

Relação entre a densidade e a conectividade das estradas, e o relevo em uma paisagem fragmentada da Mata Atlântica (Planalto de Ibiúna, SP)

Simone Rodrigues Freitas¹

Jean Paul Metzger¹

¹ Laboratório de Ecologia da Paisagem e Conservação, Depto. Ecologia Geral, Inst. de Biociências, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, SP, Brazil
simonerfreitas@yahoo.com.br, jpm@ib.usp.br

Abstract. Road ecology focuses the interaction between roads and the environment and can be applied in conservation biology, transport engineering, and landscape planning. This study aims to evaluate the relationships between topography and road density and road connectivity. The study site was the Planalto de Ibiúna, located in São Paulo State, southeastern Brazil. Road connectivity was measured through alpha index, from graph theory. The study site was divided in regions with different altimetry ranges, whereas road density and connectivity were measured for three years (1962, 1981 and 2000). Results showed that the relationship between road connectivity and topography depends on agricultural expansion on the lowest areas, and there is a tendency for a negative relationship between topography and road density, since roads rarely occur on steep areas.

Palavras-chave: SIG, topography, land use, road, GIS, topografia, uso da terra, estrada.

1. Introdução

As estradas afetam a atmosfera, o solo, a vegetação, a fauna e as comunidades humanas que estão em suas proximidades; e, por sua vez, as estradas são afetadas pelo ambiente onde são construídas (Forman & Alexander, 1998; Forman *et al.*, 2003, Forman, 2004). A compreensão das relações entre as estradas e o ambiente, incluindo o homem, pode servir como ferramenta para a tomada de decisão em planejamento ambiental e de transportes, envolvendo questões econômicas, sociais, ecológicas e políticas, sendo, em essência, uma área de pesquisa multidisciplinar e de grande aplicabilidade (Dramstad *et al.*, 1996; Forman, 2004).

Estradas servem para conectar centros urbanos e para acessar e dar suporte a atividades de uso da terra, tais como agropecuária e produção de madeira. As estradas se conectam em rede, variando em forma e propósito. Os serviços oferecidos pela estrada determinam fortemente a forma da rede viária (Forman *et al.*, 2003). Por exemplo, redes viárias retilíneas servem para uso residencial com maior eficiência, enquanto que redes dendríticas suportam atividades de produção madeireira em áreas montanhosas (Forman *et al.*, 2003). Os padrões ramificados da rede viária em terreno montanhoso são formados em parte pela conformação das estradas com o fundo dos vales e as colinas, assim como pelos limites definidos pela declividade sobre as estradas subindo as montanhas. Terrenos planos e cidades frequentemente contêm redes viárias regulares, enquanto que áreas periurbanas têm redes retilíneas mais irregulares, por apresentarem alguma variação topográfica (Forman *et al.*, 2003). Estradas localizadas em propriedades rurais usadas para escoamento da produção agrícola são preferencialmente construídas na mesma cota altimétrica, para não causar formação de barrancos que afetam a segurança da movimentação das máquinas agrícolas e favorecem a erosão (Politano *et al.*, 1989). Dessa forma, essas estradas raramente ocorrerem em áreas declivosas, podendo apresentar uma relação negativa com a topografia.

Em estudos de paisagens fragmentadas, as estradas são analisadas geralmente quanto a sua distância em relação ao fragmento de habitat ou quanto a sua densidade na paisagem ou no entorno do fragmento. No entanto, Forman *et al.* (2003) destaca a importância de incluir a forma da rede de estradas nesse tipo de estudo. Jaeger (2000) mostrou que o tamanho da rede e

sua variabilidade espacial podem afetar processos ecológicos já que a alta variância implica na presença de algumas áreas grandes sem estradas que são importantes para sustentar muitas condições ecológicas-chave. O grau de conectividade das estradas, medida originalmente usada na teoria dos grafos, pode ser uma forma de medir como as estradas se distribuem na paisagem. A teoria dos grafos é uma maneira de descrever estruturas topológicas reduzindo-as em sua forma mais básica e elementar (Haggett & Chorley, 1969). O grafo é um conjunto de nós (N) e arestas (A) tal que cada aresta é uma conexão entre dois nós (Arlinghaus *et al.*, 2002). A rede viária é um grafo com circuitos fechados, cuja estrutura pode ser medida através do grau de conectividade (índice alfa; Haggett & Chorley, 1969).

O objetivo desse estudo é compreender a relação entre a densidade e a conectividade das estradas, e o relevo em uma paisagem fragmentada da Mata Atlântica (Planalto de Ibiúna, SP).

2. Área de Estudo

O Planalto de Ibiúna se localiza nos municípios de Cotia e Ibiúna, Estado de São Paulo (23°35'S, 23°50'S; e 46°45'W, 47°15'W). A floresta original da região é classificada como floresta ombrófila densa montana (Oliveira-Filho & Fontes, 2000). Os fragmentos são caracterizados por manchas de floresta em diferentes estádios de regeneração (Uezu *et al.*, 2005; Teixeira, 2005).

3. Material e Métodos

Foram utilizados mapas das estradas principais e secundárias referentes aos anos de 1962 (1:25.000), 1981 (1:35.000) e 2000 (1:10.000), gerados a partir de fotointerpretação, e mapas de altimetria gerados a partir de um modelo numérico baseado em curvas de nível, consideradas em intervalos de 5 em 5 m, e digitalizadas com base em cartas topográficas (1:10.000; aerolevantamentos de 1979) do Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo, produzidos por Teixeira (2005).

A rede viária foi interpretada através de grafos, sendo as estradas consideradas como arestas, e as bifurcações das estradas, localidades e sedes das propriedades rurais como nós (Arlinghaus *et al.*, 2002). Os mapas das estradas principais e secundárias, referentes aos anos de 1962, 1981 e 2000, foram usados de base para essa interpretação. Cada grafo, que representa a rede viária de cada época, foi avaliado quanto ao grau de conectividade através do índice alfa (Haggett & Chorley, 1969). O índice α é calculado através do número de arestas, nós e sub-grafos (grupos de segmentos independentes) (Figura 1). Quanto maior este índice, maior a conectividade da rede. Outra medida da rede de viária foi a densidade de estradas (comprimento total das estradas / área).

Para testar o efeito do relevo sobre a conectividade e a densidade das estradas, a área de estudo foi dividida em 6 sub-regiões com diferentes intervalos de altimetria (860-879 m, 880-899 m, 900-919 m, 920-939 m, 940-959 m e 960-1060 m). A divisão em sub-regiões foi feita através do *software* ArcView 3.2, combinado a matriz de hipsometria (TIN) com a de estradas (com células de 10 m). A densidade e a conectividade das estradas foram avaliadas em cada faixa altimétrica. Depois disso, foi analisada a relação da conectividade e da densidade de estradas com a altimetria, em cada um dos três anos (1962, 1981 e 2000).

Para avaliar se existe relação entre a conectividade e a densidade das estradas, foi usada a Correlação de Pearson, já que as variáveis apresentaram distribuição normal segundo o teste de Kolmogorov-Smirnov (Zar, 1996). Para verificar se a densidade e a conectividade de estradas se distribuem igualmente pelas faixas altimétricas, aplicou-se um teste Qui-quadrado. Os valores esperados de densidade de estradas foram representados pela média dos

valores observados nas faixas altimétricas, enquanto os de conectividade foram representados pela moda, valores praticamente nulos (0,001). A diferença foi considerada significativa quando o teste de Qui-quadrado obtivesse $p \leq 0,05$, com nível de significância de 5% (Zar, 1996). As análises foram feitas para os anos separadamente.

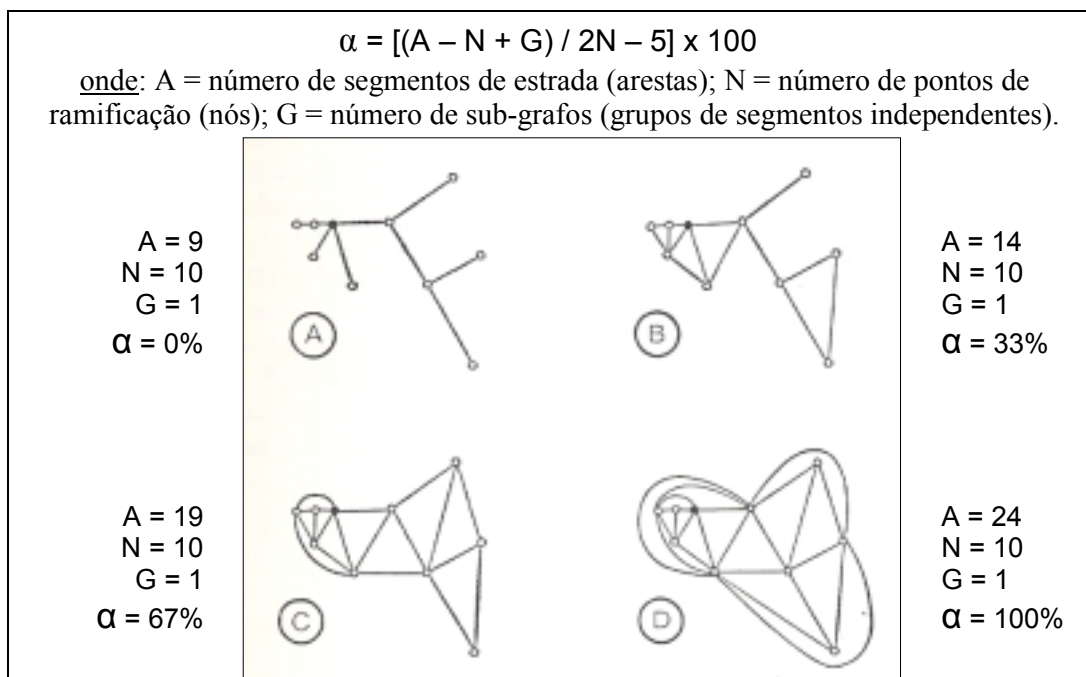


Figura 1. Esquema mostrando o aumento da conectividade, usando grafos com número constante de sub-redes ($G=1$) e nós ($N=10$). Na seqüência ABCD, o aumento do número de ligações (arestas) leva ao aumento da conectividade (α) (Haggett & Chorley, 1969).

4. Resultados

Quanto à relação entre a conectividade e a densidade das estradas, a correlação foi positiva e significativa no ano 1981 ($R = 0,902$; $p < 0,05$), mas não foi significativa nos anos de 1962 ($R = 0,722$; $p > 0,05$) e de 2000 ($R = 0,4336$; $p > 0,05$). Em geral, as faixas altimétricas com os maiores valores de conectividade de estradas são aqueles com as maiores densidades de estradas (Tabela 1).

A área coberta por cada faixa altimétrica foi semelhante, variando de 0,95 a 2,55 km² (Tabela 1). Quanto à relação entre o relevo e as estradas, nota-se que a densidade das estradas apresenta os maiores valores nas cotas de 880-899 m e 920-939 m de altitude (Figura 2). No entanto, o teste Qui-quadrado mostrou que as diferenças não são significativas para os anos de 1962 ($\chi^2 = 1,999$; $p > 0,05$), 1981 ($\chi^2 = 1,700$; $p > 0,05$) e 2000 ($\chi^2 = 4,096$; $p > 0,05$). Além disso, observa-se um aumento na densidade de estradas com o passar dos anos, sendo o ano de 2000, aquele com os maiores valores de densidade (Figura 2).

Em relação à conectividade das estradas, nota-se que esta apresenta os maiores valores nas cotas de 880-899 m, 920-939 m e 940-959 m de altitude (Figura 3). O teste Qui-quadrado mostrou que as diferenças são significativas para os anos de 1962 ($\chi^2 = 476,19$; $p < 0,05$), 1981 ($\chi^2 = 380,82$; $p < 0,05$) e 2000 ($\chi^2 = 1474,30$; $p < 0,05$). Além disso, observa-se que as estradas mais conectadas presentes em 1962, na faixa altimétrica de 880-899 m, desapareceram nos anos seguintes, e nestes anos de 1981 e 2000, as estradas mais conectadas

se concentram nas cotas de 920-939 m e 940-959 m, mostrando uma tendência do aumento da conectividade com o passar do tempo, especialmente em 2000 (Figura 3).

Tabela 1. Densidade e conectividade (Índice α) das estradas em relação a altimetria nos três anos.

Faixa altimétrica (m)	Área (km ²)	1962		1981		2000	
		Densidade (km/km ²)	Índice α (%)	Densidade (km/km ²)	Índice α (%)	Densidade (km/km ²)	Índice α (%)
860-879	1,26	13,84	0,000	15,71	0,000	17,34	0,000
880-899	2,40	17,02	0,434	18,47	0,000	28,17	0,000
900-919	2,55	13,87	0,210	17,07	0,000	22,45	0,115
920-939	1,96	16,91	0,496	21,57	0,508	27,54	1,107
940-959	0,95	15,59	0,000	21,96	0,353	24,88	0,489
> 960	0,95	10,60	0,000	17,55	0,000	19,42	0,000

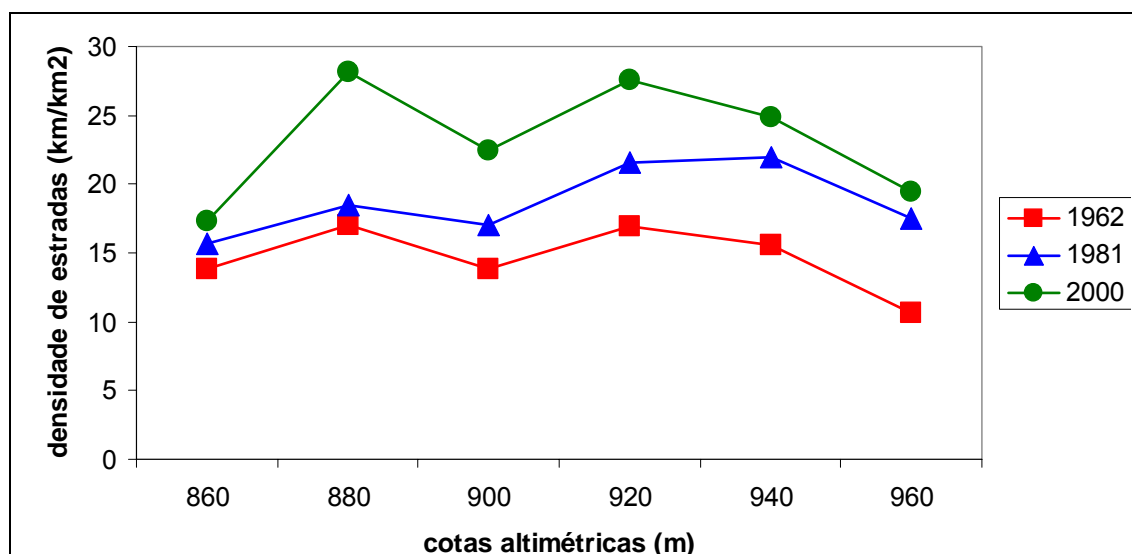


Figura 2. Densidade de estradas em relação a altimetria nos três anos estudados.

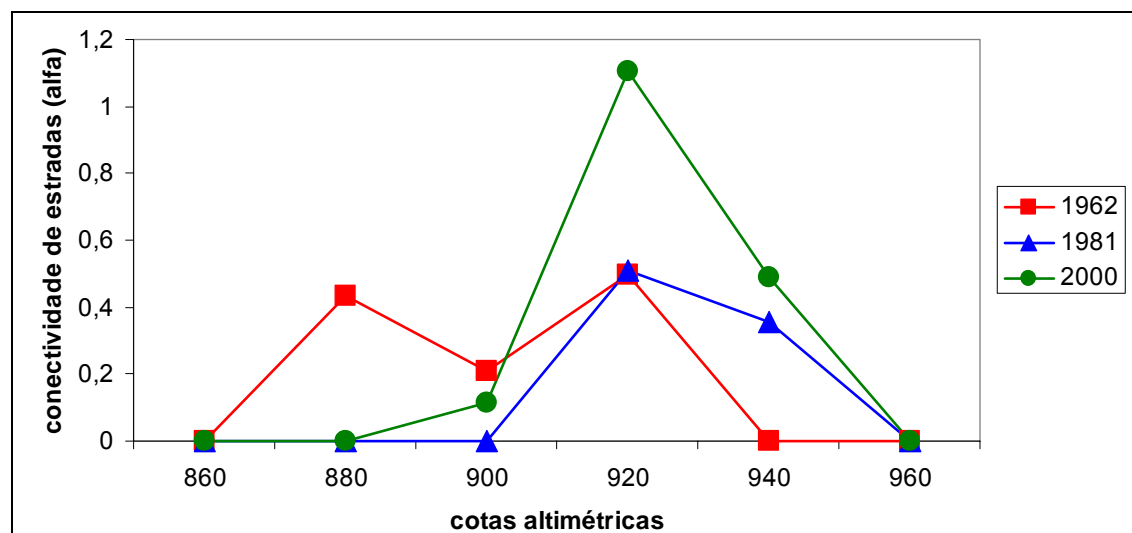


Figura 3. Conectividade de estradas em relação a altimetria nos três anos estudados.

5. Discussão

As relações encontradas entre o relevo e as estradas mostram que as altitudes mais baixas (880-899 m e 920-939 m) apresentam maior conectividade das estradas e uma tendência de maior densidade das estradas. Essas altitudes correspondem às áreas mais propícias à agricultura (terras mais planas e baixas, e de fácil acesso), ao contrário das áreas de maior declividade e altitude (Teixeira 2005). Assim, como esperado, as estradas localizadas em propriedades rurais, usadas para escoamento da produção agrícola, raramente ocorrem em áreas declivosas, tendendo a apresentar uma relação negativa entre a densidade de estradas e a topografia. As menores densidade e conectividade das estradas na faixa altimétrica mais baixa (860-879 m) podem ser explicadas pela forma mais retilínea das estradas nos fundos de vale, estando as conexões da rede viária e a maior parte das estradas nas faixas altimétricas onde ocorre a maior concentração de propriedades rurais (880-899 m, 920-939 m e 940-959 m).

Além disso, o aumento da densidade e da conectividade das estradas com o passar dos anos pode ser associada à expansão dos loteamentos urbanos, que foi favorecida pela instalação e ampliação da rede elétrica e pela melhora e duplicação da Rodovia Raposo Tavares, que é a principal via de acesso entre a área de estudo e a cidade de São Paulo (Teixeira 2005). A expansão de loteamentos urbanos, sendo muitos para construção de casas de veraneio, no período de 1981 e 2000, provavelmente foi um dos fatores que levaram a mudança na maior ocorrência de estradas conectadas nas cotas de 880-899 m e 920-939 m em 1962 para as cotas 920-939 m e 940-959 m em 1981 e 2000, já que as casas de veraneio não ocorrem necessariamente em áreas mais propícias à agricultura.

6. Conclusão

A relação entre a conectividade de estradas e a altimetria é condicionada pela expansão da agricultura e das casas de veraneio em áreas mais baixas. Além disso, existe uma tendência para uma relação negativa entre a altimetria e a densidade de estradas, já que raramente as estradas ocorrem em áreas declivosas.

Referências

- Arlinghaus, S.; Arlinghaus, W. C.; Harary, F. **Graph Theory and Geography: An Interactive View E-Book**. New York: John Wiley & Sons, 2002. 320 p.
- Dramstad, W. E.; Olson, J. D.; Forman, R. T. T. **Landscape ecology principles in landscape architecture and land-use planning**. Washington: Island Press, 1996. 80 p.
- Forman, R. T. T. Road ecology's promise: What's around the bend? **Environment**, v. 46, n. 3, p. 8-21, 2004.
- Forman, R. T. T.; Alexander, L. E. Roads and their major ecological effects. **Annual Reviews in Ecology & Systematics**, v. 29, p. 207-231, 1998.
- Forman, R. T. T.; Sperling, D.; Bissonette, J. A.; Clevenger, A. P.; Cutshall, C. D.; Dale, V. H.; Fahrig, L.; France, R.; Goldman, C. R.; Heanue, K.; Jones, J. A.; Swanson, F. J.; Turrentine, T.; Winter, T. C. **Road ecology: science and solutions**. Washington: Island Press, 2003. 481 p.
- Haggett, P.; Chorley, R. J. **Network analysis in geography**. London: Edward Arnold, 1969. 348 p.
- Jaeger, J. A. G. Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation. **Landscape Ecology**, v. 15, p. 115-130, 2000.
- Oliveira-Filho, A. T.; Fontes, M. A. L. Patterns of floristic differentiation among Atlantic Forests in Southeastern Brazil, and the influence of climate. **Biotropica**, v. 32, n. 4b, p. 793-810, 2000.
- Politano, W.; Lopes, L. R.; Amaral, C. **O papel das estradas na economia rural**. São Paulo: Nobel, 1989. 78 p.

Teixeira, A. M. G. **Modelagem da dinâmica de uma paisagem do Planalto de Ibiúna (1962-2000) e inferências sobre a sua estrutura futura (2019)**. 2005. 118 p. Dissertação (Mestrado em Ciências, na Área de Ecologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo. 2005.

Uezu, A.; Metzger, J. P.; Vielliard, J. M. E. Effects of structural and functional connectivity and patch size on the abundance of seven Atlantic Forest bird species. **Biological Conservation**, v. 123, p. 507-519, 2005.

Zar, J. H. **Biostatistical analysis**. New Jersey: Prentice-Hall, 1996. 662 p.