

ORGANIZAÇÃO ESPACIAL DA REDE DE BAIROS RURAIS DOS MUNICÍPIOS DA APA FERNÃO DIAS - MG

Eliana Corrêa Aguirre de Mattos

Doutora em Geografia - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
ecamattos@terra.com.br

Gracieli Trentin

Doutora em Geografia - Universidade Federal do Rio Grande
gracitrentin@gmail.com

Resumo

A área de transportes tem diversas aplicações em estudos geográficos, normalmente associada a um complexo sistema de redes. A teoria dos grafos estuda a eficiência destas redes, os seus impactos locais e regionais, a conexão e o grau de acessibilidade entre unidades territoriais com dinâmicas espaciais distintas, como é o caso em estudo, que congrega municípios situados em duas bacias hidrográficas e pertencentes a uma mesma área de proteção ambiental, regrada por um Plano Gestor Ambiental único, a APA Fernão Dias, ao sul de Minas Gerais. Analisou-se a conectividade e a acessibilidade para os 41 bairros rurais pertencentes à APA a partir de variações na construção de redes, utilizando-se gráficos não-planares para toda a rede viária da APA e para cada bacia hidrográfica (BH) a ela pertencente relacionando os resultados às características topográficas da APA. Os resultados obtidos para os índices α e γ mostram a rede viária dos bairros rurais (nós) da BH Piracicaba/Jaguari mais conectada que a rede da BH Sapucaí. Concluiu-se que as elevadas altitudes que separam ambas as bacias são significativas para a fragilidade dos acessos entre os bairros localizados nesta intersecção, sendo, portanto, fundamental a inclusão de estudos de conectividade e acessibilidade da rede de bairros rurais de municípios integrantes de áreas ambientalmente protegidas, posto ser em nível local a execução do planejamento ambiental previsto na legislação ambiental incidente.

Palavras-chave: Análise Espacial. Sistema de Redes Viárias. Bairros Rurais. Áreas Ambientalmente Protegidas.

SPATIAL ORGANIZATION OF RURAL DISTRICTS NETWORK AT APA FERNÃO DIAS-MG COUNTIES

Abstract

Transportation area has several applications in geographical studies, usually associated with a complex road networks system. The graph theory studies their efficiency, as well their local and regional impacts, the connection and degree of accessibility between regions with different spatial dynamics into an environmental protection area, ruled by a single environmental management plan, such as the APA Fernão Dias, south of Minas Gerais. This paper aims to analyze the connectivity and accessibility for all APA 41 rural districts from

Recebido em 20/10/2014 / Aprovado para publicação em 01/10/2016.

OBSERVATORIUM: Revista Eletrônica de Geografia, v.7, n.20, p. 68-84, nov/2016.

variations in the construction of two types of network, using non-planar graphs for the entire APA road network and for each river basin it belongs. The results obtained for α and γ indices show the road network of rural districts (nodes) of BH Piracicaba/Jaguari more connected than the BH Sapucaí and isolation of two nodes, Areias, BH in Piracicaba/Jaguari and Santa Luiza in BH Sapucaí, which belongs to the road system without trails, implying no connection in this network. The high altitudes separating both basins are also significant to the access fragility between neighborhoods located at this intersection and so it is fundamental to include the study of rural districts network connectivity and accessibility on a environmentally protected area to be able to apply locally and efficiently its environmental management plan determined by incident laws.

Keywords: Spatial Analysis. Network Road Systems. Rural Districts. Environmentally Protected Areas. Minas Gerais.

Introdução

A organização do espaço é tema de estudo em diversas áreas do conhecimento, como a engenharia, a arquitetura e a geografia. Especialmente para essa última, que interliga fenômenos políticos, sociais, econômicos na composição do espaço geográfico e adquire grande relevância na expressão espacial dos fenômenos, no sentido da identificação e análise do arranjo espacial do fenômeno em estudo.

Um tema com diversas aplicações em estudos geográficos é a área de transportes, normalmente associada a um complexo sistema de redes. A análise de redes, atualmente, tem encontrado grande relevância em face da enorme inserção em aspectos que abrangem desde o grau de sustentabilidade no desenvolvimento produtivo de uma nação até a aferição da qualidade de vida da população.

Considerando-se a complexidade inerente a este sistema espacial e para que sua análise seja possível é necessário simplificar de modo substancial sua forma e sua estrutura real. Muitos trabalhos e metodologias foram desenvolvidos neste sentido, como pode ser verificado em Hagget e Chorley (1969), Taaffe e Gauthier (1973), Chapman (1979), os quais citam a teoria dos grafos. Lang e Blaschke (2009) argumentam que na Geografia e nas ciências do transporte foram difundidos os índices alfa e gama com base na teoria dos grafos. Segundo os autores a aplicação destes índices foi apresentada no manual *Landscape Ecology* de Forman e Godron, publicado em 1986, no entanto, existem poucos estudos empíricos sobre o tema. Utilizando-se esta teoria no mapeamento das redes de transporte, os estudos geográficos se mantêm concentrados nas propriedades topológicas destas redes, e não em toda a gama de propriedades identificáveis no sistema, ainda que tais propriedades possam integrar as análises finais destes estudos.

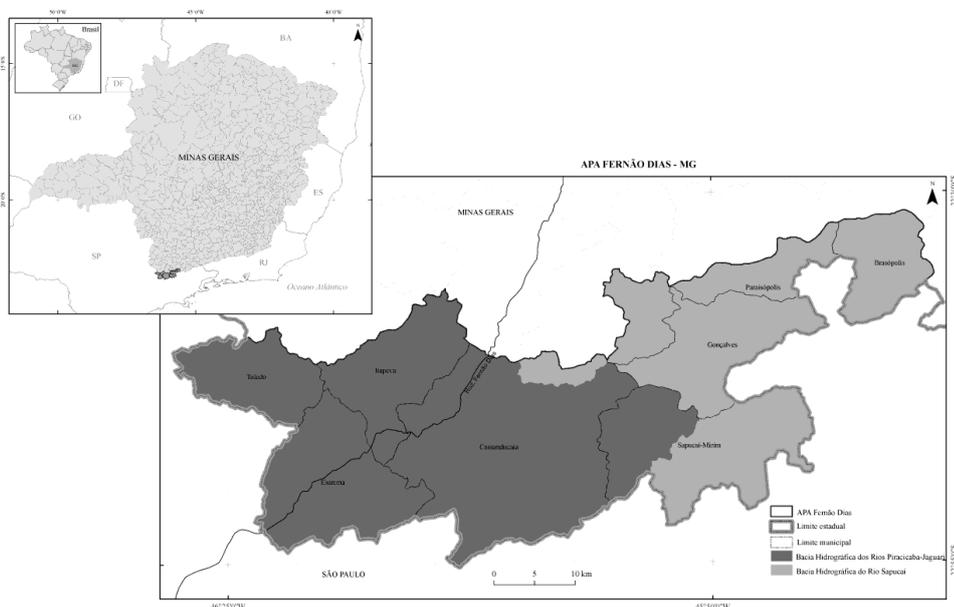
A teoria dos grafos traz elementos fundamentais ao estudo da rede de transportes, como pontos e linhas. Destes elementos decorrem conceitos, como o de conectividade e o de acessibilidade, termos que já emergem no nosso cotidiano e que trazem a questão das distâncias das localidades, da eficiência destas redes, dos seus impactos locais e regionais como por exemplo, nas formas de conexão e no grau de acessibilidade entre unidades territoriais que constituem uma área de proteção ambiental, como é o caso do presente estudo, a APA Fernão Dias.

A APA Fernão Dias está localizada ao sul do Estado de Minas Gerais (Figura 1), foi instituída pelo Decreto nº 38.925 de 17/07/1997 como condicionante para concessão do licenciamento ambiental da duplicação da Rodovia Fernão Dias (BR-381) e abrange oito municípios: Toledo, Itapeva, Extrema, Camanducaia, Gonçalves, Sapucaí-Mirim e parte dos municípios de Brasópolis e de Paraisópolis. Esta APA tem localização estratégica por abranger a rede formada pelas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba e Jaguari e do rio Sapucaí de fundamental importância para o Sistema Cantareira, que abastece as regiões metropolitanas de São Paulo e Campinas, e para as regiões paulistas e mineiras pertencentes a esta rede hidrográfica.

As áreas ocupadas por cada uma das bacias hidrográficas na APA caracterizam dinâmicas espaciais distintas que estão em uma mesma área protegida, regidas por um plano gestor único, o Plano Gestor Ambiental da APA Fernão Dias-MG, cuja função é gerenciar o ordenamento de todo território abrangido, de acordo com as diretrizes do zoneamento ambiental aprovado para a área.

A bacia hidrográfica do rio Sapucaí ocupa aproximadamente uma área de 660 km² ou 36% da APA (porção leste), integra a bacia do Rio Grande e abrange 48 municípios mineiros e 3 paulistas, onde vivem cerca de 620.000 pessoas.

Figura 1: Localização da APA Fernão Dias no Estado de Minas Gerais e área de abrangência das duas bacias hidrográficas.



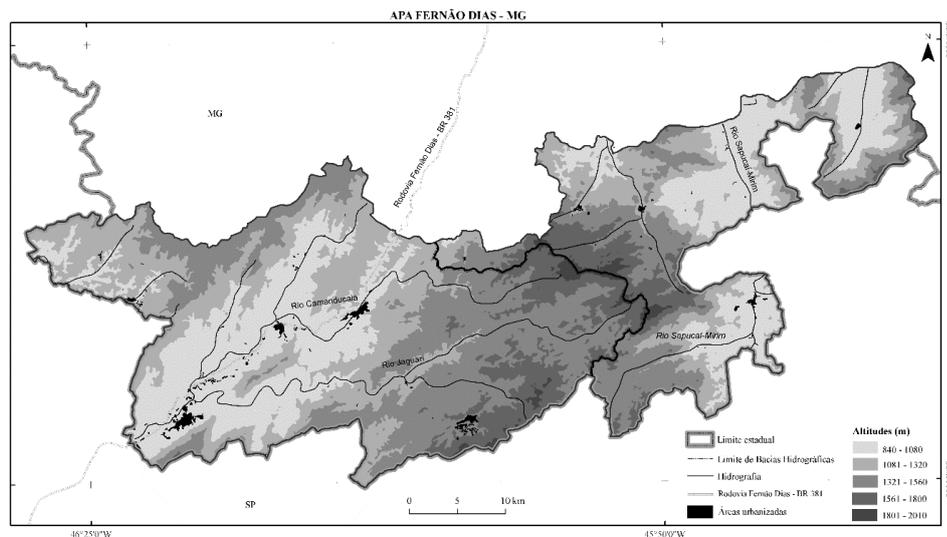
Esta bacia possui área total de drenagem de 8.882 km² e tem como seus principais corpos de água o rio Sapucaí e o rio Sapucaí-Mirim (Figura 2), cuja nascente está a 1.680 m de altitude, já no limite da APA à jusante da bacia sua altitude é de 840 m, apresentando uma amplitude altimétrica de 840 m (Comitê BH Sapucaí, 2014).

Já a bacia hidrográfica dos rios Piracicaba e Jaguari ocupa a maior porção da APA Fernão Dias (64%), tem como seus principais cursos de água na área da APA os rios Camanducaia e Jaguari, sendo que as nascentes do rio Jaguari estão a 1.500 m de altitude, e no limite da APA à jusante estão a 880 m, apresentando uma amplitude altimétrica de 620 m. A área total de drenagem da bacia é de 15.303,67 km², área esta que abrange a porção paulista com 14.137,79 km² e a porção mineira, com 1.165,88 km². Esta bacia é composta por 73 municípios paulistas e 5 mineiros, integral ou parcialmente. À montante da confluência com o rio Camanducaia, em solo mineiro, o rio Jaguari é represado, fazendo parte do sistema Cantareira. Esse sistema, considerado o maior da América Latina, produz água para 50% da população da Região Metropolitana de São Paulo – RMSP (Comitê PCJ, 2014).

Elementos geomorfológicos da APA Fernão Dias assinalam relevo variando de fortemente inclinado a montanhoso, sobretudo no divisor de águas das duas bacias hidrográficas analisadas, onde podem ser verificadas altitudes que variam de 1.681 a 2.010 m, constituindo barreiras físicas que, *per si*, constituem um desafio à integração e à implementação de regramentos ambientais únicos (Figura 2) em sua área de abrangência.

Aliado a este desafio surgem questões quanto à conectividade e à acessibilidade entre as localidades (municípios), especificamente quanto à distribuição espacial dos bairros rurais pertencentes a cada município da APA, considerando-se ainda a influência da Rodovia Fernão Dias na dinâmica espacial local.

Figura 2: Características topográficas da APA Fernão Dias, considerando o limite entre as bacias e os principais cursos de água.



Com relação a aspectos sociais e econômicos pode ser destacado, o município de Extrema, na bacia do rio Piracicaba/Jaguari, que possui o maior PIB per capita (R\$ 85.344,54 a preços correntes) e o maior número de empresas atuantes (1.170), de acordo com dados do IBGE para os anos de 2011 e 2012, respectivamente. Já na bacia do rio Sapucaí, o maior valor de PIB é do município de Paraisópolis (R\$ 16.290,23 a preços correntes), o qual possui ainda, 529 empresas atuantes. Os dados populacionais da APA mostram variação de 28.599 habitantes em Extrema, que apresenta sensível diferença entre a população urbana e a rural, para 4.220 habitantes, em Gonçalves (Tabela 1). Ainda na Tabela 1 podem ser verificados dados socioeconômicos para todos os municípios da APA, considerando-se a divisão entre as duas bacias hidrográficas (Figura 1). Sob este foco, há uma nítida diferença entre os dados apresentados quanto às características demográficas dos municípios por elas abrangidos, compondo universos distintos e, conforme detalhado na seqüência, também com meios de acessibilidade singulares entre eles.

Este contexto mostra que em uma área de aproximadamente 180 mil hectares da APA Fernão Dias-MG são desenvolvidas atividades voltadas à exploração econômica dos recursos

hídricos, minerais, agrícolas, florestais e pastoris, bem como de turismo e desenvolvimento industrial nos municípios ali abrangidos, obedecendo em caráter regional ao zoneamento do Plano Gestor de áreas ambientalmente protegidas.

Tabela 1: Dados censitários dos municípios pertencentes à APA Fernão Dias-MG e as bacias hidrográficas a que pertencem (adaptado de IBGE, 2010; 2011). * A preços correntes.

Bacias hidrográficas	Municípios	População (2010)			Área km ²	Densidade de hab/km ²	PIB per capita* (2011)
		Urbana	Rural	Total			
Bacia hidrográfica dos rios Piracicaba/Jaguari	Extrema	26.023	2.576	28.599	244,575	129,93	85.344,54
	Camanducaia	15.469	5.611	21.080	528,476	30,46	12.896,89
	Itapeva	4.511	4.153	8.664	117,347	54,28	12.843,85
	Toledo	2.190	3.574	5.764	136,776	46,82	5.861,11
	Gonçalves	1.164	3.056	4.220	187,353	25,03	7.063,06
Bacia hidrográfica do rio Sapucaí							
	Paraisópolis	16.058	3.321	19.379	331,238	76,99	16.290,23
	Sapucaí-Mirim	3.783	2.458	6.241	285,075	21,89	9.772,10
	Brasópolis	7.891	6.770	14.661	367,688	39,87	9.918,13

Ao mesmo tempo, esta organização territorial também ocorre a nível local, com os Planos Diretores ou com as leis orgânicas destes municípios, nível no qual se promove a integração da comunidade na rede existente entre as áreas urbanas (sedes dos municípios) e rurais (bairros).

Nesta perspectiva propôs-se analisar a conectividade e a acessibilidade entre os bairros rurais dos municípios da APA Fernão Dias, considerando uma análise topológica a partir de

redes, com base nas vias de circulação presentes na área de estudo. A partir disso foi possível verificar e comprovar a existência de dinâmicas espaciais distintas em decorrência da presença de dois sistemas hidrográficos nesta APA, aliada às características físicas que a caracterizam. Este estudo busca contribuir quanto a formas de alicerçar o planejamento territorial que integrem áreas ambientalmente protegidas às realidades locais onde são inseridas.

Material e Métodos

Para o desenvolvimento deste estudo, inicialmente foi obtida a base cartográfica a partir das cartas topográficas, em escala 1:50.000, do IBGE: Extrema, Cambuí, Paraisópolis, Monteiro Lobato, Tremembé, Munhoz, Camanducaia, Campos do Jordão. Além da base cartográfica, foram utilizados os dados GDEM do sensor ASTER (2009) para caracterização topográfica da APA Fernão Dias; dados provenientes da elaboração do Plano Gestor da APA, como o número e respectiva localização espacial dos 41 bairros rurais que compreendem a APA, além de dados socioeconômicos obtidos em consultas a órgãos de pesquisa, como IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

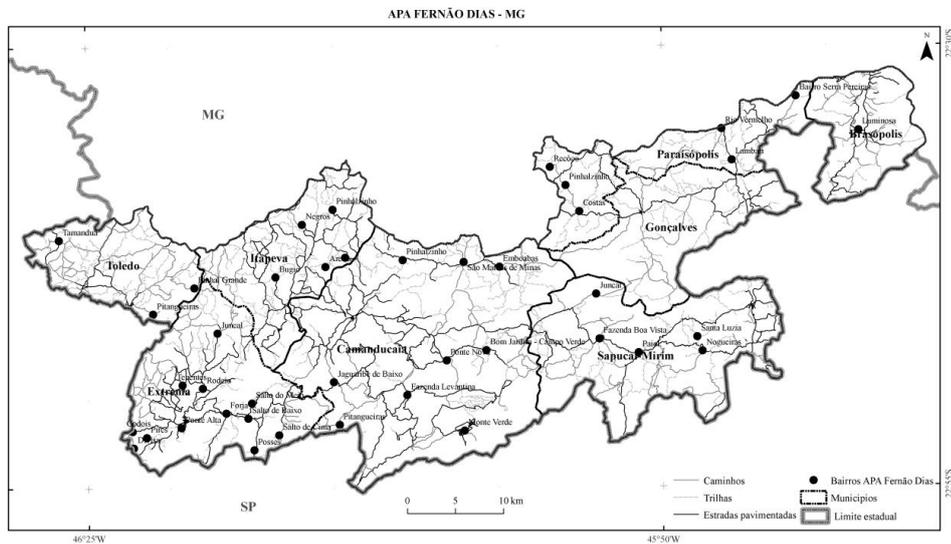
Com base no sistema viário dos municípios que compreendem a APA, considerando-se o traçado das vias pavimentadas, dos caminhos e das trilhas (Figura 3a), foi construída a rede para os bairros (Figura 3 b). A partir da construção desta rede foi possível obter os parâmetros necessários para o cálculo dos índices e matrizes que caracterizam a conectividade e a acessibilidade entre os bairros rurais, de acordo com metodologia de Taaffe e Gauthier (1973) e Chapman (1979).

Em vista das características físicas e da localização da APA Fernão Dias em áreas de duas bacias hidrográficas, optou-se por analisar a conectividade e a acessibilidade a partir de variações no processo de construção da rede para os 41 bairros rurais dos municípios a ela pertencentes. Obtiveram-se dois tipos de redes: o primeiro tipo considerando-se a área abrangida pela APA, utilizando-se a totalidade das vias existentes (pavimentadas, caminhos e trilhas) e apenas as vias pavimentadas e caminhos; já o segundo tipo de rede foi construído focando-se nas áreas abrangidas em cada bacia hidrográfica, igualmente considerando-se a existência de três vias de acesso e a subtração da tipologia de vias por trilhas, respectivamente.

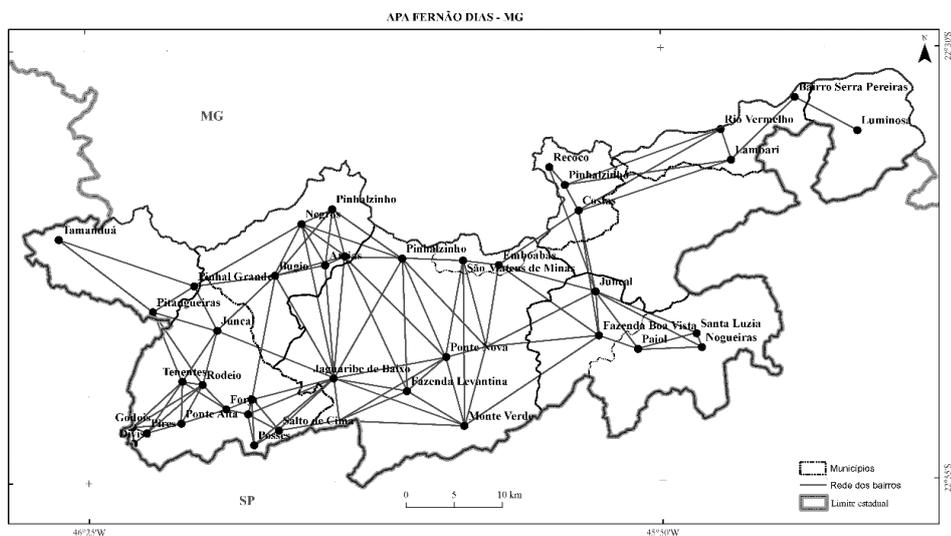
A opção de variar na construção das redes, com a presença e ausência das trilhas, se deveu a possibilidade da verificação e análise da dinâmica de conectividade e acessibilidade na área de estudo, uma vez que o relevo existente apresenta importantes variações e muitas das conexões entre os bairros são realizadas somente por trilhas.

As redes obtidas representam, em forma de gráfico, as conexões existentes entre os bairros da APA. Segundo Chapman (1979), a topologia é uma área da geometria que se ocupa da natureza das conexões entre os pontos, em uma figura.

Figura 3: a) Base cartográfica da APA Fernão Dias-MG com a rede viária. b) Rede de bairros rurais construída a partir das vias de circulação da APA Fernão Dias-MG.



(a)



(b)

Por sua vez, a teoria dos grafos é uma área da topologia a qual se preocupa com a análise abstrata de configurações consistindo de pontos e linhas. Portanto, a representação ou gráfico construído inclui linhas individuais, que são descritos como “*edges*” e nós, denominados “*vertices*”. Com base nessas abstrações são obtidos os parâmetros para a aplicação dos índices, que descreverão, por sua vez, a conectividade e a acessibilidade da área em estudo.

A conectividade de uma rede expressa o decréscimo no qual a mesma permite movimentos diretos entre seus vários nós e é uma medida agregada relacionada à estrutura, como um todo. Já a acessibilidade é específica para os nós individuais, os quais são diferenciados em termos de sua localização relativa a um e a outro. Para Taaffe e Gauthier (1973) se as redes forem idealizadas em gráficos, portanto, em abstrações de pontos (nós/*vertices*) e linhas (*links/edges*), podem ser planares ou não planares. Hagget e Chorley (1969) descrevem os gráficos planares como aqueles em que todas as linhas (*edges*) encontram-se em um mesmo plano; já nos não-planares, as linhas sobrepõem-se umas às outras.

Neste estudo, para facilidade da construção da rede viária e considerando-se o número de bairros existentes em ambas as bacias hidrográficas pertencentes à APA Fernão Dias-MG, com seus respectivos traçados de vias pavimentadas, caminhos e trilhas existentes, foram utilizados gráficos não-planares (TAAFE e GAUTHIER, 1973) para toda a rede viária da APA e para cada bacia hidrográfica, respectivamente.

Estabeleceu-se uma distância máxima de 18 km para a inserção das linhas (*links*) entre os bairros de forma que as redes construídas representassem coerentemente a conectividade entre os bairros rurais sob estudo, a exemplo da definição do limiar de 1 ha para o estudo de caso apresentado por Lang e Blaschke (2009) para a definição do tamanho mínimo de manchas florestais a serem consideradas.

Especificamente para a análise de conectividade foram utilizados os índices α (alfa), β (beta) e γ (gama), conforme proposta de Hagget e Chorley (1969), Chapman (1979) e Taaffe e Gauthier (1973). Estes índices foram desenvolvidos a fim de descrever a extensão na qual uma rede adquire sua máxima conectividade (KANSKY, 1963, citado por CHAPMAN, 1979), são baseados na relação existente entre o número de linhas e pontos em uma rede e são medidas topológicas de uma estrutura em rede.

O índice γ (gama) é a razão entre o número de linhas em uma rede e seu número máximo (de *edges/links*), razão esta que pode existir para um número específico de nós.

Quanto maior a razão, maior o número de caminhos adicionais ou alternativos em uma rede. Este índice, conforme Lang e Blaschke (2009) pode assumir valores entre 0 e 100%, onde 0 significa desconectado e 100, totalmente conectado.

O índice β (beta) diferencia estruturas topológicas simples das mais complexas. É o mais simplificado dos três: expressa o número de linhas presente em uma rede relacionado ao número de nós a serem conectados nesta rede e pode indicar o número médio de linhas entrando e saindo de cada nó; é utilizado para gráficos planares e não-planares. E o índice α (alfa) encontra-se intimamente relacionado ao índice gama, posto que é a razão baseada mais no número de circuitos do que no número de nós desta rede.

Circuitos são os caminhos na rede que se iniciam e finalizam-se no mesmo nó, passando apenas uma vez por uma linha. Lang e Blaschke (2009) apontam que este índice calcula o número de possíveis laços de fluxos de energia, então, o valor 0 é atribuído a um sistema sem conexões e o valor 1 para um sistema com conexões.

Para gráficos não-planares, os índices α , β e γ são calculados a partir das seguintes equações, onde $e = edges$ e $v = vertices$:

$$\beta = \frac{e}{v} \quad \text{Equação 1}$$

$$\alpha = \frac{e - v + 1}{v(v - 1) - (v - 1)} \times 100 \quad \text{Equação 2}$$

$$\gamma = \frac{e}{v(v - 1)} \times 100 \quad \text{Equação 3}$$

Para a análise de acessibilidade foram utilizados índices de conectividade, chamados índices de dispersão e índice de dispersão média, obtidos por meio de matrizes binárias e de matrizes de caminho mais curto (*shortest-path matrices*) para cada tipo de rede construída. As matrizes binárias indicam que nenhuma via de um único sentido está presente na rede; seu uso mais importante reside da identificação de caminhos indiretos entre nós, recurso utilizado em rotas aéreas, por exemplo.

De acordo com Chapman (1979), a matriz binária pode ser expressa por um índice de 1 e 0, indicando a presença ou ausência, respectivamente, de conexões diretas entre nós (bairros) individuais, e mede, portanto, a acessibilidade direta de uma rede, como pode ser verificado, por exemplo, na conexão existente entre os bairros Tamanduá e Pitangueiras, ambos no município de Toledo (Figura 3a).

Na segunda forma de representação matricial, toma-se o artifício do caminho mais curto entre dois nós e obtêm-se índices de dispersão e de dispersão média, a partir da soma geral das linhas da matriz. Tomando-se novamente a Figura 3a, ainda que seja possível o trajeto de Tamanduá a Pitangueiras via Pinhal, o caminho mais curto se dá entre os dois primeiros bairros.

Resultados e Discussão

As representações gráficas (não-planares) correspondentes às redes para o sistema viário da APA Fernão Dias-MG evidenciam as conexões entre os bairros rurais pertencentes a cada município desta área de proteção ambiental. A Figura 4 mostra as variações das redes construídas neste estudo, relacionando os bairros rurais de cada município com os componentes do sistema viário existente - vias pavimentadas, caminhos e trilhas - completo (Figura 4, a.1, b.1 e c.1) e incompleto, sem as trilhas (Figura 4, a.2, b.2 e c.2) e ainda com as áreas pertencentes às bacias hidrográficas dos rios Piracicaba e Jaguari e rio Sapucaí.

Analisando-se os resultados obtidos há uma importante diferença entre a complexidade da rede viária entre os bairros rurais dos municípios pertencentes à bacia hidrográfica dos rios Piracicaba e Jaguari e aqueles pertencentes à bacia hidrográfica do rio Sapucaí (Figura 4, a.1 e a.2).

A composição da rede viária sem as trilhas, para toda a APA e para cada uma das bacias teve como objetivo analisar a importância deste tipo de traçado, mais precário, no acesso aos bairros rurais, comparando-se os seus resultados com os outros tipos de pavimentos e destes com as bacias em questão. A ausência do pavimento “trilhas” na rede é mais significativa na rede dos bairros rurais da BH Sapucaí, limitando a conexão entre eles. No entanto, a restrição mais significativa para ambas as bacias é o isolamento de dois bairros, Areias (BH Piracicaba-Jaguari) e Santa Luiza (BH Sapucaí), o que reforça a fragilidade das vias de acesso aos bairros rurais nos municípios pertencentes à APA Fernão Dias-MG.

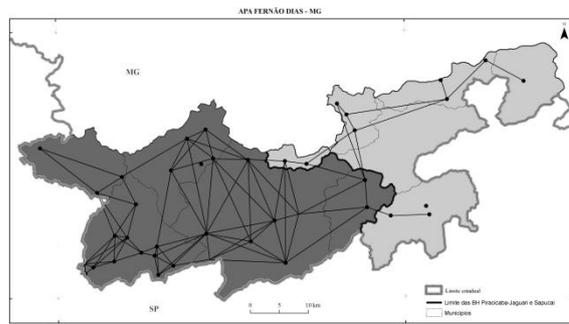
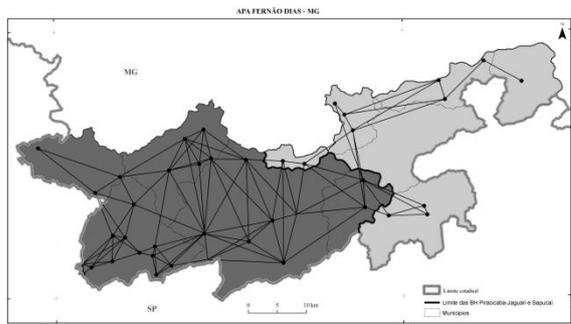
Sob a perspectiva do relevo e da variação de altitude, especialmente nos limites de ambas as bacias hidrográficas abrangidas pela área de proteção ambiental onde o relevo caracteriza-se por ser fortemente inclinado (1.561 a 1.800 m) e variando de fortemente inclinado a montanhoso (1.800 a 2.010 m), as conexões entre os bairros limítrofes às duas bacias são significativamente reduzidas (Figura 4, d.1), chegando a limitar o acesso a alguns bairros quando não são consideradas as trilhas na rede viária construída (Figura 4, d.2).

Para comparar a complexidade estrutural de duas ou mais redes são necessárias medidas que permitam descrever o grau de conectividade destas redes; para tanto os índices gama (γ) e alfa (α) são os mais utilizados.

Figura 4 – Redes viárias não-planares construídas para cada bacia hidrográfica pertencente à APA Fernão Dias-MG completas (a.1, b.1 e c.1) e sem trilhas (Figuras a.2, b.2 e c.2). Sobreposição no mapa de altitudes das redes viárias completas (d.1) e sem trilhas (d.2) localizadas na intersecção da bacia dos rios Piracicaba e Jaguari e do rio Sapucaí.

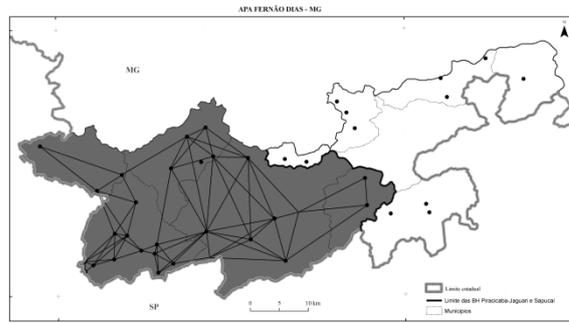
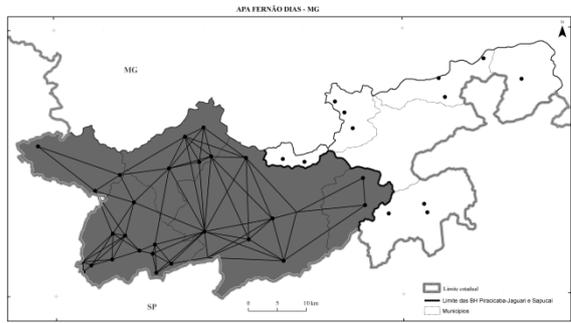
Rede viária completa

Rede viária sem trilhas



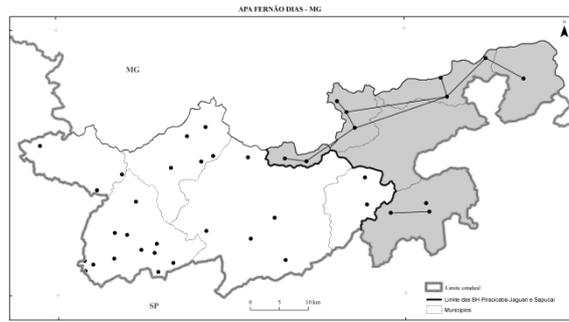
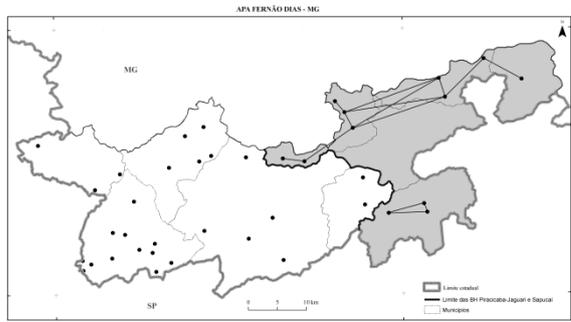
(a.1)

(a.2)



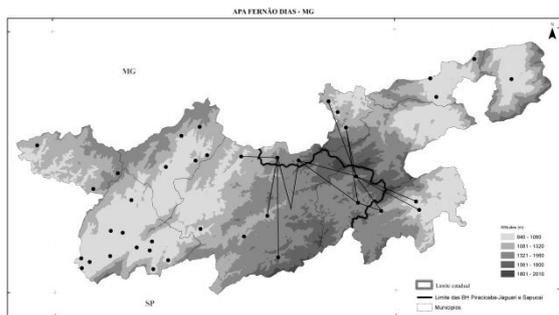
(b.1)

(b.2)

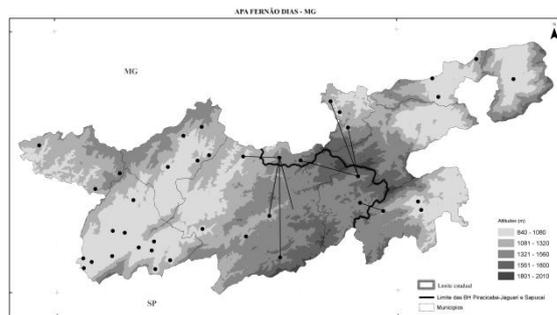


(c.1)

(c.2)



(d.1)



(d.2)

Desta forma, os índices de conectividade alfa, gama e beta foram aplicados para as redes não-planares da APA Fernão Dias-MG, considerando o sistema viário completo (vias pavimentadas, caminhos e trilhas) e o sistema viário incompleto (sem as trilhas), bem como o número de linhas (*edges*) e nós (*vertices*) da rede viária da APA Fernão Dias-MG e das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba e Jaguari e do rio Sapucaí a ela pertencentes, respectivamente (Tabela 2).

Tabela 2: Caracterização da conectividade dos bairros rurais da APA Fernão Dias-MG.

Composição da rede viária Índices	Sistema viário completo (vias pavimentadas, caminhos e trilhas)			Sistema viário sem trilhas		
	APA	BH P/J	BH SAP	APA	BH P/J	BH SAP
Linhas – <i>e</i> (<i>edges</i>)	218	162	28	182	146	20
Nós – <i>v</i> (<i>vertices</i>)	41	29	12	41	29	12
$\beta = \frac{e}{v}$	5,317	5,586	2,333	4,439	5,035	1,667
$\alpha = \frac{e - v + 1}{v(v - 1) - (v - 1)} \times 100$	0, 1113 11,13 %	0,1709 17,09%	0,1405 14,05%	0,0888 8,875%	0,1505 15,05 %	0,0744 7,44%
$\chi = \frac{e}{v - 1} \times 100$	0,1329 13,29 %	0,1995 19,95	0,2121 21,21%	0,1110 11,10%	0,1798 17,98 %	0,1515 15,15%

BH P/J = bacia hidrográfica Piracicaba/Jaguari. BH SAP= bacia hidrográfica Sapucaí.

Em relação à aplicação do índice beta (β) aos dados obtidos da rede viária construída para a APA Fernão Dias-MG e para as bacias hidrográficas por ela abrangidas tem-se resultados parecidos para o número médio de linhas (*edges*) entrando ou saindo de cada nó (*vertice*), ou bairro rural, para a APA e para a BH Piracicaba-Jaguari; já em relação à BH Sapucaí o índice indica menores conexões, mais prejudicado quando se trata de sistemas viários sem trilhas.

Os resultados obtidos para os índices α e γ mostram-se coerentes com as características da rede viária construída, sendo a rede viária dos bairros rurais da BH Piracicaba/Jaguari percentualmente mais conectada que a da BH Sapucaí. Na aplicação dos índices no sistema viário sem trilhas, tendo em vista o isolamento de dois (nós) bairros rurais na rede, Areias, na BH Piracicaba/Jaguari e Santa Luiza, na BH Sapucaí, tal resultado implica na não conexão desta rede (TAAFE e GAUTHIER, 1973).

A partir das matrizes binárias e também das matrizes do caminho mais curto, obtidas a partir das redes viárias construídas, foi possível verificar o grau de acessibilidade entre os bairros rurais da APA Fernão Dias-MG e também na área correspondente a cada bacia hidrográfica abrangida pela área de proteção ambiental (Tabela 3).

Tabela 3: Caracterização da acessibilidade das redes dos bairros rurais da APA Fernão Dias-MG por meio dos índices resultantes de matrizes binárias e matrizes do caminho mais curto.

Representação da matriz	Composição da rede viária					
	Rede com vias pavimentadas, caminhos e trilhas			Rede com vias pavimentadas e caminhos		
	Matriz binária	Matriz do caminho mais curto		Matriz binária	Matriz do caminho mais curto	
Índice de dispersão		Índice de dispersão médio	Índice de dispersão		Índice de dispersão médio	
Rede viária bairros rurais (APA Fernão Dias-MG)	Sim	5.808	141,66	Sim	5.888	143,61
Rede viária	Sim	2.117	73,00	Sim	2.174	74,87

bairros rurais BH Piracicaba/Jaguari						
Rede viária bairros rurais BH Sapucaí	Sim	168	14,00	Sim	174	14,50

Em relação aos índices obtidos nas matrizes de caminho mais curto construídas para as redes viárias da APA Fernão Dias-MG e das bacias hidrográficas a ela pertencentes, quanto menores os valores resultantes dos índices de dispersão, maior a acessibilidade verificada na rede.

Isto pode ser verificado na rede viária dos bairros rurais da APA Fernão Dias-MG, considerando o sistema viário completo, que obteve o valor médio de dispersão de 141,66, valor este abaixo daquele obtido se aplicado no sistema viário sem as trilhas (143,61), indicando menor acessibilidade desta rede.

O mesmo se aplica nos resultados obtidos para ambas bacias hidrográficas, ou seja, o índice de dispersão médio indica uma maior acessibilidade dos bairros da BH Piracicaba-Jaguari que a dos existentes na BH Sapucaí.

São significativos os resultados obtidos para cada bacia hidrográfica pertencente à APA Fernão Dias-MG e os dados socioeconômicos apontados da Tabela 1, pois corroboram as realidades distintas dos municípios, e também com as características topográficas (Figura 2) da área protegida.

Considerações Finais

A diferença na acessibilidade e nos índices de conectividade dos bairros encontrados nas duas bacias hidrográficas abrangidas pela APA Fernão Dias-MG lhe confere uma maior complexidade e desafios em relação à gestão unificada deste espaço protegido, realizada pelas diretrizes do Plano Gestor da APA. Os resultados obtidos revelam distinção importante existente na acessibilidade entre os bairros pertencentes às duas bacias e na importância de vias precárias de acesso, como as trilhas, para o não isolamento de bairros.

As elevadas altitudes que separam ambas as bacias são significativas para a fragilidade dos acessos entre os bairros que se localizam nesta intersecção e podem constituir-se em um fator de impedância que mais as distingue que as une em torno de um único planejamento de

gestão da referida área protegida, revelando diferentes dinâmicas de usos da terra, de interesses econômicos e de gestões próprios à realidade dos municípios que integram tanto a bacia hidrográfica do Sapucaí como a do Piracicaba/Jaguari.

Posto que a ausência ou a não disponibilidade de dados atualizados em nível municipal da rede viária (vias pavimentadas, caminhos e trilhas) dificulta a análise da conectividade e da acessibilidade entre os bairros rurais, sugere-se, em futuros trabalhos, a atualização dos dados da rede viária, ainda que com base em dados provenientes do sensoriamento remoto. Sugere-se ainda o levantamento de dados dos bairros rurais quanto aos aspectos censitários, econômicos e sociais, para que possa ser obtido maior detalhamento desta proposta de análise.

A inserção de uma análise espaço-temporal pode incrementar de forma significativa as análises de conectividade e acessibilidade da rede, uma vez que os índices e as matrizes obtidos comparados ao longo de um período fornecerão maior sustentação à aplicação.

Considera-se importante ainda, a inclusão nas discussões de planejamento e consolidação de novas áreas ambientalmente protegidas (APA's, Parques, Reservas) de questões relacionadas à conectividade e à acessibilidade da rede dos bairros rurais nos municípios escolhidos para este fim. Isto porque é de fato em nível de administração local que as ações resultantes de uma gestão socioambiental e de seu plano efetivamente ocorrem, os validando, e que, portanto, deverão estar consoantes com as demandas da comunidade local, elemento fundamental para que esse processo de proteção ambiental da área em questão seja eficiente, dinâmico e inclusivo.

Referências

CHAPMAN, K. **People, Pattern and Process**. London: Edward Arnold Publishers, 1979.
CHORLEY, R. J.; HAGGET, P. **Network analysis in geography**. London: Edward Arnold Publishers, 1969.

COMITÊ BH SAPUCAÍ. Disponível em
<<http://www.cbhsapucaí.org.br/cbh/Pagina.do;jsessionid=1unor4h6yvir?idSecao=15>>.
Acesso em 05 mar. 2014.

COMITÊ PCJ. Disponível em
<http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/PB/PB0407_Cap03.pdf>. Acesso em 06 mar. 2014.

CONSÓRCIO ERG-SCTP. **Plano de Gestão da APA Fernão Dias**. SEMAD. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável; IEF. Instituto Estadual de

Florestas; IGAM. Instituto Mineiro de Gestão de Águas; FEAM. Fundação Estadual do Meio Ambiente; DER-MG. Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais, 2008.

HAGGET, P. **Locational Analysis in Human Geography**. London: Edward Arnold Publishers, 1970.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cartas topográficas**. Extrema MG-SP, Cambuí-MG, Paraisópolis MG-SP, Monteiro Lobato MG-SP, Tremembé SP-MG, Munhoz MG-SP, Camanducaia MG-SP, Campos do Jordão SP-MG. Brasil, 1971/1972/1973/1974, 1. ed.; 2. reimpressão, 1991. Escala 1:50.000.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2010; Produto Interno Bruto dos Municípios 2011; Estatísticas do Cadastro Central de Empresas 2012. **IBGE–Cidades@**. Disponível em <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?lang=&coduf=31&search=minas-gerais>>. Acesso em 15 jul. 2014.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da Paisagem com SIG**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. Tradução de Hermann Kux.

TAAFFE, E.J.; GAUTHIER, H.L. **Geography of transportation**. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J, 1973.