



Índices de vegetação aplicados na análise da qualidade ambiental da paisagem do município de São Carlos-SP

Diego Peruchi Trevisan¹
Luiz Eduardo Moschini²
João Vitor Roque Guerrero³

¹Universidade Federal de São Carlos
Rod. Washington Luís, Km 235 – São Carlos, SP – Brasil.
diego.peruchi@gmail.com

²Universidade Federal de São Carlos
Rod. Washington Luís, Km 235 – São Carlos, SP – Brasil.
lemoschini@ufscar.br

³Universidade Federal de São Carlos
Rod. Washington Luís, Km 235 – São Carlos, SP – Brasil.
joaovitorguerrero@yahoo.com.br

Abstract. Most landscapes are influenced by human action and the resulting mosaic of landscapes is a blend of natural and man-made elements that vary in size, shape and arrangement. This measures used to describe their standards can be applied in the analysis of its structure. This study aimed to analyze the environmental quality of the vegetation of São Carlos between the years 2003 and 2013, through the use of vegetation indices. Through the Environmental Quality of Water Resources Index and Environmental Quality Vegetation Index it was identified a reduction in areas of native vegetation over time with expansion of agricultural areas, mainly related to sugarcane cultivation, causing the reduction of the environmental quality of the landscape. The municipality, in addition to losing areas of natural vegetation also lost environmental quality of the remnants that remained over time, with a loss of 3067 hectares of native vegetation between 2003 and 2013. This loss, which is directly correlated with the decrease environmental quality of various environmental compartments, and the quality of water resources, later observed by the environmental quality Index of water resources. The growth of human activities and the loss of natural areas can lead to total municipal biodiversity and consequently the loss of environmental functions and the benefits they provide, which serve as support for maintenance of urban and agricultural activities in general.

Palavras-chave: landscape analysis, landscape indices, environmental planning, análise da paisagem, índices da paisagem, planejamento ambiental.

1.Introdução

A maioria das paisagens são influenciadas pela ação do homem e o mosaico resultante é uma mistura de elementos naturais e antrópicos que variam em tamanho, forma e arranjo (TURNER, 1989), de modo que medidas utilizadas para descrever seus padrões podem ser aplicadas na análise de sua estrutura (GALO; NOVO, 1998).

A análise da estrutura da paisagem é fundamental para designar a sua configuração, que corresponde à estrutura espacial explícita do mosaico de suas unidades (LANG; BLASCHKE, 2009). Subsidiando a compreensão dos impactos das alterações antrópicas em processos de origem natural, onde a conectividade estabelece o grau de facilidade que os elementos se deslocam entre as unidades de paisagem (GARDNER; O'NEILL, 1991).

Um pré-requisito para o entendimento das relações entre os padrões e processos na paisagem, considerando ou não a sua organização hierárquica, tem sido o desenvolvimento de métodos para a quantificação da sua estrutura. Nas últimas décadas, houve grande busca por novos métodos quantitativos que possam analisar padrões, determinar a importância de processos espaciais e desenvolver modelos confiáveis (TURNER e GARDNER 1991), onde as métricas e ou índices são uma das formas mais eficazes de quantificar os atributos espaciais de uma paisagem (LI; WU, 2004).

Autores como Turner (1987); O'Neill et al., (1988); Gustafson e Parker (1992); Mcgarigal e Marks (1995) e Schumaker (1996), têm desenvolvido um grande número de índices e medidas descritivas dos padrões espaciais da paisagem. A modelagem vem se firmando como uma excelente aliada para a obtenção de conhecimento e geração de hipóteses em ecologia de paisagens e questões populacionais, incluindo dinâmica de metapopulações, efeitos de fragmentação, importância de corredores e processos de dispersão ou invasão, os quais estão entre os temas mais abordados com modelos.

Essas medidas, têm sido utilizadas, para comparar a composição e a estrutura de diferentes paisagens (O'NEILL et al., 1988), identificar mudanças na paisagem ao longo do tempo (TURNER, 1987), explorar os efeitos de diferentes configurações impostas por práticas de manejo alternativas sobre a probabilidade de ocorrência de perturbações (FRANKLIN e FORMAN, 1987) e também, como variáveis independentes em modelos explicativos da abundância e diversidade de espécies em função de aspectos da estrutura da paisagem como o tamanho e distância entre fragmentos florestais (MCGARIGAL e MCCOMB, 1995; METZGER, 2000).

O presente estudo teve como objetivo analisar os a qualidade ambiental da vegetação do município de São Carlos entre os anos de 2003 e 2013, por meio da utilização de índices de vegetação.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de estudo

O município de São Carlos, localiza-se na região Administrativa Central do Estado de São Paulo, entre as coordenadas 22° 09' 39" e 21° 35' 50" de latitude sul e 48° 05' 27" e 47° 43' 09" de longitude oeste, com aproximadamente 1.140 km² (Figura 1) (IBGE,2015).

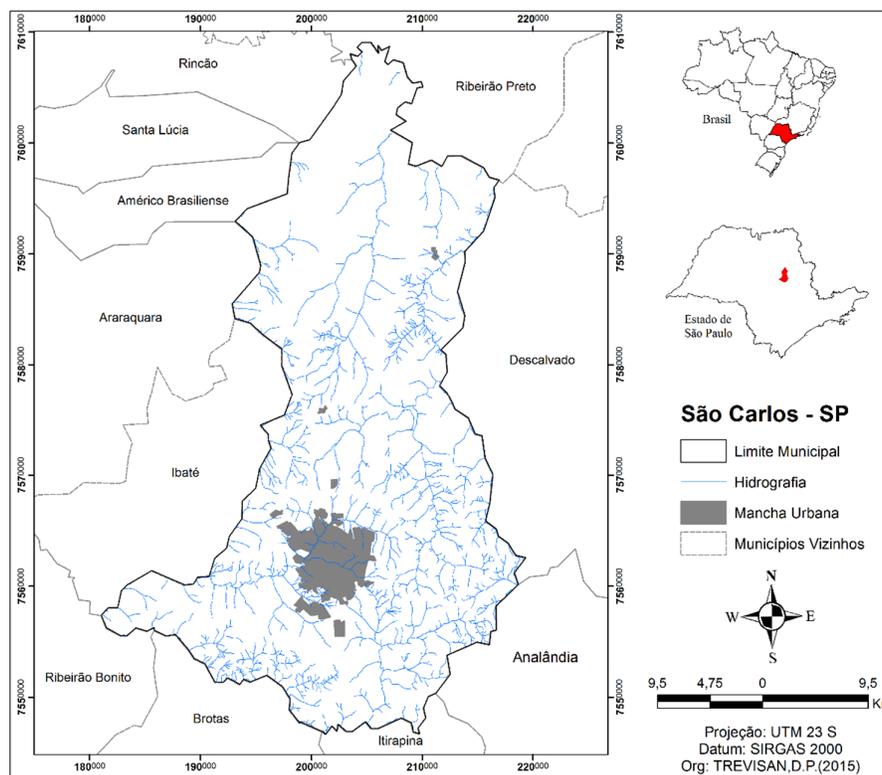


Figura 1: Localização geográfica do município brasileiro de São Carlos (SP).

2.2 Metodologia

Os dados primários para a delimitação do município de São Carlos foram adquiridos da base de dados digital do IBGE situação 2014. Para a obtenção da rede de drenagem e das curvas de nível foram adquiridas as cartas topográficas 1:50.000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), folhas de SF-22-Z-B-III-2, SF-23-V-C- IV-1, SF-23-V-C- IV-3, SF-23-Y-A- I-1, SF-23-V-C- IV-2, SF-23-V-C-IV-4 e SF-23-Y-A-I-2.

As informações foram inseridas e analisadas em Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), sendo utilizado o software ArcGis 10.2.2. Para a elaboração do banco de dados georreferenciado do município, foi adotado o sistema de projeção geográfica Universal Transversa de Mercator, Fuso 23 Sul, datum SIRGAS 2000.

A delimitação dos fragmentos de vegetação natural da área de estudo foi realizada a partir de duas cenas referentes aos satélites LandSat, correspondente à órbita/ponto 220/75, com datas de passagem em 30 de abril de 2003 e 21 de setembro de 2013. Para 2003 foi utilizado o satélite LandSat 7- sensor TM bandas 5,4,3 e para a imagem de 2013 foi utilizado o satélite LandSat 8- sensor OLI/TIRS bandas 6,5,4. A utilização de cenas de satélites diferentes ocorreu em virtude da indisponibilidade de imagens por um único satélite no período de estudo, as cenas utilizadas possuem a mesma resolução espacial e espectral de 15 metros através da fusão com a Banda Pancromática.

A integração das informações foi realizada através da lógica fuzzy. Tal análise produz resultados mais complexos, promovendo uma aproximação da linguagem humana para as diferentes variáveis (MARRO et al.,2013). Os pesos atribuídos foram equalizados no intervalo de 0 (muito baixo) a 1 (muito alto).

Para análise da qualidade ambiental da vegetação para os anos de 2003 e 2013, foram utilizados o Índice de Qualidade Ambiental da Vegetação e o Índice de Qualidade Ambiental dos Recursos Hídricos. Esta abordagem pressupôs que a relevância dos impactos ambientais resultantes dos tipos de usos e cobertura da terra estão associadas à vulnerabilidade e suscetibilidade dos componentes ambientais.

O Índice de Qualidade Ambiental da Vegetação (IQA-BIO), refletiu a suscetibilidade da paisagem em relação à perda de biodiversidade e de habitats decorrente da condição da fragmentação da classe de vegetação nativa (CANTER, 1996). O IQA-BIO, foi obtido com base na análise das métricas de área (IQA-Área), forma (IQA-Forma) e distância (IQA-Distância) entre os fragmentos de vegetação nativa, definidos pela expressão (Equação 1):

$$IQABIO = \frac{IQA \text{ Área} + IQA \text{ Forma} + IQA \text{ Distância}}{3} \quad (1)$$

Para estimativa do IQA-Área, foi utilizada a carta temática da classe de vegetação nativa, obtida da reclassificação da carta temática de usos e cobertura da terra, sendo aplicada a função AREA do no ArcGis 10.2 (EASTMAN, 1997) e reescalada com base na lógica fuzzy, para obtenção de uma nova carta temática, onde cada fragmento está vinculado a sua área (apenas os maiores que 1 hectare).

Quanto maior a área de um fragmento, maior foi a sua qualidade ambiental em relação a biodiversidade, e consequentemente maior foi a vulnerabilidade da paisagem em relação a sua perda. Foram considerados com grau mínimo de qualidade (IQA Área = 0), os fragmentos de vegetação com áreas equivalentes a 1 hectare. Para o grau máximo de qualidade (IQA Área = 1), foram considerados fragmentos com áreas superiores à 1.000 hectares.

Para estimativa do IQA-Forma, foi utilizada a carta temática dos fragmentos de vegetação nativa, reclassificada com base na carta temática de usos e cobertura da terra, para o cálculo do perímetro (P) de cada fragmento. Utilizou-se a função PERIM no ArcGis 10.2 (EASTMAN, 1997), obtendo-se uma carta temática, representando cada fragmento associado ao seu



respectivo perímetro. Por meio do módulo IMAGE CALCULATOR, foi aplicado o índice de forma ($IF = 0,25 \cdot P/\sqrt{A}$), proposto por Valente (2001), resultando em uma carta temática, onde cada fragmento apresentou um valor relacionado à sua forma. Tanto para o cálculo do perímetro, quanto para o cálculo de forma, foi realizado um reescalonamento com base na lógica fuzzy.

Utilizou-se o formato “raster” para obtenção da carta temática, onde a forma padrão do fragmento foi representada por um quadrado. Deste modo, quanto mais distante desse padrão geométrico, mais irregular foi considerada a forma do fragmento e, portanto, mais sujeito aos efeitos de borda, implicando na redução de sua qualidade ambiental. Assim, os fragmentos com valores de índice de forma mais próximos a 1, apresentaram um menor efeito de borda e, conseqüentemente, maior qualidade ambiental (IQA Forma = 1), enquanto fragmentos com índices de forma próximos a 0, apresentaram menor qualidade ambiental (IQA Forma = 0).

Para a estimativa do Índice de Qualidade relacionado com a distância (IQA Distância), foi aplicado o módulo DISTANCE do ArcGis 10.2 (EASTMAN, 1997) na carta temática dos fragmentos de vegetação nativa, reclassificada com base na carta temática de usos e cobertura da terra, gerando uma carta temática representando a distância entre os fragmentos. Posteriormente foi realizado um reescalonamento desta carta temática, com base na lógica fuzzy. O menor grau de qualidade ambiental, foi atribuído quando os fragmentos apresentaram distâncias superiores à 1.000 metros entre si (IQA Distância = 0), enquanto o maior grau de qualidade ambiental foi atribuído quando a distância entre os fragmentos estiver próxima a zero (IQA Distância = 1).

A soma dos índices de forma, área e distancia para geração do Índice de Qualidade Ambiental da Vegetação foi realizada através da função IMAGE CALCULATOR presente no software ArcGis 10.2 e reescalada com base na lógica fuzzy.

A suscetibilidade dos recursos hídricos em relação à distância das fontes impactantes, foi gerada pelo Índice de Qualidade Ambiental dos Recursos Hídricos (IQA-HIDRO). O IQA-HIDRO, foi determinado com base na sobreposição das cartas temáticas de atividades antrópicas agrícolas e não agrícolas, obtidas através da reclassificação da carta temática de usos e cobertura da terra e da rede de drenagem. A representação espacial, foi elaborada com base no uso do módulo DISTANCE do ArcGis (EASTMAN, 1997) e reescalada com base na lógica fuzzy.

Esta análise representou a distância dos recursos hídricos em relação às fontes impactantes, considerando-se com grau mínimo de qualidade (IQA-HIDRO = 0), os rios cuja distância em relação às áreas impactadas aproximaram-se de zero. O grau máximo de qualidade (IQA-HIDRO = 1), correspondeu aos rios cuja distância em relação às áreas impactadas foram superiores à 1.000 metros de acordo com o proposto por Eastman (1997).

3. Resultados e Discussões

Através do Índice de Qualidade Ambiental da Vegetação observou-se (Tabela 1) um acréscimo dos fragmentos com baixas qualidades ambientais (IQA-BIO = 0,0 a 0,2) ao longo do período estudado. Os fragmentos com qualidades intermediárias (IQA-BIO = 0,2 a 0,6) diminuíram em quantidade, os quais foram extinguidos ou convertidos em fragmentos com baixas qualidades e os fragmentos com altas qualidades (0,6 a 1) mantiveram-se com os mesmos valores de hectares.

Tabela 1: Valores do Índice de Qualidade Ambiental da Vegetação (IQA-BIO) da paisagem do município de São Carlos (SP), para os anos de 2003 e 2013.

Intervalos	2003		2013	
	Área (ha)	(%)	Área (ha)	(%)

0,0 – 0,2	4.900,02	20,49	6.455,39	30,96
0,2 – 0,4	7.812,72	32,67	5.028,85	24,12
0,4 – 0,6	5.800,66	24,25	3.959,92	18,99
0,6 – 0,8	3.771,18	15,77	3.773,34	18,10
0,8 – 1,0	1.633,11	6,83	1.633,11	7,83
TOTAL	23.917,69	100,00	20.850,60	100,00

Este cenário de perda da qualidade ambiental dos compartimentos da paisagem no município de São Carlos, semelhante a estudos realizados em outras regiões brasileiras (MORAES et al., 2013; TREVISAN; MOSCHINI,2015; DOS SANTOS (2011). Essas pesquisas, também evidenciaram a perda de áreas de vegetação natural e do consequente aumento dos impactos nas paisagens estudadas. Desta forma, o Índice de Qualidade Ambiental da Vegetação demonstrou uma diminuição na qualidade ambiental ao longo do tempo (Figura 2).

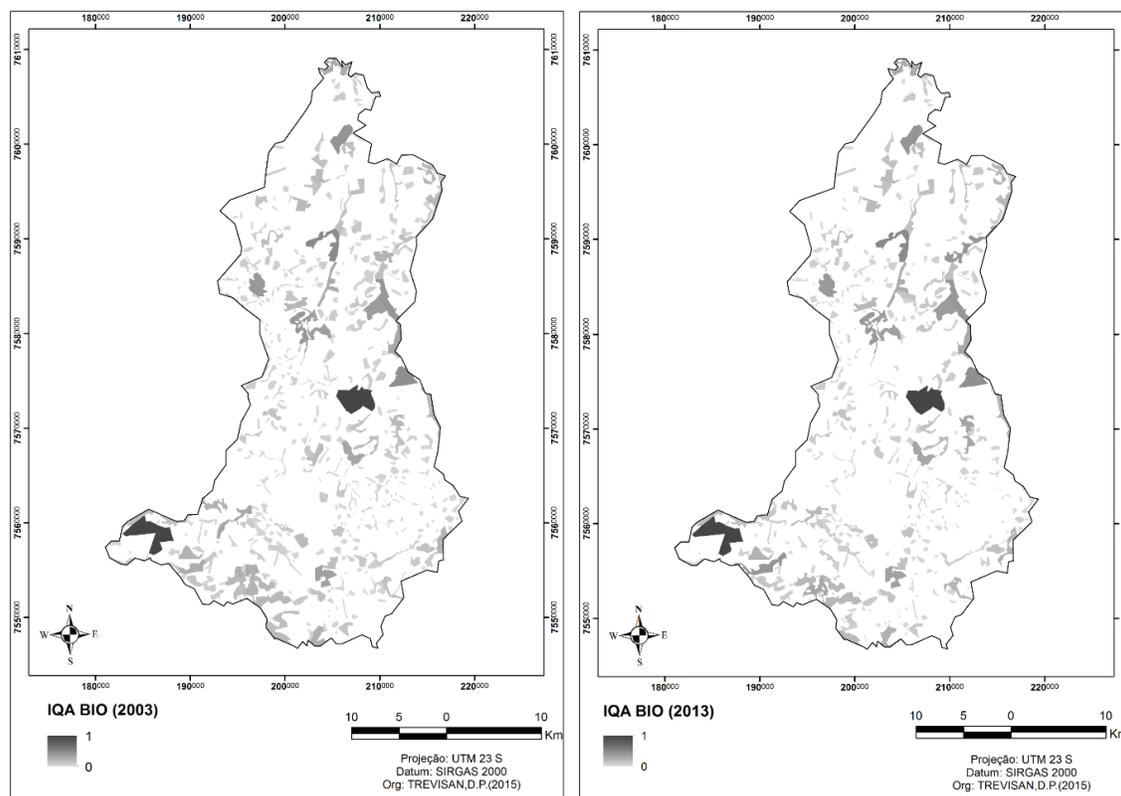


Figura 2: Índice de Qualidade Ambiental da Vegetação (IQA-BIO) da paisagem do município de São Carlos (SP), para os anos de 2003 e 2013.

A perda da qualidade ambiental observada para o município remete-se também a perda da quantidade de áreas de fragmentos vegetais presentes na paisagem de São Carlos. Houve uma perda de 3067 hectares de vegetação nativa entre 2003 e 2013, perda está, que se correlacionou diretamente com a diminuição da qualidade ambiental de vários compartimentos ambientais, como na qualidade dos recursos hídricos observado pelo Índice de Qualidade Ambiental dos Recursos Hídricos.

O Índice de Qualidade Ambiental dos Recursos Hídricos, seguiu a mesma tendência do IQA-BIO, no qual identificou-se uma diminuição da qualidade ambiental (Figura 3).

Revelou-se (Tabela 2) um acréscimo dos fragmentos concentrados no intervalo de baixas qualidades (IQA-HIDRO = 0,0 a 0,2), onde os fragmentos com qualidades intermediárias (IQA-HIDRO = 0,2 a 0,6) também cresceram e os fragmentos com altas qualidades (0,6 a 1,0) tiveram um decréscimo.

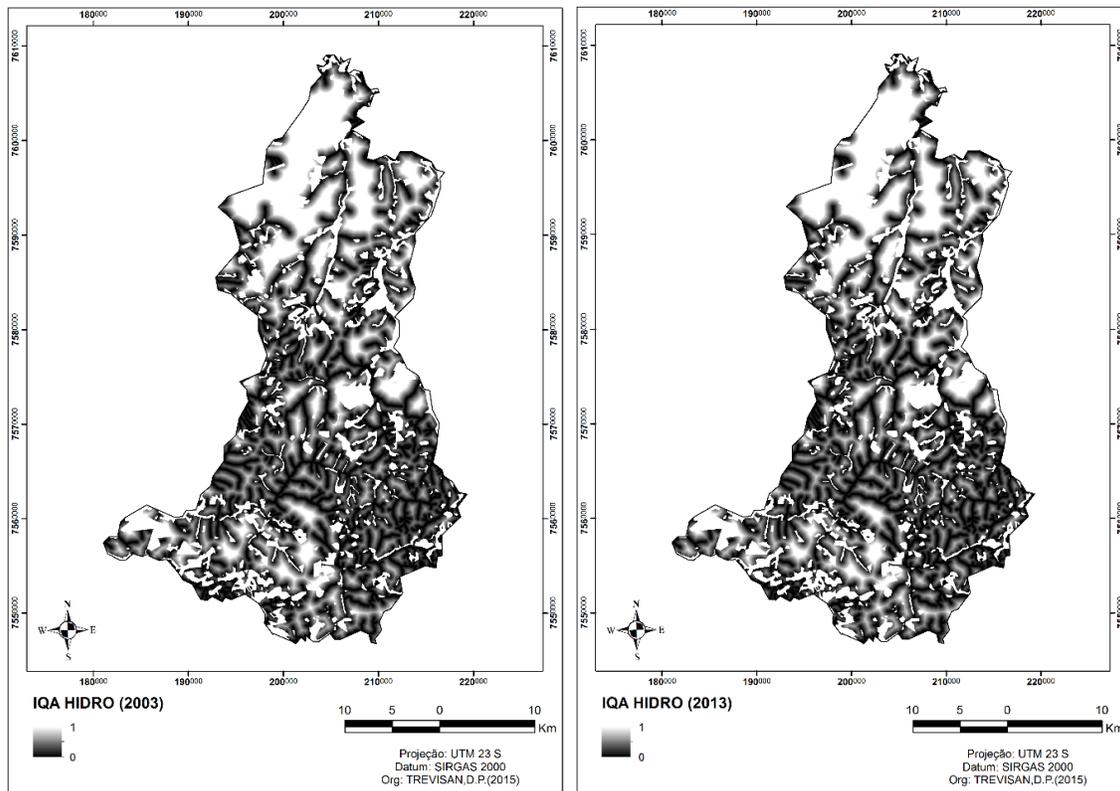


Figura 3 : Índice de Qualidade Ambiental dos Recursos Hídricos (IQA-HIDRO) da paisagem do município de São Carlos (SP), para os anos de 2003 e 2013.

Desta forma, o município além de perder áreas de vegetação natural também perdeu a qualidade dos remanescentes que permaneceram ao longo do tempo. Esta perda relaciona-se a conversão das áreas naturais por fontes impactantes como atividades agrícolas ou áreas urbanizadas que contribuem para o comprometimento da qualidade dos recursos hídricos e dos fragmentos de vegetação natural.

Tabela 2: Valores do Índice de Qualidade Ambiental dos Recursos Hídricos (IQA-HIDRO) da paisagem do município de São Carlos (SP), para os anos de 2003 e 2013.

Intervalos	2003		2013	
	Área (ha)	(%)	Área (ha)	(%)
0,0 – 0,2	28.472,4	25,0	29.472,4	25,9
0,2 – 0,4	23.763,31	20,8	25.763,31	22,6
0,4 – 0,6	15.251,64	13,4	16.251,64	14,3
0,6 – 0,8	8.746,53	7,7	7.746,53	6,8
0,8 – 1,0	37.833,69	33,2	34.766,6	30,5
TOTAL	114.000,00	100,00	114.000,00	25,9



4. Conclusões

Os índices utilizados apresentaram-se como ferramentas importantes para o diagnóstico voltado a conservação dos ecossistemas possibilitando uma análise precisa de cada fragmento ao observar-se as interligações entre as qualidades ambientais dos diferentes compartimentos ambientais da paisagem. A perda de áreas naturais implica diretamente na perda da qualidade de vários compartimentos que estão interligados.

O município de São Carlos necessita de um planejamento imediato voltado a manutenção dos remanescentes de vegetação nativa, priorizando a conservação e recuperação destas áreas, levando em consideração não apenas o estado atual do município, mas a tendência desenvolvimentista a qual este vem seguindo.

O crescimento das atividades antrópicas e a perda de áreas naturais podem comprometer a biodiversidade presente na área de estudo, implicando na perda das funções ambientais e consequentemente dos benefícios que estas proporcionam, considerando que essas áreas servem de suporte para manutenção das atividades urbanas e agrícolas de uma forma geral.

Agradecimentos

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) Proc.: 2015/19918-3 pelo apoio na realização do trabalho.

Referências Bibliográficas

Bojórquez-Tapia, L. A.; Juárez, L.; Cruz-Bello, G. Integrating fuzzy logic, optimization and GIS for ecological impact assessments. **Environmental Management**, v. 30, p. 418-433, 2002.

Canter, L. W. Environmental impact assessment - Series in Water Resources and Environmental Engineering. 2nd ed. **McGraw-Hill International Editions**, 1996, 660 p.

Dos Santos RM 2011. **Padrão temporal e espacial das mudanças de usos da terra e cenários para a conservação da biodiversidade regional do município de São Félix do Araguaia, MT**. Tese (Doutorado em Ecologia de Recursos Naturais) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 153 pp.

Eastman, J. R. Idrisi for Windows. Tutorial Exercises. Version 2.0. Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis. **Clark University**, 1997, 245p.

Franklin, J.F.; Forman, R.T.T. Creating landscape patterns by forest cutting: ecological consequences and principles. **Landscape Ecology**, v. 1, n. 1, p. 5-18, 1987.

Galo, M.L.B.T; Novo, E.M.L.M. Índices de paisagem aplicados à análise do Parque Estadual Morro do Diabo e entorno. IN. IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto **Anais**. Santos-SP, p. 11-18, 1998.

Gardner, R.H.; O'neill, R.V. Pattern, process, and predictability: the use of neutral models for landscape analysis. IN: TURNER, G.M.; Gardner, R.H. (Ed) **Quantitative methods in Landscape ecology: the analyses and interpretation of landscape heterogeneity**. 1ª Ed. New York, Springer, p.289-308, 1991.

Gustafson, E.J.; Parker, G.R. Relationships between landcover proportion and indices of landscape spatial pattern. **Landscape Ecology**, v. 7, n. 2, p. 101-110, 1992.

IBGE. Instituto de Geografia e Estatística. **Divisão territorial brasileiro e limites territoriais: IBGE cidades – São Carlos**, 2015. Disponível em: < www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codmun=351930# >. Acesso em: 31 de maio de 2016.



- Lang, S.; Blaschke, T. **Análise da paisagem com SIG**. 1ª Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, 424 p.
- Li, H.; Wu J. Use and misuse of landscape indices. **Landscape Ecology**. v.19 n. p.389-399, 2004.
- Marro, A.A.; Souza, A.M.C.; Cavalcante, E.R.S.; Nunes, G.S.B.R.O. Lógica Fuzzy: Conceitos e aplicações, material didático. **Anais**. VII Congresso Ibero-americano de Informática Educativa, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, p.127 – 136, 2013.
- Mcgarigal, K.; Marks, B. **Fragstats * ARC**. Fragstats Manual, 1995. Disponível em: <www.innovativegis.com/products/fragstatsarc/manual/index.html>. Acesso em: 10 de outubro de 2016.
- Mcgarigal, K.; McComb, W. Relationships between landscape structure and breeding birds in the oregon coast range. **Ecological Monographs**, v. 65, n. 3, p. 235-260, 1995.
- Metzger, J.P. Estrutura da paisagem e fragmentação: análise bibliográfica. **Anais**. Academia Brasileira de Ciências, v. 71 p. 445- 463, 2000.
- Moraes, M. C. P. **Dinâmica da paisagem da Zona de Amortecimento do Parque Estadual de Porto Ferreira, SP**. 2013. 92f. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade na Gestão Ambiental) - Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2013.
- O'neill, R.V.; Krummel, J.R.; Gardner, R.H.; Sugihara, G.; Jackson, B.; De Angelis, D.L.; Milne, B.T.; Turner, M.G.; Zygmunt, B.; Christensen, S.W.; Dale, V.H.; Graham, R.L. Indices of landscape pattern. **Landscape Ecology**, v. 1, n. 3, p. 153-162, 1988.
- Schumaker, N.H. Using landscape indices to predict habitat connectivity. **Ecology**, v. 77, n. 4, p. 1210-1225, 1996.
- Turner M.G.; Baker W.L.; Peterson C.J.; Peet R.K. Factors influencing succession: lessons from large, infrequent natural disturbances. **Ecosystems**, v. 1, n. 6, p. 511–523, 1998.
- Turner, M. G. The effect of pattern on process. **Landscape Ecology**, n.20, p.171-197, 1989.
- Turner, M.G. Spatial simulation of landscape changes in Georgia: a comparison of 3 transition models. **Landscape Ecology**, v. 1, n. 1, p. 29-36, 1987.
- Turner, M.G.; Gardner, R.H. Quantitative methods in Landscape Ecology. **Springer-Verlag**, New York, NY, USA, 1991, 27 p.
- Trevisan, D. P.; Moschini, L. E. Dinâmica de Uso e Cobertura da Terra em Paisagem no Interior do Estado de São Paulo: Subsídios para o planejamento. **Fronteiras: journal of social, technological and environmental science**, v. 4, p. 16-30, 2015.
- Valente, R.O.A. **Análise da estrutura da Paisagem na Bacia Do Rio Corumbataí-SP**, 2001. 162f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.