

Análise estrutura da paisagem da sub-bacia do Arroio Boa Vista, RS: uma abordagem em Ecologia de Paisagem

Gisele Cemin, Vania Elisabete Schneider, Alexandra Rodrigues Finotti, Pedro Antônio Roehe Reginato

Universidade de Caxias do Sul – UCS
Rua Francisco Getulio Vargas, 1130 – CEP: 95470-060 – Caxias do Sul – RS, Brasil
{gcemin3,veschnei,arfinott,parregin}@ucs.br

Abstract. The use of remote sensing data products and of Geographical Information Systems (GIS) aiming the mapping of soil usage and occupation has become a meaningful tool for detailing a certain area of the Earth surface. Thus, the objective of this paper is to analyze the landscape structure of the Arroio Boa Vista sub-basin, using techniques from remote sensing data, GIS and landscape ecology index. It was observed that 44% of this chosen surface area is covered with native trees in an advanced stage of regeneration and secondary ones. Approximately 84,41% of the landscape studied has remains of native trees in less than one hectare and only 4,19% had great remains of trees, which could support the diversity of greater species.

Palavras-chave: landscape ecology, remote sensing, image processing, geographical information systems, ecologia de paisagem, sensoriamento remoto, processamento de imagens, sistemas de informação geográfica

1. Introdução

O mapeamento de uso e ocupação do solo tem se tornado de fundamental importância para o entendimento dos padrões de organização dos elementos que compõem a paisagem, sendo importante para a observação das consequências que seu manejo inadequado provoca em termos ambientais. No que tange o estudo da paisagem, as técnicas de sensoriamento remoto aliadas aos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), constituem uma ferramenta de grande importância para o entendimento da estrutura de uma paisagem.

O sensoriamento remoto consiste na utilização de sensores de aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos sem que haja contato direto entre eles. Os sensores são equipamentos capazes de coletar energia proveniente do objeto, convertê-la em sinal passível de ser registrado e apresentá-lo em forma adequada para a extração de informações (Novo, 1992). Segundo Farina (1992, *apud* Valente, 2001) para a ecologia de paisagem, as técnicas de sensoriamento remoto e os SIGs são uma ferramenta de fundamental importância, pois permitem a manipulação de dados reais e a transferência de informações implícitas para análises explícitas, como é o caso da caracterização quantitativa da estrutura da paisagem a partir de um mapa de uso e ocupação do solo (Valente, 2001).

A paisagem, segundo Bertrand (1968, *apud* Soares-Fillho, 1998) é uma determinada porção do espaço que resulta da combinação dinâmica dos elementos físicos, biológicos e antrópicos, os quais interagindo dialeticamente uns sobre os outros formam um conjunto único e indissociável em perpétua evolução. As paisagens possuem uma estrutura comum e fundamental, composta pelos seguintes elementos: fragmento, matriz e corredor. A matriz é o elemento que tem domínio ou que controla a dinâmica da paisagem, em geral, reconhecida pelo predomínio de área ocupada no espaço, com menor grau de fragmentação. As manchas são os fragmentos não lineares de aparente homogeneidade, que interrompem a matriz. Os corredores são os elementos lineares de aparente homogeneidade e distinguíveis na matriz (Santos, 2004).

Segundo Turner et al. (2001) os elementos que compõem uma paisagem influenciam de forma expressiva os processos ecológicos. A quantificação da estrutura da paisagem é um pré-

requisito para o estudo de mudanças estruturais e funcionais dos ecossistemas. Assim, a ecologia de paisagem é o estudo da estrutura, função e dinâmica de áreas heterogêneas compostas por ecossistemas interativos, sendo na atualidade, uma ciência básica para o desenvolvimento, manejo, conservação e planejamento da paisagem. Esta ciência trabalha com três características da paisagem: estrutura, que são as relações entre os distintos ecossistemas ou elementos presentes em relação ao tamanho, forma, número, tipo e configuração; funcionamento, que se traduz nos fluxos de energia, matéria e espécies dentro da paisagem; e alterações que são as modificações observadas na estrutura e fluxos do mosaico ecológico (Forman & Godron, 1986).

A aplicação de índices para avaliar a estrutura em estudos de paisagem, deve-se ao fato de que eles foram deliberadamente projetados para minimizar a necessidade de informação adquirida em campo (O'neil, 1988). Com isso, a utilização desses índices abre uma nova perspectiva para a aplicação prospectiva do sensoriamento remoto em estudos da paisagem, com a finalidade de acompanhar e compreender os processos atuando a níveis regionais, continentais e globais. Por assim dizer, mudanças nos descritores da estrutura da paisagem determinadas por dados de imagens de satélite podem ter implicações quanto ao entendimento das mudanças nas condições ambientais de grandes extensões do Planeta (Soares-Filho, 1998). O uso de índices é particularmente interessante por permitir o realce de determinadas características e o obscurecimento de características secundárias, o que é fundamental quando se trabalha em áreas de grande extensão como bacias hidrográficas por exemplo. Da mesma forma o emprego de sensoriamento remoto e SIGs é de grande valia neste tipo de avaliação e facilita sobremaneira a compreensão do território sua evolução e consequentemente sua gestão.

Para calcular os índices/métricas de uma paisagem, existem uma série de programas que foram elaborados, como exemplo o Fragstats, desenvolvido para análise da estatística espacial. Segundo McGarigal & Marks (1995) no Fragstats podem ser calculados índices para os fragmentos, para as classes de uso e ocupação do solo e para a paisagem como um todo. Nos níveis de classe e paisagem algumas métricas quantificam a composição, representando a variedade e abundância de fragmentos. Outras quantificam a configuração, estando relacionado à forma e a posição dos elementos na paisagem.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é analisar a estrutura da paisagem da sub-bacia do Arroio Boa Vista, utilizando técnicas de sensoriamento remoto, Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) e índices de ecologia de paisagem. Com a aplicação deste conjunto de técnicas foi possível fazer uma avaliação crítica do resultado bem como de sua aplicabilidade na gestão ambiental.

Metodologia

A sub-bacia do Arroio Boa Vista está localizada na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas 29°15'30'' e 29°31'15'' de latitude sul e 51°26'43'' e 51°58'20'' de longitude oeste, abrangendo os municípios de Boa Vista do Sul, Barão, Brochier, Carlos Barbosa, Estrela, Garibaldi, Maratá, Poço das Antas, Salvador do Sul, São Pedro da Serra, Teutônia e Westfália, compreendendo uma área de aproximadamente 57.609 ha. Caracteriza-se por apresentar relevo plano a suave ondulado na região centro oeste, e nas regiões centro leste e nordeste, um relevo ondulado a forte ondulado (**Figura 1**).

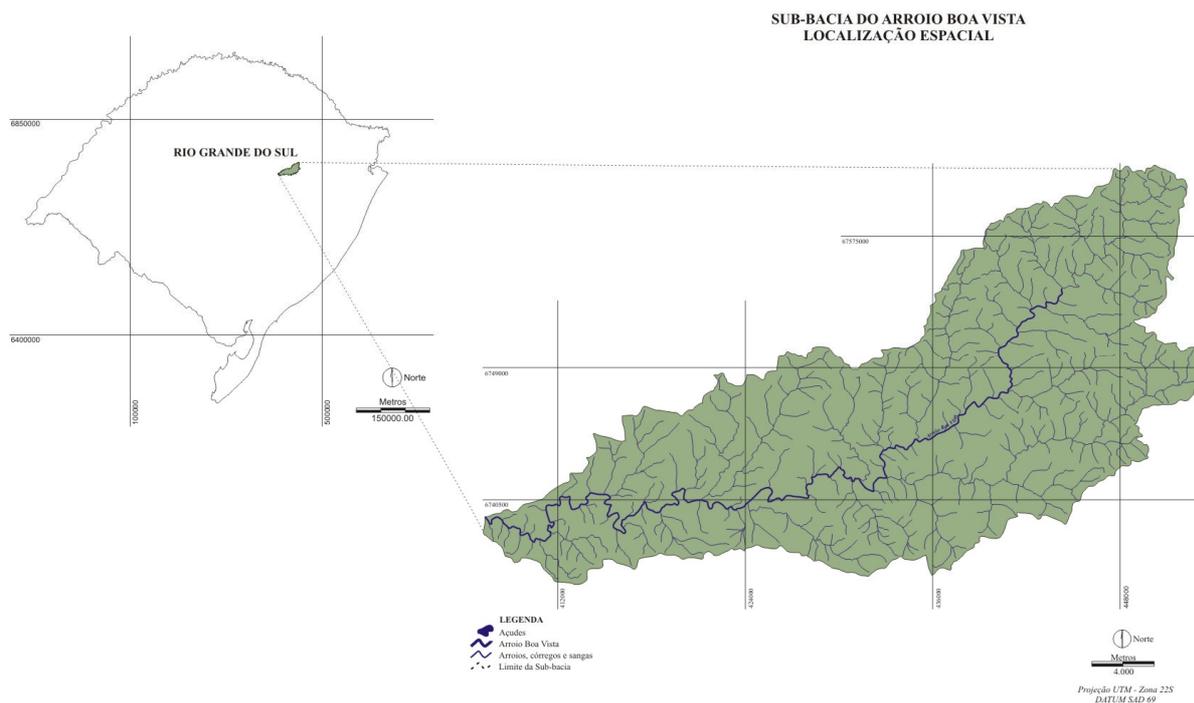


Figura 1: Localização espacial da área de estudo

Neste trabalho foi utilizada a imagem do satélite Landsat 7, bandas 3, 4 e 5, referentes às faixas espectrais do vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio, respectivamente, compondo a cena 221-080, referente à passagem de 31/01/2003, com resolução espacial de 15 metros, cartas planialtimétricas da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro – DSG (Brasil. Ministério do Exército, 1979), em escala 1:50.000, referente as folhas de SH. 22-V-D-V-2 (MI-2969/2) de Brochier, SH.22-V-D-V-1 (MI-2969/1) de Estrela, SH.22-V-D-III-3 (MI-2953/3) de Feliz, SH.22-V-D-II-4 (MI-2952/4) de Garibaldi, SH.22-V-D-II-3 (MI-2952/3) de Lajeado, *software* de SIG Idrisi 3.2 (Eastman, 1998), *software* de Ecologia de Paisagem Fragstats, versão 3.3 (McGarigal et al., 2002) e GPS de navegação (*Global Positioning System*).

A imagem de satélite foi georreferenciada utilizando as cartas do exército, nas quais foram coletados pontos de coordenadas distribuídos aleatoriamente ao longo da imagem, que coincidiam na carta e na imagem de satélite, como cruzamento de estradas. Foi utilizado um modelo de transformação polinomial de 1º grau e o método de interpolação do vizinho mais próximo, obtendo-se a imagem corrigida segundo a projeção cartográfica cilíndrica do sistema UTM (*Universal Transversa de Mercator*), Zona 22S, Datum SAD 69. Estas cartas também foram utilizadas para a delimitação do perímetro da sub-bacia, através da identificação em tela, dos divisores de água, cotas das curvas de nível e valores dos pontos mais elevados (topos de morro).

A classificação da imagem de satélite para a geração do mapa de uso e ocupação do solo procedeu-se de forma supervisionada. Foram coletadas amostras de treinamento dos diferentes tipos de usos do solo referentes a mata nativa em estágio avançado de regeneração, mata exótica, mata secundária, campo/pastagem, lavoura, solo exposto e água. Como existiam culturas em diferentes estágios de desenvolvimento e de diferentes variedades, foi necessária a subdivisão da classe lavoura, devido suas variações na resposta espectral. A classe referente à área urbana foi obtida através da digitalização em tela da área compreendida por esta classe, devido a semelhança espectral desta área com solo exposto.

Estas amostras de treinamento foram empregadas na classificação, utilizando o algoritmo de máxima verossimilhança (*Maxver*). Para a verificação da acurácia da classificação digital, foi utilizado o coeficiente de Kappa, onde foi comparado o resultado da imagem classificada com pontos de controle coletados em campo dos diferentes tipos de uso e cobertura do solo, com auxílio do receptor GPS.

Para a análise da composição e configuração da paisagem da sub-bacia, o mapa de uso e ocupação do solo foi submetido ao *software* Fragstats gerando o relatório referente aos índices selecionados para a classe de uso e ocupação do solo referente à mata nativa em estágio avançado de regeneração. Os índices ecológicos selecionados para este trabalho foram baseados no significado ecológico, na simplicidade para a interpretação e na consagração de seu uso na bibliografia especializada.

3. Resultados e discussão

Analisando a **Figura 2** e a **Tabela 1**, que apresentam os dados de uso e ocupação do solo da sub-bacia, pode se observar que em torno de 44% da paisagem está coberta por mata nativa em estágio avançado de regeneração e mata secundária. As regiões cobertas por esta vegetação estão localizadas principalmente em áreas com relevo ondulado, de difícil acesso, a centro leste e nordeste da sub-bacia. As áreas cobertas por solo exposto e lavoura somam aproximadamente 37% e estão localizadas, na sua grande maioria, na parte baixa da sub-bacia, onde o relevo é plano a suave ondulado, onde a suscetibilidade a erosão dos solos é pouca a moderada e os solos são mais férteis e profundos. Pode-se observar ainda, que existem extensas áreas agrícolas na parte baixa do Arroio Boa Vista e, em direção a nascente (nordeste), ocorre um predomínio de mata ciliar no seu entorno, em virtude das dificuldades impostas pelo relevo. O solo exposto presente na área de estudo é composto por solo em preparação para o plantio. As áreas com mata exótica compreendem cerca de 7,82% da área de estudo, estando distribuídas ao longo de toda a sub-bacia. As áreas cobertas por campo/pastagem somam cerca 6,88%, sendo utilizadas para a criação extensiva de gado. As áreas urbanas e a água (açudes construídos) compreendem uma pequena parcela da sub-bacia, com 2,73% e 1,31%, respectivamente.

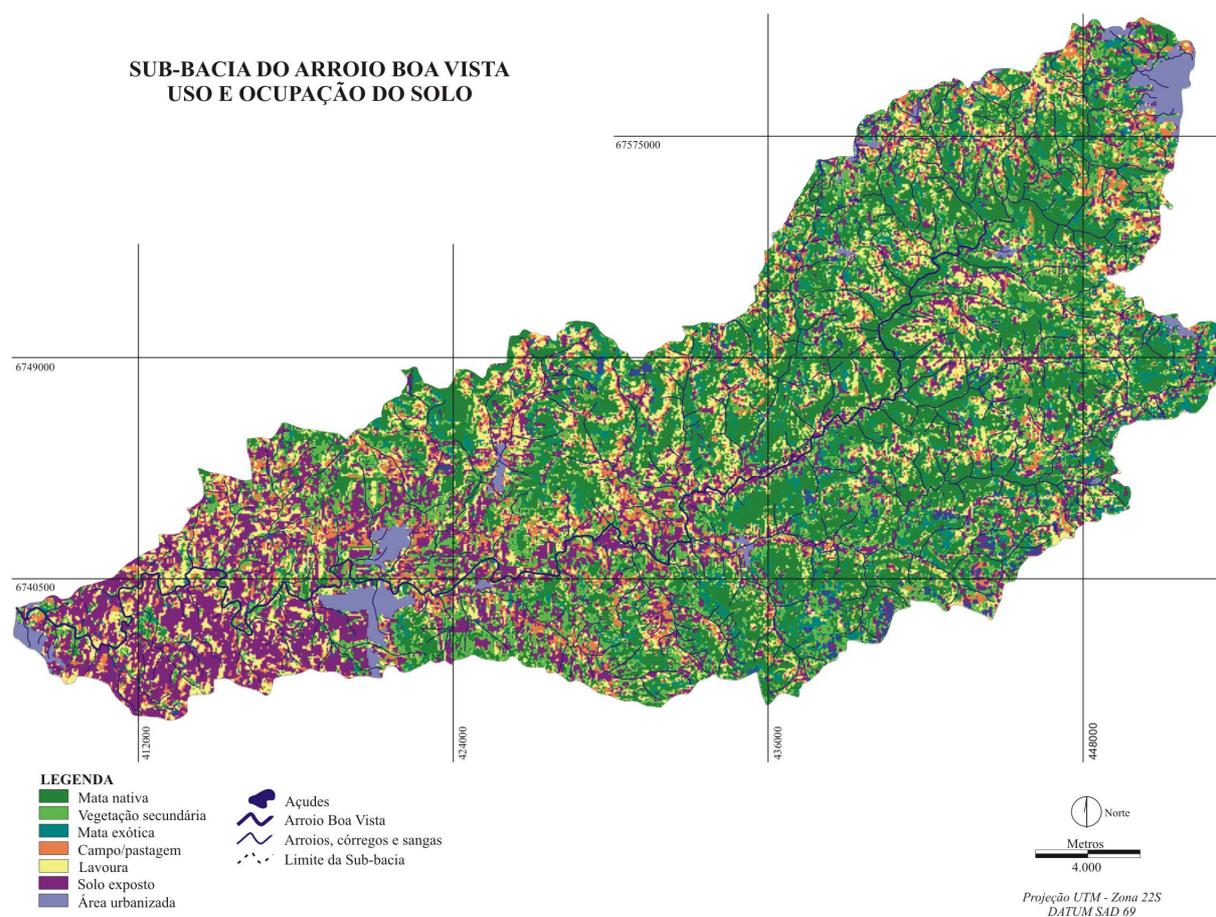


Imagem classificada do satélite ETM/Landsat 7, referente a órbita-ponto 221-080, datada de 31/01/03.

Figura 2: Mapa de uso e ocupação do solo da sub-bacia do Arroio Boa Vista.

Tabela 1: Dados relativos ao uso e ocupação do solo da área de estudo.

| Classe de uso e ocupação do solo | Valor absoluto (ha) | Valor relativo (%) |
|--|------------------------|--------------------|
| Mata nativa em estágio avançado de regeneração | 16.740,96 | 29,06 |
| Mata exótica | 4502,45 | 7,82 |
| Mata secundária | 8655,21 | 15,02 |
| Campo/pastagem | 3961,40 | 6,88 |
| Lavoura | 10.135,95 | 17,59 |
| Solo exposto | 11.458,28 | 19,89 |
| Área urbana | 1400,80 | 2,43 |
| Água | 754,01 | 1,31 |
| TOTAL | 57.609,06 | 100 |

A **Tabela 2** apresenta os dados relativos à área dos fragmentos de mata presentes na paisagem. Observa-se que a maioria dos fragmentos de mata, cerca de 84,41% (4.972 fragmentos), apresentam área inferior a 1ha. Apenas 4,19% da paisagem por grandes fragmentos de mata, que podem sustentar uma diversidade de espécies maior.

Tabela 2: Valores relativos à área dos fragmentos de mata.

| Parâmetro | Descrição da métrica | Classe de uso e cobertura do solo | Tamanho (ha) | Nº de fragmentos | Valor relativo |
|--------------|------------------------|--|--------------|------------------|----------------|
| AREA | Tamanho dos fragmentos | Mata nativa em estágio avançado de regeneração | < 1 | 4.972 | 84,41 |
| | | | 1 a 5 | 671 | 11,39 |
| | | | 5 | 247 | 4,19 |
| TOTAL | | | | 5.890 | 100 |

A **Tabela 3** apresenta os valores relativos aos índices selecionados para a classe de uso e ocupação do solo referente à mata nativa em estágio avançado de regeneração. Os índices PD, LPI e AREA-MN corroboram com os valores encontrados na **Tabela 2**, onde se pode observar que a paisagem está com um alto grau de fragmentação. O número de fragmentos encontrados em 100ha da paisagem é de aproximadamente 10 fragmentos, ou seja, a cada 10ha de área, existe um fragmento de mata. O maior fragmento de mata ocupa aproximadamente 4% (em torno de 2.471ha) da área da sub-bacia. Este índice é importante quando se busca verificar a presença de espécies que dependem de um tamanho determinado de fragmento como área de vida. O tamanho médio dos fragmentos (AREA-MN) é de 2,9ha. Estes dados indicam que a paisagem da área apresenta um grau de fragmentação elevado, como um grande número de pequenos fragmentos (menores de 1ha), não sendo um bom indicativo para a sustentação e manutenção de espécies de fauna.

A área de faixa de borda adotada neste trabalho foi de 50 metros, por considerar a paisagem da área de estudo bastante antropizada. Sendo assim, o número de fragmentos com área de interior (NDCA) descontando esta faixa de borda é de 2.160, cerca de 37% dos fragmentos de mata. É importante ressaltar a relação existente entre o tamanho do fragmento e sua proporção entre borda e interior, pois quanto menor for o fragmento, maior o efeito de borda observado e também a proporção de número de espécies, pois, quanto maior o fragmento maior o número de espécies esperado (Odum, 1988).

O índice de forma baseia-se na relação entre o perímetro e a área dos fragmentos de mata da paisagem, medindo a complexidade de forma dos fragmentos em função de uma forma básica. Neste trabalho, a forma básica é um quadrado, em virtude da utilização da imagem em formato *raster* (matricial). O valor de SHAPE-MN encontrado para os fragmentos desta paisagem foi de 1,3467, o que indica a presença de fragmentos mais alongados. É importante ressaltar que quanto mais distante os fragmentos estiverem da forma básica, mais recortado ele se torna, sendo mais suscetível ao efeito de borda. O formato do fragmento define primordialmente a composição das espécies em seu interior, pois formas isodiamétricas (círculo perfeito) têm uma relação maior de espécies de interior do que aquelas que tendem ao retângulo, que podem chegar ao extremo de possuírem somente espécies de borda. (Forman & Godron, 1986; Odum, 1988). É importante ressaltar que fragmentos com formas mais alongadas tendem a servir como corredores para espécies e fragmentos com forma mais circular tendem a apresentar uma diversidade de espécies e forrageamento no interior maior (Forman & Godron, 1986).

A distância média do fragmento mais próximo define-se com a distância de uma mancha a mais próxima da mesma classe, sendo baseada na distância margem a margem, quantificando a configuração da paisagem. O índice ENN-MN para esta paisagem foi de aproximadamente 63 metros. Hargis et al. (1998) coloca que este índice apresenta valores baixos quando os fragmentos de mata estão mais agregados e, em paisagem atropizadas, o valor tende a ser mais elevado, diminuindo a medida que os distúrbios são controlados. O grau de isolamento afeta diretamente a qualidade de um fragmento de mata, por afetar a movimentação de organismos e a dispersão das espécies. Quanto maior for o grau de isolamento de um fragmento, maior será a taxa de crescimento de espécies de borda, que podem chegar a ocupar todo o remanescente (Jarvinen, 1982, *apud* Valente, 2001).

Tabela 3: Valores relativos aos índices selecionados para a classe de mata nativa em estágio avançado de regeneração.

| Parâmetro | Descrição da métrica | Resultado |
|-----------|--|-----------|
| PD | Número de fragmentos da classe em 100 ha da paisagem | 9,9746 |
| LPI | Porcentagem da paisagem ocupada pelo maior fragmento (%) | 4,2918 |
| AREA-MN | Tamanho médio dos fragmentos (ha) | 2,9133 |
| NDCA | Número de fragmentos com área nuclear | 2.160 |
| SHAPE-MN | Índice de forma médio dos fragmentos (≥ 1) | 1,3467 |
| ENN-MN | Distância média do fragmento mais próximo (metros) | 63,8748 |

5. Conclusões

A obtenção do mapa de uso e cobertura do solo da sub-bacia do Arroio Boa Vista, obtido através da classificação supervisionada da imagem do satélite Landsat, descreveu fidedignamente a paisagem, sendo possível a aplicação dos índices ecológicos para a caracterização da composição e configuração de área em questão.

Foi possível verificar que 44% da paisagem está coberta por mata nativa em estágio avançado de regeneração e mata secundária. As áreas com solo exposto e lavoura somam aproximadamente 37%. Observou-se a presença de mata exótica (7,82%) distribuída ao longo de toda a sub-bacia e as áreas cobertas por campo/pastagem (6,88%). As classes referentes a áreas urbanas e água compreendem 2,73% e 1,31%, respectivamente.

Através dos índices calculados para a classe de uso e ocupação do solo referente a mata nativa em estágio avançado de regeneração, pode-se verificar que paisagem apresenta aproximadamente 84% dos fragmentos com tamanho menor que 1ha, o que pode comprometer a sustentação e manutenção de espécies de fauna. Este dado, associado com os índices PD, LPI e AREA-MN indicam que a paisagem apresenta um grau de fragmentação elevado. Em relação a área nuclear dos fragmentos, apenas 37% deles apresentam zona de núcleo, descontando a faixa de borda (50 metros). Os fragmentos de mata existentes na paisagem da sub-bacia apresentam forma mais alongada, tendendo a servir como corredor para espécies. A distância média do fragmento mais próximo foi de aproximadamente 63 metros, sendo um indicativo que os fragmentos de mata não estão muito agregados, o que pode vir a dificultar a movimentação de organismos e a dispersão das espécies.

As técnicas de Sensoriamento Remoto aliadas aos Sistemas de Informação Geográficas constituem uma importante ferramenta para a análise da estrutura da paisagem, sendo de grande importância para o diagnóstico, planejamento e proposição de estratégias de conservação. Estas ferramentas podem ser associadas a planos de uso e ocupação do solo ou

planos de bacia hidrográfica. Entretanto, atualmente, o maior empecilho na disseminação destas ferramentas é a ausência de massa crítica tanto para a realização destes estudos como para sua utilização e interpretação. Há uma grande necessidade, em nível nacional, de formação de recursos humanos capacitados neste sentido, visto que, em função das dimensões continentais do país técnicas que permitem análise de grandes extensões de área são fundamentais.

6. Referências bibliográficas

- BERTRAND, G. Paysage et Géographie Physique Globale: esquisse methodologique. **Revue Géographique des Pyrenées et du Sud-Ouest**, v.39, n.3, p.249-272, 1968.
- BRASIL. Ministério do Exército - Departamento de Engenharia e Comunicações. Diretoria do Serviço Geográfico do Exército - DSG. **Folhas: SH. 22-V-D-V-2 (MI-2969/2) de Brochier, SH.22-V-D-V-1 (MI-2969/1) de Estrela, SH.22-V-D-III-3 (MI-2953/3) de Feliz, SH.22-V-D-II-4 (MI-2952/4) de Garibaldi, SH.22-V-D-II-3 (MI-2952/3) de Lajeado**: cartas topográficas. Porto Alegre, 1979. Escala 1:50.000.
- EASTMAN, J.R. 1998. **Idrisi for Windows: introdução e exercícios tutoriais**. Editores da versão em português: Henrich Hasenack e Eliseu Weber. Porto Alegre: UFRGS. Centro de Recursos IDRISI.
- FARINA, A. **Principles and methods in landscape ecology**. Londres: Chapman & Hall, 1998. 235p.
- FORMAN, R.T.T; GODRON, M. 1986.**Landscape Ecology**. New York, John Wilwy & Sons,. 619p.
- HARGIS, C.D.; BISSONETTE, J.A.; DAVID, J.L. The behavior of landscape metrics commonly used in the study of habitat fragmentation. **Landscape Ecology**, v. 13, p. 167-186, 1998.
- JARVINEN, O. Conservation of endangered plant populations: single large or several small reserves? **Oikos**, v. 38, p. 301-307, 1982
- MCGARIGAL, K & MARKS, B. J. 1995. **FRAGSTATS: spatial patterns analysis program for quantifying landscape structure**. Portland: USDA, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 122p.
- MCGARIGAL, K., S. A. CUSHMAN, M. C. NEEL, and E. ENE. 2002. Fragstats: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. **Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst**. Disponível em: <www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>
- NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento remoto**: princípios e aplicações. São Paulo: Edgar Blücher, 1992.308p.
- ODUM. **Ecologia**. Rio de Janeiro, RJ: Ed. Guanabara. 434p., 1988.
- O'NEIL, R.V. et al. Indices of landscape pattern. **Landscape Ecology**, v.1, n.3, p.153-162, 1988.
- SANTOS, R. F. dos. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos. 184 p. 2004.
- SOARES-FILHO, B.F.S. **Modelagem da dinâmica de paisagem de uma região de fronteira de colonização amazônica**. 1998. 299 f. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia e de Transportes. Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 1998.
- TURNER, M.G.; GARDNER, R. H.; O'NEIL, R.V. **Landscape ecology in theory and practice**: patterns and process, New York: Springer-Verlag, 2001.401p.
- VALENTE, R.A. **Análise da estrutura da paisagem na bacia do Rio Corumbataí, SP**. 2001. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.