

Avaliação temporal da conectividade e simulação de cenários para o município de Santa Cruz da Conceição – São Paulo, Brasil.

Ângela Terumi Fushita¹
Ronaldo Tavares Araújo^{1,2}
José Salatiel Rodrigues Pires¹

¹Universidade Federal de São Carlos
Departamento de Hidrobiologia
Laboratório de Análise e Planejamento Ambiental - LAPA
Rod. Washington Luís (SP-310) km235 - 13565-905 – São Carlos - SP, Brasil
angela_fushita@yahoo.com.br

²Prefeitura Municipal de Santa Cruz da Conceição
Casa da Agricultura
RUA PASCHOAL GANÉO, 580 – 13625-000 – SANTA CRUZ DA CONCEIÇÃO – SP, BRASIL

RESUMO

Análises do processo fragmentação de habitat baseiam-se na teoria do equilíbrio de biogeografia de ilhas, no modelo de metapopulação e na dinâmica de “fonte-sumidouro”. Neste trabalho, verificou-se a integridade ecológica das áreas de vegetação natural e seminaturais para o ano de 1962 e 2002 do município de Santa Cruz da Conceição, estado de São Paulo, por meio de Sistema de Informação Geográfica e métricas da paisagem e elaboraram-se cenários como proposta de melhoria da conectividade entre fragmentos. Identificou-se 14 tipos principais de uso do solo, sendo que áreas com vegetação natural e semi-natural representam 17,84 e 17,95% do município, para 1962 e 2002, respectivamente. A área de estudo apresentou boa conectividade e cenários elaborados aumentaram a conectividade entre os fragmentos.

ABSTRACT

Fragmentation analysis is supported by theory of island biogeography, metapopulation models and source-sink dynamic. This study analyzed the evaluation of ecological integrity in Santa Cruz da Conceição municipality, São Paulo state, Brazil, in 1962 and 2002, with Geographical Information System and landscape metrics. The fragmentation degree was verified with the number, size, shape and connectivity of fragments. Two sceneries were proposed according to Brazilian legislation. The natural and semi-natural vegetation areas were 17.84% and 17.95% in 1962 and 2002, respectively. Seven fragments was classified how source, in 334 fragments. The study area have good connectivity, even though the sceneries increased the connectivity among fragments.

Key words: gis, fragmentation, connectivity, landscape conservation.

INTRODUÇÃO

O processo de fragmentação de habitat tem três grandes componentes, que são a perda de habitat original, a redução em tamanho de manchas de habitat e o aumento do isolamento das manchas de habitat (Andrén, 1994), formando paisagens de “ilhas” de habitats dentro de uma matriz de diversos tipos de cobertura do solo (Gustafson & Gardner, 1996).

Com a fragmentação, organismos podem deixar de colonizar outros habitats e espécies podem tornar-se extintas nos fragmentos. Diversos autores citam que a teoria do equilíbrio de biogeografia de ilhas (MacArthur & Wilson 1967) e o desenvolvimento de modelos de metapopulação (Levins, 1970) e de “fonte-sumidouro” (Pulliam, 1988) auxiliaram o estudo das propriedades de persistência das populações no tempo e espaço caracterizado como uma função das taxas de colonização e extinção.

A teoria de biogeografia de ilhas enfoca essencialmente na presença/ausência de espécies em relação à área e à distância de áreas fonte de organismos. A dinâmica de metapopulação assume que subpopulações vivem em manchas de habitat relativamente isoladas umas das outras (Andrén, 1994). A dinâmica de “fonte-sumidouro” refere a paisagens com dois ou mais habitats, onde a taxa de nascimentos excede a taxa de morte em um ou mais habitats “fontes”, mas que a taxa de morte excede a taxa de nascimento em um ou mais habitats chamados de “sumidouro” (Ritchie, 1997).

O movimento espécies entre áreas de “fontes” e “sumidouros” requer a manutenção de populações e que os indivíduos movem entre os fragmentos. (Taylor *et al.*, 1993). Fragmentos de boa qualidade tenderão a render excedente demográfico enquanto que os de qualidade ruim tenderão provavelmente a um déficit demográfico (Delibes *et al.*, 2001).

A manutenção da integridade ecológica dos ecossistemas e das funções ambientais implica na manutenção de áreas naturais em condições satisfatórias de tamanho e de qualidade ambiental (Pires *et al.*, 2004) e pode ser estimada e monitorada por meio de indicadores, entre eles a análise de fragmentação de habitats (Forman & Godron, 1986). Meffe & Carroll (1994) cita que para definir estratégias efetivas de manejo e proteção da diversidade em áreas fragmentadas é necessário analisar a paisagem e os padrões de fragmentação.

Neste trabalho, verificou-se conectividade dos fragmentos para determinar o grau de fragmentação das áreas de vegetação natural e seminaturais do município de Santa Cruz da Conceição por meio de Sistema de Informação Geográfica e analisou-se a situação do município em 1962 e 2002. Elaboraram-se cenários como proposta de melhoria da conectividade entre fragmentos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo.

O Município de Santa Cruz da Conceição, localizado no Estado de São Paulo, (Figura 1) está situado entre as coordenadas UTM (Córrego Alegre – Zona 23 Sul) 234.000m Oeste e 7.544.500m Sul e 252.500m Oeste e 7.558.000m Sul e a 635 m de altitude. Sua área corresponde 149,43 km² (IBGE, 2000) e pertence a Bacia Hidrográfica do Rio Mogi-Guaçu. A vegetação caracteriza-se por transição entre os domínios fitogeográficos de cerrado e a mata atlântica. Possui 3.531 habitantes, sendo 1.934 residentes na área urbana (IBGE, 2000)

Métodos

O estudo compreendeu uma primeira etapa de caracterização dos componentes da paisagem para os anos de 1962 e 2002 (mapeamento de uso e ocupação do solo) seguidas da avaliação da paisagem atual (por métricas da paisagem) e da elaboração de cenários. Foram utilizados os equipamentos disponíveis no Laboratório de Análise e Planejamento Ambiental da Universidade Federal de São Carlos

(LAPA/UFSCar), dentre os quais estão a rede de computadores e os softwares MapInfo 7.5, IDRISI 32 e Adobe Photoshop 7.0.

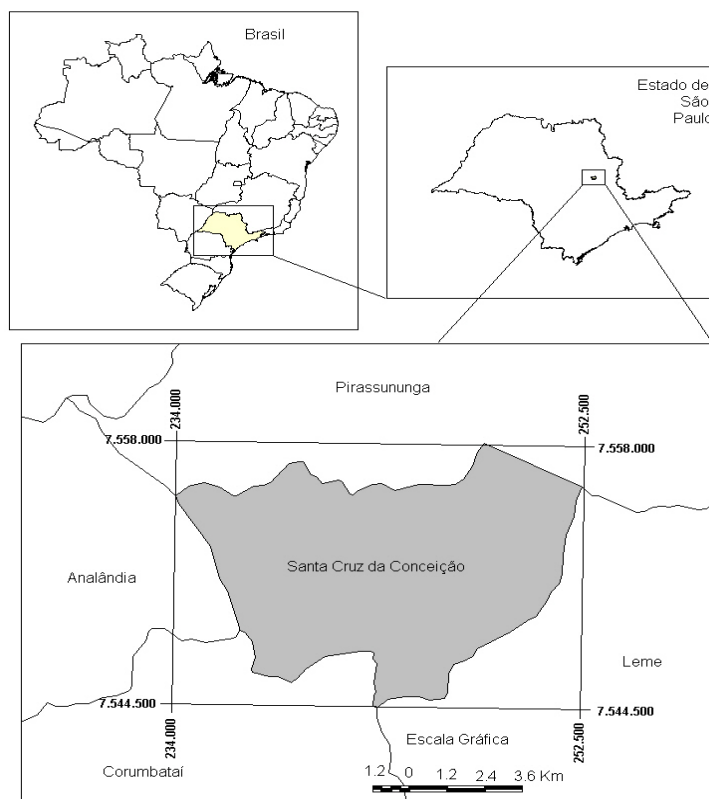


Figura 1. Localização do município de Santa Cruz da Conceição, SP, Brasil.

Digitalizou-se as informações de hidrografia, hipsometria e malha viária com base nas cartas topográficas 1:10.000 do Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo. As informações sobre uso e ocupação do solo e fragmentos de vegetação natural e seminatural do município de Santa Cruz da Conceição foram obtidas por meio de fotografias aéreas de 1962 (Acervo Fotográfico da Prefeitura Municipal de Santa Cruz da Conceição) e de 2002 (vô BASE Aerofotogrametria e Projetos S.A., de 17 e 18 de Julho de 2002) tratadas no software Adobe Photoshop 7.0 e georreferenciadas no Mapinfo 7.5 a partir de pontos coletados em campo com receptor GPS GARMIM.

Discriminou-se dos fragmentos de vegetação natural e seminatural, aqueles com cobertura arbórea-arbustiva.

Para a análise da conectividade da paisagem utilizou-se distância de 30, 50, 100, 150, 200, 250, 300 e 350 para delimitar a borda expandida (distância d), baseado nos estudos de Ranta *et al* (1998) e Pires *et al.* (2004). Os fragmentos foram considerados conectados (pertencentes a um mesmo arquipélago) quando houve sobreposição da distância d de um fragmento com outro e considerado isolado (ilhas) quando na distância d não sobrepôs com outro fragmento. Esta etapa realizou-se no SIG MAPINFO 7.5, por meio do comando cobrir (*buffer*). O número de arquipélagos formados, número de fragmentos isolados, número de arquipélagos formados com dois fragmentos, número de fragmentos que compõem o maior fragmento e a área conectada foram analisados para cada distância d .

A distância de 350 metros foi assumida como sendo a máxima na qual parte das espécies com menor capacidade de locomoção tem de deslocar-se de um habitat a outro, portanto, somente indivíduos de espécies com maior plasticidade têm capacidade para atravessar áreas abertas com distâncias superiores a esta (Ranta *et al.*, 1998; Pires *et al.*, 2004.).

Simularam-se dois cenários. O primeiro cenário elaborado (Cenário 3) seguiu a Legislação Brasileira vigente (Código Florestal de 1965, alterada pela medida Provisória nº 1956-57 de 14/12/2000,

regulamentada pela Resolução CONAMA nº 303, de 20 de março de 2002) que define os limites de áreas de preservação permanente (APP) como 30m de cada margem do rio, 50m ao redor de reservatórios de água e nascentes. O segundo cenário elaborado (Cenário 4) considerou que as APPs possuem área de borda de 30m, assim, utilizou-se 60m em cada margem dos rios e 80m ao redor de reservatórios de água e nascentes. A conectividade destes cenários foi analisada com a situação da vegetação natural e seminatural em 1962 (Cenário 1) e em 2002 (Cenário 2).

RESULTADOS

Caracterização dos componentes da paisagem

A interpretação dos fotomosaicos de SCC permitiu identificar 14 tipos principais de uso do solo. No ano de 1962, houve o predomínio de pastagem, que correspondeu a 61.9% da área total do município (Figura 3a e Tabela 1). A paisagem em 2002 destaca-se por pastagem e monocultura de cana de açúcar, que correspondem, respectivamente a 29.98% e 20.89% da área total do município (Tabela 1).

Houve aumento em área de estradas, mineração, área urbana, infra-estrutura rural. A classe indústria que não existia em 1962, aparece em 2002.

Tabela 1. Quantificação de área para as classes de uso e ocupação da terra para o município de Santa Cruz da Conceição, SP, Brasil.

Classes de uso e ocupação da terra	1962		2002	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Área natural	2670.13	17.84	2686.34	17.95
área urbana	24.11	0.16	250.53	1.67
cana-de-açúcar	0.00	0.00	3126.24	20.89
Culturas perenes	396.63	2.65	2756.52	18.42
Culturas anuais	822.29	5.50	166.23	1.11
Reflorestamento	251.61	1.68	55.36	0.37
Pasto	9263.31	61.90	4486.45	29.98
solo exposto	406.20	2.71	45.77	0.31
Infra-estrutura rural	170.97	1.14	332.61	2.22
Represamento	1.96	0.01	175.45	1.17
Mineração	5.24	0.04	64.16	0.43
Indústrias	0.00	0.00	8.415	0.06
pasto sujo	689.78	4.61	466.04	3.11
Estradas	262.08	1.75	344.19	2.30

Conectividade

A conectividade da paisagem é o grau no qual a paisagem facilita ou impede movimento entre as manchas e pode ser medida para um dado organismo usando a probabilidade de movimento entre todos os pontos ou manchas em uma paisagem (Taylor *et al.*, 1993).

A 30 metros de distância d existem 225 fragmentos conectados em 55 arquipélagos e 109 fragmentos isolados, totalizando 334 fragmentos. Observa-se que conforme aumenta a distância d , diminui o número de fragmentos isolados, sendo que a $d = 350m$ existem oito fragmentos isolados e 326 conectados em nove arquipélagos. Esse mesmo padrão é observado para o número de arquipélago e o número de arquipélagos com dois fragmentos. A área conectada, que corresponde à soma da área dos fragmentos que se encontram em arquipélagos, aumenta com o aumento da distância d , sendo que a maior área conectada é de 2496.984ha, que corresponde a 97,37% da área total de fragmentos. A partir de 150m, a área conectada manteve-se praticamente constante (Figura 3).

O número de fragmentos no maior arquipélago na distância $d = 30$ foi de 16 fragmentos ou 4,79% do número de fragmentos e na distância d máxima foi 295 ou 88,32% dos fragmentos em um

único arquipélago. Foram testadas diferentes distâncias d , e conforme aumentava, fragmentos separados e arquipélagos, tornam-se conectados. Essa variação deve ser considerada, pois fragmentos podem estar isolados para determinados organismos, mas conectados para outros, como exemplifica o estudo de Bennett (2003) no qual cita que um fragmento pode estar isolado para um pequeno roedor, mas pode ser facilmente alcançado por uma ave migratória ou um morcego de floresta.

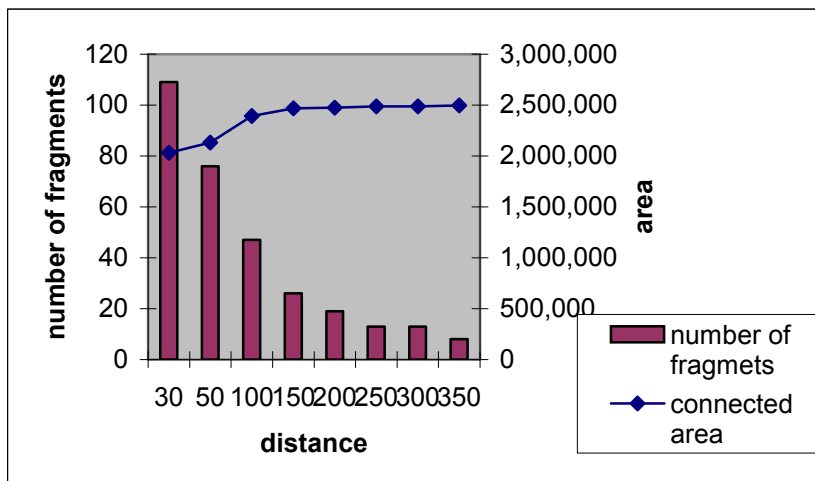


Figura 3. Análise gráfica da conectividade da paisagem (número de fragmentos isolados x distância x área conectada) do município de Santa Cruz da Conceição, SP, Brasil.

Cenários

A área total dos fragmentos de vegetação natural e semi-natural foi para o cenário 1 (1962) de 2833,55 ha, para o cenário 2 (2002) de 2564,51 ha, para o cenário 3 (2002 com recuperação das APPs) de 3517,34ha e para o cenário 4 (cenário 3 com ampliação das áreas de borda de 30m) de 4788,93 (Figura 5). O número total de fragmentos foi de 550, 334, 137 e 163, para esses quatro cenários, respectivamente.

O cenário 3, mostra 24 fragmentos isolados para a distância $d = 30$ e no cenário 4, observa-se 16 fragmentos isolados para essa distância d . Para todos os cenários (Tabela 3), o número de fragmentos isolados diminui com o aumento da distância d , chegando a se tornar estável entre 150 e 200m, para os cenários 2, 3 e 4. A mesma tendência é observada nos demais atributos analisados.

O cenário 1, que representa as áreas naturais e semi-naturais de SCC em 1962, totalizou 550 fragmentos, sendo que a $d=350$ m, seis fragmentos ficaram isolados e 91% dos fragmentos pertenciam um arquipélago. Já o cenário 2 apresentou 88,32% dos fragmentos em um único arquipélago. Nos cenários 3 e 4, formou-se um arquipélago a essa distância, contendo 97,08% e 95,09% dos fragmentos para esses cenários.

A existência de menos fragmentos no cenário 3, em relação ao cenário 2 deve-se ao fato das APPs funcionarem como corredores, unindo fragmentos. No caso do cenário 4 existem mais fragmentos que o cenário 3, pois algumas estradas que antes estavam distantes das áreas analisadas, passam a cortar os fragmentos.

Esses dois cenários elaborados aumentaram a conectividade entre os fragmentos, principalmente entre aqueles considerados como área fonte. Assim, não se deve descartar o uso das matas ripárias como corredores de ligação em ecossistemas fragmentados

Tabela 2. Análise de conectividade do município de Santa Cruz da Conceição, SP, Brasil, em função das distâncias de borda expandida e dos cenários elaborados.

Distân Cia	n de frag isolados (ilhas)				n de frag conectados				n arquipelago				n de frag do maior arquipélago			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	30	132	109	24	16	418	225	113	147	79	55	10	5	44	16	85
50	114	76	21	15	436	258	116	148	58	54	7	5	63	24	102	126
100	66	47	7	11	484	287	130	152	37	43	4	3	119	32	122	146
150	49	26	6	10	501	308	131	153	26	31	4	2	159	65	124	151
200	27	19	6	9	523	315	131	154	18	22	2	2	245	100	129	152
250	13	13	6	8	537	321	131	155	13	11	2	1	257	209	129	155
300	9	13	6	8	541	321	131	155	13	10	2	1	264	211	129	155
350	6	8	4	8	544	326	133	155	7	9	1	1	500	295	133	155

DISCUSSÃO

Em SCC, provavelmente o processo de retirada da vegetação nativa tenha acontecido antes de 1962, pois houve pouca diferença entre os valores de áreas de vegetação natural entre 1962 e 2002 (17.95% e 17.84%, respectivamente). Viana *et al.* (1997) cita que as taxas de desmatamento do estado de São Paulo alcançaram o seu máximo entre 1920 e 1935 e Metzger (2000) e Soares *et al.* (2003) comentam que a região central do Estado de São Paulo foi severamente desmatada durante a segunda metade do século 19 e começo do século 20, como uma consequência da expansão de plantações de café após de 1860, seguida do uso para pasto e agricultura. Essas informações vem ao encontro de Houghton (1994) que cita que metade das áreas cultivadas no mundo surgiu nos últimos 90 anos. Nos trópicos isto ocorreu principalmente a partir dos anos 40, tendo como principal causa a agricultura que nos últimos 10 anos foi responsável por aproximadamente 40% a 90% da conversão de área naturais.

Embora exista pouca variação em área dos fragmentos analisados entre os anos de 1962 e 2002, é bastante provável que a qualidade das áreas de vegetação natural e semi-natural de SCC seja diferente, considerando que o processo de fragmentação afeta negativamente as populações pela diminuição da densidade de indivíduos, que ocorre ao longo do tempo (Brotons *et al.*, 2003), e que os efeitos negativos sobre as áreas remanescentes podem exacerbadados ou mitigados dependendo da qualidade da matriz (impactos das diferentes atividades de uso da terra, conectividade).

Este estudo mostrou que a área analisada está bem conectada do ponto de vista da distância entre fragmentos, mas deve-se acrescentar que não analisou o isolamento proporcionado por características da matriz (permeabilidade) e o quanto algumas barreiras, como estradas, impedem o movimento de organismos entre fragmentos. Estes aspectos podem ser tão importantes quanto à redução do tamanho das manchas de fragmentos.

Os cenários propostos apresentam alternativas para aumento da área e da conectividade dos fragmentos, baseando-se na legislação ambiental brasileira e em aspectos teóricos sobre o efeito de borda em remanescentes de área natural.

O aumento da área no cenário 3 por meio de matas ripárias permitiu interligar fragmentos, servindo como corredores, que são reconhecidos por serem essenciais no controle de fluxos hídricos e biológicos na paisagem (Forman e Godron, 1986). Pires *et al.* (2004) cita que a melhor estratégia para a manutenção da integridade ecológica de uma paisagem seria interligar os fragmentos por meio de corredores, ou manter a maior proximidade possível entre os mesmos, para permitir o fluxo de espécies menos plásticas ou de interior de habitat.

A simulação do cenário 3 visou a conectividade de áreas de vegetação natural e semi-natural caso fossem tomadas medidas que contemplassem a legislação vigente e no cenário 4 seria com a adoção de medidas sob o ponto de vista da conservação, uma vez que com a ampliação das áreas de borda, aumenta consequentemente a área de interior e a chance de sustentar uma alta diversidade de espécies e populações.

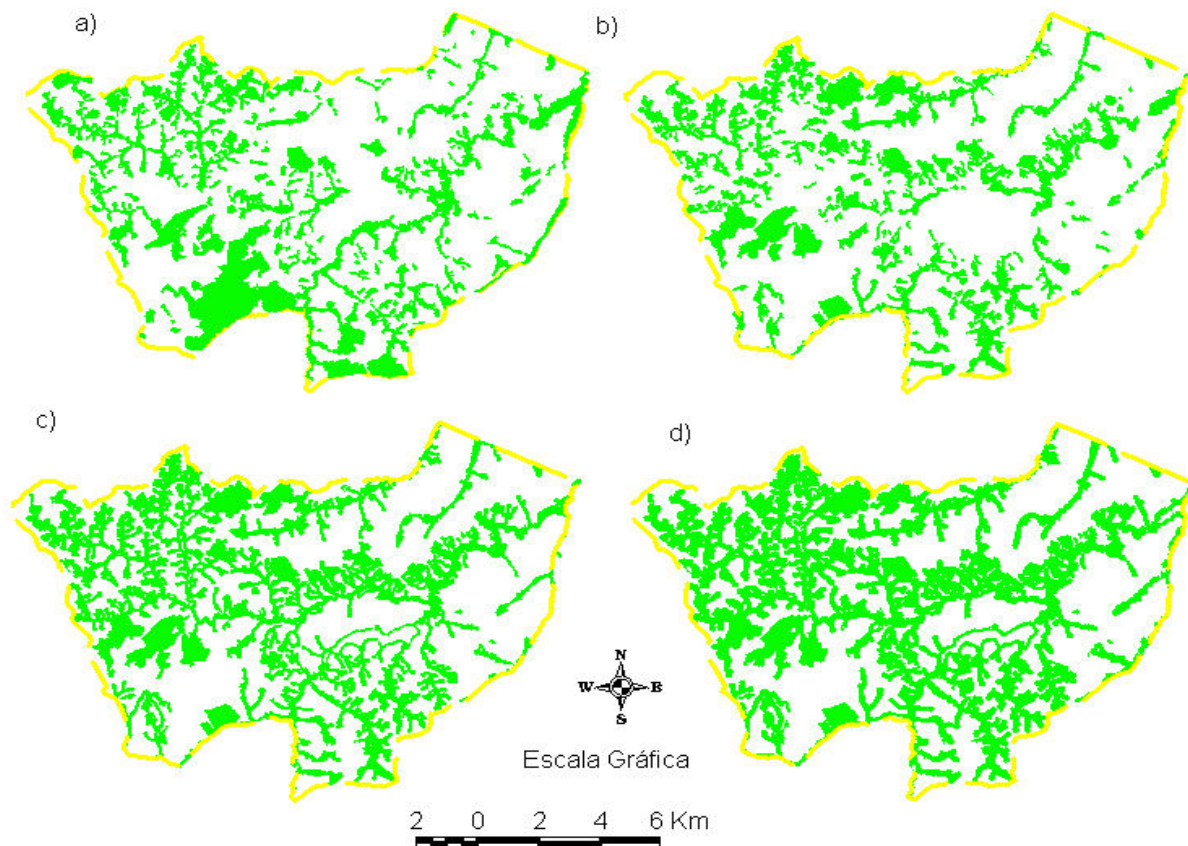


Figura 5. Cenários estudados do município de Santa Cruz da Conceição. a) Cenário 1 (1962); b) Cenário 2 (2002); c) Cenário 3 (2002 com a recuperação das APPs) e d) Cenário 4 (2002 com a recuperação das APPs e ampliação das áreas de borda em 30 metros).

AGRADECIMENTOS

O autor agradece ao CNPq pelo apoio financeiro e à Prefeitura de Santa Cruz da Conceição, em particular a Casa da Agricultura, pelo empréstimo as fotografias aéreas e cartas topográficas utilizadas neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- Andrén, H. (1994), Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat: a review. *Oikos*, **71**, 355-366.
- Bender, D. J.; Contreras, T. A. & Fahrig, L. (1998), Habitat loss and population decline: a meta-analysis of the patch size effect. *Ecology*, **79**(2): 517-533.
- Bennett, A. F. (2003), **Linkages in the Landscape: The Role of Corridors and Connectivity in Wildlife Conservation**. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, 254 pp.
- Brotons, L.; Monkkonen, M. & Martin, J. L. (2003), Are fragments Islands? Landscape context and density-area relationships in boreal forest birds. *The American Naturalist*, **162** (3), 344-357.
- Chiarello, A. G. (1999). Conservation value of a native forest fragment in a region of extensive agriculture. *Revista Brasileira de Biologia*, **60** (2): 237-247.

- Delibes, M.; Gaona, P. & Ferreras, P. (2001), Effects of an attractiv sink leadig into maladaptive habitat selection. **The American Naturalist**, **158**(3), 277-285.
- Driscoll, D. A. & Weir, T. (2005), Beetle responses to habitat fragmentation depend on ecological traits, habitat condition, and remnant size. **Conservation Biology**, **19**(1): 182-194.
- Feer, F. & Hingrat, Y. (2005), Effects of forest fragmentation on a dung beetle community in French Guiana. **Conservation Biology**, **19**(4): 1103-1112.
- Forman, R.T.T. & Godron, M. (1986), **Landscape ecology**. New York, John Wiley e Sons.
- Gustafson, E. J. & Gardner, R. H. The efect of landscape heterogeneity on the probability of patch colonization. **Ecology**, **77**(1), 94-107.
- Houghton, R. A. (1994), The worldwide extent of land-use change. **Bioscience**, **44**(5), 305-313.
- IBGE. (2000), Censo Demográfico. São Paulo. Fundação Instituto de Geografia e Estatística, Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 24 de agosto de 2008.
- Meffe, G.K. e Carroll, R. (1994), **Principles of Conservation Biology**. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, MA.
- Metzger, J. P. (1999), Estrutura da Paisagem e Fragmentação: Análise Bibliográfica. **An. Acad. Bras. Ci.**, **71** (3-I), 445-463.
- Metzger, J. P. (2000), Tree functional group richness and landscape structure in a brazilian tropical fragmented landscape. **Ecological Application**, **10**(4), 1147-1161.
- Murcia, C. (1995), Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. **Tree**, **10** (2), 58-62.
- Pires, A. M. Z. C. R.; Pires, J. S. R. & Santos, J. E. dos (2004). Avaliação da Integridade Ecológica de Bacias Hidrográficas. In: **Faces da Polissemia da Paisagem: Ecologia, Planejamento e Percepção**. Orgs. Santos, J. E. dos; Cavalheiro, F; Pires, J. S. R.; Henke-Oliveira, C. & Pires, A. M. Z. C. R. 1 ed. São Carlos, v. 1, p. 123-154.
- Pires, J.S.R. (1995), **Análise ambiental voltada ao planejamento e gerenciamento do ambiente rural: Abordagem metodológica aplicada ao município de Luiz Antônio – SP**, Tese (Doutorado em Ciências), Universidade Federal São Carlos, São Carlos, SP.
- Ranta, P.; Blom, T.; Niemea, J.; Joensuu, E. & Siitonen, M. (1998). The fragmented Atlantic rain forest of Brazil: size shape and distribution of forest fragments. **Biodiversity and Conservation**, **7**: 385-403
- Ritchie, M.E. (1997), Populations in a Landscape Context: Sources, Sinks, and Metapopulations. In: **Wildlife and Landscape Ecology: Effects of Pattern and Scale**. ed. J. A. Bissonette. Springer-Verlag New York Inc, New York, pp 160-184.
- Saunders, D. A.; Hobbs, R. J. & Margules, C. R. (1991), Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. **Conservation Biology**, **5** (1), 18-32
- Soares, J. J., Silva, D. W. da & Lima, M. I. S. (2003), Current state and projection of the probable original vegetation of the São Carlos region of São Paulo State, Brazil. **Braz. J. Biol.**, **63**(3), 527-536.
- Taylor, P. D.; Fahrig, L.; Henein, K. & Merriam, G. (1993), Connectivity is a vital element of landscape structure. **Oikos**, **68** (3), 571-573.
- Zuidema, P. A.; Sayer, J. A. & Dijkman, W. (1996), Forest fragmentation and biodiversity: the case for intermediate-sized conservation areas. **Environmental Conservation**, **23**(4), 290-297.