato **.kml*³⁵. Esse formato tem como característica principal a facilidade de compartilhamento de informações através da *Internet*.

³⁵ *Keyhole Markup Language*, Linguagem de dados digitais que, nesse caso, serve para expressar anotações geográficas e visualização de mapas em 2D.

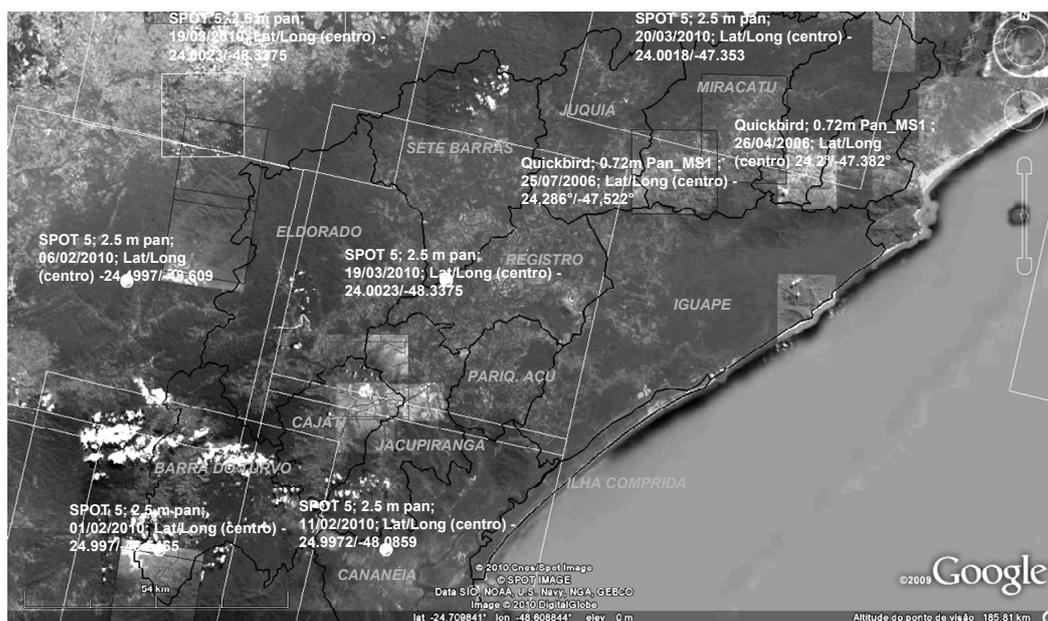


Figura 23: Mosaico de imagens do *Google Earth*; cobertura da Microrregião de saúde de Registro (SP).

Através destas imagens foi possível vetorizar as feições das rodovias rurais do sistema local e classificá-las pela função e classe de projeto. Além da extração das feições foi ainda possível, pela interpretação de diferentes tonalidades das imagens, a classificação destas rodovias segundo o tipo de superfície de rolamento, se pavimentada ou não-pavimentada (Figura 24).

O procedimento adotado se fez nas seguintes etapas:

- (i) Delimitação da área e estudo pela sobreposição do contorno dos municípios da Região de Registro às imagens do *Google Earth*;
- (ii) Digitalização das rodovias arteriais, coletoras e locais por interpretação visual dos mosaicos e especificação do atributo pavimentado/não-pavimentado
- (iii) Exportação e conversão de dados para a extensão *shapefile* (*.shp)
- (iv) Classificação das rodovias em Arteriais, Coletoras ou Locais com apoio do mapa rodoviário Cubatão DR05, escala 1:260.000 (DER, 2010).
- (v) Classificação dos demais eixos, não representados no mapa do DER (2010), como rodovias *Locais* (vicinais).

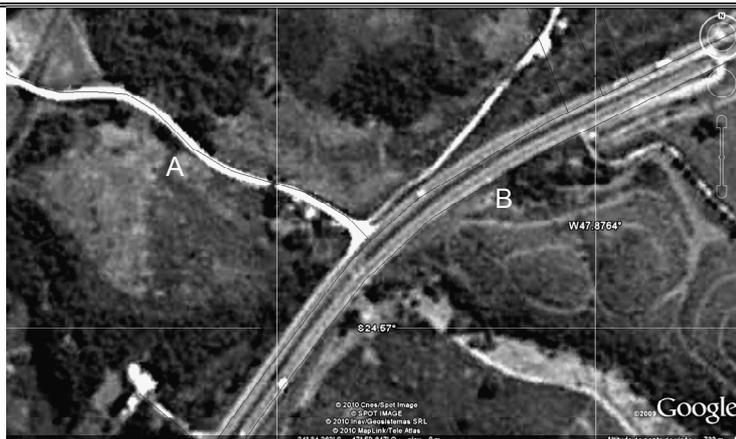


Figura 24: Imagem SPOT 5, 2.5 m pancromática de 15 MAR, 2009 13:24:20 UTC. Visualização de via não-pavimentada (A) e pavimentada (B). Fonte *Google Earth*.

A criação do arquivo **kml* permitiu então armazenar as referências geográficas e guardar as feições das vias em coordenadas WGS84 (*World Geodetic System 1984*), além de possibilitar o registro destas especificações em nota textual (Quadro 1).

```

</Pair>
</StyleMap>
<Placemark>
  <name>caminho do boqueirao</name>
  <description>via nao pavimentada [1]</description>
  <styleUrl>#msn_ylw-pushpin</styleUrl>
  <LineString>
    <tessellate>1</tessellate>
    <coordinates>
-47.87906748700758,-24.56896334385773,0 -47.87977201820474,-24.5685952897307,0 -
47.88053238257296,-24.56840486870289,0 </coordinates>
  </LineString>
</Placemark>
</Document>
</kml>

```

Quadro 1: Exemplo de parte de script do arquivo *kml* contendo dados textuais e coordenadas geográficas (em negrito).

Com base em testes feitos por Ribas (2007) o erro médio de georeferenciamento sobre a imagem do *Google Earth* é em média de 8.5 metros, podendo chegar a 20 ou 30 metros em alguns casos. Estas diferenças foram consideradas suficientes para a condução da pesquisa.

Embora o sistema disponibilize mosaicos de imagem, é importante destacar que o resultado depende da referência da imagem sobre a qual se faz a digitalização, ou seja, de conhecimento sobre as especificações da imagem segundo o tipo de sensor remoto que a produziu, além disso, deve-se ter ciência dos alcances desses mosaicos, pois são

imagens sintéticas que apenas permitem a visualização do terreno e não o processamento digital das imagens.

As imagens que cobrem a área de estudo são em sua maioria proveniente do sensor SPOT³⁶ 5 na banda pancromática (*Pan_MSI*) e resolução espacial de 2.5 m. Na época em que foram consultadas, a maioria das imagens eram de passagens do ano de 2010. Em algumas porções do terreno foi disponibilizada imagens do *Quickbird* Pan MSI com resolução espacial de 0.72m e datadas de 2006 (Figura 23).

A partir da digitalização dos arcos correspondentes às rodovias e caminhos rurais foi então possível compor uma malha viária contendo às feições de interesse para a pesquisa. Esta base em formato vetorial contém referências geográficas e descrições das classes de rodovias. O arquivo com os dados que descritivos é denominado de tabela de atributos. Cada *linha* dessa tabela contém informações de um arco, nessas linhas são registrados dados referentes aos atributos das colunas ou campos da tabela, comuns a cada registro.

A malha vetorial representa a categoria geométrica da rede. Esta categoria é definida no espaço por coordenadas geográficas e seu detalhamento pela escala cartográfica ou escala de mapeamento. Este aspecto da metodologia toma como princípio que o mapeamento das feições geométricas da rede deve ser feito com o máximo de detalhamento possível, pois a melhor definição dos contornos que dão forma à rede resultam em melhores medidas sobre ela.

Uma vez que essa adoção no processo de mapeamento se torna uma questão de base, o banco de dados geográfico resultante permitirá consultas em diferentes níveis escalares, e conseqüentemente a realização de análises. No entanto, nem todos os dados foram obtidos na mesma escala e, como será visto nas próximas seções, outros planos de informação que compuseram a base de dados se ajustam a escalas diferentes às adotadas na digitalização da rede, em geral em 1/50.000.

No tocante a classificação das vias locais vicinais não representadas no mapa rodoviário do DER (2010), adotou-se outro procedimento, tendo as referências das diretrizes do DNER (cf., 1999, p. 15-19), indicações para a classificação das rodovias rurais proposta no Guia para a Avaliação Visual das Condições de Pavimento da AUSTROADS citadas na tese de Oliveira (2005, p.29) e o apoio prático das

³⁶ Satellite Pour l'Observation de la Terre.

verificações em campo. A seguir faz-se algumas considerações adicionais e a descrição desse procedimento.

5.1.2 Identificação e Classificação de rodovias rurais Sistema Local (Classe IV)

O procedimento anteriormente descrito para identificar a base de revestimento das estradas pelas imagens de satélite (pavimentada e não-pavimentada) não é suficiente para especificar aspectos mais detalhados das mesmas, sobretudo no que diz respeito às variações comumente associadas às estradas não-pavimentadas. Em trabalho de campo utilizou-se das orientações de Riverson (1987, apud, ODA, 1995, 73) (Tabela 7, seção 4.1.2) para identificar defeitos na pista e assim verificar as condições das rodovias locais (classe IV³⁷) de modo a refinar as informações da tabela de atributos das rodovias digitalizadas.

Em campo foi possível a identificação de relações importantes, dadas entre as características das estradas vicinais e o contexto geográfico em que se inserem. As estradas vicinais não-pavimentadas apresentam significativas variações nas condições de rolamento, refletindo na variação da velocidade. Em linhas gerais é possível identificar alguns padrões que tendem a se repetir no espaço, e que possibilitam a aproximação de um modelo de classificação para as estradas rurais locais (classe IV) não-pavimentadas. As principais constatações se fizeram com base em duas condições geográficas: (i) arcos mais próximos do núcleo urbano (malha em redor) e (ii) arcos distantes do núcleo urbano (malha afastada)

(i) Malha em redor

Estas pistas apresentam condições mais adequadas ao tráfego, com maior largura e indicações de atenção pública quanto à manutenção das estradas, identificado pelo fato de serem mais bem estruturadas. Nesses perímetros foi possível obter melhor condição de rolamento, e observou-se pouco ou nenhum defeito (buracos, trilhas de rodas³⁸, corrugações³⁹, perda de agregado⁴⁰). Mesmo quando identificadas variações de declividade, não foi notado importantes alterações na velocidade de operação do veículo. Assim esses perímetros são, do ponto de vista classificatório, rodovias locais de *revestimento primário*. Exceções podem ser feitas para os arcos próximos ao núcleo

³⁷ Ver seção 4.3.

³⁸ Afundamentos no sentido longitudinal da roda.

³⁹ Ondulações perpendiculares no sentido do tráfego. Essas ocorrências causam vibrações que geram desconforto e compromete a segurança durante o movimento do veículo (OLIVEIRA, 2005, p. 14).

⁴⁰ Material solto na pista: cascalhos, pedras e partículas (ODA, 1995, p.68).

urbano, porém sem continuidade e sem significativa ocupação humana. Nesses casos pode-se considerar como classe *natural composta* (apêndice B).

(ii) Malha afastada

Os trechos vicinais mais afastados dos núcleos urbanos apresentam muito ruins condições de rolamento e defeitos, indicando principalmente buracos, trilhas de rodas e corrugações. Tais prejuízos afetaram a velocidade média do veículo, impedindo a manutenção de uma velocidade constante, isso obrigou a tomar valores médios para a aplicação das orientações metodológicas e assim compor a avaliação aproximada (Tabela 11).

Pela condição técnica precária, deduziu-se que estas rodovias apresentam-se desprovidas de manutenção e atenção pública regular. Assim, estas são do ponto de vista classificatório rodovias *locais naturais* ou *naturais compostas*. As rodovias sem continuidade tendem a ser implantações *naturais*, ao passo que as que possuem ligações com dois ou mais arcos, tendem a ser *naturais compostas*, por indicarem algum melhoramento como a colocação de pedras britadas ou alocação de materiais do próprio local (apêndice B).

Tabela 11: Registro de observações tomadas em campo*

Distância percorrida (m)	Município (SP)	classe rodov	Situação da Malha	veloc. Média	condições de rolamento (com base em Riverson, 1987)
1771.03	Miracatu	local	afastada	19.00	muito ruim
1260.84	Miracatu	local	afastada	18.90	muito ruim
1175.88	Miracatu	local	afastada	23.20	ruim
420.91	Miracatu	local	afastada	18.00	muito ruim
2652.23	Juquiá	local	afastada	21.00	ruim
1177.76	Juquiá	local	afastada	19.00	muito ruim
2952.47	Juquiá	local	afastada	17.30	muito ruim
1632.00	Registro	local	afastada	29.20	ruim
1755.25	Registro	local	afastada	19.10	muito ruim
610.67	Registro	local	afastada	19.00	muito ruim
3774.39	Registro	local	afastada	34.40	regular
1621.41	Juquiá	local	afastada	22.50	ruim
11380.74	Miracatu	local	em redor	40.20	bom
5231.42	Registro	local	em redor	43.30	bom
4485.34	Registro	local	em redor	34.50	regular
1895.13	Registro	local	em redor	35.00	regular
4056.66	Registro	local	em redor	26.40	ruim
3694.20	Registro	local	em redor	23.00	ruim
5227.92	Registro	local	em redor	35.00	regular
18651.80	Miracatu/Juquiá	arterial Princ	Não aplica	100.00	não aplica
7395.90	Juquiá	arterial secund	Não aplica	52.60	não aplica

*Outras especificações no Apêndice B

5.1.2.1 Metodologia para a classificação da rede pelo tipo de revestimento

A partir destas verificações conduziu-se uma metodologia em SIG para classificar as estradas vicinais não-pavimentadas em *Natural*, *Natural composta* e *Revestimento Primário*, que são as categorias propostas na AUSTROADS, 1987 (apud Oliveira, 2005, p.29) para as classes de revestimento. Para isso adotou-se um procedimento correlativo, levando-se em conta a proximidade da área urbana, a densidade de ocupação rural e características das ligações dos arcos vetoriais (no caso, linhas sem continuidade). O procedimento seguiu os seguintes passos:

Passo 1 (base de consulta)

Esse passo descreve a preparação de planos de informação para se fazer consultas espaciais com vistas à classificação da rede pelo tipo de revestimento.

(i) Seleção de faixas de distância a partir do perímetro urbano:

Estas áreas foram selecionadas a partir da cobertura da rede em 3 níveis de abrangência, partindo do perímetro urbano dos municípios: (a) 0 a 5km; (b) 5 a 10km; (c) acima de 10km;

(ii) Identificação de áreas mais ocupadas pela população rural;

A partir do mapa de pontos referente às habitações rurais com estimativa do número de pessoas (seção 5.1.7) aplicou-se o estimador *kernel*⁴¹ com *pixel* de 100m e raio de 1 km, fatiado em 9 classes; selecionou-se as três maiores classes (433-506; 506-578; 578-650) indicativas de maior ocupação.

(iii) Seleção de arcos com apenas um nó de ligação com a rede (estradas sem continuidade).

Passo 2 (classificação das estradas não-pavimentadas)

Esse passo descreve a combinação de atributos considerados no processo classificatório

(i) Classe *Local Revestimento Primário*:

Condição da classificação:

⁴¹ É um estimador para analisar o comportamento de padrões de pontos e calcular a intensidade em toda a região de estudo. É uma função realiza a contagem de todos os pontos dentro de uma região de influência, ponderando-os pela distância de cada um à localização de interesse (CARVALHO e CÂMARA, 2004, p. 5).

arcos entre 0 e 5km do perímetro urbano; ou índice *kernel* acima de 433; exceto para arcos sem continuidade, que nesse caso foram classificados como *Local Natural Composta*.

(ii) Classe *Local Natural Composta*:

Condição da classificação:

arcos entre 5 e 10km do perímetro urbano; ou índice *kernel* acima de 433; exceto arcos sem continuidade, que nesse caso foram classificados como *Local Natural*

(iii) Classe *Local Natural*:

Condição da classificação:

arcos distantes mais de 10km do perímetro urbano; exceto em índice *kernel* entre 433 e 578, nesse caso as rodo vias foram classificadas como de *Local Natural Composta*; e em índice *kernel* acima de 578, classificadas como *Local Revestimento Primário*.

5.1.3 Projeção e Ajustes topológicos

Visto que os dados geográficos utilizados provêm de diferentes fontes, fez-se necessário a padronização das projeções das diferentes camadas utilizadas na composição da base de dados geográficos. Originalmente as bases se distribuíram da seguinte forma:

- cartas topográficas do IBGE disponibilizadas em escala de 1/50.000 formaram a base para a digitalização das curvas de nível (SIG-RB), dadas na projeção UTM, SAD69 (Projeção Universal Transversa de Mercator com sistema geodésico regional para a América do Sul 1969)
- mapas de uso da terra e cobertura vegetal foi resultado de levantamento do Instituto Florestal da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, com base em fotointerpretação com resolução de um metro, tomadas em 2000 e 2001 e mapeadas em escala de 1/50.000 na projeção UTM/SAD69;
- setores censitários rural e urbano (IBGE) e polígonos municipais que originalmente utilizam como referência o Sistema de Coordenadas Lat/Long – não projetado com Datum Horizontal – SAD69

- rodovias, unidades de saúde e habitações rurais tiveram como referência as coordenadas fornecidas a partir do mosaico de imagens *Google Earth* elaborado com base em projeção cilíndrica simples com datum WGS84.

A padronização de todas essas bases foi feita para o sistema UTM, datum WGS 1984 e essa tarefa se fez com uso do recurso “*projections and transformation*” disponibilizado pelo *software* ArcInfo 9.x, tal ferramenta permite a modificação do sistema de coordenadas do arquivo geográfico para um novo sistema com datum e esferóide de interesse do usuário.

Ajustes Topológicos

O processo de montagem da rede vetorial implica em diversos estágios de verificação e ajustes dos arcos e nós. Após a digitalização dos arcos que integram a rede foi necessário a correção topológica da rede de modo a representar as características dos fluxos.

Como visto, primeiramente modelou-se, em rede, uma malha rodoviária rural onde as descrições principais se reportaram às características básicas das vias de circulação, a saber: o sistema funcional e classe rodoviária; as velocidades máximas, mínimas e médias em cada eixo; o revestimento (pav. asfáltico, rev. primário, nat. Composto, natural); e o perímetro atravessado (rural/urbano). Esta base de dados foi fundamental, pois descreve atributos essenciais do sistema rodoviário local.

Os ajustes topológicos dos arcos se fizeram por edição automática no sistema SPRING⁴² 5.x adotando limiar de 0.10mm e escala de 1/75.000, ou seja, as pontas de linhas solteiras separadas por até 75 metros no terreno foram capturadas automaticamente (Figura 25A). A partir daí fez-se a checagem de todos os arcos da rede, corrigindo as feições não capturadas pelo limiar de ajuste e executando as correções necessárias (Figura 25B). Também pela edição manual definiram-se as relações planares (Figura 25C) e não planares (Figura 25D) das rodovias identificadas e digitalizadas a partir das imagens.

Da base foram eliminados todos os nós redundantes da rede, assim, os nós que no processo de digitalização foram inseridos, mas que não estavam definindo uma relação topológica necessária foram suprimidos e as linhas concatenadas (Figura 25E,F), Com

⁴² Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas.

isso foi possível eliminar registros redundantes na tabela de atributos e melhorar o processamento de dados.

Outra necessidade de ajuste foi com relação à orientação das linhas da rede. No caso estudado, a maioria das rodovias rurais é de pista simples - uma pista e dois sentidos de tráfego. Nesse caso, não há necessidade de ajuste da direção da linha, pois ao modelar a rede nos SIG, na tabela de atributos pode-se especificar fluxo bilateral, no entanto, para as rodovias de pista dupla, onde cada pista tem apenas um sentido, faz-se necessário a definição da direção da linha, essa verificação é importante, pois é comum a inversão do sentido no processo de digitalização. Outro caso que exige essa especificação se dá nos arcos de acesso, os retornos (Figura 25C,D).

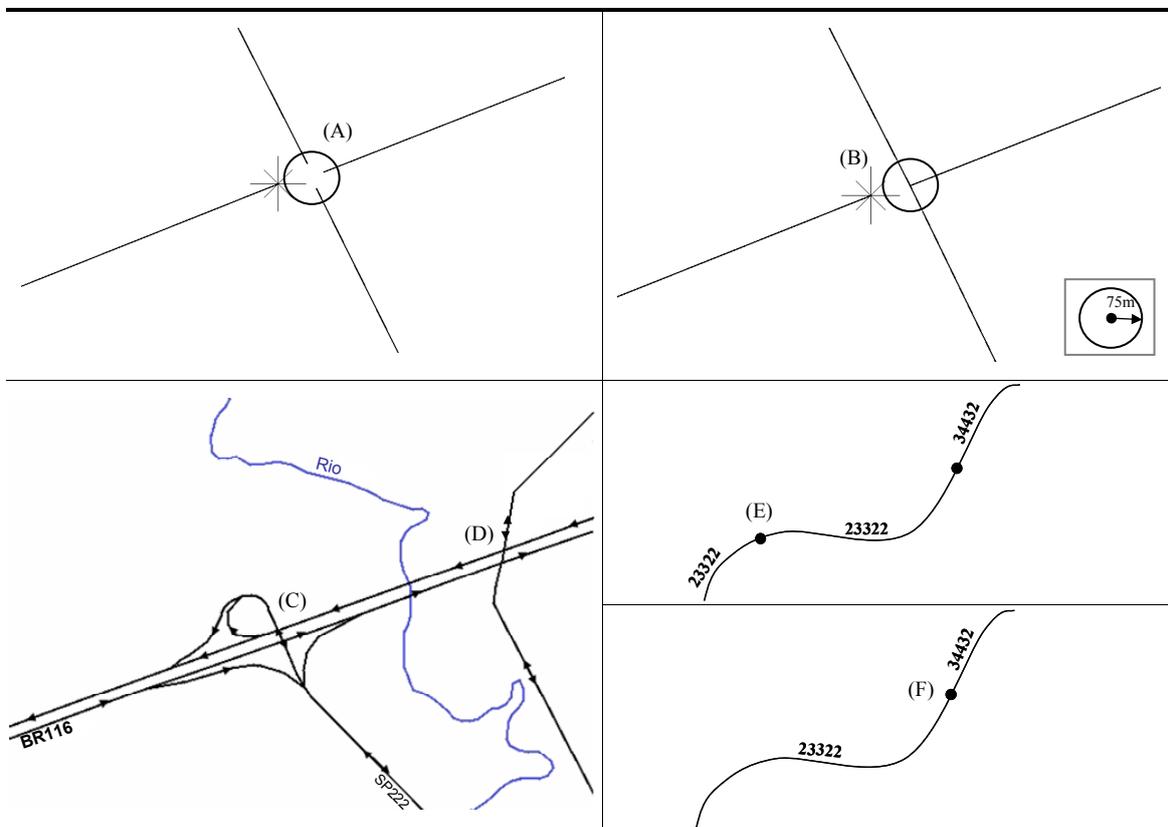


Figura 25: Exemplos de ajustes topológicos: (A) Ajuste topológico automático de 3 linhas solteiras; (B) exemplo de nó não capturado automaticamente pelo limiar de 75m (0,10mm); (C) relação não-planar do retorno da rodovia; (D) relação planar de um cruzamento; (E) nó redundante; (F) nó necessário pois define atributos diferentes na tabela.

5.1.4 MDE (Modelo Digital de Elevação)

Inicialmente convém destacar que a combinação dos dados referentes às rodovias rurais e os de MDE deve ser vista aqui sob uma perspectiva particular, diferente daquela que orienta a engenharia dos transportes. A presente metodologia se desenvolve com base em elementos da paisagem geográfica e de como esses elementos refletem na estrutura da rodovia. Diferentemente, os projetos geométricos de rodovias rurais têm a atenção voltada a procedimentos técnicos específicos que orientam as obras civis, as normas são voltadas para atender um determinado nível de serviço e no caso da topografia dependem de apoio direto e em escala de detalhe que seguem a determinadas finalidades, por exemplo, fazer aterros e cortes laterais de encostas para a implantação de alinhamentos horizontais e verticais (DNER,1999, p.22).

No ambiente SIG os dados de altimetria podem ser trabalhados em modelos *raster* como os MDE, e a partir destes é possível investigar a variabilidade topográfica e a declividade do terreno.

Na presente pesquisa, o conhecimento sobre a altimetria se orientou por uma investigação mais geral que procura identificar uma relação de causalidade. Desse modo, a metodologia se constituiu com base em fontes capazes de oferecer informações suficientes sobre a topografia da paisagem na qual se ramificam as vias de circulação rural e recobrem uma superfície extensa, no caso a Microrregião de Registro (SP). Na intenção de avaliar os recursos disponíveis para a condução de um procedimento particular, seguiu-se consultando duas fontes de dados, entendidas aqui como as mais acessíveis para o objetivo aqui proposto: (i) curvas de nível e pontos cotados digitalizados de Cartas Topográficas em escala média (1/50.000). (ii) arquivos matriciais contendo dados de elevação. No segundo caso, o produto avaliado foi a matriz altimétrica com resolução espacial de 30m oriunda do programa internacional *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Global Digital Elevation Model (GDEM)*. A grade altimétrica gerada por sensoriamento remoto permite o detalhamento do terreno em escala próxima à das cartas topográficas produzidas em 1/50.000 (Figura 26). A utilização das grades de sensoriamento remoto facilita a aplicação da metodologia e pode fornecer dados de regiões que não dispõem de mapeamento sistemático, como é o caso da maior parte do território brasileiro.

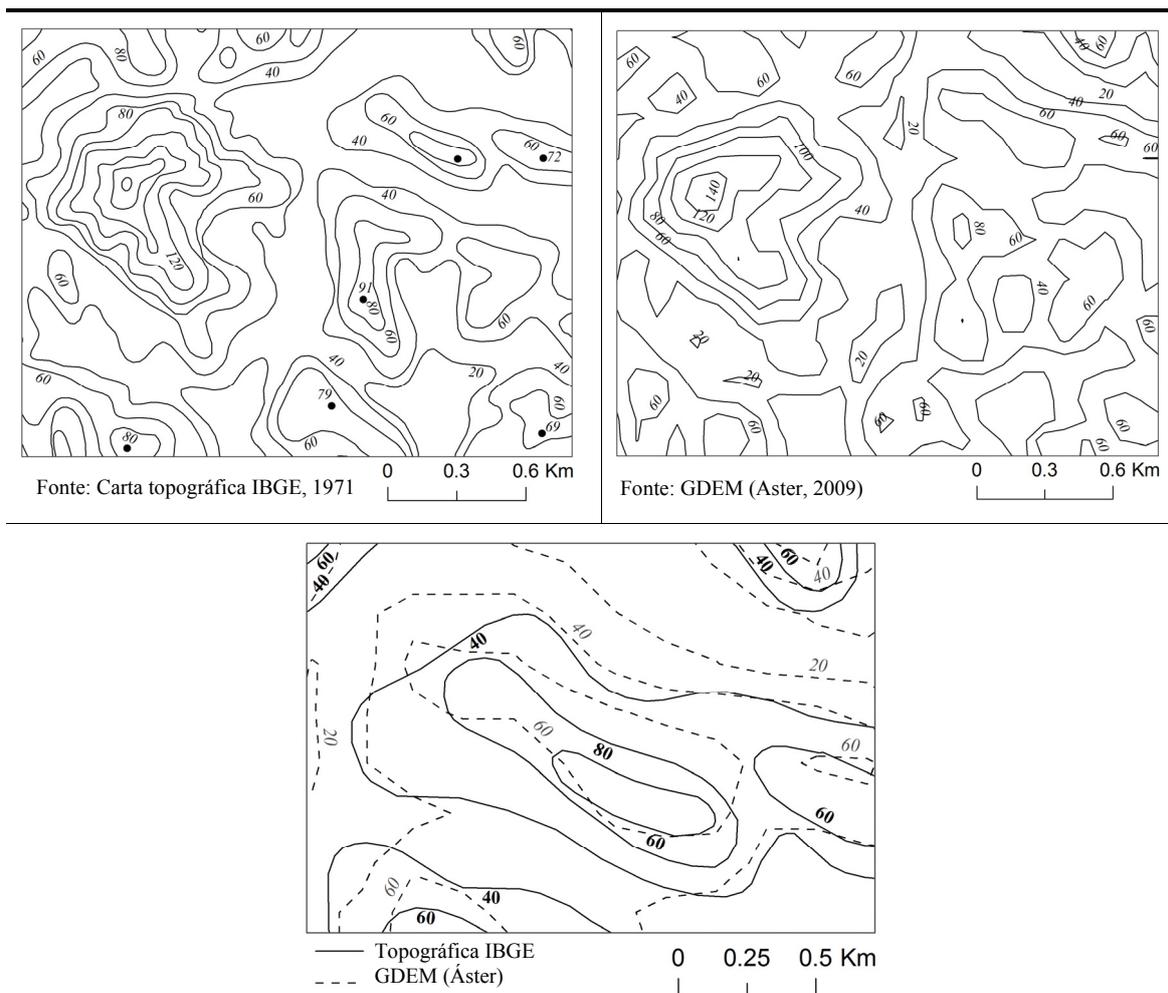


Figura 26: Comparação entre as curvas digitalizadas a partir de carta topográfica (IBGE, 1:50.000) e isolinhas geradas a partir da grade *raster* GDEM.

Dada a disponibilidade e facilidade de aquisição dos dados altimétricos de ambas as fontes citadas, nesta pesquisa utilizou-se as curvas de nível do mosaico de cartas topográficas em escala de 1/50.000 do IBGE para a geração de declividades. Uma grade retangular com *pixel* de 900m² foi gerada a partir da interpolação destas curvas.

A partir dessa grade elaborou-se representações que serviram de base para a visualização e análise do terreno estudado. Além do mapa de declividade, produtos como: imagens sombreadas do terreno e representação hipsométrica auxiliaram a observação da variabilidade topográfica, as quais serviram de apoio às verificações feitas em campo.

Classes de declividade

Segundo De Biasi (1992) a definição das classes de declividade pode se voltar para aplicações particulares e por isso pode variar em determinados aspectos, contudo existe uma orientação estabelecida por lei que se aplica aos diferentes usos e ocupação territorial. Aqui se entende que o uso por rodovias rurais, em parte, atende aos quesitos fundamentais que regem essa normativa, no entanto, como fora anteriormente exposto, a abordagem feita pela engenharia dos transportes é outra. A observação feita em campo por automóvel de passageiros permitiu notar que a variabilidade topográfica pode resultar em condições diferenciadas de mobilidade no espaço.

Ao definir elementos a serem contemplados na representação da carta clinográfica (de declividade), De Biasi (ibid.) destaca limites a serem respeitados na definição de classes, dentre os quais o de 0 a 5% quando se orientam ao planejamento urbano-industrial e o de 5 a 10 ou 12% como as máximas declividades para aplicações em uso agrícola. Destas duas grandes divisões podem advir detalhamentos, que podem se fazer pela inserção de valores intermediários, por exemplo, de 2.5%, 7.5% ou outros.

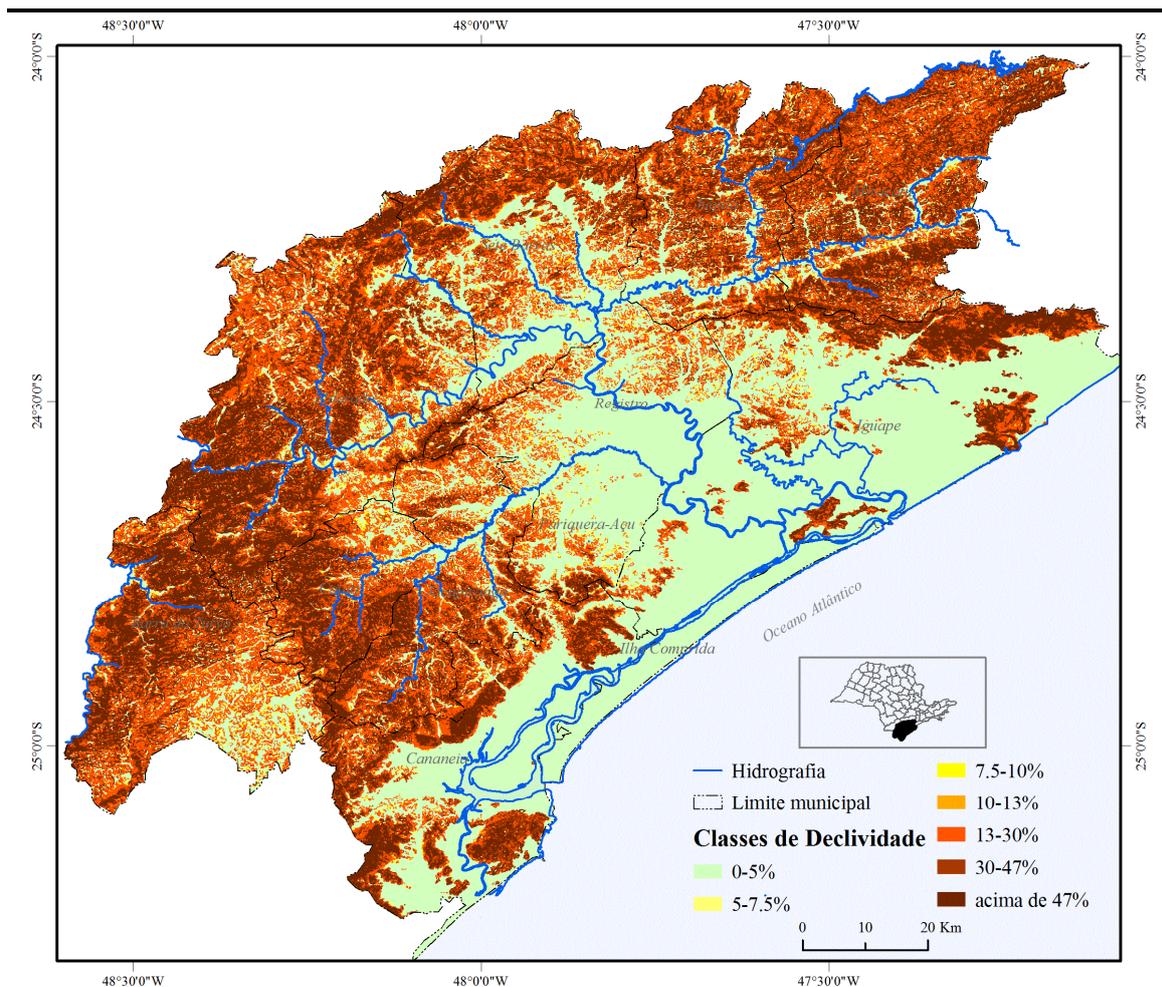
De acordo com o manual técnico do DNER (1999, p.24), a descrição dos princípios que orientam as medidas para a implantação das rampas se orientam, em primeira instância, pelas características do relevo. Como visto anteriormente, esse modelo presta-se a uma aplicação especial, destinada à construção de vias com geometria de rampas que respeitam comprimentos e ângulos específicos e em escala de detalhe.

As rampas máximas para o tipo de classe de declividade indicadas pelo DNER, variam de 3% a 6% para terreno plano; 4% a 8% para relevo ondulado; e 5% a 10% para terreno montanhoso, dependendo do tipo de rodovia (DNER, 1999, p.124) (Tabela 12).

Tabela 12: Velocidades Diretrizes de traçados em função da classe de rodovia, do relevo e declividade.

Classe		Relevo e Declividade em %					
		Plano	(%)	Ondulado	(%)	Montanhoso	(%)
Arterial	Principal, Primário, secundário	100-120 km/h	3	70-100 km/h	4-5	50-80 km/h	5-7
Coletor	Primário, Secundário	80-100 km/h	4	60-70 km/h	6	40-50 km/h	8
Local	Local	60-80 km/h	6	40-60 km/h	8	30-40 km/h	10

No sentido de se aproximar de um critério analítico para a definição de impedância de declividade para a viagem em rodovias rurais, julgou-se pertinente considerar esses parâmetros juntamente com as observações feitas por De Biasi (1992, p.47). Dessa forma, a definição dos intervalos de declividade foi feita em porcentagens com as seguintes classes: 0% a 5%; 5% a 7.5; 7.5 a 10%; 10 a 13%; 13 a 30%; 30 a 47% acima de 47% (Mapa 5).

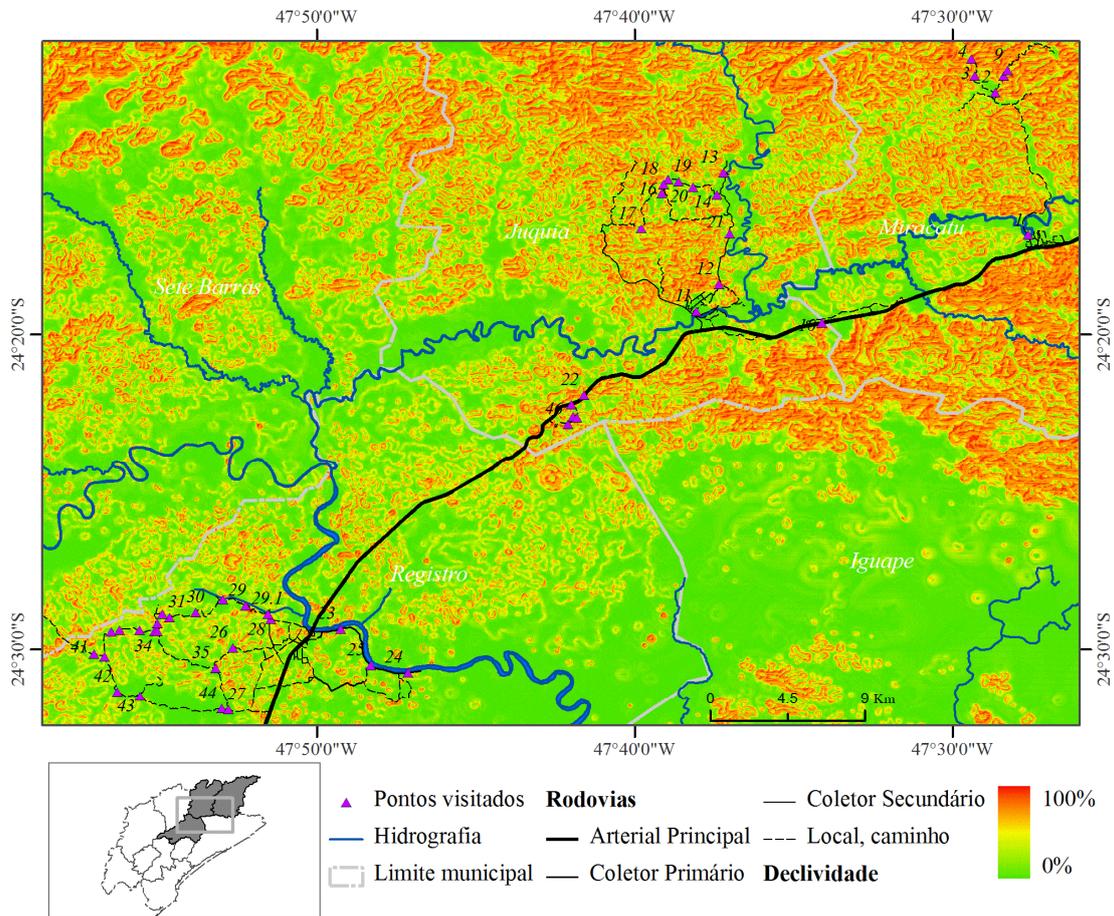


Mapa 5: Mapa de declividade da Microrregião de Saúde de Registro (SP)

5.1.5 Verificações em campo

Inicialmente indagou-se se o desempenho da velocidade ao longo das rodovias rurais realizado por automóvel de passageiros sofria interferência da declividade do terreno e, se em caso afirmativo, se seria possível estabelecer uma relação entre as faixas de declividade e a velocidades diretrizes indicadas por classe de rodovias.

Conduziu-se então uma investigação que se fez pela seleção de localidades de interesse para a verificação em campo, tendo como base o mapa de declividade (Mapa 6).



Mapa 6: Recorte da área visitada em campo

Num primeiro momento, a sobreposição das rodovias rurais sobre o mapa de declividade permitiu identificar locais de interesse para a visitação. A seleção de pontos para a visitação levou em conta a classe de rodovia, a classe de declividade identificada no mapa e a sinuosidade observada, pois se percebeu que a sinuosidade das rodovias aumentava juntamente com as declividades. A observação da relação entre as declividades da paisagem e as rodovias foi o mote principal, a partir daí seguiram-se outras observações de ordem qualitativa.

O encaminhamento destas verificações prosseguiu da seguinte maneira:

1º Planejamento em gabinete:

A consecução dessa etapa se fez pela observação e análise da base de dados geográficos, identificando visualmente trechos de rodovias significativos para verificação em campo. Os procedimentos adotados foram:

- (i) Observação dos tipos de segmentos de rodovias, que se fez considerando a função da rodovia rural (Arterial Principal, Coletor Primário e Local).
- (ii) Seleção de segmentos de rodovias que indicam uma geometria de sinuosidade alta (ver *seção 5.2.1.2*).
- (iii) Identificação da variabilidade das declividades do terreno.
- (iv) Delimitação de áreas para visita que permitissem a observação dos atributos apresentados nos itens *i, ii, iii*.

2º Procedimento Em Campo

Em campo percorreram-se alguns arcos rodoviários no intuito de simular percursos de viagem e assim obter referências sobre o tempo e as restrições ao deslocamento. Os recursos utilizados foram: carro de passeio modelo popular com motor 1000cc e 76cp, GPS de navegação pessoal (modelo *Garmim eTrex-H*) para georeferenciamento e hodometria e máquina fotográfica digital para registro das observações (apêndice A). Os procedimentos adotados foram:

- (i) Georeferenciamento de pontos e trilhas
- (ii) Medidas de distâncias de percurso pelo uso do hodômetro disponibilizado no GPS.
- (iii) Observação da variação da velocidade pelas condições de rolamento, tendo como apoio as características descritivas da metodologia de Riverson et al. (apud, ODA, 1995, p.71) (Tabela 7, seção 4.1.2).
- (iv) Percepção dos defeitos das rodovias rurais não-pavimentadas.
- (v) Percepção da interferência da sinuosidade no desempenho da velocidade média.
- (vi) Percepção da visibilidade nas rodovias

(vii) Outras observações: presença de habitações ao longo das rodovias vicinais; qualidade da vias conforme a proximidade e distanciamento do núcleo urbano; tipo de uso da terra e cobertura vegetal; identificação de atenção pública (iluminação, indicação de passagem de motoniveladora, pontos de ônibus, colocação de pedras britadas).

3º) Análise de dados em Gabinete

Em gabinete foi possível fazer análises a partir de dois pontos de vista. Primeiramente, considerando os registros de dados qualitativos, foi possível conduzir observações comparativas no sentido de identificar padrões relacionados à declividade da paisagem indicada no mapa e as características das rodovias (inclinação, revestimento, sinuosidade). Também foi possível a uma avaliação perceptiva dos ambientes visitados e o levantamento de hipóteses sobre as diferenças observadas na qualidade das rodovias e, a partir daí, fazer proposições aproximativas sobre como os elementos selecionados podem ser modelados nos SIG como impedâncias de viagem.

Identificações importantes:

Em linhas gerais as conclusões se deram de forma distinta para as classes de rodovias pavimentadas e para as não-pavimentadas.

Rodovias Pavimentadas

Em rodovias pavimentadas as classes funcionais avaliadas foram: a Arterial Principal e as Coletoras Secundárias. Na primeira, notou-se que a declividade, a sinuosidade e as características do pavimento não interferem significativamente nas condições de rolamento, no sentido de o automóvel de passageiros manter uma velocidade constante. Assim, a *velocidade máxima*⁴³ sinalizada nas rodovias pôde ser desenvolvida por longos períodos, sobretudo em pista dupla, como se fez para a Arterial Principal observada. O único fator considerado como impedância foram os perímetros urbanos, que sinalizam a desaceleração dos veículos por questões de segurança. No caso verificado, a BR-116, há indicação de velocidade máxima de 110km/h, podendo essa sinalização ser reduzida para 100 ou 90km/h em determinados perímetros.

As observações feitas anteriormente se aplicam também às vias coletoras secundárias, exceto nos arcos em condição sinuosa. A experiência indicou que em perímetros com interferência da sinuosidade a sinalização estabelece a redução da

⁴³ Ou velocidade diretriz.

velocidade máxima permitida. Nesses trechos a sinalização indicou uma média de desaceleração na ordem de 25%.

Um fator notado que se mostrou de grande relevância, diz respeito ao fluxo de veículos de carga em pistas simples em rampas ascendentes. Nesses casos a desaceleração do automóvel de passageiros foi significativa, contudo esse é um fator de difícil controle, dada à imprevisibilidade do evento.

Considera-se que em rodovias pavimentadas a impedância de viagem deve se fazer atribuindo pesos de impedância em perímetros urbanos e no caso de condições de sinuosidades acentuadas em rodovias Coletoras⁴⁴ (classe II e III).

Na rede em SIG estas informações serão modeladas em duas colunas na tabela de atributos: uma que indica os perímetros rural/urbano, e outra as classes de sinuosidade. Na composição das impedância essas restrições entrarão no sistema como pesos (ver *seção 5.3.2*).

Rodovias não-pavimentadas

Estas são as classes que apresentam maiores fatores de impedância de viagem. As estradas vicinais não-pavimentadas apresentam significativas variações nas condições de rolamento, refletindo na variação da velocidade. As principais características destas estradas foram apresentadas na *seção 4.1.2* e os aspectos observados em campo auxiliaram sua especialização. A falta de revestimento asfáltico expõe estas rodovias a condições severas de impedância que se manifestam nos defeitos da pista. O critério para a atribuição de impedâncias nestas rodovias deve se fazer com base na sua classe de revestimento (*natural, natural composto e revestimento primário*), tendo como parâmetro as velocidades diretrizes associadas a estas categorias (Tabela 7, *seção 4.1.2*) e em outros fatores inferidos a partir da combinação de planos de informação (declividade, sinuosidade, visibilidade – *seção 5.2.1.1*).

No caso das declividades da paisagem e sua relação com as rodovias não-pavimentadas, observou-se que nas áreas distantes do núcleo urbano e com declividades altas o revestimento tende a piorar significativamente, comprometendo a mobilidade por automóvel de passageiros. Outro aspecto notado foi que a sinuosidade tende a ser mais acentuada nos terrenos com maior declividade, no entanto, seu efeito nas condições de rolamento tendeu a ser de pouca relevância dada a baixa velocidade praticada. Apenas

⁴⁴ Ver *seção 4.3*.

nas rodovias locais com revestimento primário, onde é possível atingir velocidades entre 50 ou até 60km/h a sinuosidade se impôs como restrição a manutenção constante desses valores.

As observações feitas com respeito à declividade foram:

Em terrenos com maior declividade e pistas não-pavimentadas

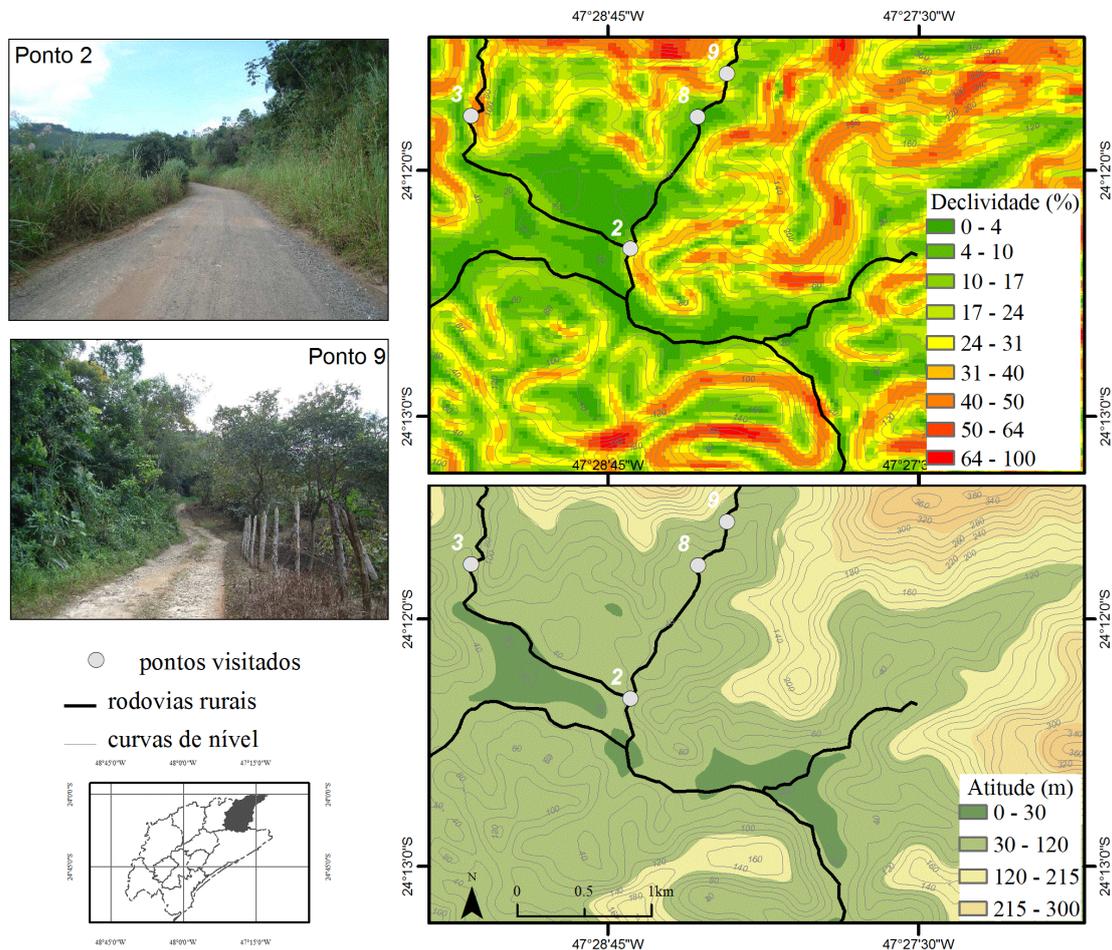
- (i) As estradas vicinais tendem a apresentar condições piores do revestimento (buracos, fendas, pedras)
- (ii) Redução da velocidade média do veículo de passeio e dificuldades em manter velocidade constante.
- (iii) Estreitamentos das pistas
- (iv) Diminuição da visibilidade
- (v) Maior sinuosidade, mas não interferem no desempenho médio da velocidade (apêndice B)

Em terrenos planos (baixa declividade) e pistas não-pavimentadas

- (i) Condições melhores do revestimento
- (ii) Manutenção de velocidade médias mais regulares do veículo de passeio
- (iii) Pistas mais largas
- (iv) Maior visibilidade
- (v) Menor sinuosidade, mas com pouca interferência na velocidade média.

As observações em campo indicaram que, como um elemento redutor de velocidade de rolamento, a declividade interfere com maior intensidade nas rodovias vicinais mais isoladas e que atravessam superfícies de relevo irregular. Nestas condições, não foi propriamente a inclinação das rampas o fator de agravo, mas os defeitos nas pistas, que tenderam a aumentar, sobretudo os buracos e perda de agregados. Observou-se também a relação destas áreas com densidade populacional baixa. É provável que os agravos decorram da menor atenção à manutenção destas vias dado o menor fluxo, prestando-se a atender um número reduzido de habitantes (Mapa 7).

Conclui-se que a impedância de viagem pela declividade deve ser maior para as rodovias rurais não-pavimentadas, e seu valor deve aumentar à medida que o adensamento populacional e a conectividade entre as rodovias diminuir.



Mapa 7: Visualização de alguns dos pontos visitados sobrepostos a representação da declividade e hipsometria. A foto correspondente a ponto 2 indica a estrada local com revestimento primário e a foto correspondente ao ponto 9, estrada local com revestimento natural

Considerações sobre a utilização do atributo *Declividade* na medida de impedância

O uso da declividade na composição da medida de acessibilidade física foi feito por Black et al. (2004, p.13), os quais a inferiram como um elemento de impedância. Esses autores trataram da declividade como um fator de relevo e fizeram uso de MDE que, em conjunto com outros critérios restritivos, compuseram uma medida de acessibilidade com vistas a avaliar o tempo de viagem das populações até o serviço de saúde em Honduras. A maneira como trataram do parâmetro *declividade* se fez com base em considerações presentes em outros trabalhos (NELSON, 2000, p.8;

TOXOPEUS, 1996, p.8). No caso, Black et al. (ibid.) propuseram que a interferência da declividade sobre a velocidade se aplica apenas a viagem a pé, e que o modo de transporte por veículos automotores sofre interferências irrelevantes desse fator. Assim, tem-se a declividade classificada segundo a influência esperada sobre a velocidade de deslocamento, que a denominaram de *fator de correção da inclinação*.

No caso das rodovias rurais locais, as considerações feitas por Black et al. (2004, p.13) suscita uma dúvida, não propriamente quanto a aplicação do *fator de correção da inclinação* à mobilidade da população, mas quanto a sua não consideração na variação das condições de rolamento do modo automotor.

Aqui a experiência de campo mostrou haver um padrão de combinações que, quando ocorrem, indicam mudanças na qualidade das vias de circulação e, conseqüentemente, interferem no desempenho da velocidade. Essas combinações são: *rodovias vicinais não-pavimentadas, alta declividade do terreno e baixa densidade populacional (ocupação)*. As observações apontaram que, com o distanciamento dos núcleos urbanos e a queda do número de habitações, nota-se uma piora na qualidade das estradas vicinais que, a propósito, podem ser mais bem definidas como rodovias naturais ou compostas que fazem ligações entre as habitações rurais e a cidade (AUSTROADS 1987, apud Oliveira, 2005, p.29). Estas vias de circulação tendem ainda a apresentarem maior depreciação quando associadas aos terrenos em altas declividades. Em suma, a combinação entre distância dos centros urbanos / baixa ocupação / altas declividades apresentou condições precárias de mobilidade por rodovias ou caminhos vicinais.

Considerações sobre a utilização do atributo *Sinuosidade* na medida de impedância

Considerações sobre a interferência da sinuosidade no tempo de viagem foram feitas por Bagheri, Benwell e Holt (2005, p.3) ao proporem um método de medida espacial de acessibilidade aos serviços primários de saúde. O que aparece como novo na proposição desses autores é o índice de sinuosidade elaborado com base em duas variáveis: o comprimento observado da rodovia e o comprimento direto, preconizados por Hagget e Chorley (1969, p.61). A definição do índice de sinuosidade se fez com base no cálculo do comprimento de linha observado para um arco da rede rodoviária e o seu comprimento em linha reta. Isso se obteve, fazendo-se a simplificação dos vértices do arco original, generalizando as curvaturas da camada principal e tomando a razão

entre os comprimentos originais e os comprimentos simplificados. O resultado é um indicativo de *índice de sinuosidade*, classificado em 6 (seis) níveis. Estradas com sinuosidade de 1 será em linha reta, e as estradas com muitas curvas o índice de sinuosidade será maior que 1.

A observação que se faz aqui ao índice de Bagheri, Benwell e Holt (2005, p.3) é com relação à legitimidade da interferência da sinuosidade no tempo de viagem. Os autores não fazem referência a uma validação empírica da aplicação do método, que permita julgar os valores do índice. Diante dessa inquietação, na presente pesquisa procurou-se verificar se a sinuosidade das rodovias rurais interferiam significativamente no desempenho da velocidade do automóvel de passageiros. A experiência permitiu notar que o fator *sinuosidade das pistas* avaliado pela percepção das condições de rolamento do veículo pareceu bastante subjetiva, mas permitiu a identificação de um padrão geral. Na prática, não se verificou mudanças significativas do desempenho da velocidade em estradas locais não-pavimentadas, notando-se um desempenho na faixa de 35-50 km/h, dependendo das condições da pista. Por outro lado, para as rodovias coletoras de pista simples pavimentadas, não foi possível a manutenção da velocidade constante a 80km/h, e a sinuosidade mostrou ser um fator de impedância, notando-se inclusive sinalização indicativa dessa condição nas pistas (Tabela 13). Outra observação foi dada não pela sinuosidade em si, mas por sua combinação com a baixa visibilidade decorrente da presença de floresta densa nas vias locais não-pavimentadas. Nestas condições, a combinação de curvas acentuadas e presença de floresta densa, houve necessidade de desaceleração do veículo em virtude da perda da visibilidade.

Tabela13: Relatório parcial das verificações em campo

arco Observado	classe rodov	veloc. Média	revestimento	Classe sinuosidade	Visibilidade percebida	Relevo	situação
1-2	local	40.20	rev. primário	Baixa	Alta	aplainado	rural
2-3	local	19.00	natural	Média	baixa	aplainado	rural
3-4	local	18.90	natural	Média	Baixa	montanhoso	rural
2-8	local	23.20	natural	Média	Média	aplainado	rural
8-9	local	18.00	natural	Média	Media	ondulado	rural
br116	Art. Princip.	100.00	asfalto	Baixa	Alta	Variado	rural
12-13	Art. Secund.	52.60	asfalto	Média	Média	Variado	rural
14-19	local	21.00	natural	Média	Alta	aplainado	rural
18-19	local	19.00	natural	Alta	Média	aplainado	rural
16-17	local	17.30	natural	Média	Baixa	montanhoso	rural
23-24	local	43.30	rev. primário	Baixa	Alta	aplainado	urbano2
26-27	local	34.50	rev. primário	Baixa	Baixa	aplainado	urbano2
28-29	local	35.00	rev. primário	Alta	Média	aplainado	urbano2
29-30	local	26.40	rev. primário	Alta	Baixa	aplainado	urbano3
30-34	local	23.00	rev. primário	Alta	Baixa	aplainado	rural
37-39	local	29.20	natural	Média	Média	aplainado	rural
39-40	local	19.10	natural	Média	Média	ondulado	rural
40-41	local	19.00	natural	Baixa	Alta	aplainado	rural
40-43	local	34.40	rev. primário	Baixa	Alta	aplainado	rural
43-27	local	35.00	rev. primário	Média	Alta	aplainado	rural
45-47	local	22.50	terra	Alta	Média	ondulado	Rural

5.1.6 Barreiras geográficas

As barreiras tratadas aqui são objetos geográficos que de alguma forma funcionam como fatores de impedância. A presença ou ausência desses elementos na paisagem irão definir condições limitativas ao deslocamento no espaço, em alguns casos a existência de uma barreira pode restringir ou definir o próprio desenho da rede rodoviária; ou ainda funcionar como um elemento impeditivo à ocupação e mobilidade dos habitantes no espaço. Na pesquisa considerou-se como barreiras geográficas: (i) o relevo, (ii) a hidrografia, (iii) cobertura vegetal (iv) rodovia arterial de pista dupla.

(i) O relevo pode ser interpretado como um fator de restrição ao movimento do homem no espaço, principalmente em duas condições: quando em aclives a força de atrito impõe limites muito elevados de energia ao ponto de tornar impraticável o movimento, isso se manifesta em declividades muitíssimo elevadas; e quando a vertente define formas escarpadas que dividem o espaço como uma parede natural. Assim, o relevo pode ser traduzido como uma barreira geográfica. Cabe observar que essa restrição se impõe no desenho da malha rodoviária, que se desenvolve somente em superfícies onde as condições do relevo favorecem a mobilidade, ainda que mínima. No

contexto da rede em SIG esta barreira não é modelada como uma impedância direta, mas é uma questão importante a se avaliar no caso da acessibilidade geográfica, pois a presença de barreiras naturais limita as alternativas de mobilidade da população no espaço. No caso da Microrregião de Registro (SP), a borda da Serra do Mar na porção nor-noroeste da área de estudo apresenta características topográficas que funcionam como barreira geográfica, e a forma da rede rodoviária reflete esta feição natural (Mapa 8).

No Mapa 8 o “relevo” indica a morfometria mais aguçada do terreno, e foi delimitado a partir de MDE pela análise das classes de declividades, curvas de nível e hipsometria da área. Adotando-se um processo interpretação visual e delimitação de superfícies, chegou-se à representação mostrada.

(ii) A hidrografia define limites para o traçado da malha rodoviária e, por isso, a rede de drenagem como uma barreira geográfica é inerente ao próprio traçado dos eixos. O planejamento das rodovias deve prever a interligação de pontos através da construção de pontes. No caso da montagem do banco de dados geográfico a rede de drenagem funcionou como elemento auxiliar do processo digitalização, pois, sobrepostas às imagens de satélite, apoiou a etapa de vetorização das vias de circulação, dando subsídio à interpretação dos objetos imageados.

A rede hidrográfica foi obtida na base disponibilizada pelo projeto SIG-RB.

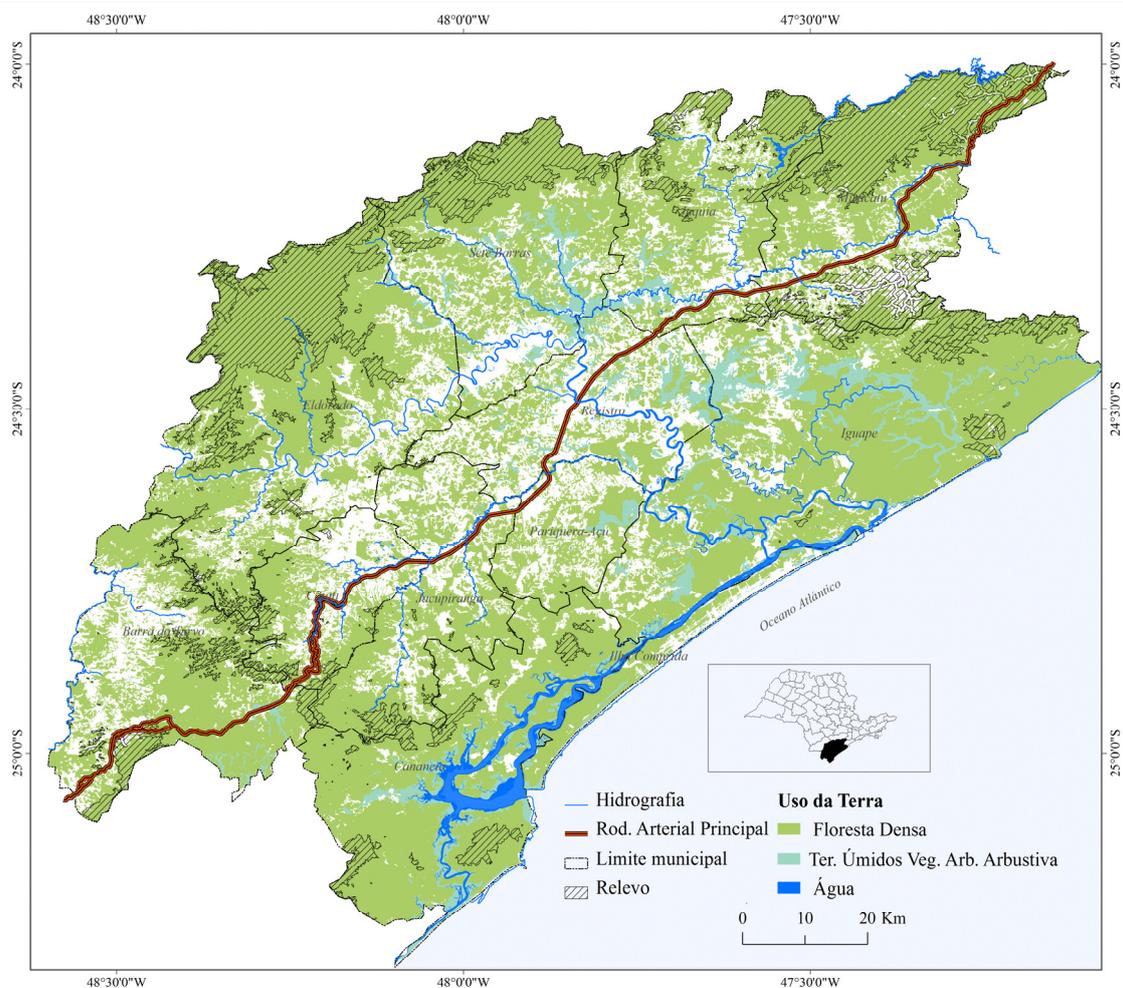
(iii) O uso da terra e cobertura vegetal por vezes define o desenho das rodovias, sobretudo as vias locais naturais e vias naturais compostas, pois os limites das propriedades rurais e talhões de mata nativa se impõem sobre o traçado das vias de forma que, ao contornar estas áreas, o encurtamento da distância pelo corte direto da estrada torna-se inviável. Na área de estudo tem-se o exemplo dos manguezais e mata atlântica densa.

O mapa de uso da terra e cobertura vegetal foi obtido no projeto SIG-RB e foi reclassificado em categorias de interesse para a pesquisa. As classes de uso identificadas como principais barreiras à mobilidade geográfica foram *Floresta Densa* e *Terrenos úmidos de vegetação Arbórea Arbustiva*. A modelagem destes atributos nos SIG atendeu a duas aplicações: na composição das impedâncias de visibilidade nas rodovias; e na análise da acessibilidade geográfica em superfícies fora da rede. Estas questões serão tratadas mais adiante nas *seções 5.2.1.3* e *5.4.2* respectivamente.

(iv) As rodovias arteriais de pista dupla são barreiras que quebram a unidade física e impõem dificuldade ao movimento. Para a macroacessibilidade (feita por veículos motorizados) a passagem da barreira se dá pelos retornos alocados ao longo da rodovia. Nesse caso, o tráfego pela via de circulação gera uma impedância ao livre movimento entre os dois lados da rodovia.

Nos SIG a restrição de fluxo se faz pelo tratamento topológico do vetor, isso é feito pelo recurso da restrição de direção, assim, somente nas intersecções com retornos é possível atravessar a barreira. Na região de estudo a rodovia BR116 funciona como uma barreira geográfica dessa natureza, sua feição geométrica foi obtida no processo de digitalização da malha rodoviária, descrita na *seção 5.1.1*, e as definições topológicas e os ajustes feitos nos SIG, estão descritos na *seção 5.1.2*.

É importante conceber diferentemente a função de cada um dos elementos descritos como barreiras geográficas. O relevo e a hidrografia são fatores de importância à rede viária, uma vez que o traçado desta deve respeitar os limites impostos por tais barreiras, a superação desses limites é restrita às construções civis, como no caso de túneis e pontes. Com relação ao uso da terra e cobertura vegetal, as condições de mobilidade por rodovias são adversas para alguns ambientes, sobretudo em substrato instável, por exemplo, nas áreas onde se desenvolve vegetação úmida. As estradas e caminhos que atravessam floresta densa podem refletir na perda de visibilidade. As propriedades rurais desempenham um papel importante como barreira e a interferência destas parcelas se dá, sobretudo, nas rodovias locais e em caminhos naturais onde os limites das propriedades se sobrepõem ao desenho das vias de circulação, dessa forma o traçado viário acompanha o limite administrativo das terras. No caso das rodovias arteriais o efeito barreira é outro, como estas rodovias têm como propósito atender grande fluxo de tráfego e proporcionar fluidez, as intersecções são reduzidas. A redução da “porosidade” entre um lado e outro da rodovia estabelece um efeito barreira (*community severance*), que se impõe no espaço, quebrando coesão social e geográfica do mesmo. Assim as possibilidades de ultrapassagem da barreira se resumem aos retornos alocados ao longo da rodovia.



Mapa 8: Barreiras Geográficas

5.1.7 Localidades: habitações rurais e postos de atendimento à saúde

Neste estudo as habitações rurais e os postos de atendimento à saúde são as localidades investigadas e são modeladas nos SIG por pontos.

Como visto na *seção 4.7.1*, compreende-se que o IBGE é o órgão de referência para o fornecimento de informações sobre a população, mas como o interesse aqui está no georeferenciamento da população rural, os dados agregados por setores censitários rurais que são disponibilizados pelo Instituto não são eficientes para o fornecimento da posição geográfica das habitações rurais, pois correspondem a polígonos de grande abrangência espacial que não delimitam necessariamente as áreas de adensamento populacional, tornando insuficiente o seu uso para o refinamento da localização dessa população de modo a atender as necessidades da presente pesquisa.

Muitos estudos que adotam a área ou centróide dos setores censitários como referência da localização da população o fazem por uma simplificação escalar ou pela dificuldade em se obter dados descritos pontualmente no espaço⁴⁵. Como a maioria desses estudos se ocupa com questões de planejamento em saúde e se vale de apontamentos sobre a distribuição e acesso da população aos serviços em escala regional, estadual ou mesmo nacional, subentende-se que a distribuição pontual dos indivíduos no contexto destas unidades administrativas talvez tenha uma importância menor. Na presente pesquisa, busca-se por um modelo que possibilite a leitura do conjunto da região, com identificação de lugares com maiores dificuldades de acesso aos serviços de saúde, mas também se procura definir um sistema capaz de dar respostas a perguntas do tipo: “a partir da localidade *A*, qual o melhor caminho até o hospital *X*”?

Os serviços de saúde também são localidades pontuais no espaço. Como no exemplo das habitações rurais, esses serviços devem ser modelados no sistema como pontos, porém, o procedimento adotado para o georeferenciamento dessas localidades segue-se de maneira distinta, pois na imagem não é possível selecionar uma construção e classificá-la por sua função de serviço. Nesse sentido, adotou-se o recurso da consulta por endereços. Uma vez que os serviços de saúde se localizam na área urbana, a malha de logradouros pode ser usada para identificar locais e georeferenciar os postos de atendimento pela consulta de seus endereços.

5.1.7.1 Habitações Rurais

Com base no raciocínio anteriormente descrito, parte-se da idéia de que as habitações rurais são localidades pontuais que estão, em geral, dispersas em espaços amplos ocupados por usos e coberturas diversas, assim, para a identificação de áreas ocupadas por moradias é apropriada a adoção de um método que subtraia esses usos e realce o local de habitação dos indivíduos. A questão que se coloca é qual procedimento adotar para identificar estas habitações, uma vez que sua manifestação no espaço rural se dá de maneira heterogênea.

A consecução desse objetivo pode se fazer com base em produtos de Sensoriamento Remoto (SR). Porém, como as imagens de SR são de diferentes

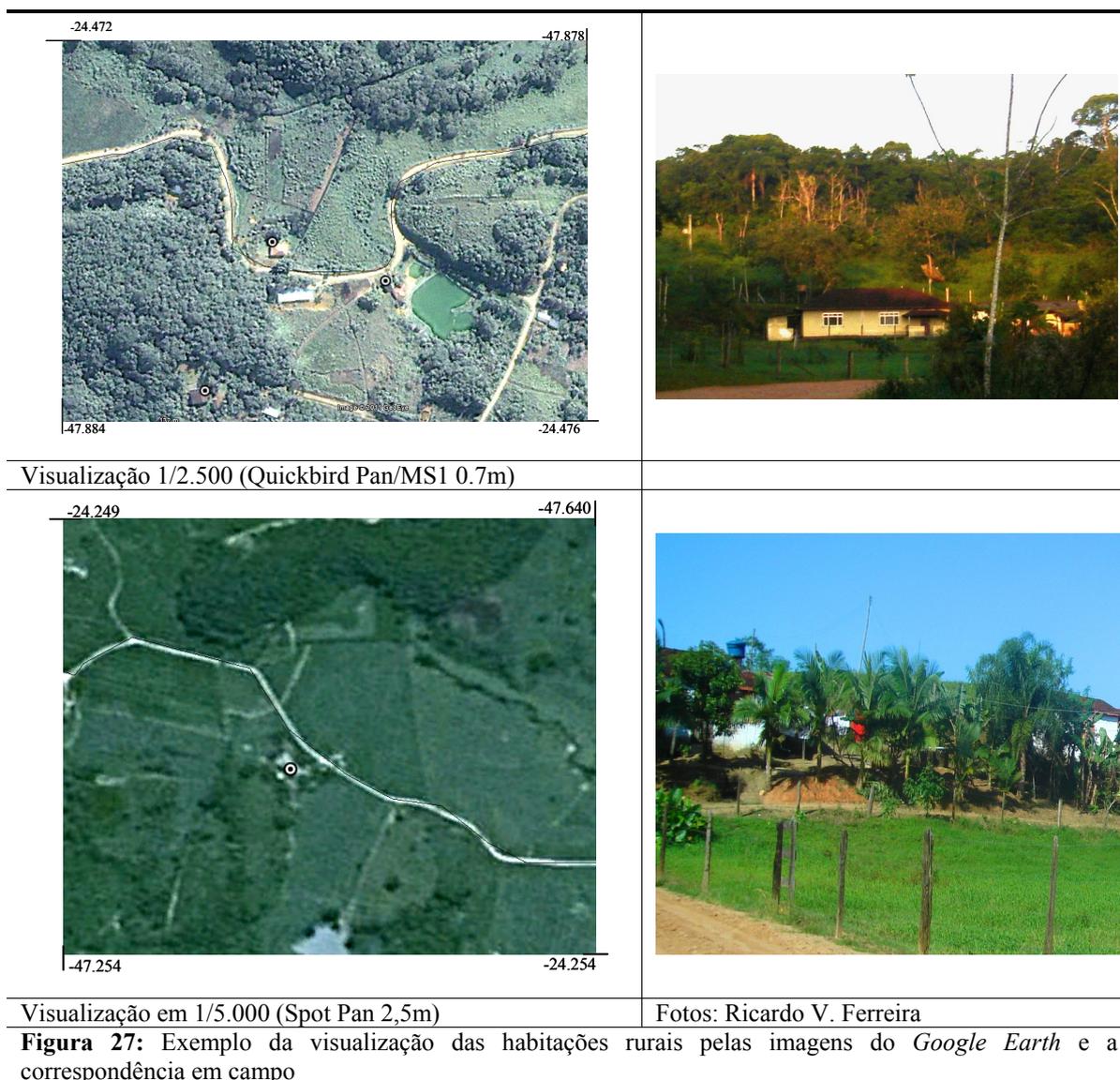
⁴⁵ Esta questão é notada nas pesquisas de THOUÉZ; BODSON; JOSEPH, 1988, p.36; RADKE; MU, 2000, p.106; BRABYN; BARNETT, 2004, p.1-2.

qualidades, entende-se que aquelas que teriam alguma validade seriam as imagens com alta resolução espacial ou fotografia aérea.

A título de esclarecimento e pensando-se em termos operacionais, uma metodologia para a identificação de habitações rurais com base em conhecimentos advindos do campo do Processamento Digital de Imagens (PDI), poderia ser promissor. Sobre esse assunto, a aplicação de métodos orientados a objetos são atualmente os procedimentos que tem apresentado resultados mais inovadores em PDI. O princípio desses estudos tem como base especificações técnicas das imagens dos satélites mais modernos para a década de 2000. Segundo Blaschke, Glässer e Lang (2007, p.11), como é possível depreender um grande número de objetos geográficos nas imagens de alta resolução espacial, uma das tendências hoje está na possibilidade de se fazer extrações seletivas, ou seja, isolar aquelas feições sobre as quais o usuário possui conhecimento e interesse específico. Esta é uma atenção nova no campo da pesquisa em PDI que tende a se aprofundar nos próximos anos.

Dada as limitações de recursos para a aplicação do mapeamento orientado a objetos, na presente pesquisa adotou-se um outro procedimento para se chegar ao conhecimento da localização da população rural no espaço. No intuito de melhor identificar áreas de ocupação pelo adensamento de pontos correspondentes às habitações rurais, partiu-se de uma metodologia que teve como base a proposta de Langford e Higgs (2006, p.298). Conforme a orientação desses autores, a partir dos polígonos censitários rurais identificam-se áreas ocupadas e vazias, tendo para isso o apoio de diferentes produtos: mapas cadastrais, mapas de uso e cobertura, imagens de satélite, entre outros. Esses autores colocam que o refinamento da localização da população rural pode ser feito a partir de dados auxiliares, e aqui esse apoio se fez com base em imagens pancromáticas 2,5m do SPOT (12/07/2010) e Pan MS1 do sensor Quickbird (16/06/2005) disponível no *Google Earth*. Nesse procedimento a sobreposição dos planos de informação correspondentes às rodovias rurais, hidrografia e isolinhas altimétricas, foram recursos auxiliares na identificação das construções rurais e a inferência da localização da população. Na interpretação das imagens a identificação de contextos e padrão de formas, textura e cor dos objetos permitiram a identificação das construções e a digitalização de pontos, tendo os telhados das construções como referência principal. Com essa técnica foi possível georeferenciar as localidades rurais e

em seguida alocar a população contada por setor censitário rural apenas nesses pontos de ocupação (Figura 27).



Na área rural algumas habitações se organizam em vilas e se localizam distantes das regiões classificadas como de situação urbana. Nesses casos a contagem de domicílios se fez delimitando-se polígonos e calculando-se a densidade média de construções interpretadas nas imagens como moradias.

A identificação de construções rurais com base na interpretação da imagem depende do tipo de sensor. No caso observado, as imagens SPOT pan2,5m permitem uma visualização até uma escala de 1:5.000, ao passo que, nas imagens do Quickbird pancromático foi possível fazer interpretações mais detalhadas em escala de até 1:2.500 (Figuras 27 e 28).

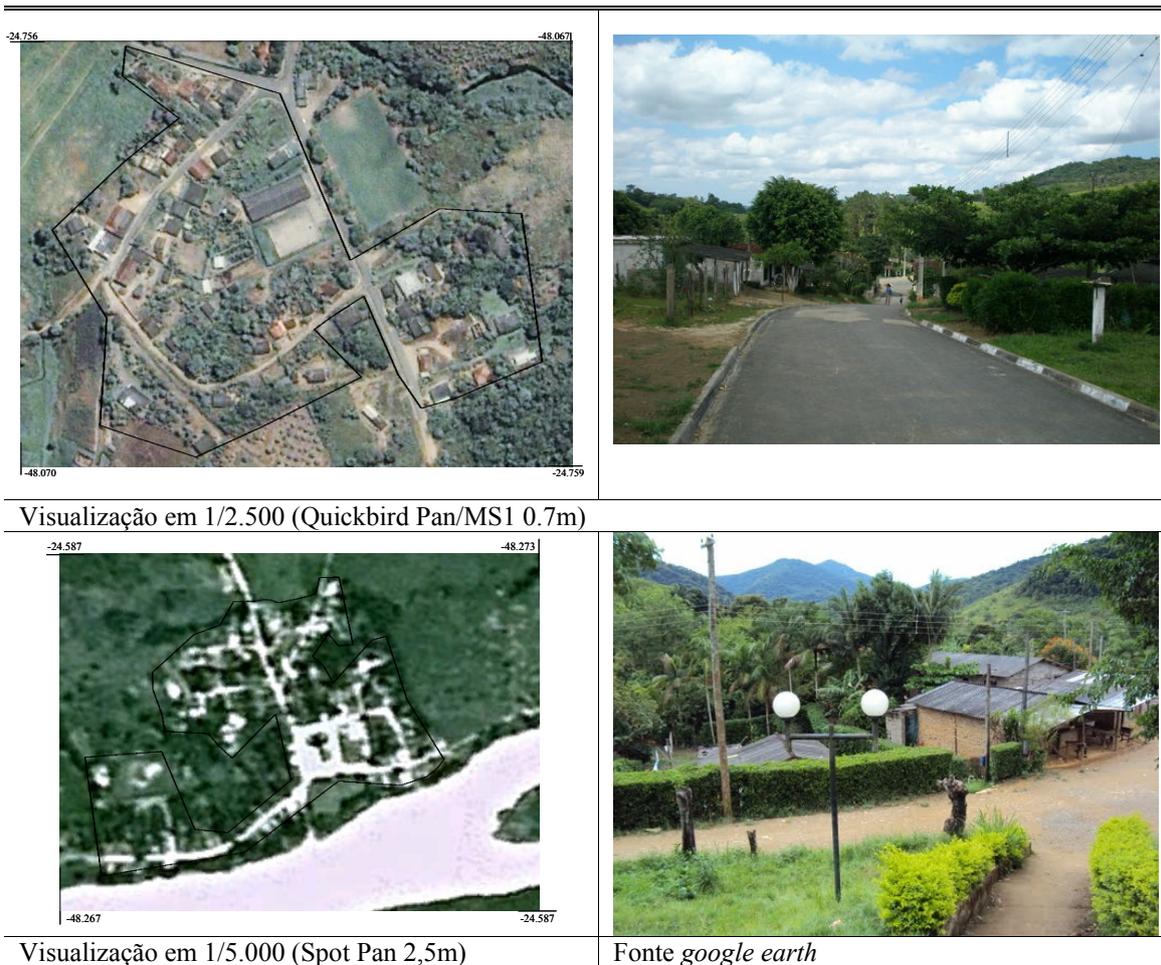


Figura 28: Exemplo da visualização das vilas rurais pelas imagens do *Google Earth* e fotografias correspondentes.

Foram interpretados e vetorizados 11.263 pontos identificados como construções rurais (Tabela 14), o resultado do refinamento da posição geográfica e distribuição da população rural no espaço é mostrado no Mapa 9.

Tabela 14: Resultado do georeferenciamento das construções rurais por interpretação visual.

Município	Nº de Construções Interpretadas	Imagem(s) Base
Barra do turvo	668	Spot
Cajati	1121	Quikbird; Spot
Cananéia	261	Quikbird; Spot
Eldorado	1227	Spot
Iguape	881	Quikbird; Spot
Jacupiranga	1254	Quikbird; Spot
Juquiá	761	Quikbird; Spot
Miracatu	1804	Quikbird
Pariquera-açu	834	Quikbird
Registro	1237	Quikbird; Spot
Sete Barras	1215	Quikbird
Total	11263	

5.1.7.2 Serviços de Saúde

O CNES disponibiliza dados de localização dos postos de saúde de todos os municípios do Brasil. A consulta por endereçamento dos estabelecimentos permite acessar além de dados de localização outros que dizem respeito aos tipos de estabelecimentos como: consultórios, clínicas, postos de atendimento básico, hospitais, entre outros. Além disso, é possível o acesso à ficha cadastral de cada estabelecimento, que especifica os profissionais, equipamentos, atendimento, instalações e os serviços especializados disponíveis.

O mapeamento feito aqui se desenvolveu com base na descrição dos serviços de saúde pelo tipo de gestão (público e filantrópico) e nível hierárquico (Tabela 15).

As hierarquias são referências básicas que indicam a aptidão das unidades de atendimento para a prestação de serviços, correspondem aos níveis de complexidade desses atendimentos; onde o nível mais simples é chamado *primário* e é oferecido diretamente à comunidade pelo poder municipal. Cada serviço de saúde tem uma área de abrangência e cobre as necessidades de saúde de uma parcela da população. Os serviços de maior complexidade são menos numerosos e sua área de abrangência é mais extensa.

Na regional em estudo o município de Registro é o centro de referência, pois está em uma posição geográfica favorável e tem uma importância econômica e urbana de destaque, polarizando também os serviços de saúde. Outros municípios que disponibilizam serviços de maior complexidade são Pariquera-Açu e Juquiá, os demais realizam ações referentes aos níveis de média complexidade (Tabela 15)

Tabela 15: Hierarquia dos Níveis de complexidade dos serviços de saúde

Hierarquia	Complexidade	Descrição	Municípios da Regional (nº de unidades Públicas ou Filantrópicas)
1	Baixa	Estabelecimento de Saúde ambulatorial que realiza somente Procedimentos de Atenção Básica (PAB) e ou Procedimentos de Atenção Básica Ampliada definidos pela NOAS ⁴⁶	Registro (14); Barra do Turvo (4); Cajati (4); Cananéia (4); Eldorado (2); Iguape (4); Jacupiranga (5); Juquia (4); Miracatu (4); Pariquera-Açu (4); Sete Barras (3)
2	Média	Estabelecimento de Saúde ambulatorial que realiza procedimentos de Média Complexidade definidos pela NOAS como de 1º nível de referência	Cajati (1); Cananéia (1); Eldorado (1); Iguape (1); Ilha Comprida (1); Jacupiranga (1); Juquiá (2)
3	Média	Estabelecimento de Saúde ambulatorial que realiza procedimentos de Média Complexidade definidos pela NOAS como de 2º nível de referência	Cananéia (1); Ilha Comprida (4); Juquiá (1); Miracatu (2); Pariquera-Açu (2); Sete Barras (2)
4	Alta	Estabelecimento de Saúde ambulatorial capacitado a realizar procedimentos de Alta Complexidade definidos pelo Ministério da Saúde	Juquiá (1)
5	Baixa	Estabelecimento de Saúde que realiza além dos procedimentos previstos nos de níveis de hierarquia 01 e 02, efetua primeiro atendimento hospitalar, em pediatria e clínica médica, partos e outros procedimentos hospitalares de menor complexidade em clínica médica, cirúrgica, pediatria e ginecologia/obstetrícia	---
6	Média	Estabelecimento de Saúde que realiza procedimentos previstos nos de níveis de hierarquia 02 e 03, além de procedimentos hospitalares de média complexidade. Por definição enquadram-se nesse nível os hospitais especializados	Cajati (1); Eldorado (1); Iguape (1); Jacupiranga (1); Juquiá (1); Miracatu (1)
7	Média	Estabelecimento de Saúde que realiza procedimentos hospitalares de média complexidade. Realiza procedimentos previstos nos estabelecimentos de níveis de hierarquia 02 e 03, abrangendo serviço ambulatorial de alta complexidade.	---
8	Alta	Estabelecimento de Saúde que realiza procedimentos de alta complexidade no âmbito hospitalar e ou ambulatorial	Registro (2); Pariquera-Açu (1)

Neste trabalho foram registrados pontos referentes aos postos de saúde e hospitais públicos ou filantrópicos, que realizam atendimento à população da Microrregião (Tabela 16). Dentre esses estabelecimentos estão as Unidades Básicas de Saúde (UBS), Hospitais Municipais, Santas Casas, Postos de Saúde da Família.

⁴⁶ Norma Operacional da Assistência à Saúde.

O método utilizado consistiu na realização de georeferenciamento indireto, onde se adotou um procedimento simples, porém bastante eficiente. Tal procedimento pode ser descrito em quatro passos:

(i) consulta ao endereço postal da entidade de interesse na base do CNES;

(ii) localização do endereço em um sítio eletrônico da *Internet* que disponha de um serviço de pesquisa e visualização de mapas com georeferenciamento postal;

(iii) anotação das coordenadas geográficas indicadas no sítio eletrônico⁴⁷

(iv) transferência das coordenadas para a base do SIG fazendo ajustes quando necessário.

O georeferenciamento pode ser feito pela consulta das coordenadas geográficas fazendo sempre a comparação entre o sítio eletrônico consultado e uma base de dados nos SIG. É importante destacar que em alguns casos esse método apenas aproxima a localização dos pontos de interesse devido a possíveis erros de geocodificação. Uma maior precisão exigiria a visita ao local e a tomada de pontos por GPS ou, em se dispondo de fotografias aéreas ou imagens de satélite de alta precisão, poder-se-ia ainda refinar a localização do ponto pela interpretação visual, mas mesmo esse procedimento pode requerer o conhecimento prévio dos objetos.

Tabela 16: Número de unidades mapeadas na pesquisa

MUNICÍPIOS da Microrregião	Postos de Saúde	Hospitais (público ou filantrópico)
Barra do Turvo	4	0
Cajati	5	1
Cananéia	5	1
Eldorado	3	1
Iguape	5	1
Ilha Comprida	4	1
Jacupiranga	5	1
Juquia	8	1
Miracatu	6	1
Pariquera-Açu	5	1
Registro	14	2
Sete Barras	3	2

No caso da abrangência espacial da presente investigação, os procedimentos de georeferenciamento aqui tratados, tanto das unidades rurais quanto dos estabelecimentos

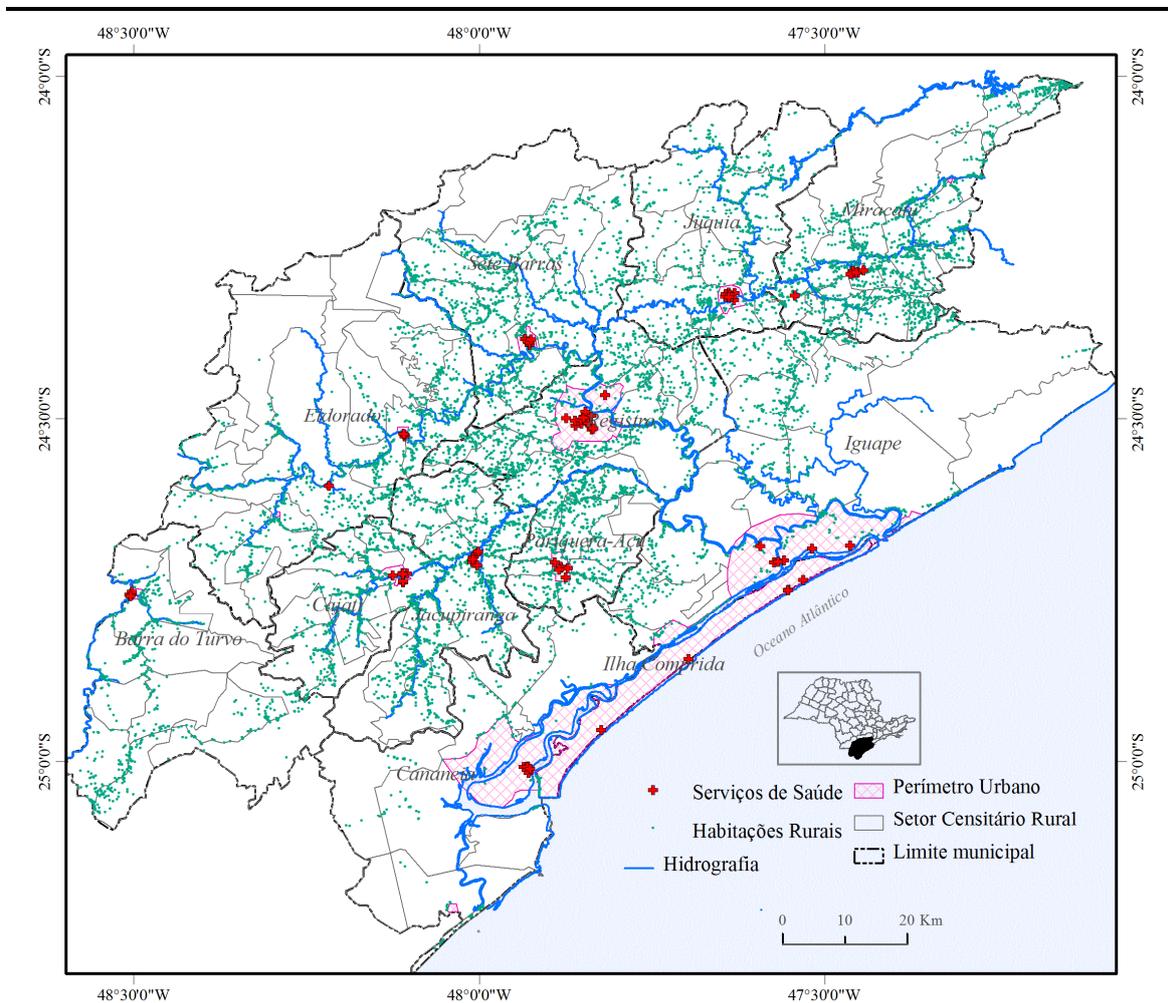
⁴⁷ No caso do *Google Earth* é possível vetorizar o ponto no próprio sistema e fazer a exportação do arquivo em extensão *kml* (ver seção 5.1.1).

de saúde são suficientes, pois mesmo na possibilidade de erro da ordem de algumas dezenas de metros a medida de acessibilidade pelo tempo de viagem não estará comprometida.

Os procedimentos aqui descritos são úteis por sua praticidade. Existem alguns sítios eletrônicos na *Internet* que possibilitam o endereçamento postal de maneira prática, a título de exemplificação pode-se citar dois serviços que atendem esse processo:

Geoportal (<http://www.geoportal.com.br/>);

Google Earth (<http://earth.google.com/intl/pt-BR/>).



Mapa 9: Representação dos pontos de identificados como construções rurais e postos de atendimento à saúde georeferenciados (Microrregião de Registro/SP)

5.2 Combinação de mapas e tratamento de dados

5.2.1 Especialização da rede: combinação de mapas e atualização da tabela de atributos relacional

O modelo aqui adotado faz uso de tecnologias GIS que se desenvolvem conceitualmente de maneira muito próxima da cartografia temática clássica, com camadas de mapas separados. Para que haja a combinação e integração das informações presentes em cada mapa adota-se princípios da cartografia de síntese. A seguir descreve-se como as informações espaciais foram integradas numa única camada que corresponde a rede vetorial.

Nos SIG os dados e informações que descrevem atributos associados aos vetores da rede se encontram na tabela relacional. Cada entidade vetorial (arco) individualizada por nós possui descrições em um registro (linha) da tabela a ela associada, e os campos (colunas) da tabela são os mesmos para cada registro. Assim, para que as variáveis quantitativas, qualitativas e nominais associadas a um arco sejam “lidas” pela rede, as mesmas devem estar descritas na tabela de atributos da rede.

Os temas descritos nos mapas temáticos (declividade, uso da terra e cobertura vegetal, perímetro urbano/rural) precisam ser associados à rede vetorial e para que isso ocorra é necessário combiná-los com a rede. A maneira de se fazer isso é pelo uso de recursos de *cruzamento* de mapas (ou *overlay*) disponibilizados pelos SIG. Esta adoção tem como resultado o fracionamento dos arcos (vetores) da rede quando os limites que individualizam uma classe temática não coincidem com os nós de intersecção dos arcos. Essa medida amplia o número de registros na tabela de atributos, pois ao “quebrar” os arcos nos limites de interesse para a inclusão de um novo registro na tabela de atributos, estão sendo gerados novos arcos de menor comprimento e, conseqüentemente, novos registros na tabela. Esse é o procedimento adotado aqui para associar à rede os dados presentes em outras camadas e, posteriormente, fazer análises espaciais com base nos atributos e geometria da rede⁴⁸.

Antes de se iniciar as combinações, algumas medidas foram adotadas no sentido de minimizar os fracionamentos dos arcos e a redundância de dados, como: a concatenação de linhas com iguais atributos e a simplificação das classes temáticas dos mapas de declividade e uso da terra e cobertura vegetal.

⁴⁸ Existem proposições que analisam as informações espaciais a partir de modelagens dinâmicas, mas esse encaminhamento não será feito na presente pesquisa.

Os softwares utilizados para a execução desses procedimentos foram⁴⁹:

- SPRING 4.2 (Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas);
- gvSIG 1.10 (*Generalitat Valenciana de Sistemas de Informaçã Geográfica*);
- QGIS (*Quantum Geographic Information System*) versão 1.6.0
- Terraview 3.x. É um SIG desenvolvido pela Divisão de Processamento de Imagens (DPI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE.
- ILWIS (*Integrated Land and Water Information System*) versão 3.4 open.

As séries de manipulações, combinações e consultas espaciais adotadas para a atualização dos atributos associados à rede se deram em torno de três alcances principais: classificação da rede pela declividade, classificação da rede pela sinuosidade, e classificação da rede pela visibilidade.

5.2.1.1 A Classificação da rede pela Declividade.

As classes de declividade adotadas no mapa temático seguiram as orientações descritas na *seção 5.1.4*. Primeiramente foram simplificadas das classes temáticas em três faixas, agrupando as principais variações de superfícies por onde passam as vias de circulação. Os eixos se desenvolvem em superfícies planas com declividades na paisagem que variam de 0 a 7.5%; em superfícies mais variadas, com declividade entre 7.5 e 13%, onde são percebidas variações na sinuosidade da pista e; em superfícies com declividades da paisagem acima de 13%, que são predominantes no interior do continente, seguindo-se em direção a borda da Serra do Mar, apresentando terreno mais irregular. Com base nessas identificações, as declividades foram reclassificadas em três novos níveis qualitativos: *Declividade Baixa, Média e Alta* e combinadas com os arcos vetoriais das rodovias Locais, pois como fora explicitado na *seção 5.1.2*, a interferência das declividades se aplica a essa classe de rodovia.

A rotina desta atividade se fez da seguinte forma:

(i) Reclassificação do mapa de declividades em três níveis hierárquicos:

- Declividade Baixa (de 0 a 7.5%)

⁴⁹ Todos esses sistemas são de uso livre.

- Declividade Média (de 7.5 a 13%)
- Declividade Alta (acima de 13%)

(ii) Seleção somente dos arcos da classe de rodovias *Locais*

(iii) Combinação dos arcos selecionados com o mapa de declividades reclassificado, usando-se para isso da aplicação do recurso *unir*, disponível no pacote de análises vetoriais, *ferramentas de geoprocessamento* do *software* QGIS, que combina duas camadas, no caso, a camada das declividades transformada em polígonos com as linhas da rede, e atribui os dados da primeira à segunda e expondo-a em linhas. (Figura 29)

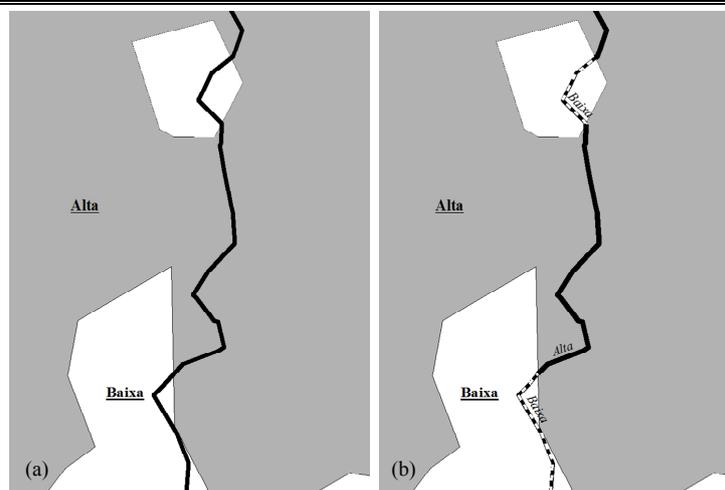


Figura 29: Exemplo da combinação de duas camadas de implantação gráfica diferentes – polígonos e linhas. (a) polígonos com classe de declividade e linha ainda sem o atributo da declividade; (b) após a aplicação do recurso *unir vetores* a saída apresenta as linhas com o atributo da declividade, com os arcos rompidos e classificados nas regiões de interesse. Visualização em escala 1/2.000

5.2.1.2 A Classificação da rede pela Sinuosidade

Partindo da proposição de um índice, a sinuosidade dos arcos da rede foi calculada e fatiada em três classes: *Sinuosidade Baixa*, *Sinuosidade Média* e *Sinuosidade Alta*.

A medida da sinuosidade se fez pela razão entre a medida dos comprimentos dos arcos originais da rede e a medida dos mesmos arcos com seus comprimentos simplificados por um limiar previamente definido.

Esse procedimento se deu nas seguintes etapas:

(i) Cálculo do comprimento dos arcos. Esse cálculo pode ser feito automaticamente no *software* SPRING, no uso da opção *edição vetorial* e ferramenta “*atualização de áreas e perímetro*”. Uma coluna com os perímetros dos arcos em metros é criada por *default* na tabela de atributos da rede.

(ii) Ampliação do número de pontos por segmento. Esse procedimento visa obter maior eficiência na aplicação dos limiares de simplificação de segmentos dos arcos (próximo passo). Aqui adotou-se o limiar de distância de 100 metros entre pontos. Esse resultado é possível pelo uso do recurso *densify segment coordinates* disponível no *software* ILWIS 3.4open, através do qual se obtém mais pontos intermediários entre os nós dos arcos.

(iii) Simplificação das linhas da rede pela aplicação do recurso *tunneling*, o qual faz o processo inverso ao item *b*, reduz o número de pontos intermediários dos arcos vetoriais. O algoritmo reduz o ponto intermediário para cada 3 pontos consecutivos que irá atender a um limiar *tunneling* em metros definido pelo usuário. No caso adotou-se diferentes limiares segundo a classe de rodovias: Arteriais 200 metros; Coletoras 150 metros e locais 100 metros.

(iv) Recálculo do comprimento do arco *tunneling* (como no item i)

(v) Divisão dos comprimentos *tunneling* pelo comprimento original do arco, ou seja, a razão entre a coluna da tabela que contém os comprimentos *tunneling* e a coluna que contém os comprimentos originais. O quociente retorna valores entre 0 e 1, quanto mais distante de 1, mais sinuoso é o arco. Valores igual ou muito próximos de 1 indicam nenhuma sinuosidade. (Figura 30).

$$IS = Ct^* / Co$$

onde,

IS é o índice de sinuosidade

*Ct** é o comprimento do arco após a aplicação da ferramenta *tunneling* definida por um limiar (*)

Co é o comprimento original do arco

(vi) Verificação dos resultados e identificação de limites de corte para o fatiamento de Classes de Sinuosidade. A classificação foi qualificada em *nula*, *baixa*, *média e alta sinuosidade*, com base nas faixas de corte indicadas na Tabela 17.

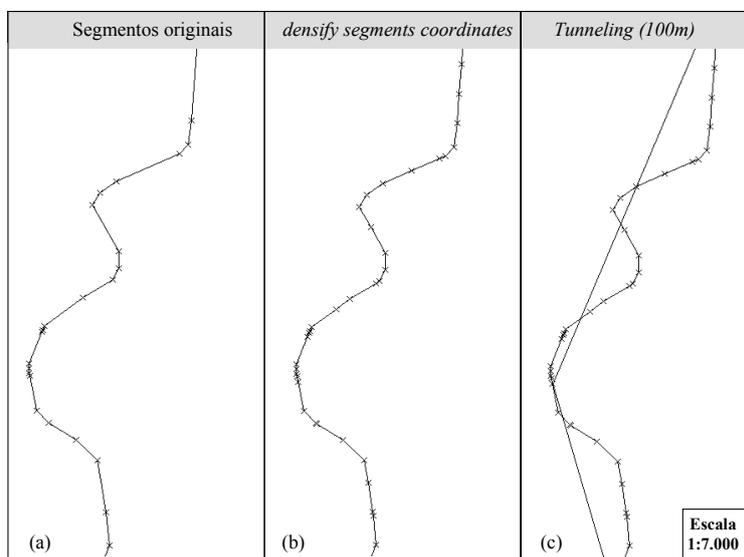


Figura 30: Exemplo de aplicação *Tunneling* para o cálculo do índice de sinuosidade (*IS*). (a) Comprimento original (C_o) 1.718,093m. (b) resultado da aplicação *densify coordinates*; (c) Comprimento *tunneling* (C_t) 1.487,31m. Resultado: $IS=0.8656$ (*alta sinuosidade*).

Tabela 17: Valores de corte do índice de sinuosidade das rodovias rurais da Microrregião de Registro (SP)

Classe	Índice de Sinuosidade	
	Mínimo	Máximo
Nula	0.993581	1
Baixa	0.950148	0.993539
Média	0.890034	0.949909
Alta	0.430419	0.889933

Os cortes foram definidos a partir da comparação entre as formas dos arcos e valores do índice. Os arcos verificados em campo serviram como um parâmetro de observação. Todavia, cumpre destacar que esta metodologia requer ainda maiores aprofundamentos para a definição de limites de corte mais adequados.

5.2.1.3 A Classificação da Rede pela Visibilidade.

As classes de visibilidade se aplicam apenas às rodovias Coletoras e Locais. Esse atributo se baseia no princípio de que em rodovias de alta e média sinuosidade que atravessam superfícies com predomínio de floresta densa, a visibilidade na pista é prejudicada (ver seção 5.1.5). Assim a combinação entre classe de sinuosidade “alta” e

“média” com cobertura vegetal de “Floresta Densa” permite identificar e classificar trechos da rede prejudicados pela visibilidade.

O procedimento se fez nos seguintes passos:

(i) Seleção de arcos classificados como *alta e média sinuosidade* pelo uso do recurso de consulta aos atributos da tabela (*query*, consulta por atributos).

(ii) Aplicação de *buffer* de 30 metros a partir dos arcos da classe Coletora e de 20 metros a partir da Classe Local; (Figura 31a)

(iii) Intersecção dos polígonos do *buffer* com o mapa “Floresta Densa”. (Figura 31b)

(iv) Nova aplicação de *buffer*, agora partindo do resultado da intersecção para que seja possível capturar os arcos a serem classificados por meio de consulta espacial ou cruzamento de camadas. (Figura 31c)

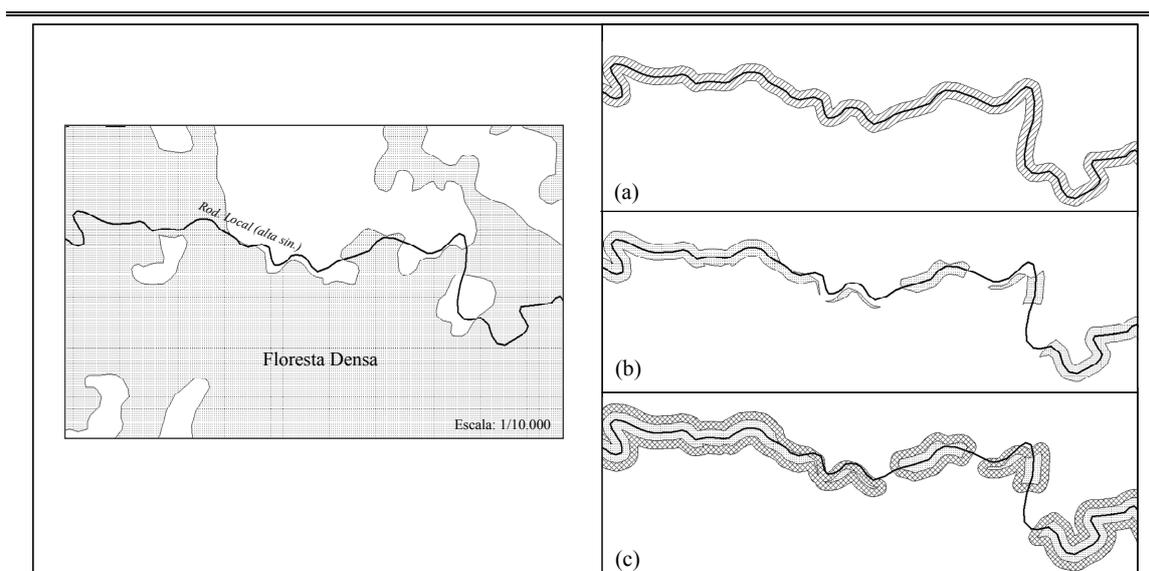


Figura 31: Exemplo do processo adotado para atribuir classes de visibilidade nos arcos da rede. (a) *buffer* de 30 metros a partir da rodovia Local; (b) Resultado da intersecção entre o *buffer* e camada *floresta densa*; (c) *buffer* de 30 metros a partir das intersecções para capturar os trechos onde a rede e o polígono gerado se tocam.

Os procedimentos descritos até aqui permitiram a especialização da tabela de atributos da rede em SIG. A tabela relacional da rede vetorial contém, então, dados para a realização da síntese. Os atributos associados à rede são da ordem de sete (7) categorias, cada uma com respectivas classes nominais, ordenadas, qualitativas ou quantitativas correspondentes, como mostrado na Tabela 18.

Tabela 18: Atributos e classes de atributos descritos na tabela relacional da rede

CATEGORIAS (atributos)	DOMÍNIOS	CLASSES DE ATRIBUTOS
Sistema	Arterial	Principal
		Primário
		Secundário
	Coletor	Primário
		Secundário
Local	Local	
Flutuante	Flutuante	
Revestimento	Pavimentado	asfáltico
	Não-pavimentado	Revestimento Primário
		Natural Composto
		Natural
<i>Água</i> ⁵⁰	<i>Água</i> ⁵¹	
Velocidade	Classe 0, I	110km
		100km
	Classe II, III	80km
		70km
		60km
	Classe IV	50km
		40km
		30km
18km		
Perimetro	Rural	
	Urbano	
Declividade	Baixa	0 a 5%
		5 a 7.5%
	Média	7.5 a 10%
		10 a 13%
	Alta	13 a 30%
		30 a 47%
	acima de 47%	
Sinuosidade	Nula	0.993581 ~ 1
	Baixa	0.950148 ~ 0.993539
	Média	0.890034 ~ 0.949909
	Alta	0.430419 ~ 0.889933
Visibilidade		Alta
		Média
		Baixa

⁵⁰ Esta categoria pertence a outra modalidade de transporte, o fluvial, no entanto foi inserida aqui apenas para descrever três segmentos que referem ao trajeto das travessias de balsas da região.

⁵¹ Idem nota 39.

5.3 Impedâncias de viagem em rodovias rurais

Tomando a rede viária como a única estrutura carroçável para o movimento das populações rurais no espaço, as condições das rodovias são quesitos fundamentais para a avaliação da acessibilidade e geração de condições de mobilidade.

A definição das impedâncias de viagem deve então ter como ponto de partida a observação da malha viária. As classes de rodovias rurais atendem, ou devem atender às necessidades físicas para o movimento de pessoas e mercadorias no espaço. Como os distintos espaços geográficos possuem diferentes vocações, que podem ser identificadas pelo seu uso e cobertura, ocupação, atividade econômica e importância cultural, a estrutura das rodovias tende a refletir essa diferença.

É partindo das descrições das categorias de atributos que definem a rede rodoviária rural que se inicia o processo de seleção e associação dos critérios de composição da rede de impedâncias. A Figura 32 oferece uma visualização simplificada de como as principais categorias consideradas se relacionam e podem se associar no contexto da rede.

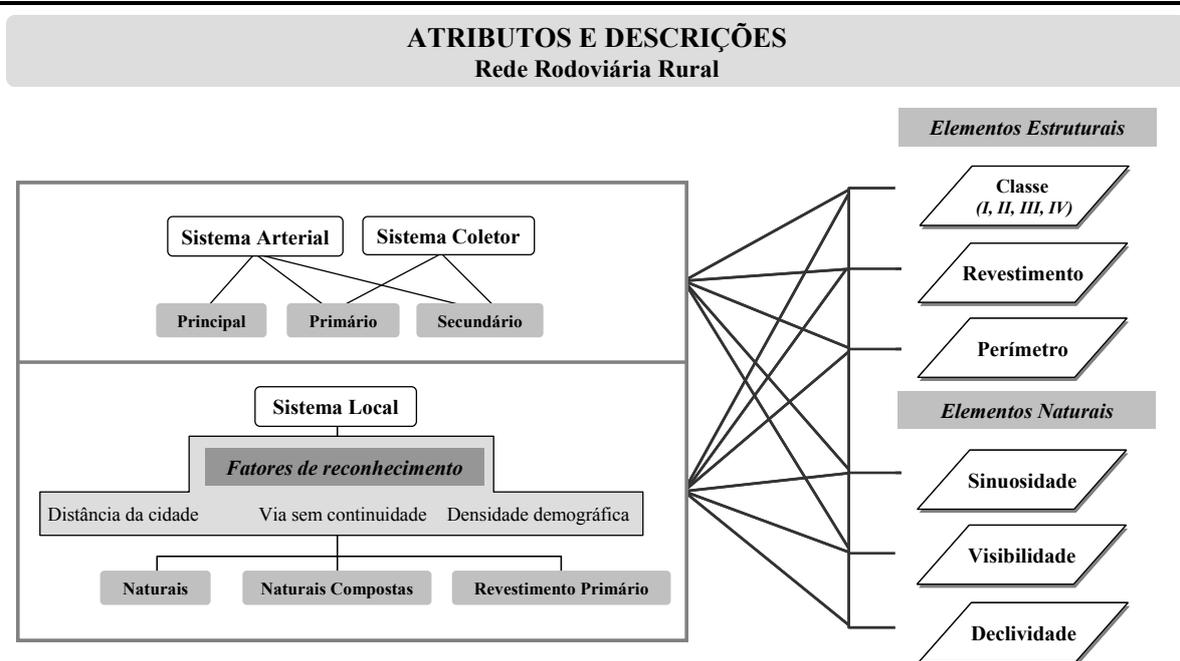


Figura 32: Esquema conceitual das relações entre atributos e descrições da rede rodoviária rural. Apoio a determinação de impedâncias.

Neste momento convém retomar alguns pontos iniciais da pesquisa de modo a ter bem claro qual o encaminhamento necessário a se dar no processo de composição da

síntese de impedâncias. O desenvolvimento dessa etapa depende da aplicação que aqui se propõe, dessa forma, convém reiterar algumas colocações no sentido de trazer para mais próximo dessa etapa as motivações iniciais do trabalho.

Refazendo o Problema:

Considerando que a rede de rodovias rurais é a estrutura utilizada pela população para o acesso geográfico aos serviços de saúde, pergunta-se: como ela está organizada? Quais são as condições de viagem sobre ela? Existem elementos que funcionam como fatores de impedância? Em caso afirmativo, quais são e como se distribuem na rede? Que importância cada um tem no sentido de restringir o tempo de viagem e consequentemente afetarem a acessibilidade geográfica destas populações?

Constatações:

Em se pensando na acessibilidade pelo tempo de viagem, os critérios: *distância do alvo* e *velocidade diretriz* são fundamentais. No entanto, a relação entre comprimento dos arcos da rede e a especificação das velocidades máximas inferidas pela classe da rodovia, não dão respostas suficientes para se prever o tempo de viagem das populações rurais aos serviços de saúde.

Classificando-se a rede por *função* e *projeto*⁵², pode-se constatar fatores de eficiência das rodovias. Cada classe de rodovia está sujeita em maior ou menor medida a fatores de impedância de viagem que influem de forma heterogênea nos perímetros das distintas classes de rodovias. Assim, a associação das classes de rodovias com diferentes atributos espaciais permite uma melhor compreensão das condições de viagem.

Observações

(i) A otimização da viagem das populações rurais é um aspecto importante na melhoria da acessibilidade à saúde e pode ser avaliada pelo tempo de traslado. Isso tem relação com a capacidade de rolamento nas rodovias rurais⁵³, que por sua vez depende das impedâncias de viagem.

(ii) As impedâncias funcionam como fricção à velocidade. Como cada classe funcional de rodovia define velocidades mínimas e máximas seguras, a fricção

⁵² A *função* dá indicações de mobilidade e integração; o *projeto* oferece indícios de ordem técnica da classe de rodovia.

⁵³ Considerando-se o modo automotor.

(impedância) se impõe à possibilidade de se desenvolver a melhor velocidade na rede (velocidade máxima).

(iii) Existem fatores que agem como impedâncias de viagem nas pistas das rodovias rurais. Estas impedâncias são condições impostas normativamente⁵⁴ ou são decorrentes de um contexto geográfico.

(iv) As impedâncias podem ou não estar associadas a uma classe de rodovia e, ainda que estejam, pode ou não se manifestar nos distintos arcos da classe (Tabela 19).

(v) É possível haver um grande número de impedâncias, mas a maioria não pode ser inferida com facilidade. Porém, com o uso de dados e informações espaciais referentes à forma e características da rede, o relevo, a situação geográfica e o uso da terra e cobertura vegetal, é possível organizar um banco de dados geográficos e fazer análises espaciais de modo a identificar, selecionar e atribuir fatores de impedância às rodovias rurais e assim conseguir uma aproximação do tempo de viagem sobre as mesmas.

(vi) A melhor mobilidade é aquela em que é possível viajar na maior velocidade segura (velocidade máxima) por mais tempo. A pior mobilidade é aquela onde se viaja na velocidade mínima por mais tempo.

(vii) Existe uma proporcionalidade na relação entre velocidade mínima e velocidade máxima que depende da classe funcional da rodovia. As impedâncias identificadas, descritas e quantificadas a partir das classes de atributos associadas às rodovias poderão agir sobre a velocidade máxima (melhor mobilidade) podendo restringi-la até o limite da velocidade mínima (pior mobilidade).

(viii) Assim, a soma das impedâncias identificadas para um dado segmento rodoviário oferece uma medida de mobilidade geográfica. Se aplicada à velocidade diretriz especificada para o arco, pode-se obter uma aproximação da restrição para se praticar esta velocidade e assim definir um novo valor, que é a *velocidade com impedância*.

(ix) Pelo comprimento dos arcos e as velocidades ponderadas pelas impedâncias é possível calcular o tempo de viagem em cada segmento e obter o tempo de viagem entre diferentes localidades, somando-se os tempos dos arcos que separam estas localidades.

⁵⁴ Normas definidas pela legislação, no caso, o Código Brasileiro de Trânsito. Como por exemplo, a obrigatoriedade de redução da velocidade em perímetro urbano, uso de retornos para as conversões, desaceleração nas curvas acentuadas, entre outros.

(x) O SIG é o ambiente de processamento de dados geográficos e o instrumento provedor de recursos de análises espaciais e representações gráficas, através dos quais é possível desenvolver uma proposição metodológica e aplicá-la ao estudo desses aspectos da mobilidade/acessibilidade geográfica.

5.3.1 Procedimentos para a determinação das Impedâncias

As categorias aqui selecionadas para compor as impedâncias de viagem em rodovias rurais são 6 (seis): *revestimento, sentido da rodovia, perímetro* (urbano/rural), *declividade, sinuosidade e visibilidade*. Cada uma destas categorias possui descrições que se fazem por classes ou valores. Estas descrições podem ou não estar associadas a um tipo de rodovia e, ainda que uma associação seja verificada, isso não significa que haja um fator de fricção em processo. Um atributo pode funcionar como impedância para uma classe de rodovia e não para outra e seu ingresso no sistema pode se dar de forma direta, pela aplicação de um valor numérico conhecido ou a partir de um processo de julgamento⁵⁵. Na Tabela 19 são mostradas as associações entre os atributos e as classes de rodovias, refazendo as relações descritas na tabela de atributos da rede. Em destaque estão os atributos modelados como impedâncias na rede SIG e como foram considerados.

⁵⁵ Foi utilizada a metodologia AHP para a atribuição de pesos de impedância.

Tabela 19: associações entre classe de rodovia e classes de atributos; (implicações e definições de impedância)

CLASSE DE RODOVIA	Revestimento					Balsa	Direção	Perímetro		Declividade							Sinuosidade			Visibilidade		TOTAL De IMPEDÂNCIAS	
	Asfáltico	Primário	Natural Composto	Natural	Aquática			Tempo de espera	Sentido	Rural	Urbano	BAIXA	MÉDIA	ALTA					Baixa	Média	Alta		Baixa
										0 a 5%	5 a 7.5%	7.5 a 10%	10 a 13%	13 a 30%	30 a 47%	acima de 47%							
Arterial Principal	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	16
Arterial Primário	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	16
Arterial Secundário	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15
Coletor Primário	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	16
Coletor Secundário	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	16
Local	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	17
Flutuante	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2

(1) há associação; (0) não há associação

<i>legenda</i>	1	<i>atributo de impedância direta</i> (a impedância é dada pela atribuição direta de um valor conhecido)
	1	<i>atributo de impedância inferida</i> (o valor da impedância parte de um processo de julgamento)
	1	há associação, mas não implica em impedância

As associações em destaque na Tabela 19 indicam dois grupos de atributos para atribuição das impedâncias no sistema.

(i) *atributos de impedância direta*. Nesse caso enquadram-se o *perímetro urbano*, que se refere às porções do caminho onde se deve praticar uma velocidade mais baixa por razões de segurança; o *sentido* da rodovia, diretamente associada à direção do arco; e o *tempo de espera* que se aplica ao modo flutuante e define a média de 20 minutos de espera entre uma travessia e outra. Para cada um desses atributos é possível associar valores, normaliza-los e modelá-los na rede.

(ii) *atributos de impedância inferida*. Esse segundo grupo de atributos não está associado a valores ou restrições medidas de impedância, mas concorrem isoladamente ou em conjunto para restringir a mobilidade no espaço. Esses fatores são: a declividade, a sinuosidade, a visibilidade e a qualidade do revestimento.

5.3.1.1 Composição numérica das Impedâncias

Para a composição numérica das impedâncias, primeiramente, os atributos considerados são separados entre o grupo das *impedâncias diretas* e o grupo das *impedâncias inferidas*.

No primeiro grupo as relações já conhecidas para a atribuição direta de valor de impedância são calculadas e normalizadas de modo a representarem a fricção da velocidade.

Nesse segundo caso a entrada de valores no sistema é feita pelo procedimento AHP. Os atributos com descrições nominais e qualitativas, passam por um processo de julgamento sobre sua importância no sistema de forma a compor valores referentes às impedâncias, nestas categorias entram os revestimentos *não-pavimentados*, a *declividade*, *sinuosidade* e *visibilidade*. A Tabela 20 mostra estas relações.

Tabela 20: Atributos de Impedância nas Classes de Rodovias e no Transporte Fluvial

Classe de Rodovia	Atributos	Classe de Atributo	Modo de atribuição da Impedância na Rede
(1) ARTERIAIS	Sentido	mão única	Diretamente pela topologia da rede
	Perímetro	Urbano	direta no campo velocidade (-20%)
(2) COLETORAS	Revestimento	Asfáltico	Inferida por AHP
		Nat. Composto	Inferida por AHP
	Perímetro	Urbano	Aplicação direta no campo velocidade (-20%)
	Sinuosidade	Baixa	Inferida por AHP
		Média	Inferida por AHP
		Alta	Inferida por AHP
	Visibilidade	Média	Inferida por AHP
Alta		Inferida por AHP	
(3) LOCAIS	Revestimento	Primário	Inferida por AHP
		Nat. Composto	Inferida por AHP
		Natural	Inferida por AHP
	Declividade Média (7)	Baixa	Inferida por AHP
		Média	Inferida por AHP
		Alta	Inferida por AHP
	Sinuosidade Alta (10)	Baixa	Inferida por AHP
		Média	Inferida por AHP
		Alta	Inferida por AHP
	Visibilidade Baixa (9)	Média	Inferida por AHP
Baixa		Inferida por AHP	
Transporte Fluvial			
FLUTUANTE	Tempo de Espera	---	aplica-se 20min. a mais na relação 18km/h

5.3.1.2 Aplicação do procedimento AHP para a determinação de impedâncias de viagem.

Com base nas verificações em campo e apoio da literatura, foi possível estabelecer uma hierarquia de importância entre esses elementos de *impedâncias inferidas* (Tabela 21). Nesse caso, como os diferentes fatores são de distintas naturezas e podem ou não agir de modo combinado para restringir o movimento na rede, a análise de seus

atributos se fez pela avaliação multicriterial e a decisão sobre peso relativo de impedância de cada um pelo método analítico hierárquico. Os valores das impedâncias agem sobre os limites das velocidades mínimas e máximas que são referenciais estabelecidos nas normas de transporte rodoviário rural.

Como pode ser visto na *seção 3.4.3*, a aplicação do procedimento AHP requer a consecução de rotinas bastante objetivas. Como as impedâncias agem de maneira distinta para as classes de rodovias, são necessárias duas aplicações do procedimento: uma para atribuir valores à *Classe de Rodovias Coletoras* e uma segunda à *Classe de Rodovias Locais*. A seguir descreve-se esse procedimento.

(i) Primeiramente faz-se a hierarquização das classes de atributos que irão atender o problema, tendo em mente a seguinte questão problema: “qual classe de atributo implica em maior restrição para a obtenção da melhor velocidade por automóvel de passageiros na Rodovia Coletora/Local?” O resultado desse julgamento organizou os atributos na ordem crescente à importância (Tabela 21). Os resultados dos procedimentos de julgamento paritário, cálculo e normalização das matrizes e verificação do índice de consistência podem ser verificados no *Apêndice C*. As respostas a essa indagação se apoiaram na experiência adquirida no trabalho de campo, em referências de pesquisas (cf. ODA, 1995, p.70-84; cf. OLIVEIRA, 2005, p.12-33) e observações do Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (cf. DNER, 1999, p.11-28).

Tabela 21: Hierarquia de atributos e descrições explicativas

RODOVIAS COLETORAS		
ATRIBUTOS DE CLASSES	Hierarquia das Prioridades	Descrição
Revestimento Primário	1°	estrada de terra com reparos (poucos defeitos na pista)
Sinuosidade Alta	2°	muitas curvas na pista
Visibilidade Baixa	3°	Longos corredores de Floresta densa na margem da pista
Visibilidade Média	4°	Corredores curtos de Floresta densa na margem da pista
Sinuosidade Média	5°	algumas curvas na pista
Sinuosidade Baixa	6°	poucas curvas na pista
RODOVIAS LOCAIS		
ATRIBUTOS DE CLASSES	Hierarquia das Prioridades	Descrição
Revestimento Natural	1°	estrada de terra aberta naturalmente (sem ou com pouquíssimos reparos)
Declividade Alta	2°	paisagem com declividades acima de 13% ou >60.
Revestimento Composto	3°	estrada de terra com pouco reparo (cascalhos, alguns buraco e corrugações)
Sinuosidade Alta	4°	muitas curvas na pista
Declividade Média	5°	paisagem com declividades entre 7.5-13%
Visibilidade Baixa	6°	Longos corredores de Floresta densa na margem da pista
Sinuosidade Média	7°	algumas curvas na pista
Declividade Baixa	8°	paisagem com declividades entre 0-7.5% ou 0-3.5o.
Visibilidade Média	9°	Corredores curtos de Floresta densa na margem da pista
Sinuosidade Baixa	10°	poucas curvas na pista
Revestimento Primário	11°	estrada de terra com reparos (poucos defeitos na pista)

(ii) O segundo passo é a realização do julgamento comparativo que avalia as classes de atributos com base na organização hierárquica mostrada na Tabela 21. Esta avaliação tomou como referências a sintaxe apresentada no recurso “Suporte a decisão (AHP)” do *software* SPRING (Tabela 22). A implantação dessa ferramenta no SPRING respeita a proposição de Saaty (1980), onde se aplica uma escala com valores de 1 a 9 para fazer os julgamentos de critérios dois a dois. O processo de julgamento dos pares é fundamental nos procedimento AHP, pois as decisões aí tomadas refletem nos pesos relativos dos atributos. O resultado dessa etapa pode ser visto no *Apêndice C*.

Tabela 22: Modelo de sintaxe AHP apresentada no software SRING

SINTAXE	PESO
Igual	1
Um Pouco Melhor	2
Algo Melhor	3
Moderadamente Melhor	4
Melhor	5
Bem Melhor	6
Muito Melhor	7
Criticamente Melhor	8
Absolutamente Melhor	9

(iii) O penúltimo passo envolve a sequência de procedimentos de cálculos para a normalização dos pesos entre os pares e tomada da média do peso de cada atributo de entrada. Para isso seguiram-se as seguintes rotinas (*Apêndice C*):

- Organização da matriz com os valores diretos e inversos
- Normalização da matriz pela soma dos valores de cada coluna e a divisão de cada elemento pelo total da sua respectiva coluna.
- Cálculo da média dos elementos em cada linha da matriz normalizada e divisão da soma dos valores normalizados de cada linha pelo número de critérios considerados. No caso, foram 6 (seis) critérios para as rodovias Coletoras e 11 (onze) para as rodovias Locais.

(iv) O último passo é o cálculo do índice de consistência dos resultados, que é feito multiplicando a matriz normalizada pelo vetor coluna referente aos pesos finais de cada atributo de entrada. A soma do vetor resultante, dividido pelo número de atributos de entrada dá a média desse vetor (λ máx.). Se o resultado for igual ou muito próximo do número de atributos de entrada a consistência dos julgamentos é boa. Para a aplicação aqui encaminhada o resultado foi de 6.38 para as rodovias Coletoras e de 11.66 para as rodovias Locais. O índice de consistência é obtido pela aplicação da fórmula: $(\lambda \text{ máx.} - n)/(n - 1)$. Se os valores ficarem abaixo de 0.1 há consistência. Os resultados obtidos foram:

- Vias Coletoras: $(6.38-6)/(6-1) = 0.076$
- Vias Locais: $(11.6-11)/(11-1) = 0.060$

Os resultados das impedâncias de viagem estão mostrados na Figura 33 e 34.

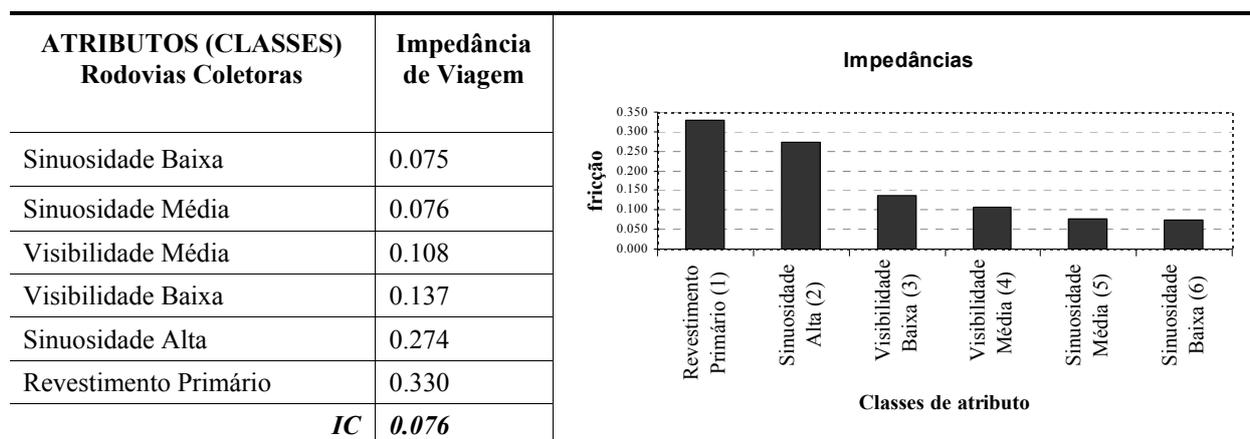


Figura 33: Impedâncias das classes de atributos das rodovias rurais Coletoras

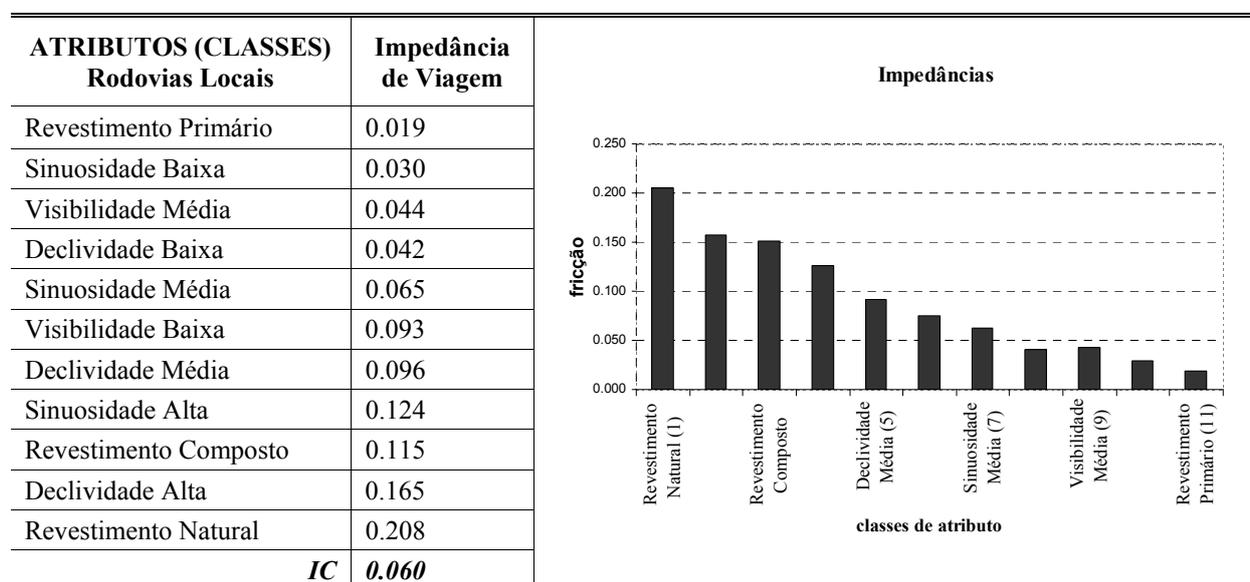


Figura 34: Impedâncias das classes de atributos das rodovias rurais Locais

Importa observar que embora este procedimento tenha se apoiado no trabalho de campo e em orientações observadas em bibliografia especializada, o processo de hierarquização dos atributos e julgamento paritário deve passar pela consulta a especialistas da área de transportes. Não foi possível realizar esta tarefa no decorrer da pesquisa, sendo assim, os pesos aqui definidos estão sujeitos a revisões. No entanto, estas observações não desqualificam os alcances do procedimento adotado para a aplicação dos pesos. Para os objetivos inicialmente delineados a proposição metodológica tem importância maior na pesquisa.

5.3.2 Aplicação das Impedâncias aos limites de velocidade

As faixas de velocidades mínimas e máximas de cada classe de Rodovia indicam os limites de ação da impedância e a melhor mobilidade é aquela que se viaja na maior velocidade segura possível - velocidade máxima -, a impedância dada por uma composição numérica agirá sobre essa velocidade podendo reduzi-la ao limite da velocidade mínima. Assim, o campo de ação da impedância no sistema aqui idealizado, vai depender da classe de rodovia e será aplicada a uma *faixa de redução de velocidade (FRV)*, que se define na proporção dada pela razão entre o resultado da diferença entre a *velocidade máxima (Vmax)* e *velocidade mínima (Vmin)* e a *velocidade máxima* de cada classe de rodovia.

$$FRV = (Vmax - Vmin) / Vmax$$

Na Tabela 23 mostra-se a síntese das impedâncias consideradas na pesquisa com a indicação do campo que exemplifica a mudança de velocidade quando aplicada individualmente cada uma das impedâncias⁵⁶. Na Figura 35 tem-se a visualização dessas relações e, lendo o gráfico no sentido horário, cada raio mostra o resultado individual de uma impedância no contexto da *FRV*. Nesse exemplo, se um veículo passar de uma rodovia “Local” com revestimento “natural” para uma “Coletora” com revestimento “asfáltico”, sua velocidade pode ser ampliada em 35%; e se um veículo passa de uma rodovia “Arterial” para o transporte “Flutuante”, poderá haver uma redução em até 85%.

Na prática as impedâncias podem se dar de forma cumulativa, neste caso, se num dado segmento de rodovia as classes de atributos a ele associadas forem: *Rodovia Coletora*, com *Rev. Primário (4)*, em *Perímetro Urbano (5)*, sobre *Alta Sinuosidade (8)* e *Baixa Visibilidade (10)*, a impedância de viagem neste arco será dada pela soma destas impedâncias individuais: $0.330 + 0.250 + 0.274 + 0.137 = 0.991$, que corresponde a uma *FRV* de 0.566^{57} , ou seja, 39.61km/h.

⁵⁶ Ver a última coluna da tabela.

⁵⁷ Produto de $0.991 * 0.571$ (ver *FRV* das rodovias Coletoras na tabela 21).

Tabela 23: Síntese das Impedâncias aplicadas à velocidade por veículo automotor

Classe De Rodovia ou transporte	Atributos	Classes de Atributos	Velocidade máxima (V _{max} em km/h)	Velocidade Mínima (V _{min} em km/h)	Faixa de redução da velocidade (FRV)	Impedância (I _p) (0,000-1,0)	Resultado da aplicação individual das impedâncias (km/h) Gráfico				
ARTERIAIS	Sentido	Mão única (1)	110	60	0.455	0.150*	102.5				
	Perímetro	Urbano (2)				0.200	100				
COLETORAS	Revestimento	Asfáltico (3)	70	30	0.571	0.000	70.0				
		Rev. Primário (4)				0.330	56.8				
	Perímetro	Urbano (5)				0.250	60.0				
	Sinuosidade	Baixa (6)				0.075	67.0				
		Média (7)				0.076	66.9				
		Alta (8)				0.274	59.0				
	Visibilidade	Média (9)				0.108	65.7				
		Baixa (10)				0.137	64.5				
	LOCAIS	Revestimento				Primário (11)	50	20	0.600	0.019	49.4
						Nat.Composto (12)				0.115	46.5
Natural (13)			0.208	43.7							
Declividade		Baixa (14)	0.042	48.7							
		Média (15)	0.096	47.1							
		Alta (16)	0.165	45.1							
Sinuosidade		Baixa (17)	0.030	49.1							
		Média (18)	0.065	48.1							
		Alta (19)	0.124	46.3							
Visibilidade		Alta (20)	0.000	50.0							
		Média (21)	0.044	48.7							
		Baixa (22)	0.093	47.2							
FLUTUANTE	Tempo de espera	Balsa (23)	18	18	0.333	0.249**	16.5				

*Impedância da média de 5km para se encontrar um retorno; ** Impedância da média 20 minutos de espera pela travessia

Resultado da aplicação individual das impedâncias (km/h)

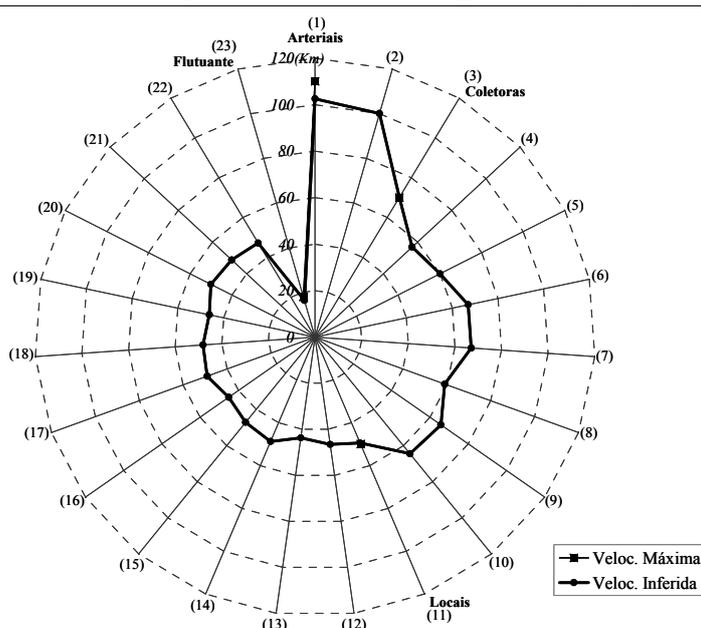


Figura 35: Representação das variações nas velocidades diretrizes com impedâncias por classe de atributos

A Tabela 23 e Figura 35 dão uma idéia de cada impedância refletindo isoladamente nas classes de rodovia, todavia, essas impedâncias podem se dar de modo isolado ou combinado, nesse sentido cumpre definir uma relação para que essas diferentes possibilidades possam ser calculadas e associadas aos arcos da rede.

A impedância para um segmento de rodovia será a somatória de todas as impedâncias que ocorrem para a mesma até o limite I . Uma rodovia que não sofre nenhuma impedância a somatória é 0.000 . Para um dado arco a entrada da impedância de modo a refletir na velocidade diretriz se fará primeiramente calculando a proporção dessa impedância sobre a *FRV (Faixa de Redução de Velocidade)* associada a esse arco, subtraindo-a de 1 e multiplicando pela velocidade máxima. Assim a medida da velocidade ponderada pelas impedâncias (*Vimpe_d*) em um dado segmento i de estrada rural se faz por

$$Vimpe_{d_i} = [1 - (\sum Ip_i * (FRV))] * Vmax_i$$

onde,

Vimpe_d _{i} corresponde a velocidade ponderada pela impedância no n -ésimo arco da rede.

$\sum Ip_i$ é a soma das impedâncias no n -ésimo arco da rede.

$Vmax_i$ é a velocidade máxima permitida, que depende da classe de rodovias associada ao arco.

A medida do tempo de viagem de uma dada localidade dependerá primeiramente do alvo, ou seja, da localização geográfica do posto de saúde ou hospital no qual o paciente quer ser atendido. A medida em tempo dessa acessibilidade se dará pela soma do tempo de viagem em cada arco. O tempo nesse caso é definido pela soma dos comprimentos dividido pelas velocidades de cada arco e multiplicado por 60, para assim se obter o tempo em minutos e décimos de minutos. Como as velocidades em cada arco estão ponderadas pela impedância, tem-se então o tempo calculado com base nestas restrições:

$$AG_i = (\sum (d_i / Vimpe_{d_i})) * 60$$

onde,

AG_i é a acessibilidade geográfica pelo tempo de viagem para a localidade i

d_i é o fator *distância* dado pelos comprimentos de cada arco que liga a localidade ao posto de atendimento de interesse ou mais próximo.

$Vimped_i$ é a velocidade ponderada pela impedância em cada segmento que separa a localidade ao posto de atendimento de interesse ou mais próximo.

Com essas aplicações pode-se analisar a mobilidade geográfica pela velocidade e a acessibilidade geográfica pelo tempo de viagem em veículo automotor e identificar caminhos ótimos até os hospitais e postos de saúde pela base SIG.

5.4 Representações e aplicações

5.4.1 Análise espacial e visualizações cartográficas: Geometria, Velocidade e Tempo na Rede

As aplicações analíticas desenvolveram-se em três aspectos; da geometria, da mobilidade geográfica e da acessibilidade geográfica na rede rodoviária rural da Microrregião de Registro (SP).

A forma geométrica da rede permite a análise da integração dada pelos nós de conexão. A estrutura da malha rodoviária se dá principalmente na relação planar dos eixos e as conexões estabelecidas aí são um indicativo importante de mobilidade no espaço. A análise de como essas conexões se distribui na rede pode ser feita pela verificação dos nós de ligação entre os arcos em condição de cruzamento ou convergência de eixos.

Nas vias rurais não-pavimentadas as possibilidades de alternativas no trajeto é de grande relevância, pois essas rodovias são suscetíveis às intempéries que podem criar barreira à mobilidade por uma única via. Dessa forma, as possibilidades de mudança de trajeto numa viagem vão depender das conexões estabelecidas entre os tramos que são percorridos e outros em intersecção.

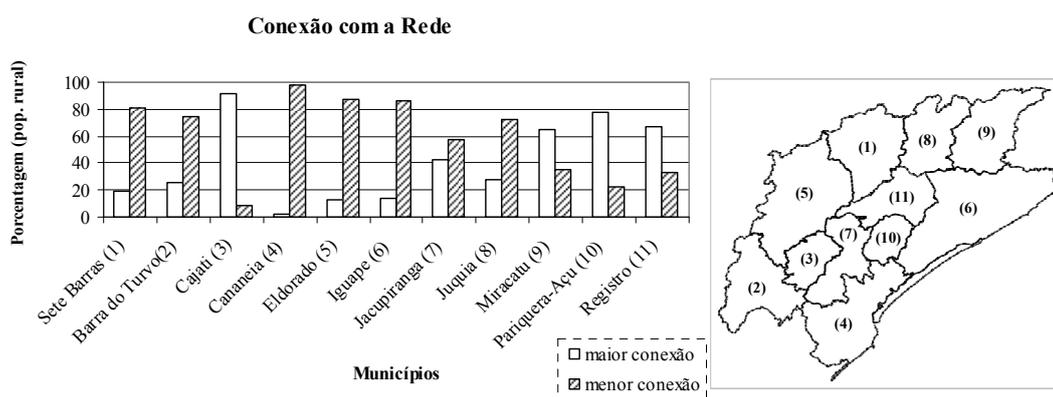
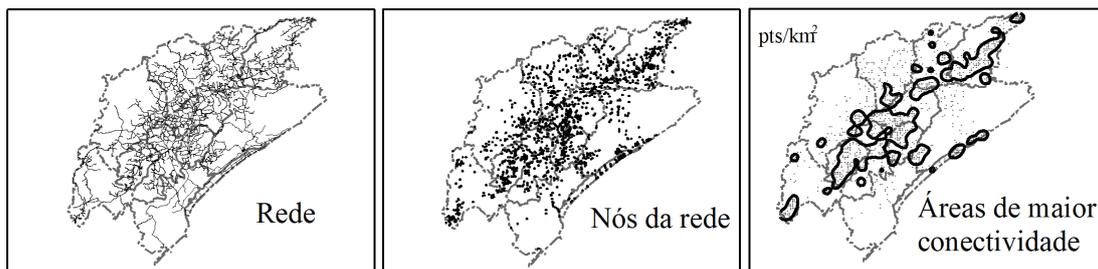
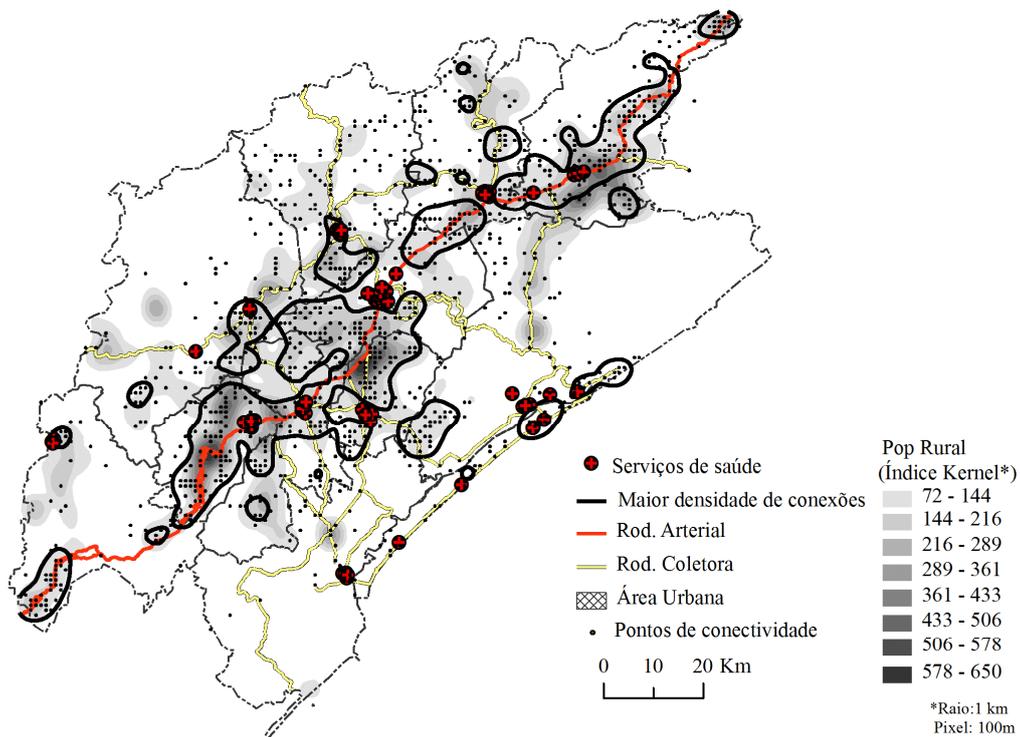
No Mapa 10 visualiza-se as conexões com a rede rodoviária rural, onde as áreas mais conectadas estão representadas pela maior densidade de pontos de conexão da rede. Esta representação foi elaborada aplicando-se uma grade com 1km^2 sobre os pontos da rede e fazendo a contagem dos mesmos. As áreas de maior concentração de nós da rede indicam maior conectividade

A maioria dos municípios da região está em situação de baixa conectividade no conjunto da rede rural, isso quer dizer que nas áreas sob essa condição existem poucas alternativas de caminhos para se deslocar no espaço. Algumas “ilhas” podem ser notadas, como na porção sul do município de Barra do Turvo e centro-norte de Juquiá. Essas são condições onde existe uma mobilidade favorável numa área restrita, favorecida apenas pela conectividade dada no interior da “ilha”. Na prática, esta maior conectividade corresponde às ligações das estradas rurais que convergem para a sede municipal. Já as conexões dessas áreas com outras, são dadas por uma ou duas alternativas de caminho.

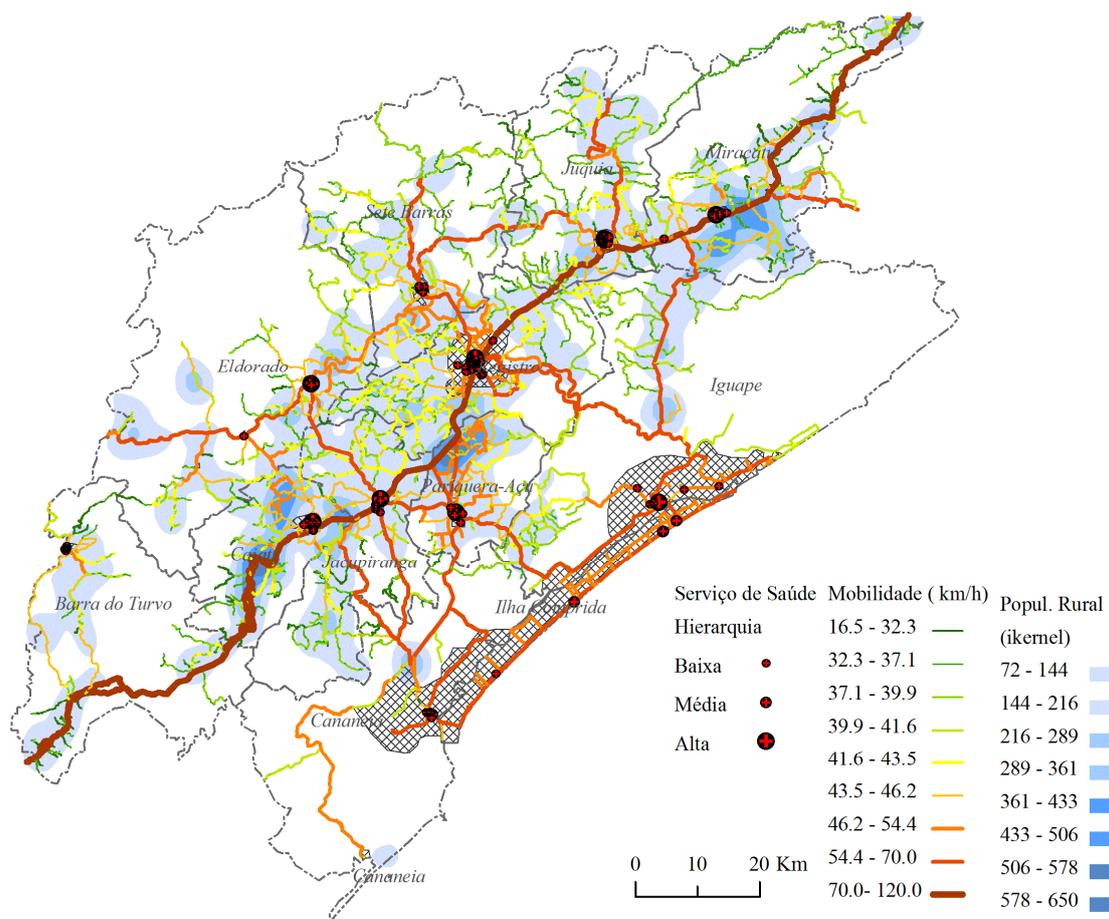
Nota-se uma crescente integração pela conectividade à medida que se aproxima do município de Registro e da rodovia Arterial (BR116), isso reitera a idéia de que essa rodovia representa o principal corredor de mobilidade e acessibilidade na região e a cidade de Registro pela sua importante função urbana e de pólo regional. Os municípios mais integrados apresentam esse aspecto de proximidade com o eixo Arterial, esse é o caso de Cajati, Miracatu e Pariquera-Açu.

Como a mobilidade na rede é avaliada aqui com base na infra-estrutura rodoviária com velocidades diretrizes ponderadas pelas impedâncias de viagem para o modo automotor, a representação no Mapa 11 coloca em evidência que a mobilidade sofre uma importante queda nos eixos vicinais.

O padrão indica que a mobilidade depende fundamentalmente da classe de rodovias, sobretudo no que se refere ao tipo de pavimento. As rodovias Arterial e Coletoras são os eixos que promovem a melhor mobilidade. O fato de uma estrada vicinal estar próxima ou adjacente a uma dessas rodovias maiores não implica, necessariamente, em melhor condição de mobilidade. Um indicador de melhor mobilidade numa área pode ser deduzido pela concentração da população rural, que nesse caso reflete a maior demanda pela estrutura viária, isso pode ser verificado no mapa pela relação entre o adensamento da população rural a mobilidade pela velocidade.



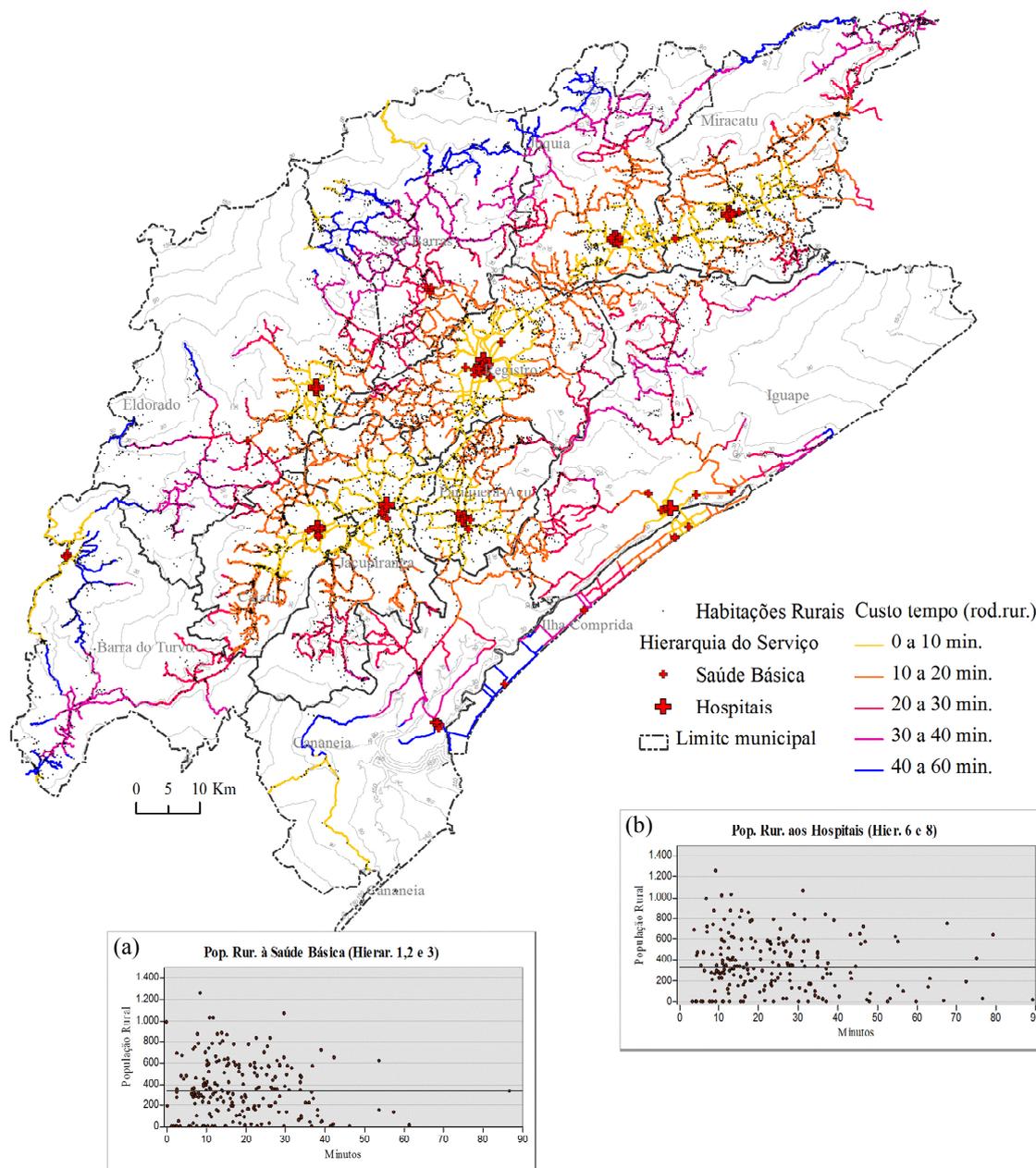
Mapa 10: Conectividade da rede de rodovias rurais na Microrregião de Registro (SP). (Ilha Comprida não foi considerado por ser um território em situação urbana)



Mapa 11: Mobilidade geográfica pela velocidade na Microrregião de Registro (SP)

A mobilidade no caso descrito representa a facilidade para se mover no espaço por veículo automotor (Mapa 11). Combinando as velocidades com as distâncias pode-se obter a medida de tempo e aplicá-las à análise da acessibilidade geográfica aos serviços básicos de saúde que se localizam na sede municipal (Mapa 12).

Se observada do ponto de vista do acesso geográfico pelo tempo de viagem até os hospitais que prestam atendimento de maior complexidade, percebe-se uma queda na acessibilidade da população rural dos municípios que estão em uma situação geográfica mais remota em relação às sedes de Registro, Paripiranga-Açu e Juquiá, que são onde se localizam esses serviços (Mapa 12).



Mapa 12: Acessibilidade geográfica pela velocidade aos serviços de saúde na Microrregião de Registro (SP). O gráfico (a) mostra a relação entre a o número de habitantes da área rural e o tempo de viagem em minutos até os serviços de saúde que prestam atendimento básico (UBS); no gráfico (b) esta mesma relação se faz com os hospitais, que são os serviço mais bem equipados para o atendimento.

O tempo ótimo se faz no sentido NE-SW que corresponde ao eixo da rodovia Arterial BR116, no caso, a queda da acessibilidade se dá na perpendicular a esse eixo. O afastamento no sentido norte e porções interiores indicam menor acessibilidade da população rural. Se aplicado diferentes limiares de tempo a partir dos hospitais, é

possível observar a diferença de coberturas pelo tempo de viagem. Na Figura 36 compara-se a cobertura dada pela velocidade máxima em cada classe de rodovia com a velocidade ponderada pela impedância. Em ambos os casos o acesso em trinta minutos pela BR116 cobre a mesma superfície, o mesmo não ocorre para as áreas interiores.

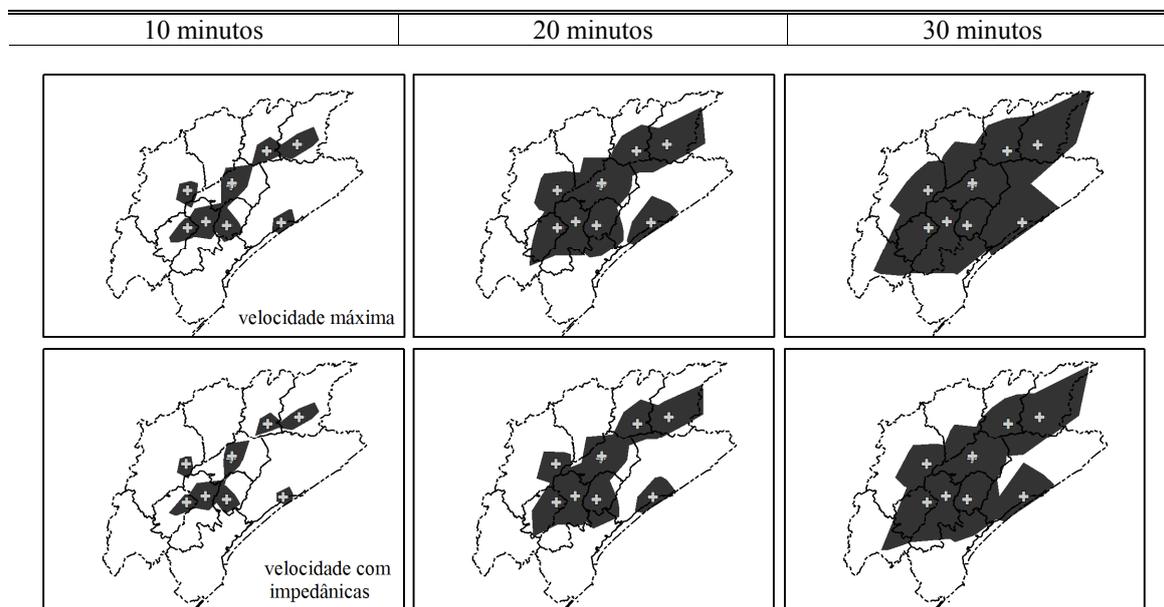


Figura 36: Área de cobertura em minutos a partir dos hospitais

5.4.2 Acessibilidade Geográfica em diferentes superfícies

Outra maneira de analisar a acessibilidade é pelas superfícies atravessadas até se chegar a rede. Considerando que as habitações rurais não estão necessariamente em contato direto com um eixo da rede e, no caso do modelo em SIG, os pontos correspondentes às localidades rurais não estão sobre a linha vetorial da rede, existe um tempo de viagem investido pelas populações para alcançar a rede e assim prosseguir até o serviço de saúde. Estas superfícies são heterogêneas e a ligação das habitações até os eixos da malha são geralmente caminhos naturais que atravessam diferentes coberturas. Diante dessa questão pensou-se num modelo de superfície que representasse essa realidade, no caso, um modelo que considerasse não só a rede e os serviços de saúde no cômputo da análise da acessibilidade das populações rurais, mas que também levasse em conta as superfícies atravessadas por elas para atingir a rede e conseqüentemente os provedores.

Na proposta metodológica de Black et al. (2004, p.13) tem-se uma referência às restrições que são imposta pelas superfícies que estão fora da rede. Estas restrições são aproximativas e calculadas com base no mapa de uso da terra e cobertura vegetal. Esta concepção foi tomada aqui como orientação para reclassificar as classes de uso e cobertura correspondentes à Microrregião de Registro. Também foram consideradas as classes de declividade (alta, média e baixa) como parâmetro aditivo de restrição ao deslocamento. A combinação desses dois mapas resultou num limiar aproximativo das velocidades praticadas nas superfícies adjacentes à malha rodoviária rural (Tabela 24)

Tabela 24: Velocidade de viagem por veículo automotor estimada para o tipo de uso da terra e cobertura vegetal e combinada com classes de declividade (adaptado de Black et al., 2004, p.13)

Uso da Terra e Cobertura Vegetal	Velocidade Diretriz (Black et al., 2004 - adaptado)	Declividade (restrição)		
		Baixa	Media	Alta
		*1	*0.8	*0.7
		<i>Velocidade (km/h)</i>		
Floresta densa	10	10	8	7
Atividades Extrativas	13	13	10.4	9.1
Reflorestamento	13	13	10.4	9.1
Solo Exposto	18	18	14.4	12.6
Terrenos úmidos e veget. arbustiva	10	10	8	7
Agricultura	18	18	14.4	12.6
Campo Antrópico	15	15	12	10.5
Urbano	20	20	16	14
Água	-1	-1	-1	-1

Os passos para a construção da representação das superfícies de acessibilidade se deram da seguinte forma:

(i) *Elaboração de um mapa de restrições.*

Esta primeira etapa visa compor uma camada *raster* com discriminação de pesos resultantes da combinação entre as classes de uso da terra e cobertura vegetal e classes de declividades conforme mostrado na Tabela 24 e sobreposta a estas, as classes de rodovias rurais. Essas últimas discriminadas pelas variações de velocidade ponderadas pelas impedâncias.

Esse resultado é alcançado nos seguintes procedimentos⁵⁸:

(a) Combinação do mapa de *Uso da Terra e Cobertura Vegetal* com o mapa de *Classes de Declividade* Baixa, Média e Alta.

⁵⁸ O exemplo de um recorte da área pode ser acompanhado na Figura37a,b.

(b) Atualização da tabela de atributos com a inserção de um campo com as respectivas velocidades resultantes da combinação dos mapas descritos no item (a). Para isso, aplicam-se os valores descritos na Tabela 24.

(c) Aplicação de *buffer* sobre os arcos da rede, adotando o parâmetro de quebra sobre o atributo “*velocidade com impedâncias*”. No caso a distância adotada foi igual a da grade *raster* gerada na etapa final, 90 metros (Figura 37c,d).

(d) Sobreposição do mapa *buffer* previamente gerado ao mapa resultante da combinação *Uso da Terra e Cobertura Vegetal X Classes de Declividade*. O resultado é uma camada com todas as velocidades desenvolvidas nas diferentes superfícies (Figura 37e).

(e) Atualização da coluna de velocidades, agora com a informação referente aos segmentos das rodovias.

(e) Atualização da tabela de atributos com uma nova coluna e cálculo das proporções inversas das diferentes velocidades com relação a velocidade diretriz de 110km/h (V_{max}/V_i). A referência da velocidade máxima é 1 e as demais velocidades são sempre valores maiores do que 1. Por exemplo, num arco onde a velocidade diretriz for 60km/h a restrição é $110/60 (=1.83)$; na floresta densa com alta declividade a restrição é $110/7 (=15,71)$.

(f) Converter o modelo vetorial de polígonos para o modelo matricial, selecionando o campo de restrições previamente gerado (Figura 37f).

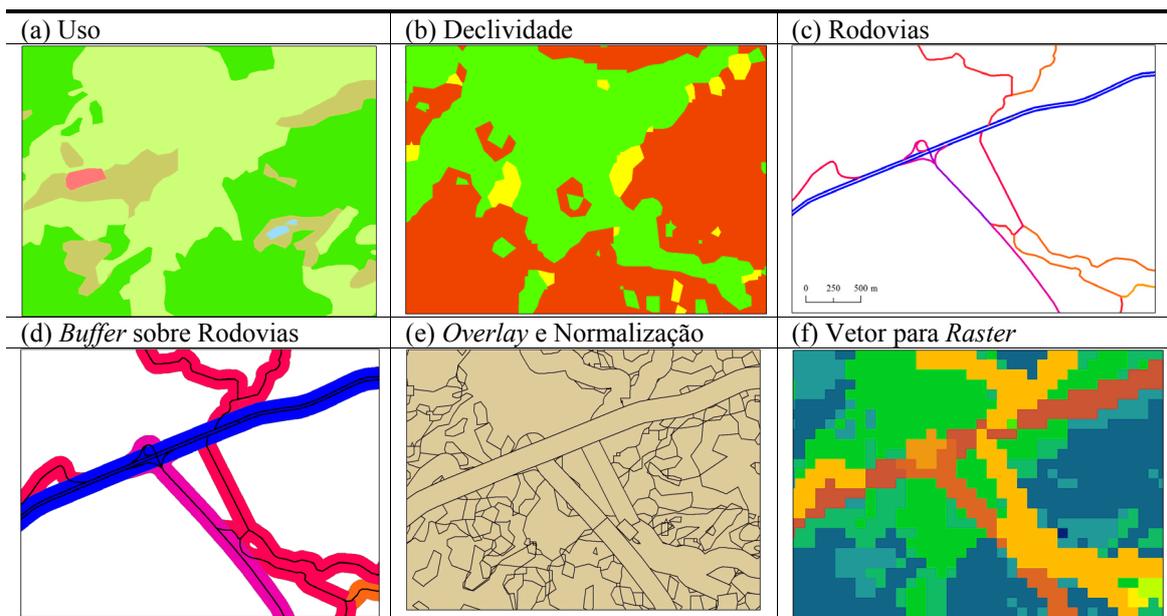


Figura 37: Exemplo das etapas de elaboração de um mapa de restrições

(ii) Construir um mapa de distâncias

Nessa etapa constrói-se uma camada *raster* com as distâncias até os hospitais. Estas distâncias devem ser ponderadas pelo mapa de restrições gerado anteriormente⁵⁹.

Etapas:

(a) Criar uma camada *raster* com distâncias tendo como ponto de origem os hospitais ou postos de saúde. No caso, foram gerados dois planos de informação: um para os hospitais da região e outro para os postos de saúde. Os parâmetros da grade foram definidos com resolução espacial de 90 metros e projeção UTM/WGS84

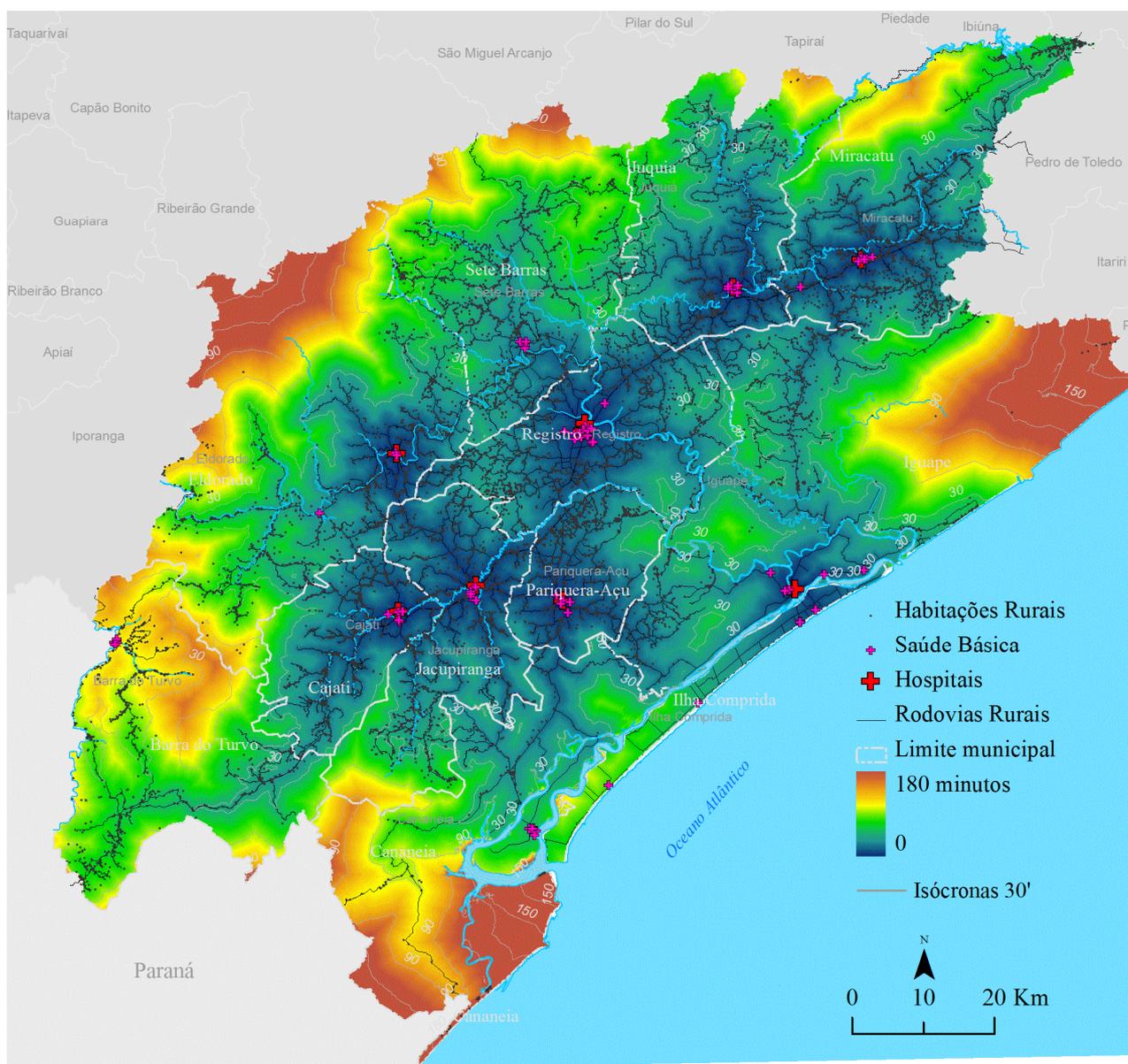
(b) Multiplicar o mapa de distâncias pelo mapa *raster* de restrições.

(iii) Converter distâncias em tempo de viagem.

Esta última etapa resultará em um mapa com uma aproximação do tempo de viagem para qualquer ponto na superfície da região. Esta conversão se faz sobre os valores de distâncias convertendo-os em tempo tendo como base uma velocidade máxima especificada. No caso, multiplicou-se o mapa de distâncias com restrições por 60 e dividiu esse resultado por 110.000 para se obter valores em minutos e centésimos de minuto (Mapa 13).

É importante destacar que as indicações de tempos de viagem resultantes desse procedimento têm como referência os postos de saúde e, principalmente, a rede de impedâncias. Cada *pixel* fora da rede tem seu valor normalizado pela rede, pois são as rodovias que promovem a maior mobilidade no espaço. Sem essa referência os tempos seriam definidos pela distância direta até os hospitais (euclidiana) o que para o propósito inicial dessa tese não faria sentido (Mapa 13).

⁵⁹ O *software* Ilwis 3.4 dispõem de um recurso que facilita esta operação: o operador *Distance Calculation*.



Mapa 13: Superfície de acessibilidade pelo tempo de Viagem (Microrregião de Registro/SP)

Traçando-se um perfil da relação distância tempo é possível notar a diferença de acessibilidade na rede e nas superfícies distantes desta (Figura 38). Quando as retas dos perfis tocam as vias da rede percebe-se a queda do tempo de acesso ao hospital mais próximo. No *perfil 1* a reta liga o centro da cidade de Registro às áreas mais interiores, onde a mobilidade na rede é mais baixa e no *perfil 2* a reta liga a cidade de Cajati à porção sul da região, acompanhando o eixo da BR116. Comparando os dois gráficos percebe-se a importância da via Arterial a promoção do acesso, nesse exemplo é possível notar a otimização do tempo em função da distância.

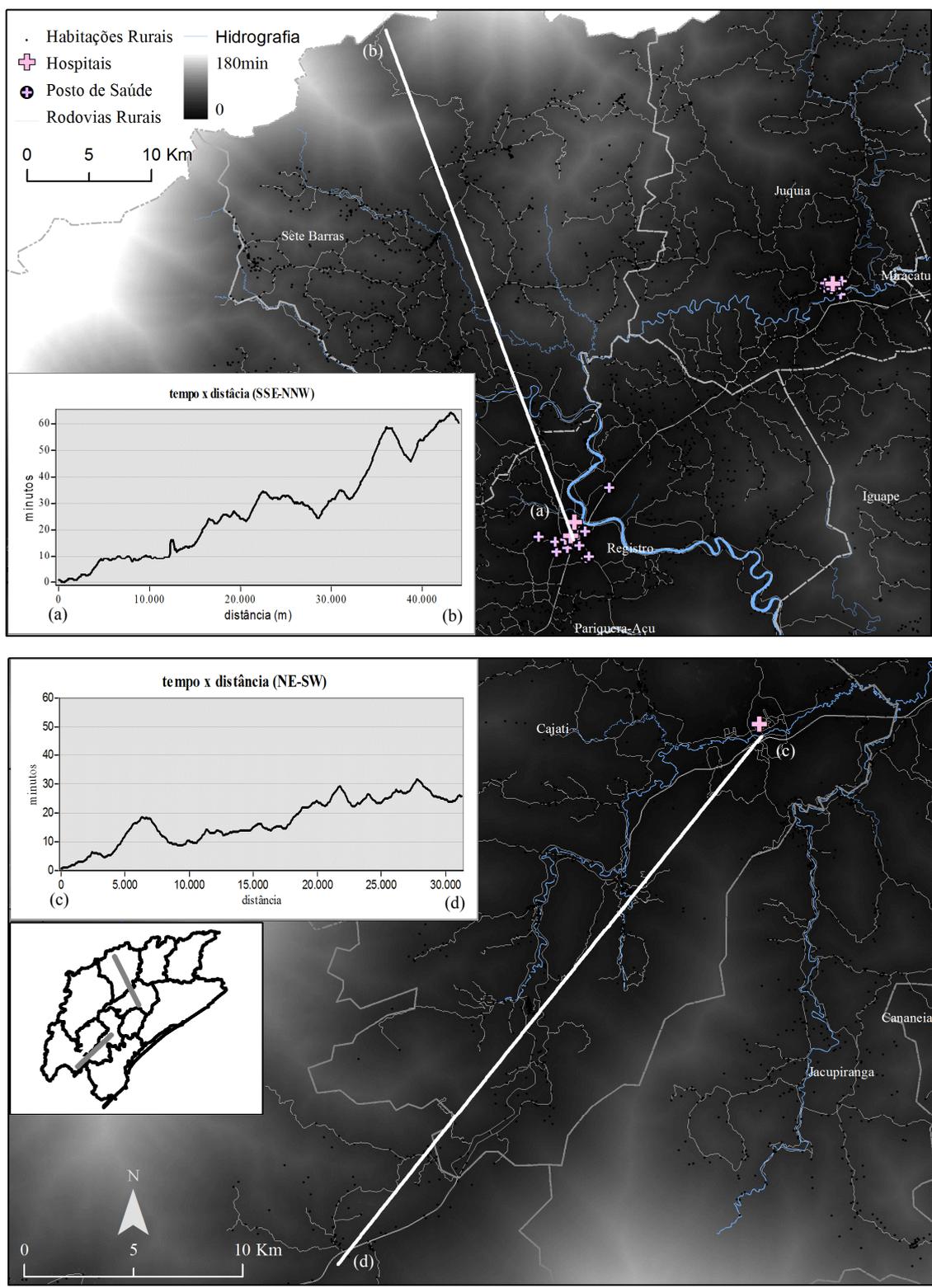


Figura 38: Perfis da relação tempo e distância na superfície de acessibilidade.

No intuito de investigar a diferença de acessibilidade pelo tempo de viagem das localidades rurais aos hospitais, com tempo de viagem gasto das localidades rurais aos postos de atendimento básico, fez-se o cruzamento do mapa das localidades rurais com as grades de tempo de viagem aos hospitais e de tempo de viagem aos postos de atendimento básico. Com isso foi possível visualizar a distribuição dos pontos referentes às habitações rurais com relação ao tempo de viagem para se chegar a esses serviços (Figura 39). Nota-se que para os serviços básicos o acesso é quase total em até 30 minutos de viagem, porém para o atendimento aos serviços hospitalares algumas populações rurais estão em uma condição geográfica desfavorável, principalmente pelo fato de o município sede não dispor do serviço. O exemplo mais significativo é notado em Barra do Turvo, onde a população rural tende a não acessar o serviço hospitalar em menos de 40 minutos.

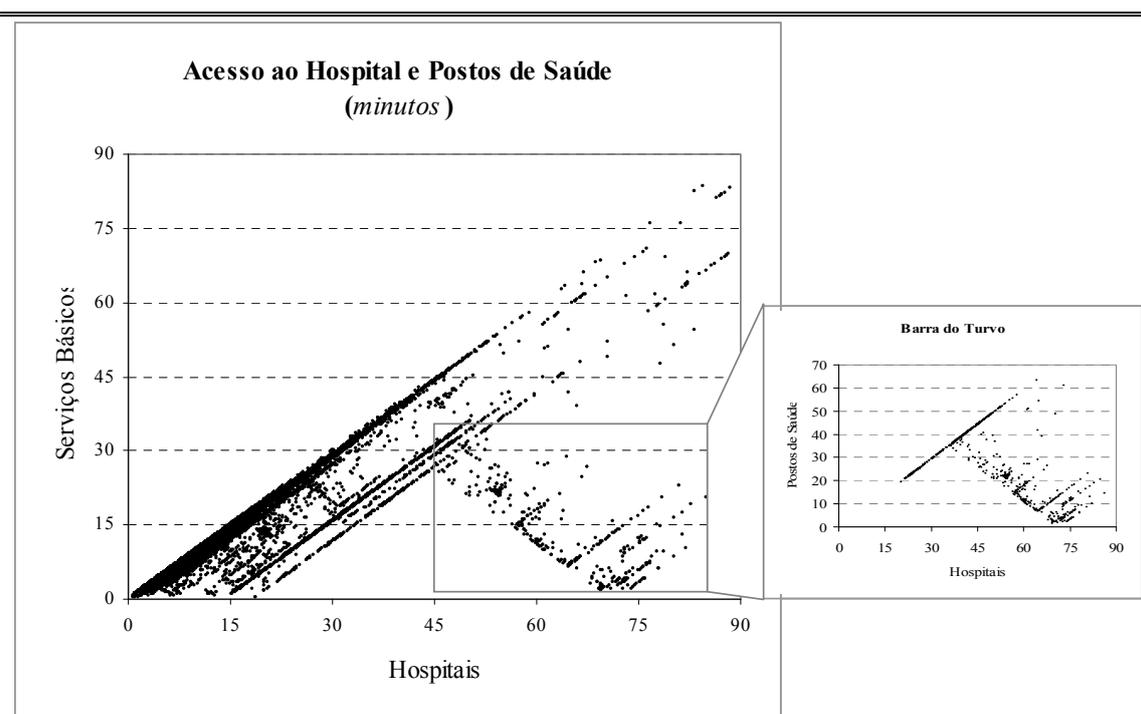


Figura 39: Relação do tempo gasto a partir das localidades rurais aos serviços básicos de saúde e aos serviços hospitalares. Cada ponto no gráfico indica uma localidade mapeada.

Os estudos que tratam dos índices de acessibilidade integral tem como base teórica a proposta de Hansen (cf., 1959, p.73-76). Como visto na seção 2.2.1.3, o modelo define que a acessibilidade mede a distribuição espacial das atividades ao redor de um ponto. Pensando nessa proposição, e ajustando esse modelo para o caso particular desta pesquisa, pensou-se numa representação que pudesse mostrar como as superfícies

de acessibilidade se mostrariam para a região caso fossem consideradas informações específicas dos provedores. Nesse sentido, modelou-se duas superfícies: uma, considerando a quantidade de serviços de saúde, independente de sua hierarquia no sistema; e outra, considerando o número de profissionais clínicos gerais cadastrados na administração municipal de saúde. Como os serviços em sua grande maioria se localizam nos arredores do centro das cidades, foi tomado o centróide da sede municipal para atribuir valores referentes ao número de serviços e profissionais de saúde⁶⁰ disponíveis.

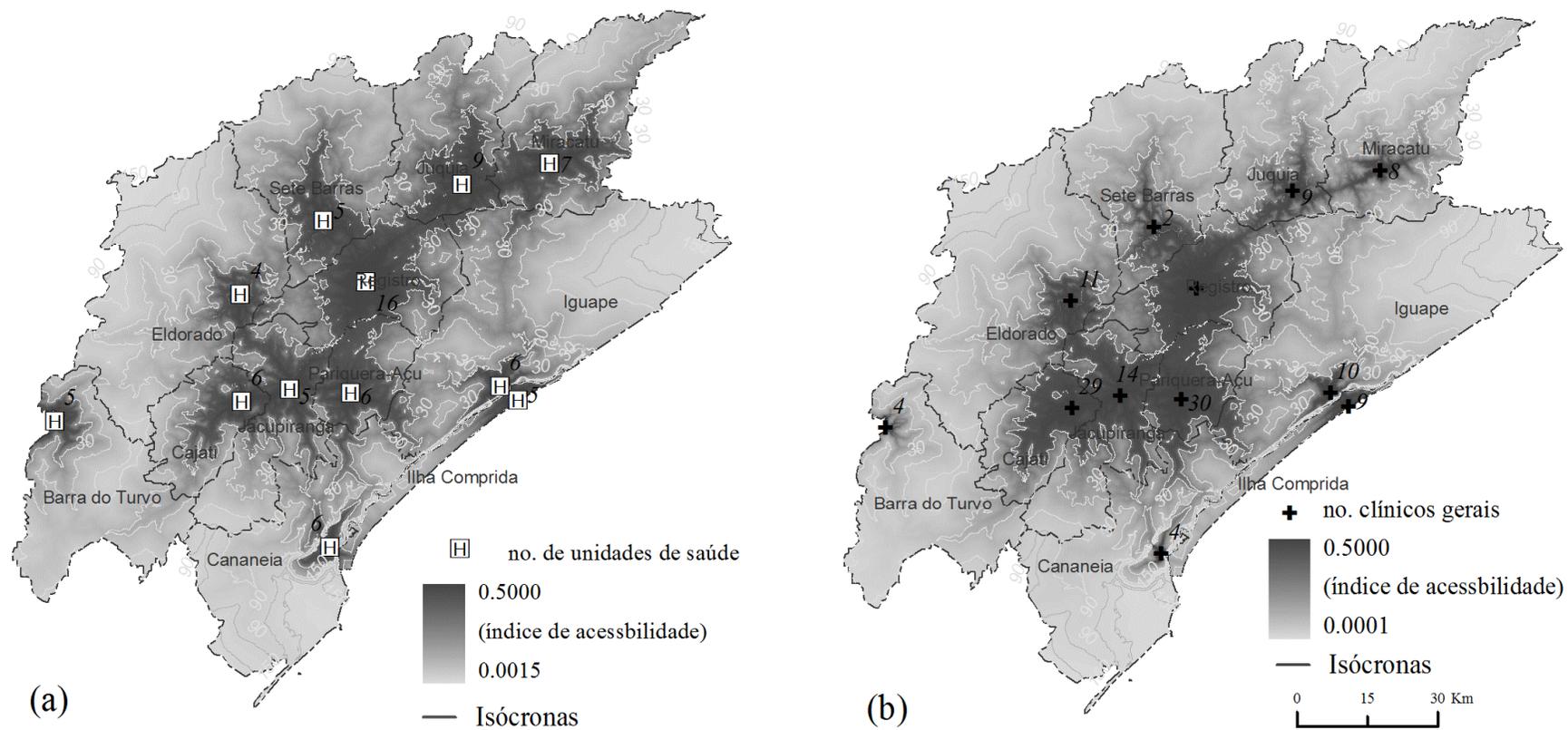
A medida da acessibilidade se fez interpolando os pontos pela média móvel com função do inverso da distância ($1/d_n$) e expoente 1.0; em seguida dividiu-se essa matriz pela matriz de distâncias ponderadas pelas impedâncias descritas anteriormente.

As representações resultantes aproximam o cálculo do índice de acessibilidade de Hansen para o modelo matricial contínuo, perfazendo a seguinte relação:

$$A_{ij} = P_j/d(Ip_i)_{ij}$$

A_{ij} é o índice de acessibilidade, sendo i cada *pixel* da grade e j o ponto médio que centraliza todos os serviços, P_j representa o provedor que, no Mapa 14, estão indicados pelo número de unidades de saúde e clínicos gerais. A distância d_{ij} é nesse caso ponderada pelas impedâncias de viagem Ip_i e não pelo expoente como na proposição original (Mapa 14).

⁶⁰ O número de profissionais cadastrados em cada unidade de saúde encontra-se disponível na Base de dados CNES.



Mapa 14: Representação do índice de acessibilidade aplicado às unidades de saúde (a) e aos clínicos gerais (b) da Microrregião de Registro (SP).

A acessibilidade aos profissionais de saúde é mais baixa para os municípios de Miracatu, Juquiá e Barra do Turvo se comparado com a acessibilidade aos serviços de saúde. Como dado exploratório essas representações podem apontar áreas para investigação. Cabe lembrar que as críticas feitas com relação à aplicação do índice de acessibilidade recaem sobre o numerador (provedores) e o expoente de fricção que aqui foi substituído pelas impedâncias de viagem como fator de ponderação.

No caso dos provedores (P_j), um fator de maior importância, que poderia ser analisado, é a capacidade de suporte dos serviços, ou seja, ao invés da contagem de unidades de atendimento, poder-se-ia calcular a acessibilidade pelo suporte no atendimento à população. No entanto, esse é um encaminhamento mais específico que requer uma investigação detalhada dos dados das unidades de atendimento, dos usuários dos serviços e dos modos de transporte utilizados.

5.4.3 Roteirização de caminhos e rede de cobertura: exemplos de aplicações com uso dos SIG

As possibilidades de aplicação da rede de impedâncias são diversas, aqui se verifica a acessibilidade aos serviços de saúde, mas pode-se investigar o acesso a outros serviços ou mesmo as condições gerais da acessibilidade das populações rurais aos centros urbanos.

As visualizações e representações anteriores valorizam o conjunto da região, dando condições de análise mais gerais da distribuição espacial dos fatores que incidem na mobilidade e acesso geográfico na região.

Considerando que a base de dados geográficos foi produzida em escala de detalhe, é possível a aplicação de recursos de análise na escala local ou mesmo orientado a uma unidade rural. Nesse sentido, o SIG aqui elaborado pode dar indicações da otimização do tempo de viagem das populações da região.

Nos próximos itens apresentam-se exemplos de aplicação de algumas ferramentas que permitem esse tipo de análise. De modo a dar indicações práticas e acessíveis, optou-se aqui por apresentar os recursos com base na extensão de análise de redes disponibilizadas pelo software gvSIG. Contudo, ferramentas semelhantes às que estão mostradas aqui podem ser encontradas em outros aplicativos, pois são construídas com

base em princípios da análise de redes. Todas as ferramentas permitem integrar custos de impedância na análise.

Exemplo 1: Custo mínimo

Esta aplicação permite definir parada(s) intermediária(s) entre a origem e o destino de uma dada consulta e fornece um relatório de viagem com especificação da distância e impedância. Com o fornecimento de coordenadas geográficas é possível localizar uma ocorrência, que pode ser um acidente ou uma localidade para atendimento. O fornecimento dessa informação pode resolver o problema da localização de um alvo na área rural. Com o apoio de coordenadas fornecidas por GPS é simples identificar, por exemplo, a localização precisa de um paciente que necessita encontrar a rota mais eficiente para chegar a um posto de atendimento médico (Figura 40). A consulta por coordenadas e o apoio dos SIG pode então fornecer o caminho ótimo ao atendimento mais próximo.

Rotina da aplicação:

(i) Fornecimento de um par de coordenadas geográficas e apontamento na localidade (Figura 40a)

(ii) Caso exista uma camada de pontos com o cadastro das propriedades rurais, pode-se fazer uma consulta do registro dos atributos que descrevem aquela localidade, por exemplo, número de habitantes, se dispõem veículo automotor, etc. Obviamente, a existência ou não deste cadastro depende da administração de saúde.

(iii) Apontar na localidade de destino, por exemplo, o posto de saúde (Figura 40c)

(iv) desenhar o caminho e verificar o relatório descritivo (Figura 40d)

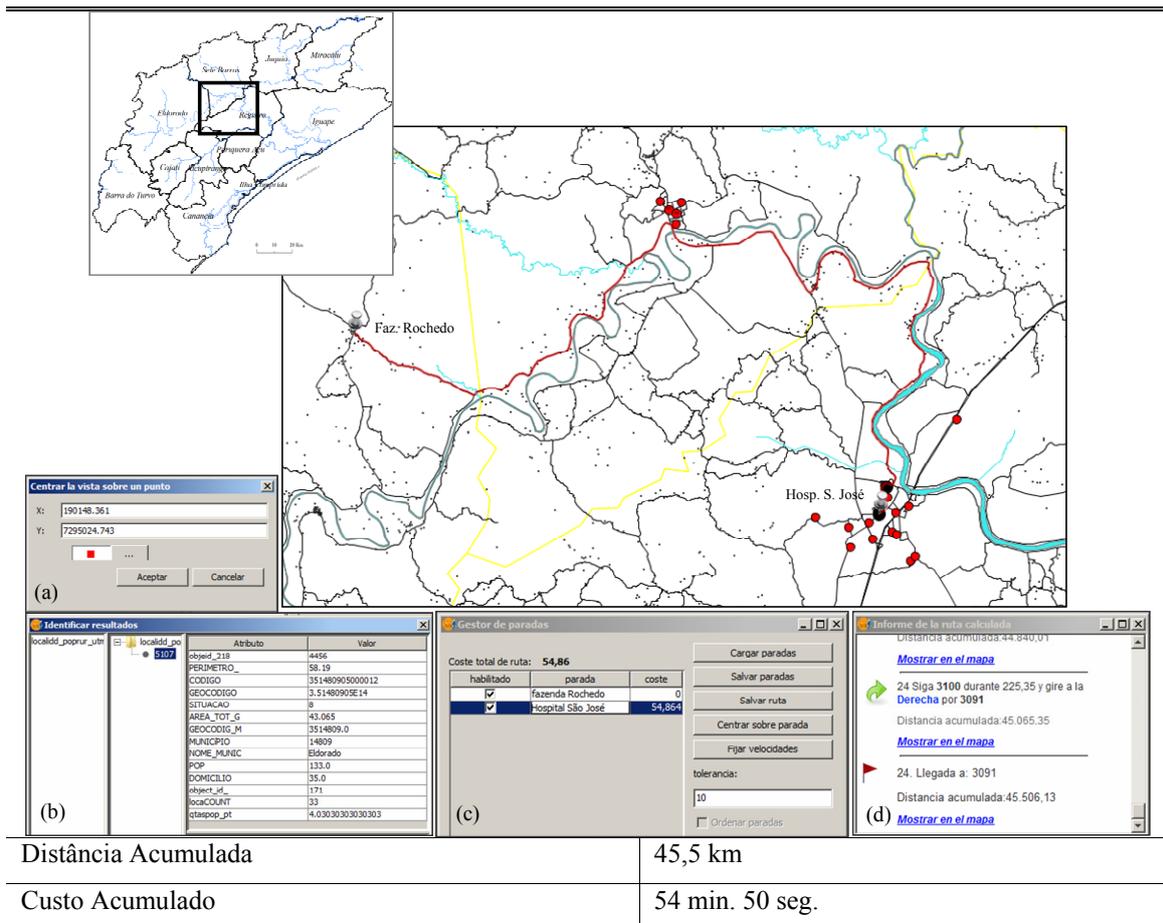


Figura 40: Exemplo de aplicação da ferramenta custo mínimo, nesse caso, o desenho do menor caminho até posto de atendimento: (a) Janela para a indicação de coordenadas de referência; (b) Descrição dos atributos do registro de uma origem selecionada (c) janela de controle de pontos de origem-destino; (d) relatório de resultados.

Exemplo 2: Áreas de Cobertura

Outra aplicação de redes se faz pela ferramenta “área de serviço” que apresenta áreas de recobrimento de um ou mais serviços com base num parâmetro definido como custo. Com essa ferramenta é possível carregar um conjunto de pontos, que pode ser os provedores de serviço de saúde, e com a inserção de um limiar (tempo, distância, velocidade, etc.) é possível identificar as áreas que são cobertas (Figura 41).

Rotina da aplicação:

- (i) Identificar um provedor de interesse, por exemplo, um hospital.
- (ii) Especificar um limiar de cobertura. Suponha que se pretenda verificar quais as fazendas que podem ser atendidas por ambulância num limiar de 15 minutos de viagem.
- (iii) Definir uma tolerância que permita capturar ponto que não esteja sobre a rede (nó ou arco)

A execução da ferramenta retorna duas camadas: uma em arcos com o corte da rede no limiar de custo especificado e outra com polígono(s) que liga(m) os extremos da rede de cobertura.

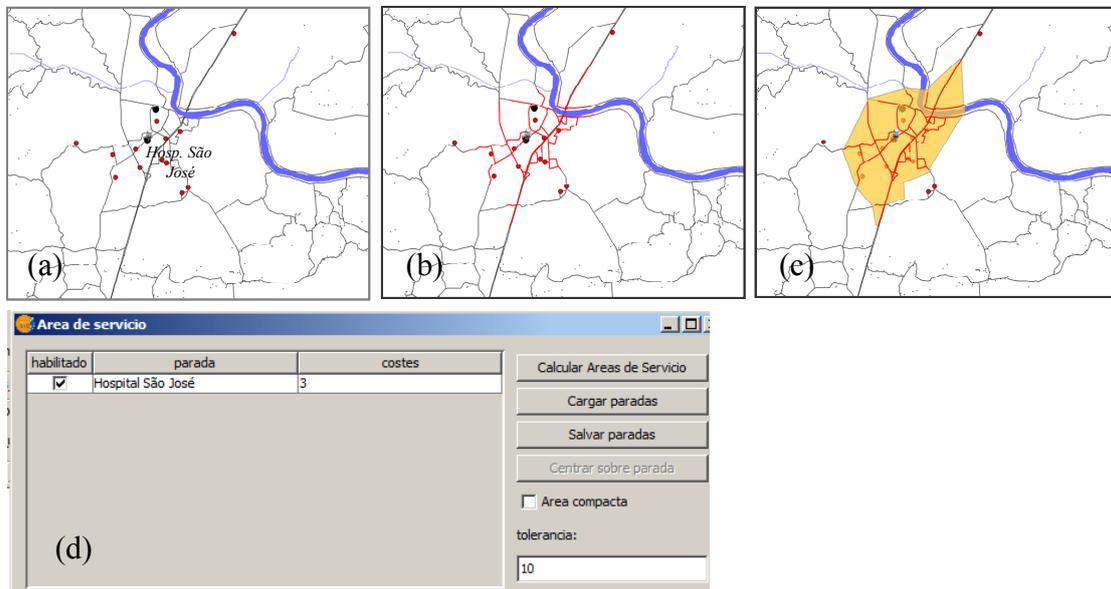


Figura 41: Exemplo do recurso de cálculo da área de serviço da extensão de redes do gvSIG: (a) Pontos de origem; (b) Alcance da rede; (c) Área de cobertura poligonal; (d) Tela de definição de parâmetros.

Exemplo 3: Evento mais próximo

Esta aplicação dá a possibilidade de se buscar dentre um conjunto de eventos aquele que está mais próximo.

Considere um indivíduo que necessite identificar o serviço mais próximo a partir de uma dada localização geográfica, o mesmo pode através de um cursor de ponto consultar suas coordenadas geográficas de origem e assim identificar o serviço que está mais próximo (Figura 42). A proximidade pode ser em termos de custo de viagem

Exemplo de aplicação:

- (i) Identificar uma localidade de origem (passos 1 e 2 do Exemplo 1)
- (ii) Selecionar a camada que contém os provedores (postos de saúde) e especificar quantos eventos pretende-se verificar.
- (iii) Definir um limiar de custo. Por exemplo, 30 minutos.
- (iv) Acionar o recurso de cálculo e fazer a leitura do resultado.

Esta aplicação retorna um relatório com os provedores identificados e o valor do custo em ordem crescente (Figura 42c1). É possível ainda desenhar cada um dos trajetos e obter relatórios dos itinerários.

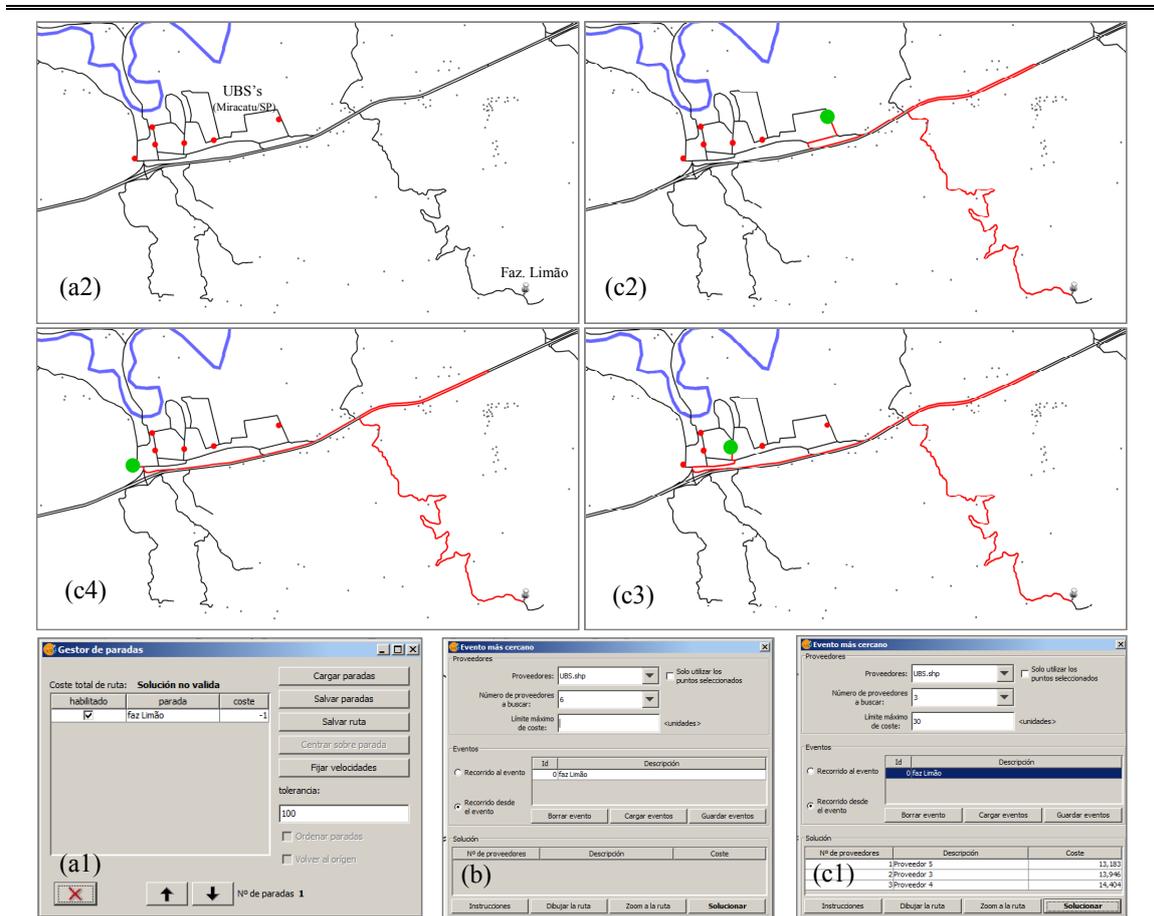


Figura 42: Exemplo do recurso que identifica o evento mais próximo a uma dada localidade (gvSIG): (a1, a2) tela de carregamento do ponto de origem (ex: “Faz. Limão”); (b) tela de definição de parâmetros dos pontos de busca (ex: buscar as 3 “UBS” mais próximas); (c1, c2, c3) resultado com descrição do custo de viagem, respectivamente, 13,19min., 13,9min. e 14.4min.

Exemplo 4: Árvore de recobrimento

A aplicação desse recurso pode ser de utilidade na identificação de áreas de influência a partir de pontos de interesse. O produto dessa aplicação define sub-redes para cada ponto considerado na consulta, se o limiar adotado integrar todas as distâncias, a camada definirá arcos interligados. Esta aplicação oferece um resultado próximo ao da área de cobertura, com a exceção da geração de polígonos de cobertura (Figura 43).

Rotina da aplicação:

(i) Definir um ou mais pontos de origem, que podem corresponder a um provedor e serviço. Pode-se definir um limiar de captura dos pontos caso esses não estejam sobre a rede.

(ii) Indicar um limiar de custo e executar.

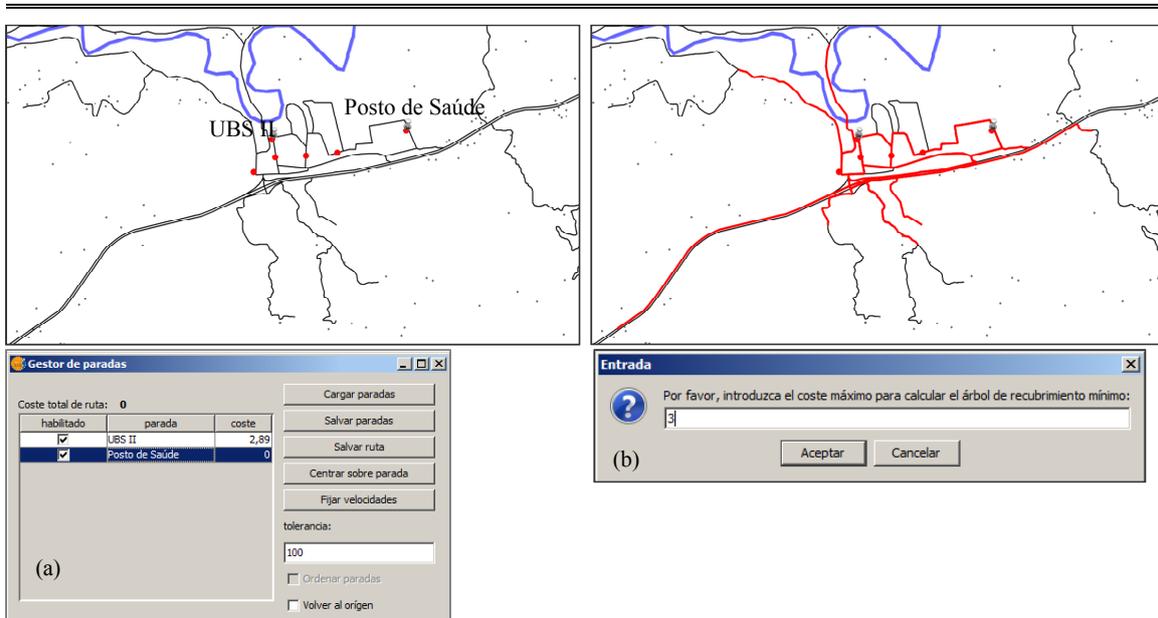


Figura 43: Exemplo do recurso de árvore de recobrimento do gvSIG. (a) tela de carregamento dos pontos de origem; (b) tela de definição do limiar do recobrimento, o qual se fará pela rede.

Exemplo 5: Matriz de origem-destino

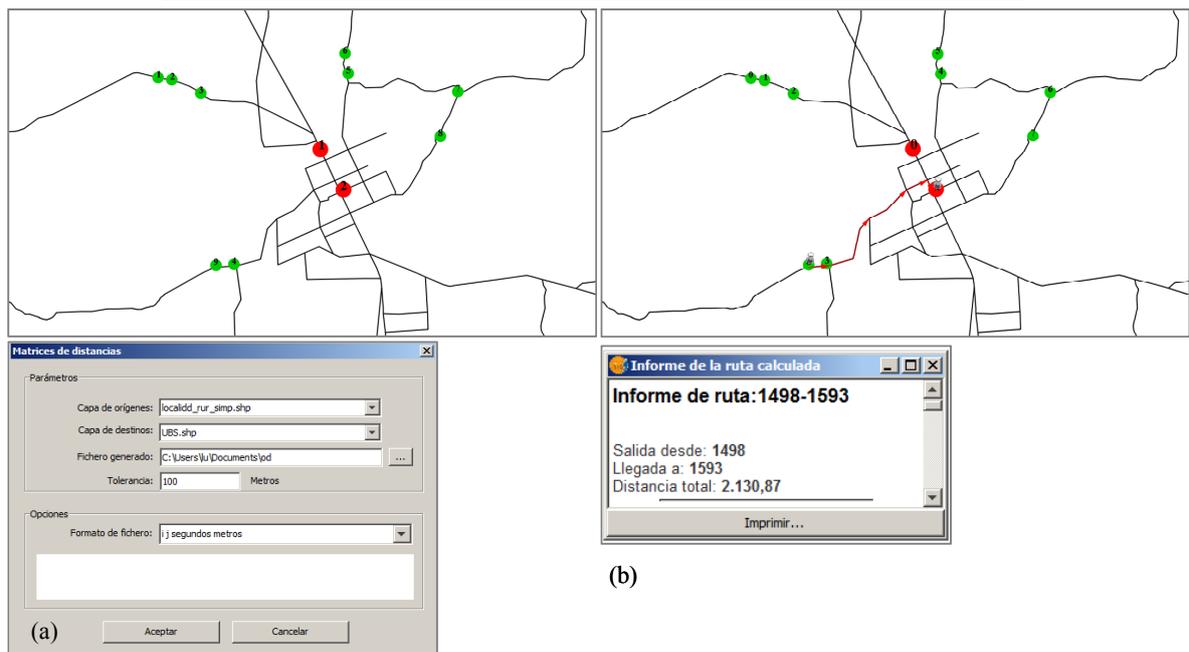
Trata-se de um recurso que apresenta um relatório das distâncias que separam os pontos de origem do (s) ponto(s) de destino. Aplica-se à necessidade de se obter as distâncias que separam os usuários dos serviços, podendo ter como finalidade a tabulação desses dados para realização de análises (Figura 44).

Rotina da aplicação:

(i) Seleção de pontos de origem e destino. Para isso deve-se dispor de duas camadas vetoriais diferentes.

(ii) Definição de limiar para a inserção de pontos que não tocam a rede.

(iii) Identificação de um caminho externo ao aplicativo para o salvamento do relatório que é gerado em formato de texto e posteriormente pode ser acionado por uma planilha eletrônica.



Origen	Destino	Metros
0	0	2836
0	1	2226
1	0	2664
1	1	2054
2	0	2284
2	1	1674
3	0	1917
3	1	2117
4	0	1627
4	1	1376
5	0	1880
5	1	1630
6	0	2366
6	1	2734
7	0	1780
7	1	2385
8	0	2131
8	1	2331

Figura 44: Recurso de geração de matriz de origem-destino: (a) tela onde são especificadas as camadas de origem e destino; (b) tela de verificação dos resultados (opcional). Nesse exemplo verifica-se o resultado descrito na penúltima linha da tabela; (c) Matriz gerada.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mote inicial desta pesquisa se fez no intuito de investigar quais são as restrições para se deslocar no espaço rural tendo por base a rede rodoviária. A atenção se voltou para a identificação e impedências e em como elas se combinam e incidem na viagem pelas estradas. Esta é uma questão que reflete na acessibilidade aos serviços de saúde.

O vínculo espacial das variáveis consideradas na pesquisa reitera a hipótese inicial de que o mapeamento é o encaminhamento necessário para se atingir esse objetivo, pois os elementos levados em consideração se manifestam de diferentes maneiras dependendo de sua posição no espaço e contexto geográfico. Nesse sentido, os SIG mostraram ser o veículo de investigação que melhor atende às necessidades de agregação de informações, modelagem de dados e representação espacial, apresentando-se como recurso essencial para o atendimento desse propósito. O aproveitamento dessas tecnologias requer conhecimentos específicos que implicam na compreensão de como a informação é armazenada, processada e apresentada na linguagem geográfica.

Ao longo da pesquisa foi necessário transitar por variadas questões de ordem conceitual e adotar diversos procedimentos metodológicos até se chegar aos modelos de representação e as indicações de aplicação, no entanto, as abordagens feitas aqui não fecham o assunto, ao contrário, encaminham para novas indagações que exigem desta pesquisa uma reflexão sobre os alcances das colocações feitas.

A abordagem teórica do conceito de distância e espaço relativo norteou o desenvolvimento e aplicação da metodologia tendo em vista a montagem de um banco de dados geográfico, a modelagem de dados e sua representação e a proposta de um sistema de consulta de informações. Nesse processo levou-se em conta os atributos da paisagem e da estrutura da rede rodoviária e identificou-se elementos que pudessem ser modelados e quantificados no ambiente computacional para assim obter respostas práticas à questão da viagem por rodovias rurais e da acessibilidade geográfica.

O mapeamento das estradas e caminhos rurais é uma necessidade estratégica para o planejamento territorial, não se identifica hoje uma preocupação com a gestão dessa informação que ultrapasse o limite das rodovias de maior importância e atenda com mais cuidado o caso das rodovias vicinais. Sobre essa questão, qualquer aprofundamento no campo do conhecimento sobre a rede de rodovias rurais, sobretudo

não-pavimentadas, que dependa de mapas para se fazer, demandará investimentos na produção dos mesmos. Esta deveria ser uma preocupação do planejamento territorial.

No caso do estudo da mobilidade e acessibilidade das populações rurais, enquanto não se dispuser de bases de mapeamento mais detalhadas e num formato que permita a análise pela base SIG, os referências de distância tenderão a se resumir às medidas diretas (euclidiana) sem relação com os atributos geográficos, pondo a perder as reais relações de medidas espaciais.

O procedimento aproximativo que foi adotado para classificar as rodovias não-pavimentadas com base em associações com a distância ao núcleo urbano e adensamentos populacionais requer uma investigação mais aprofundada, sobretudo com encaminhamentos que envolvam validações em campo. A experiência acumulada nesta pesquisa indicou que em alguns casos os cuidados prestados à manutenção das estradas locais variam muito e isso provavelmente tem a ver com o a atenção pública de cada município. Quanto ao mapeamento dessa variável, os melhores resultados dependem ainda de interpretação visual. Contudo, quanto mais precisa for essa informação maior compreensão se terá das condições de mobilidade e acessibilidade por veículo de rolamento, dada a forte dependência a essa variável.

O uso da declividade como um dado de impedância se fez com base na identificação de relações entre as variações das classes de declividade da paisagem com mudanças na superfície de rolamento. Assim, foi possível a indicação de pesos de impedância relacionados a essa variável. A avaliação da declividade como fator de impedância de viagem merece um aprofundamento que vá para além das indicações da forma do terreno. Acredita-se que seja possível avançar para novas integrações que tenham mais a ver com questões de ordem geomorfológica, e levem em conta conhecimento sobre tropicalidade, formações de superfície, substrato rochoso e solo. Dessa forma, a consideração da declividade na avaliação da mobilidade e acessibilidade pode ser investigada para além das operações de sobreposição de planos de informação, mas no âmbito da dinâmica da paisagem.

A atribuição de pesos aos atributos de impedância requer ainda a consulta a especialistas da área de transportes. Os pesos aqui adotados se fizeram a partir de julgamentos, no entanto, do ponto de vista do método, é plausível a medida pela síntese de atributos. Nesse caso a melhor aproximação depende de como se faz a integração dos dados e os traduz em pesos de impedância sobre o referencial de velocidades e tempo de

viagem. Nas propostas de medidas e índices de acessibilidade o uso do critério de restrição é dado por um fator agregado, que pode ser o expoente negativo, um atributo multiplicativo, a soma de pesos, etc. Conforme verificado na literatura especializada essa é uma questão que depende da aplicação. No entanto, percebe-se que os resultados dependem mais de como se desenvolve o raciocínio na elaboração da síntese de informações, do que propriamente do cálculo das impedâncias.

No que diz respeito às medidas de mobilidade geográfica, as considerações se pautaram sobre a estrutura física da rede, e nesse sentido procurou-se identificar fatores de restrição ao deslocamento por veículo automotor. As considerações sobre a mobilidade estão aqui atreladas à condição de fricção por rolamento. A rede modelada pelas impedâncias de viagem atende a indicação que postula que o índice de acessibilidade deve ser tecnicamente viável, operacionalmente simples e de fácil interpretação⁶¹. Nesse caso a adoção da velocidade como medida de mobilidade e de tempo de viagem para a medida de acessibilidade atende a essa indicação.

No processo de construção de uma base de dados geográfico a reflexão sobre os objetivos foi a condição primeira. Embora os SIG dêem aberturas importantes para uma infinidade de aplicações e análises, todo resultado depende da qualidade da informação sobre a qual se trabalha. Esta é uma questão que para o leigo pode parecer simples, mas requer acesso a diferentes fontes de dados e importantes investimentos de tempo e concentração no processo de mapeamento. Muitas tarefas implicam em rotinas repetitivas e a estruturação do banco de dados geográfico demandam um longo caminho até chegar nos resultados apresentados. Nesse sentido, boa parte do trabalho feito aqui se deu primeiramente no nível “laboratorial”, simulando testes com a rede, verificando os resultados das combinações entre planos de informação e da aplicação dos recursos disponibilizados em diferentes *softwares* de SIG.

Resumindo as colocações feitas até aqui, pode se concluir que a hipótese original da possibilidade de construir uma metodologia destinada a otimizar o tempo de traslado das populações rurais aos centros de atendimento à saúde através do uso dos SIG e, particularmente, dos recursos de Rede é tecnicamente viável, deixa de ser uma Hipótese para ser comprovadamente uma Tese.

⁶¹ MORRIS, J. M.; DUMBLE, P. L.; WIGAN, M. R. Accessibility indicators for transport planning. Transportation Research A, Vol 13 A, pp 91-109. 1979.

Concluindo, cabe observar que a proposição metodológica conduzida com uso dos SIG pode atender a duas aplicações de importância para o campo da saúde:

- Apoiar o planejamento da saúde da população rural em nível municipal e/ou regional. Isso pode se dar pelo uso de recursos de análise espacial e pela integração de novos dados. Por exemplo, pode-se especificar quais são os serviços ofertados, o perfil da população atendida, bem como integrar outros fatores de impedâncias espacial ou de outra natureza. A distribuição dos atendimentos na região pode ser confrontada com dados da demanda pelo serviço. O mapeamento do perfil dos usuários dos serviços pode dar orientações mais objetivas sobre as necessidades de atenção.
- A base de dados geográfico estruturada em escala de detalhe possibilita a aplicação para consultas espaciais imediatas. Nesse caso é possível a utilização da base para a identificação de caminhos ótimos entre localidades, planejar roteiros de visitas e análises de coberturas tanto por parte do usuário quanto do provedor. Esta aplicação pode atender interesses dos postos de saúde no atendimento da saúde da população rural, planejar visitas, orientar atendimentos especiais, entre outros.

Esta pesquisa analisa componentes espaciais e apresenta um modelo destinado ao apoio do planejamento e ações do acesso à saúde. A metodologia aqui apresentada pode ser aplicada a outras abordagens, e dá liberdade para a adequação ou inserção de novos procedimentos. Espera-se que contribua em futuras investigações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARCURY, T. A.; PREISSER, J. S.; GESLER, Wilbert M.; POWERS, James M. Access to Transportation and Health Care Utilization in a Rural Region. **The Journal of Rural Health**, Vol. 21, No. 1, 2005.

ARONOFF, S. **Geographical information system: a management perspective**. Ottawa: WDL Publications, 1989.

BAGHERI, N.; BENWELL, G. L.; HOLT, A. Measuring spatial accessibility to primary health care. Apresentado no SIRC 2005 – The 17th Annual **Colloquium of the Spatial Information Research Centre** University of Otago, Dunedin, Nova Zelandia. 24 e 25 de novembro de 2005.

BENTHAM, G.; HAYNES, R. Health, Personal mobility and the use of health services in rural Norfolk. **Journal of Rural Studies**, vol. 1, no. 3, p.231-239, 1985.

BERNHARDESEN, T. **Geographic information systems: an introduction**. New York: Wiley, 1999.

BERRY, J. K. **Beyond mapping: concepts, algorithms, and issues in GIS**. Fort Collins: GIS World Books, 1993, p. 246.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. **Caderno de Ciências da Terra**, n. 13, p. 1-27, 1971.

BLACK, M.; EBENER, S.; AGUILAR, P. N.; VIDAURRE, M.; EL MORJANI, Z. Using GIS to Measure Physical Accessibility to Health Care. **International Health Users Conference**, Washington DC (2004).

BLASCHKE, T.; GLÄSSER, C.; LANG, S. Processamento de Imagens num ambiente integrado SIG/Sensoriamento Remoto – Tendências e Conseqüências. In: BLASCHKE, Thomas; KUX, Hermann. **Sensoriamento Remoto e SIG avançados**. 2a. Edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BONHAM-CARTER, G. F. **Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS**. Pergamon Press, Oxford, 1994. p. 398.

BOSANAC, E. M.; PARKINSON, R. C.; HALL, D. S. Geographic Access to Hospital Care: A 30-Minute Travel Time Standard. **Medical Care**, Vol. XIV, No. 7. July 1976

BRABYN, L.; SKELLY, C. Modeling population access to New Zealand public hospitals. **International Journal of Health Geographics**, 1:3. 2002. Disponível em: <<http://www.ij-healthgeographics.com/content/1/1/3>>. Acesso em: 15/03/2009

BRABYN, L.; BARNETT, R. Population need and geographical access to general practitioners in rural New Zealand. **The New Zealand Medical Journal**. Vol. 117, No. 1199. August 2004. Disponível em: < <http://www.nzma.org.nz/journal/117-1199/996/>>. Acesso em 02/02/2009.

BRAGA, E. L. Mapeamento de Solos Utilizando Técnicas de Geoprocessamento. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30, INPE, p. 3605-3611. abril 2009.

BRAINARD, J. S.; LOVETT, A. A.; BATEMAN, I. J. Using isochrone surfaces in travel-cost Models. **Journal of transport geography**. Vol. 5, no. 2, pp. 117-126, 1997.

BRASIL. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico. Divisão de Capacitação Tecnológica. **Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais**. Rio de Janeiro, 1999. 195p.

BULLEN, Nina; MOON, Graham; JONES, Kelvyn. Defining localities for health planning a GIS approach. **Social Science Medicine**. Vol.42, no. 6, pp.801-816, 1996.

BURROUGH, P. **Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment**. Oxford, England, Oxford University Press, 1986.

BURROUGH, P. A. MCDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems**. Oxford: Oxford University Press, 1998.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M.A.; HEMERLY, A.S.; MAGALHÃES, G.C.; MEDEIROS, C.M.B. **Anatomia de Sistemas de Informações Geográficas**. 10ª Escola de Computação, Instituto de Computação, UNICAMP, Campinas, São Paulo, 1996.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.M.V.; MEDEIROS, J. S. Fundamentos Epistemológicos da Ciência Da Geoinformação. In: CAMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CINNAMON, J.; SCHURMAN, N.; CROOKS, V. A. A method to determine spatial access to specialized palliative care services using GIS. **BMC Health Services Research**, 8:140, 2008.

COYLE, G. AHP: The Analytic Hierarchy Process (AHP). Practical Strategy. Open Access Material. **Pearson Education Limited** 2004. Acesso em 22.04.2010. http://www.booksites.net/download/coyle/student_files/AHP_Technique.pdf

CROMLEY, E. K.; MCLAFFERTY, S. L. **GIS and Public Health**. New York: Guilford Publications, 2002. pp. 233-259.

DE BIASI, M. A. Carta clinográfica: Os métodos de representação e sua confecção. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 6, p. 45-60, 1992.

DER - DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Mapa Rodoviário:** Cubatão – DR 05. São Paulo: Engemap, 2010, escala 1/260.000. Disponível em: <<http://www.der.sp.gov.br/documentos/mapas.aspx>>. Acesso em 14/07/2010.

DONABEDIAN, A. **Aspects of Medical Care Administration**. Cambridge: Haward University Press. 1973.

CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G. Análise de eventos pontuais. In: DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.V.M. (eds) **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília, EMBRAPA, 2004.

EBENER, S.; EL MORJANI, Z.; RAY, N.; BLACK, M. Physical Accessibility to health care: From Isotropy to Anisotropy. **GIS@development**, June, 2005. Disponível em: <<http://www.gisdevelopment.net/magazine/index.htm>>. Acesso em: 15 June 2009.

ERNSTE, H. Physical Space. Radboud University Nijmegen (Nijmegen School Of Management) **Gegographical Approaches**. Ijmegen, 2004.

ESTES, J.; STAR, J. **Geographic Information Systems: An Introduction**. New Jersey: Prentice Hall , 1990, p. 302.

FERREIRA. M. C. Considerações teórico-metodológicas sobre as origens e a inserção do Sistema de Informação Geográfica na Geografia. In: VITTE, A. C. (org.) **Contribuições à história e à epistemologia da Geografia**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. p.101-125.

FIELD, K. Measuring the need for primary health care: an index of relative disadvantage. **Applied Geography** 20, 2000. p.305–332.

GATRELL, A. **Distance and Space: a geographical perspective**. Oxford: Clarendon, 1983.

GOMES, E. G.; MELLO, J. C. C. B. S.; NETO, L. B. Documentos 28: **Envoltória de Dados: Conceitos, Aplicações à Agricultura e Integração com Sistemas de Informação Geográfica**. Embrapa: Campinas, 2003. Disponível em: <http://www.cnpm.embrapa.br/publica/download/d28_envoltdados_vf.pdf>. Acesso em 11.10.2010.

GREGOR, J. Mc. If all ambulances could fly: putting provincial standards of emergency care access to the test in Northern British Columbia. **Canadian Journal of Rural Medicine**. 10(3):163-8. 2005.

GUAGLIARDO, M. F. Spatial accessibility of primary care: concepts, methods and challenges. **International Journal of Health Geographics**, 3:3. 2004.

HAGGETT, P.; CHORLEY, R. **Network Analysis in Geography**. London: Arnold, 1969. 348p.

HANSEN, W. G. How accessibility shapes land use. **Journal of the American Institute of Planners**. v.25, n.2. p.73-76, 1959.

HARADA, J.; FURTADO, L. A. C. Experiência exitosa da regionalização e da implantação da equipe matricial de apoio. **Divulgação em saúde para debate**. Rio de Janeiro, n. 44m p. 100-112, maio 2009.

HARMON, J. E.; ANDERSON, S. J. **The Design and Implementation of Geographic Information Systems**. Hoboken (New Jersey): John Wiley and Sons, 2003, 264p.

HARVEY, D. **Explanation in geography**. New York: St. Martin's, 1969.

_____. A condição pós-moderna. São Paulo: Loyola, 1989.

HIGGS, G.; WHITE, D. Changes in service provision in rural areas. Part 1: The use of GIS in analyzing accessibility to services in rural deprivation research. **Journal of rural studies**. Vol. 13, no. 4, pp 441-450, 1997.

INGRAM, D. R. (1971). The concept of accessibility: a search for an operational form. **Regional Studies**. v.5, n.2, p.101-107.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Contagem da População 2007**. Rio de Janeiro, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Metodologia do Censo Demográfico 2000**. Rio de Janeiro, 2003.

JOSEPH A. E.; BANTOCK P. R. Measuring potential physical accessibility to general practitioners in rural areas: a method and case study. **Social Science & Medicine**, 1982, 16:85-90.

LACOSTE, Y. **A geografia: isso serve, em primeiro lugar, para fazer a guerra**. Campinas: Papyrus, 1988. 263p.

LANGFORD, M.; HIGGS, G. Measuring Potential Access to Primary Healthcare Services: The influence of Alternative Spatial Representations of Population. **The professional Geographer**, 58(3) 2006 p.294-306.

LAURINI, R.; THOMPSON, D. **Fundamentals of spatial information Systems**. London: Academic Press, 1992. 680p.

LERNER, E. B.; MOSCATI, R. M. The Golden Hour: Scientific Fact or Medical 'Urban Legend'? **Academic Emergency Medicine**. July 2001, Volume 8, Number 7.

LIN, G.; ALLAN, D. E.; PENNING, M. J. Examining distance effects on hospitalizations using GIS: a study of three health regions in British Columbia, Canada. **Environment and Planning A**. 2002, volume 34, p.2037-2053.

LIU, S.; ZHU, X. An Integrated GIS Approach to Accessibility Analysis. **Transactions in GIS.** , 2004, 8(1): p.45–62.

LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. **Geographic Information Systems and Science.** NYC: John Wiley and Sons, inc., 2001.

LÓPEZ, F.; AGUILLAR, A. G. Niveles de cobertura y accesibilidad de la infraestructura de los servicios de salud en la periferia metropolitana de la Ciudad de México. Investigaciones Geográficas, **Boletín del Instituto de Geografía**, UNAM, Núm. 54, 2004, p. 185-209.

LOVETT, A.; HAYNES, R.; SUNNENBERG, G.; GALE, S. Car travel time and accessibility by bus to general practitioner services: a study using patient registers and GIS. *Social Science & Medicine* 55, 2002. p.97–111.

_____ ; SUNNENBERG, G.; HAYNES, R. Using GIS to access accessibility to primary healthcare services. In: Maheswaran, Ravi; Craglia, Massimo. **GIS in Public Health Practice.** London: CRC Press, 2004. p. 188-204.

LUO, W. “Using a GIS-based floating catchment method to assess areas with shortage of physicians“. **Health & Place** 10, 2004, p.1–11.

_____ ; Qi, Y. An enhanced two-step floating catchment area (E2SFCA) method for measuring spatial accessibility to primary care physicians. **Health & Place** 15, 2009. p.1100–1107.

_____ ; WANG, F. Measures of spatial accessibility to health care in a GIS environment: synthesis and a case study in the Chicago region. **Environment and Planning B: Planning and Design** Volume 30. 2003, p.865-884.

MACHADO, C. A. S. **Determinação do índice de acessibilidade do município de Osasco / SP pelo uso de imagens de alta resolução espacial e SIG:** uma proposta metodológica. (2008). 169f. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MAGUIRE, D; Goodchild, M.; Rhind, D. (eds.) **Geographical Information Systems.** volume I. John Wiley and Sons, 2 edition, 1993a.

_____ ; Goodchild, M.; Rhind, D. (eds.). **Geographical Information Systems.** volume II - Applications. John Wiley and Sons, 2 edition, 1993b.

MAGUIRE, D. GIS and Science. New York: Esri: GIS Best Practices. **issue of ArcNews magazine** 2008. Disponível em: <<http://www.esri.com/library/bestpractices/gis-and-science.pdf>>. Acesso em: 17/09/2010

MALCZEWSKI, J. **GIS and multi criteria analysis**. New York: John Wiley & Son, 1999. p.392.

MARTINELLI, M. **Mapas da Geografia e Cartografia Temática**. São Paulo: Contexto, 2003.

_____; PEDROTTI, F. A cartografia das unidades de paisagem: questões metodológicas. **Revista do Departamento de Geografia (USP)**, São Paulo, v. 14, p. 39-46, 2001.

MARTIN, D.; WRIGLEY, H.; BARNETT, S.; RODERICK, P. Increasing the sophistication of access measurement in a rural healthcare study. **Health & Place** 8, 2002. p.3–13.

MARTINS, V. B. **Metodologia baseada em sistemas de informação geográfica e análise multicritério para a seleção de áreas para a construção de um repositório para o combustível nuclear usado**. Tese de Doutorado. COPPE-UFRJ. Rio de Janeiro. Julho de 2009. Disponível em: < http://www.con.ufrj.br/DScTeses/teses_2009.htm> acesso: 09.10.2010.

MCGRAIL, M. R.; HUMPHREYS, J. S. The index of rural access: an innovative integrated approach for measuring primary care access. **BMC Health Services Research**, 9:124, 2009. doi:10.1186/1472-6963-9-124.

MENNIS, J. Generating surface models of population using dasymetric mapping. **The Professional Geographer** 55: 31–42. 2003.

MILLER, H. J. Tobler's first law and spatial analysis. **Annals of the Association of American Geographers**, 94(2), 2004, p. 284-289.

MOREIRA, F.; BARBOSA, C.; CÂMARA, G.; ALMEIDA-FILHO, R. Técnicas de Inferência Geográfica. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M.; D'ALGE, J.C. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos, INPE, 2001 (online, 2a. edição, revista e ampliada). Acesso em: 14/015/2010

MORRIS, J. M.; DUMBLE, P. L.; WIGAN, M. R. Accessibility indicators for transport planning. **Transportation Research A**, Vol 13 A, 1979. p.91-109.

MOUETTE, D. **Os pedestres e o efeito barreira**. 1998. 257f. Tese (Doutorado), EPUSP: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

MURAWSKI, L.; CHURCH, R. L. Improving accessibility to rural health services: The maximal covering network improvement problem. **Socio-Economic Planning Sciences** 43, 2009. p.102–110.

NELSON, A. Accessibility, transport and travel time information. **CIAT Hillside Project Report**. Acesso em 12/04/2009: <http://gisweb.ciat.cgiar.org/cross_scale/download/2.5_web.pdf>.2000.

NEMET, G. F.O.; BAILEY, A. J. Distance and health care utilization among the rural Elderly. *Social Science & Medicine* 50, 2000. p.1197-1208.

NOOR, A. M.; ZUROVAC, D.; HAY, S. I. Defining equity in physical access to clinical services using geographical information systems as part of malaria planning and monitoring in Kenya. **Tropical Medicine and International Health**. volume 8 no 10 october, 2003. p. 917–926.

_____. Creating spatially defined databases for equitable health service planning in low-income countries: the example of Kenya. **Acta Tropica** 91, 2004. p.239–251.

ODA, S. **Caracterização de uma rede municipal de estradas não-pavimentadas**. Dissertação de mestrado apresentada à escola de engenharia de São Carlos da USP. 1995

OLIVEIRA, M. J. G. **Hierarquização para orientar a manutenção de rodovias não-pavimentadas**. Tese de Doutorado, São Carlos: EESC-USP, 2005. 112p.

OLIVET, M.; ALOY, J.; PRAT, E.; PONS, X. Oferta de servicios de salud y accesibilidad geográfica. **Méd. Clin.** (Barc.); 131 (Supl 4): 16-22. 2008.

OLSSON, G. **Distance and human interaction**: a review and bibliography. Philadelphia, PA: Regional Science Research Institute, 1965.

PARKER, E. B.; CAMPBELL, J. L. Measuring access to primary medical care: some examples of the use of Geographical information systems. **Health and Place**, vol. 4, no. 2, pp. 183-193, 1998.

PATEL, A. B.; WATERS, N. M.; GHALI, W. A. Determining geographic areas and populations with timely access to cardiac catheterization facilities for acute myocardial infarction care in Alberta, Canadá. **International Journal of Health Geographics**. 2007, 6:47.

PENCHANSKY, R.; THOMAS, J. W. The Concept of Access: Definition and Relationship to Consumer Satisfaction. **Medical Care**, Vol. 19, No. 2, p. 127-140 Published by: Lippincott Williams & Wilkins. Fev., 1981

PERRY, B.; GESLER, W. Physical access to primary health care in Andean Bolivia. **Social Science & Medicine** 50, 2000. p.1177-1188.

PEUQUET, D. J.; MARBLE, D. F. (eds.) **Introductory Readings in Geographic Information Systems**. London: Taylor and Francis, 1990.

PITBLADO, J. R.; PONG, R. W. Don't take "geography" for granted! Some methodological issues in measuring geographic distribution of physicians. **Canadian Journal of Rural Medicine**, 2001;6(2):103-12.

PONTE, K. F.. (Re) Pensando o Conceito do Rural. **Revista NERA**. Presidente Prudente (SP), ANO 7, N. 4. Janeiro/Julho de 2004.

RADKE, J.; MU, L. Spatial decompositions, modeling and mapping Service regions to Predict access do social programs. **Geographic Information Science**. Vol. 6, no. 2, December 2000. p.105-112.

RAY, N.; EBENER, S. AccessMod 3.0: computing geographic coverage and accessibility to health care services using anisotropic movement of patients. **International Journal of Health Geographics** 7:63. 2008.

RAIA JÚNIOR, A. A. **Acessibilidade e mobilidade na estimativa de um índice de potencial de viagens utilizando redes neurais artificiais e sistemas de informações geográficas**. 2000. 196f. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – EESC/USP, São Carlos, 2000.

RODRIGUES, D. S. **Avaliação multicritério de acessibilidade em ambiente SIG**. 2001. 144f. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil Escola de Engenharia Universidade do Minho, Braga, 2001.

RIMBERT, S. **Leçons de cartographie thématique**. Imprinta Paris Société d'édition d'enseignement supérieur, 1968.

RIBAS, W. K. Os limites posicionais do Google Earth. [S.l.]: [2007]. Disponível em: http://www.esteio.com.br/downloads/pdf/precisao_Google-Earth.pdf >. Acesso em: 18/03/2010.

ROOS, N.; CHARLYN, B.; WADE, J.; DECKER, K. How many General surgeons do you need in rural areas? Three approaches to physicians resource planning in southern Manitoba. **Canadian Medical Association Journal**. 15, 155(4). 1996, p.395-401.

SAATY, T. **Métodos de Análise Hierárquica**. São Paulo: McGraw-Hill. 1980.

SACK, R. D. A concept of physical space in Geography. **Geographical Analysis**, 5. 1973, p. 16-34.

SCHUURMAN, N. Defining rational hospital catchments for non-urban areas based on travel-time. **International Journal of Health Geographics** 2006, 5:43.

SHANNON, G. W.; BASHSHUR, R. L.; METZNER, C. A.: The concept of distance as a factor in accessibility of health care. **Med. Care Rev.** 26:143, 1969.

SIG-RB - Sistema de Informações Geográficas do Ribeira de Iguape e Litoral Sul: banco de dados mantido pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Ribeira de Iguape e Litoral Sul (UGRHI-11). Disponível em: <<http://www.sigrb.com.br/index.php>>. Acesso em: 14 fev. 2010.

SHERMAN, J. E.; SPENCER, J.; PREISSER, J. S.; GESLER, W. M.; ARCURY, T. A. A suite of methods for representing activity space in a healthcare accessibility study. **International Journal of Health Geographics** 2005, 4:24.

SILVA, A. B. **Sistemas de Informações geo-referenciadas**. Campinas/SP: Editora da Unicamp, 2003.

SILVA, P. C. M. Elementos de dos Sistemas de Trafego. Material de apoio didático da disciplina Engenharia de Tráfego da Faculdade de Tecnologia, Depto. de Engenharia Civil e Ambiental da área de transportes da UNB. 2001. Fonte: <<http://vsites.unb.br/ft/enc/pagdisc/engtraf>> acesso: 17.05.2010.

SOARES, S. R. Análise Multicritério e Gestão Ambiental. In: PHILIPPI Jr. et al. Curso de Gestão Ambiental. Barueri, São Paulo: Manole, 2004.

STAR,J.; ESTES,J. **Geographic information systems: an introduction**. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 303p. 1990.

STRASSER, R. Rural health around the world: challenges and solutions. **Family Practice** 2003; 20: p.457–463.

TANSER, F. Modelling and understanding primary health care accessibility and utilization in rural South Africa: An exploration using a geographical information system. **Social Science & Medicine** 63, 2006. p.691–705.

TEIXEIRA, A. L. A.; CHRISTOFOLETTI, A. **Sistemas de Informação Geográfica. Dicionário Ilustrado**. São Paulo: Editora Hucitec1997.

THOUEZ, J. M.; BODSON, P.; JOSEPH, A. E. Some Methods for Measuring the Geographic Accessibility of Medical Services in Rural Regions. **Medical Care**, Vol. 26, No. 1, Jan. 1988, p. 34-44.

TOMLIN, C. D. **Geographic information systems and cartographic modeling**. Prentice Hall, Englewood. Cliffs, New Jersey, 1990. 303p.

TOXOPEUS, A.G. ISM-An Interactive Spatial and temporal Modelling System as a tool in ecosystem management. **ITC Publication Number** 44, Enschede. 1996.

TRAVASSOS, C.; MARTINS, M. Uma revisão sobre os conceitos de acesso e utilização de serviços de saúde. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, 20 Sup 2:S190-S198, 2004.

UNGLERT, C. V. S.; ROSENBERG, C. P.; JUNQUEIRA, C. B. Acesso aos serviços de saúde: uma abordagem de geografia em saúde pública. In: **Rev. Saúde Pública** vol.21 nº.5 São Paulo, Out. 1987.

VICKERMAN, R.W. Accessibility, attraction, and potential: a review of some concepts and their use in determining mobility. **Environment and Planning A**, v.6, n.6, 1974. p.675-691.

WHITE, S. D.; GUY, C. M. HIGGS, G.; Changes in service provision in rural areas. Part 2: Changes in Post Office Provision in Mid Wales: A GIS-based Evaluation. **Journal of Rural Studies**, Vol 13, No 4, p.451-465, 1997.

WITTHUHN, B. O. Distance: An Extraordinary Spatial Concept. **Journal of Geography** September / October de 1979. v78 no 5.

YANG, D.; GOERGE, R.; MULLNER, R. Comparing GIS-Based Methods of Measuring Spatial Accessibility to Health Services. **J Med Sys**, 2006, 30(1): 23–32.

YUE, P.; WANG, Y.; GONG, J.; HUANG, X. Network Analysis Modeling Towards GIS Based on Object-Relation Database. **Geo-spatial Information Science** (Quarterly) Volume 7, Issue 3 September 2004.

ZEILER, M. **Modeling Our World: The Esri Guide to Geodatabase Design**. Redlands, CA: ESRI Press, 1999.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Relatório e tabulação de dados de campo

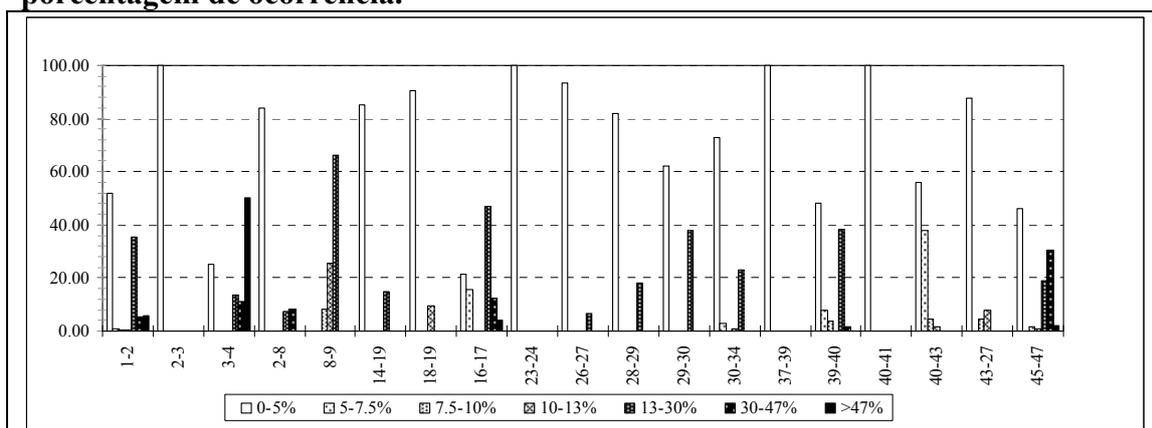
1. Recursos utilizados em campo

		
<p>automóvel de passageiros, 1000cc e 76cp</p>	<p>Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Sony_Cyber-shot_DSC-W30_-2.JPG</p>	<p>Fonte: www.garmin.com</p>

2. Descrições da declividade sinuosidade dos segmentos de rodovias rurais (classe local) visitados em campo.

arcos	veloc. Média	revestimento	situação	característica do relevo	Classes de declividade						
					0-5%	5-7.5%	7.5-10%	10-13%	13-30%	30-47%	>47%
1-2	40.20	pedra britada	rural	aplainado	0.518	0.010	0.004	0.004	0.354	0.054	0.056
2-3	19.00	terra	rural	aplainado	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3-4	18.90	terra	rural	montanhoso	0.249	0.000	0.000	0.000	0.136	0.113	0.502
2-8	23.20	terra	rural	aplainado	0.841	0.000	0.000	0.000	0.076	0.083	0.000
8-9	18.00	terra	rural	ondulado	0.000	0.000	0.081	0.255	0.664	0.000	0.000
14-19	21.00	terra	rural	aplainado	0.854	0.000	0.000	0.000	0.146	0.000	0.000
18-19	19.00	terra	rural	aplainado	0.907	0.000	0.000	0.093	0.000	0.000	0.000
16-17	17.30	terra	rural	montanhoso	0.212	0.157	0.000	0.000	0.468	0.122	0.042
23-24	43.30	pedra britada	urbano2	aplainado	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
26-27	34.50	pedra britada	urbano2	aplainado	0.936	0.000	0.000	0.000	0.064	0.000	0.000
28-29	35.00	terra e pedras	urbano2	aplainado	0.817	0.000	0.000	0.000	0.183	0.000	0.000
29-30	26.40	terra e pedras	urbano3	aplainado	0.623	0.000	0.000	0.000	0.377	0.000	0.000
30-34	23.00	terra e pedras	rural	aplainado	0.730	0.028	0.001	0.008	0.231	0.002	0.000
37-39	29.20	terra	rural	aplainado	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
39-40	19.10	terra	rural	ondulado	0.482	0.079	0.039	0.000	0.384	0.016	0.000
40-41	19.00	terra	rural	aplainado	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-43	34.40	terra e pedras	rural	aplainado	0.560	0.379	0.045	0.016	0.000	0.000	0.000
43-27	35.00	terra e pedras	rural	aplainado	0.877	0.000	0.043	0.080	0.000	0.000	0.000
45-47	22.50	terra	rural	ondulado	0.459	0.000	0.016	0.010	0.188	0.305	0.022

3. Classes de declividade por segmento de rodovia observado (eixo X) e porcentagem de ocorrência.



4. Descrições da sinuosidade e visibilidade dos segmentos de rodovias rurais visitados em campo.

segm	classe rodov	veloc. Média	Distância percorrida	revestimento	sinuosidade média (SIG)	sinuosidade dev. padr. (SIG)	Classe sinuosidade	Visibilidade percebida	situação
1-2	local	40.20	11380.744	pedra britada	0.944486	0.014203	Baixa	Alta	rural
2-3	local	19.00	1771.034	terra	0.915839	0.011857	Média	baixa	rural
3-4	local	18.90	1260.846	terra	0.915839	0.011857	Média	Baixa	rural
2-8	local	23.20	1175.888	terra	0.920175	0.014324	Média	Média	rural
8-9	local	18.00	420.914	terra	0.905852	0	Média	Media	rural
br116	arterial Princ	100.00	18651.802	asfalto	0.995922	0.005873	Baixa	Alta	rural
12-13	arterial secund	52.60	7395.904	asfalto	0.93167	0.01795	Média	Média	rural
14-19	local	21.00	2652.231	terra	0.910597	0.030274	Média	Alta	rural
18-19	local	19.00	1177.767	terra	0.87683	0.007814	Alta	Média	rural
16-17	local	17.30	2952.474	terra	0.939889	0	Média	Baixa	rural
23-24	local	43.30	5231.424	pedra britada	0.983543	0.012112	Baixa	Alta	urbano2
26-27	local	34.50	4485.345	pedra britada	0.940306	0.010278	Baixa	Baixa	urbano2
28-29	local	35.00	1895.138	terra e pedras	0.732342	0	Alta	Média	urbano2
29-30	local	26.40	4056.667	terra e pedras	0.731792	0.000551	Alta	Baixa	urbano3
30-34	local	23.00	3694.207	terra e pedras	0.839896	0.078285	Alta	Baixa	rural
37-39	local	29.20	1632.007	terra	0.904761	0.049162	Média	Média	rural
39-40	local	19.10	1755.251	terra	0.904761	0.049162	Média	Média	rural
40-41	local	19.00	610.679	terra	0.941617	0.012966	Baixa	Alta	rural
40-43	local	34.40	3774.399	terra e pedras	0.941617	0.012966	Baixa	Alta	rural
43-27	local	35.00	5227.927	terra e pedras	0.93987	0.013459	Média	Alta	rural
45-47	local	22.50	1621.415	terra	0.898365	0.018887	Alta	Média	Rural
total			82824.063						

APÊNDICE B - Fotos classe rodovias locais: (a) natural; (b) natural composta; (c) revestimento primário.



(a) Natural



(b) Natural Composta



(c) Revestimento primário

Fotos: Ricardo V. Ferreira

APÊNDICE C - Aplicação do método AHP: Tabelas e Matrizes

1. Etapa de julgamento paritário: CLASSE DE RODOVIAS COLETORAS

Questão Problema:

**O que é mais importante para a manutenção da velocidade na Rodovia Coletora: -----
(CRITÉRIO -a-)--- é ---(PESO)--- a ---(CRITÉRIO -b-)-----**

		AHP	
CRITÉRIO (a)	nota	PESO	CRITÉRIO (b)
Sinuosidade Baixa (1)	1	IGUAL	Sinuosidade Média (2)
Sinuosidade Baixa (1)	2	UM POUCO MELHOR	Visibilidade Média (3)
Sinuosidade Baixa (1)	4	MODERADAMENTE MELHOR	Visibilidade Baixa (4)
Sinuosidade Baixa (1)	6	BEM MELHOR	Sinuosidade Alta (5)
Sinuosidade Baixa (1)	5	MELHOR	Revestimento Primário (6)
Sinuosidade Média (2)	2	UM POUCO MELHOR	Visibilidade Média (3)
Sinuosidade Média (2)	4	MODERADAMENTE MELHOR	Visibilidade Baixa (4)
Sinuosidade Média (2)	3	ALGO MELHOR	Sinuosidade Alta (5)
Sinuosidade Média (2)	3	ALGO MELHOR	Revestimento Primário (6)
Visibilidade Média (3)	2	UM POUCO MELHOR	Visibilidade Baixa (4)
Visibilidade Média (3)	2	UM POUCO MELHOR	Sinuosidade Alta (5)
Visibilidade Média (3)	1	IGUAL	Revestimento Primário (6)
Visibilidade Baixa (4)	3	ALGO MELHOR	Sinuosidade Alta (5)
Visibilidade Baixa (4)	2	UM POUCO MELHOR	Revestimento Primário (6)
Sinuosidade Alta (5)	2	UM POUCO MELHOR	Revestimento Primário (6)

Etapa de julgamento paritário: CLASSE DE RODOVIAS LOCAIS

Questão Problema:

**O que é mais importante para a manutenção da velocidade na Rodovia Local:
---(CRITÉRIO -a-)----- é -----(PESO)----- a -----(CRITÉRIO -b-)---**

CRITÉRIO	NOTA	AHP	
		PESO	CRITÉRIO
Revestimento Primário (1)	2	UM POUCO MELHOR	Sinuosidade Baixa (2)
Revestimento Primário (1)	3	ALGO MELHOR	Visibilidade Média (3)
Revestimento Primário (1)	1	IGUAL	Declividade Baixa (4)
Revestimento Primário (1)	2	UM POUCO MELHOR	Sinuosidade Média (5)
Revestimento Primário (1)	2	UM POUCO MELHOR	Visibilidade Baixa (6)
Revestimento Primário (1)	4	MODERADAMENTE MELHOR	Declividade Média (7)
Revestimento Primário (1)	5	MELHOR	Sinuosidade Alta (8)
Revestimento Primário (1)	5	MELHOR	Revestimento Composto (9)
Revestimento Primário (1)	7	MUITO MELHOR	Declividade Alta (10)
Revestimento Primário (1)	9	ABSOLUTAMENTE MELHOR	Revestimento Natural (11)
Sinuosidade Baixa (2)	2	UM POUCO MELHOR	Visibilidade Média (3)
Sinuosidade Baixa (2)	2	UM POUCO MELHOR	Declividade Baixa (4)
Sinuosidade Baixa (2)	2	UM POUCO MELHOR	Sinuosidade Média (5)
Sinuosidade Baixa (2)	3	ALGO MELHOR	Visibilidade Baixa (6)
Sinuosidade Baixa (2)	4	MODERADAMENTE MELHOR	Declividade Média (7)
Sinuosidade Baixa (2)	3	ALGO MELHOR	Sinuosidade Alta (8)
Sinuosidade Baixa (2)	3	ALGO MELHOR	Revestimento Composto (9)

Etapa de julgamento paritário: CLASSE DE RODOVIAS LOCAIS

Questão Problema:

O que é mais importante para a manutenção da velocidade na Rodovia Local:

---(CRITÉRIO -a-)--- é -----(PESO)----- a -----(CRITÉRIO -b-)---

Sinuosidade Baixa (2)	5	MELHOR	Declividade Alta (10)
Sinuosidade Baixa (2)	4	MODERADAMENTE MELHOR	Revestimento Natural (11)
Visibilidade Média (3)	1	IGUAL	Declividade Baixa (4)
Visibilidade Média (3)	1	IGUAL	Sinuosidade Média (5)
Visibilidade Média (3)	2	UM POUCO MELHOR	Visibilidade Baixa (6)
Visibilidade Média (3)	4	MODERADAMENTE MELHOR	Declividade Média (7)
Visibilidade Média (3)	3	ALGO MELHOR	Sinuosidade Alta (8)
Visibilidade Média (3)	4	MODERADAMENTE MELHOR	Revestimento Composto (9)
Visibilidade Média (3)	2	UM POUCO MELHOR	Declividade Alta (10)
Visibilidade Média (3)	5	MELHOR	Revestimento Natural (11)
Declividade Baixa (4)	1	IGUAL	Sinuosidade Média (5)
Declividade Baixa (4)	1	IGUAL	Visibilidade Baixa (6)
Declividade Baixa (4)	3	ALGO MELHOR	Declividade Média (7)
Declividade Baixa (4)	3	ALGO MELHOR	Sinuosidade Alta (8)
Declividade Baixa (4)	4	MODERADAMENTE MELHOR	Revestimento Composto (9)
Declividade Baixa (4)	5	MELHOR	Declividade Alta (10)
Declividade Baixa (4)	5	MELHOR	Revestimento Natural (11)
Sinuosidade Média (5)	1	IGUAL	Visibilidade Baixa (6)
Sinuosidade Média (5)	1	IGUAL	Declividade Média (7)
Sinuosidade Média (5)	3	ALGO MELHOR	Sinuosidade Alta (8)
Sinuosidade Média (5)	2	UM POUCO MELHOR	Revestimento Composto (9)
Sinuosidade Média (5)	4	MODERADAMENTE MELHOR	Declividade Alta (10)
Sinuosidade Média (5)	5	MELHOR	Revestimento Natural (11)
Visibilidade Baixa (6)	2	UM POUCO MELHOR	Declividade Média (7)
Visibilidade Baixa (6)	2	UM POUCO MELHOR	Sinuosidade Alta (8)
Visibilidade Baixa (6)	3	ALGO MELHOR	Revestimento Composto (9)
Visibilidade Baixa (6)	4	MODERADAMENTE MELHOR	Declividade Alta (10)
Visibilidade Baixa (6)	5	MELHOR	Revestimento Natural (11)
Declividade Média (7)	2	UM POUCO MELHOR	Sinuosidade Alta (8)
Declividade Média (7)	3	ALGO MELHOR	Revestimento Composto (9)
Declividade Média (7)	3	ALGO MELHOR	Declividade Alta (10)
Declividade Média (7)	4	MODERADAMENTE MELHOR	Revestimento Natural (11)
Sinuosidade Alta (8)	1	IGUAL	Revestimento Composto (9)
Sinuosidade Alta (8)	2	UM POUCO MELHOR	Declividade Alta (10)
Sinuosidade Alta (8)	3	ALGO MELHOR	Revestimento Natural (11)
Revestimento Composto (9)	2	UM POUCO MELHOR	Declividade Alta (10)
Revestimento Composto (9)	5	MELHOR	Revestimento Natural (11)
Declividade Alta (10)	3	ALGO MELHOR	Revestimento Natural (11)

3. Normalização e cálculo de matrizes (ATRIBUTOS DAS RODOVIAS COLETORAS)

prioridade dos atributos	Revestimento Primário (1)	Sinuosidade Alta (2)	Visibilidade Baixa (3)	Visibilidade Média (4)	Sinuosidade Média (5)	Sinuosidade Baixa (6)		
Rev. Primário (1)	1	1	2	4	6	5		
Sinuosidade Alta (2)	1.000	1	2	4	3	3		
Visibilidade Baixa (3)	0.500	0.500	1	2	2	1		
Visibilidade Média (4)	0.250	0.250	0.500	1	3	2		
Sinuosidade Média (5)	0.167	0.333	0.500	0.333	1	2		
Sinuosidade Baixa (6)	0.200	0.333	1.000	0.500	0.500	1		
	3.117	3.417	7.000	11.833	15.500	14.000		
		DECLIVIDADE						
	Revestimento Primário (1)	Sinuosidade Alta (2)	Visibilidade Baixa (3)	Visibilidade Média (4)	Sinuosidade Média (5)	Sinuosidade Baixa (6)	Vetor Coluna	Vetor Prioridade
Rev. Primário (1)	0.321	0.293	0.286	0.338	0.387	0.357	1.982	0.330
Sinuosidade Alta (2)	0.321	0.293	0.286	0.338	0.194	0.214	1.645	0.274
Visibilidade Baixa (3)	0.160	0.146	0.143	0.169	0.129	0.071	0.819	0.137
Visibilidade Média (4)	0.080	0.073	0.071	0.085	0.194	0.143	0.646	0.108
Sinuosidade Média (5)	0.053	0.098	0.071	0.028	0.065	0.143	0.458	0.076
Sinuosidade Baixa (6)	0.064	0.098	0.143	0.042	0.032	0.071	0.451	0.075
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	6.000	1.000

	Vetor=matriz x vetorPrioridade		
novο vetor	"pré-lambda"		
2.141	6.484129		
1.762	6.427121		
0.882	6.458805	Lâmbda MÁX	6.386896437
0.706	6.561636	Índice de consistência	IC= 0.077379
0.477	6.249860	$(\lambda_{\max} - n)/(n - 1)$	
0.461	6.139829	se $\lambda > 0.1$ ruim;	
6.430	38.321	se $\lambda < 0.1$ bom	

4. Normalização e cálculo de matrizes (ATRIBUTOS DAS RODOVIAS LOCAIS)

prioridade dos atributos	Revestimento Natural (1)	Declividade Alta (2)	Revestimento Composto (3)	Sinuosidade Alta (4)	Declividade Média (5)	Visibilidade Baixa (6)	Sinuosidade Média (7)	Declividade Baixa (8)	Visibilidade Média (9)	Sinuosidade Baixa (10)	Revestimento Primário (11)
Revestimento Natural (1)	1	2	3	1	2	2	4	5	5	7	9
Declividade Alta (2)	0.500	1	2	2	2	3	4	3	3	5	4
Revestimento Composto (3)	0.333	0.500	1	1	1	2	4	3	4	2	5
Sinuosidade Alta (4)	1.000	0.500	1.000	1	1	1	3	3	4	5	5
Declividade Média (5)	0.500	0.500	1.000	1.000	1	1	1	3	2	4	5
Visibilidade Baixa (6)	0.500	0.333	0.500	1.000	1.000	1	2	2	3	4	5
Sinuosidade Média (7)	0.250	0.250	0.250	0.333	1.000	0.500	1	2	3	3	4
Declividade Baixa (8)	0.200	0.333	0.333	0.333	0.333	0.500	0.500	1	1	2	3
Visibilidade Média (9)	0.200	0.333	0.250	0.250	0.500	0.333	0.333	1.000	1	2	5
Sinuosidade Baixa (10)	0.143	0.200	0.500	0.200	0.250	0.250	0.333	0.500	0.500	1	3
Revestimento Primário (11)	0.111	0.250	0.200	0.200	0.200	0.200	0.250	0.333	0.200	0.333	1
	4.737	6.200	10.033	8.317	10.283	11.783	20.417	23.833	26.700	35.333	49.000

	Revestimento Natural (1)	Declividade Alta (2)	Revestimento Composto (3)	Sinuosidade Alta (4)	Declividade Média (5)	Visibilidade Baixa (6)	Sinuosidade Média (7)	Declividade Baixa (8)	Visibilidade Média (9)	Sinuosidade Baixa (10)	Revestimento Primário (11)	Vetor Coluna	Vetor Prioridade
Revest. Natural (1)	0.211	0.323	0.299	0.120	0.194	0.170	0.196	0.210	0.187	0.198	0.184	2.292	0.208
Decliv. Alta (2)	0.106	0.161	0.199	0.240	0.194	0.255	0.196	0.126	0.112	0.142	0.082	1.813	0.165
Revest. Composto (3)	0.070	0.081	0.100	0.120	0.097	0.170	0.196	0.126	0.150	0.057	0.102	1.268	0.115
Sinuos. Alta (4)	0.211	0.081	0.100	0.120	0.097	0.085	0.147	0.126	0.150	0.142	0.102	1.360	0.124
Decliv. Média (5)	0.106	0.081	0.100	0.120	0.097	0.085	0.049	0.126	0.075	0.113	0.102	1.053	0.096
Visibil.de Baixa (6)	0.106	0.054	0.050	0.120	0.097	0.085	0.098	0.084	0.112	0.113	0.102	1.021	0.093
Sinuos. Média (7)	0.053	0.040	0.025	0.040	0.097	0.042	0.049	0.084	0.112	0.085	0.082	0.710	0.065
Decliv.de Baixa (8)	0.042	0.054	0.033	0.040	0.032	0.042	0.024	0.042	0.037	0.057	0.061	0.466	0.042
Visibil. Média (9)	0.042	0.054	0.025	0.030	0.049	0.028	0.016	0.042	0.037	0.057	0.102	0.482	0.044
Sinuos. Baixa (10)	0.030	0.032	0.050	0.024	0.024	0.021	0.016	0.021	0.019	0.028	0.061	0.327	0.030
Revest. Primário (11)	0.023	0.040	0.020	0.024	0.019	0.017	0.012	0.014	0.007	0.009	0.020	0.208	0.019
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	11.000	1.000

novo vetor	"pré-lambda"			
2.452	11.767939			
1.958	11.877874			
1.387	12.027082			
1.457	11.788541			
1.107	11.559467			
1.088	11.718528	Lambda MÁX	11.665841922	
0.751	11.643004			
0.489	11.551079	Índice de consistência	IC=	0.066584
0.497	11.331831	$(\lambda_{\max} - n)/(n - 1)$		
0.343	11.533377	se $\lambda > 0.1$ ruim;		
0.218	11.525538	se $\lambda < 0.1$ bom		
11.746	128.324			