

Modelagem de Corredores Ecológicos em ecossistemas fragmentados utilizando Processamento Digital de Imagens e Sistemas de Informações Georreferenciadas

Cléa Cardoso da Rocha¹
Ardemírio de Barros Silva¹
Marjorie Csekö Nolasco¹
Washington Franca-Rocha¹

¹Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS
Av. Universitária, s/n - Km 03 da BR 116 - Campus Universitário
Feira de Santana - BA -CEP: 44031-460
Departamento de Ciências Exatas- Área de Geociências
cleageo@yahoo.com.br

Abstract. This paper describes the methodological procedures involving digital image processing of LANDSAT7ETM+ images allowing to the identification of forests fragments and their physical characteristics. GIS technique was used to model ecological corridors.

Palavras-chave: Image processing GIS, modeling ecological corridors, processamento de imagens, SIG, modelagem, corredores ecológicos.

1. Introdução

Em face da degradação crescente dos sistemas florestais, corredores ecológicos são apontados como uma solução viável para a manutenção da biodiversidade e recuperação de ecossistemas fragmentados. A fragmentação está diretamente ligada à dinâmica de uso da terra, direcionada por fatores econômicos, sociais, culturais, institucionais e tecnológicos. As geotecnologias são importantes para a análise integrada da paisagem através de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Georreferenciadas. Esta pesquisa teve como objetivo propor uma metodologia para delimitação de corredores ecológicos, que possa ser exportada para quaisquer ecossistemas fragmentados, visto que até o momento tal procedimento foi desenvolvido e aplicado exclusivamente para áreas de floresta.

A área de estudo apresenta mistura de ecossistemas, correspondendo à região do Corredor Central da Mata Atlântica do sul da Bahia, sendo escolhida como área piloto para modelagem o limite do município de Valença compreendido entre as coordenadas 38°55'W e 38°57'W de longitude oeste e 13°12'S; e 13°22'S de latitude sul. Este município (**Figura 1**) apresenta uma diversidade florística e faunística, característica de floresta ombrófila densa atlântica, além de outras formações vegetais como restinga e mangue.

De acordo com Cordeiro (2003, p.15), a maior parte dos pesquisadores que estuda os efeitos da fragmentação nos ecossistemas florestais, aceita e defende que a consequência final do processo de fragmentação é a redução da biodiversidade. A extinção de espécies ocorre em razão inversa ao tamanho do habitat. Dessa maneira, justifica-se a implantação de corredores ecológicos e unidades de conservação como estratégias para preservação das espécies.

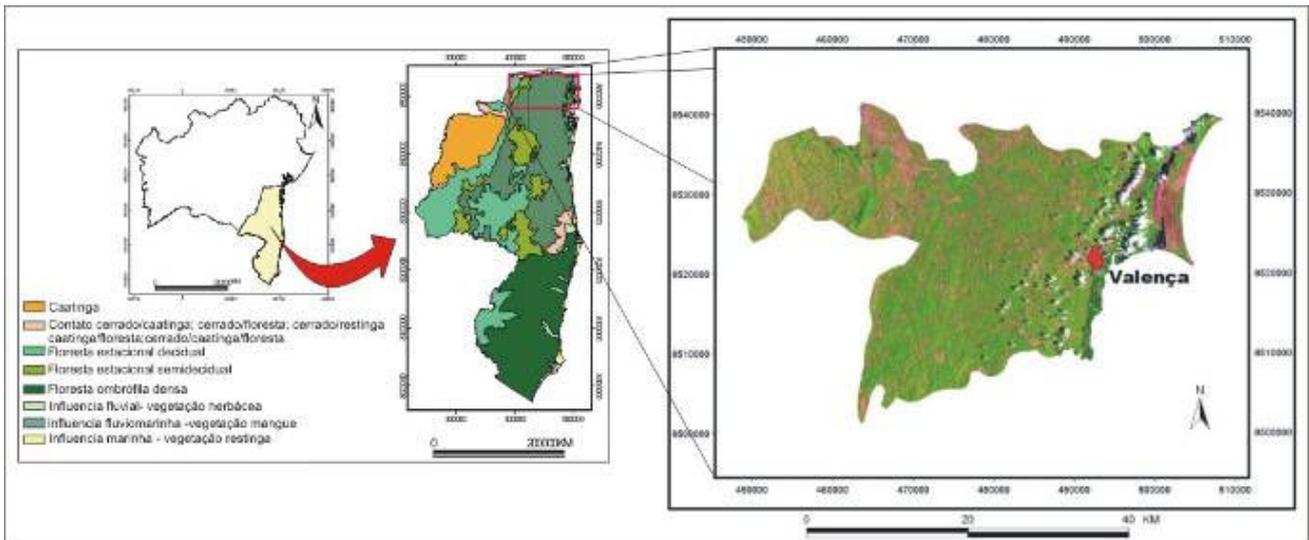


Figura 1- Localização da área de trabalho. Base: Imagem LANDSAT 7 ETM+, Cena 216_069 de 12.01.03.

2. Metodologia

A metodologia utilizada está sintetizada na **Figura 2**.

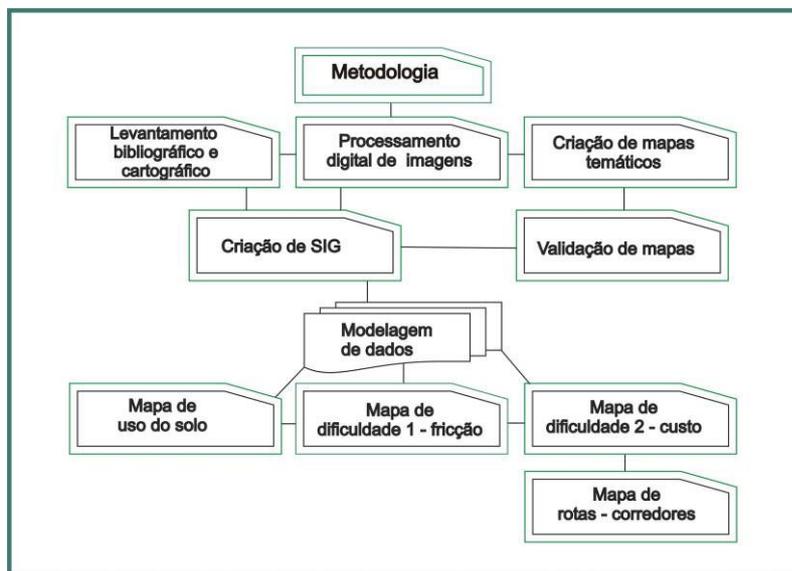


Figura 2 – Fluxograma metodológico.

O Levantamento bibliográfico e cartográfico constou do exame de mapas de geologia (CPRM, 2003), solos, geomorfologia, hidrografia, vegetação (SRH, 2003), modelo digital do terreno SRTM, declividade, folha topográfica, escala 1:100.000 de Valença (SD-24-V-D-III), imagem LANDSAT 7 ETM+, cena 216_069 de 12.01.2003, dados sobre biodiversidade, sócio-econômicos e localização de áreas das unidades de conservação. Mapa de vegetação do IBGE (2004), informações do Corredor Central da Mata Atlântica (2001) e Projeto Corredor Central de Biodiversidade da Mata Atlântica do Sul da Bahia (2003), além de textos relacionados à fragmentação de ecossistemas e geotecnologias.

Para o pré-processamento da imagem de satélite LANDSAT ETM+, cena 216_069, adquirida em 12.01.03 foram executados os seguintes procedimentos: (a)definição da projeção cartográfica: Universo Transverso de Mercator (UTM) e o Datum Córrego Alegre; (b)Correção geométrica: foram definidos 61 pontos da correspondência obtendo-se um RMS de 29m, um erro aceitável visto que de acordo com o padrão de exatidão cartográfica para um mapa na escala de 1:100.000 o RMS permitido varia de 15 a 80m, sendo o ideal 25,4m.

O Processamento digital da imagem constou de: a)composições coloridas 543RGB e 321RGB; b)Filtragem: foram utilizados os filtros de mediana e o filtro de Roberts, para a individualização dos fragmentos florestais, por meio da digitalização manual; c)Classificação supervisionada: foi usada a Máxima Verossimilhança (MaxVer) (**Figura 3**) com quatorze classes a partir da definição de amostras espectrais; d)Razão entre bandas para obtenção de índices de vegetação, no caso o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).

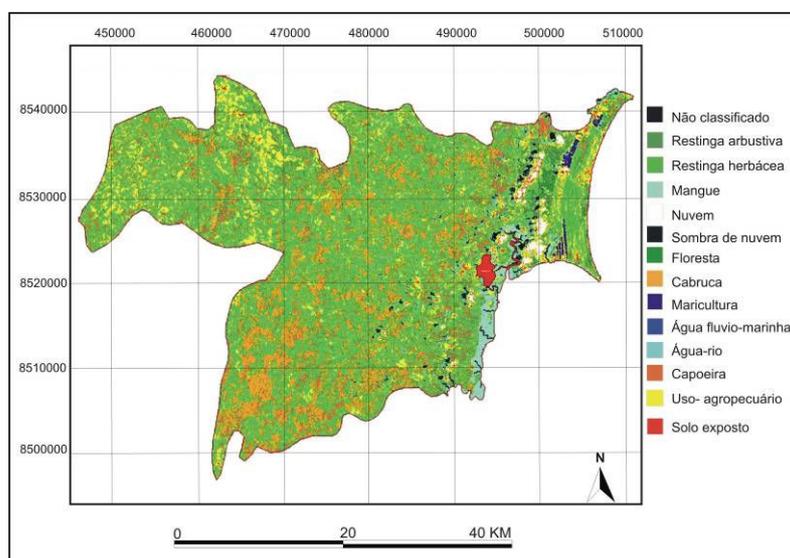


Figura 3 – Classificação Supervisionada MaxVer

Foram criados os seguintes mapas temáticos: a)mapa de declividade obtido através do modelo digital do terreno SRTM; b)mapa de uso do solo com as classes: rios; estradas; usos (agrícola, agropecuário, maricultura, urbano, cabruca e unidades de conservação); solo exposto; ecossistemas (restinga, mangue, fragmentos de floresta, capoeira).

3. Discussão dos resultados

Os resultados foram validados através de métodos estatísticos, no caso utilizou-se o Índice Kappa (IK) tendo sido encontrado para o IK um valor de 0,83 revelando uma correspondência substancial entre os mapas de cobertura do solo do Projeto Corredor Central de Biodiversidade da Mata Atlântica do Sul da Bahia do IESB e o mapa interpretado a partir dos processamentos digitais das imagens de satélite.

Para a individualização e escolha dos fragmentos representativos para serem ligados através de corredores levou-se em consideração: tamanho, forma, relação área/perímetro (Índice de Circularidade - I_c), conectividade, isolamento, vizinhança, e aspectos físicos da paisagem. O Índice de Circularidade é definido como o efeito de

borda medido pela razão entre perímetro e área dos remanescentes florestais (CHRISTOFOLETTI, 1999). Quanto mais perfeitamente circular for um fragmento, menor será o efeito de borda. O índice de circularidade (I_c) é expresso pela relação entre a área e o perímetro de determinado polígono: $I_c = A/A_c$. Onde A é a área do fragmento considerado e A_c é a área do círculo com perímetro idêntico ao mesmo fragmento. O índice de circularidade varia de 0 a 1, e quanto mais próximo de 1, melhor a condição do fragmento.

Foram individualizados trinta e cinco polígonos de floresta (**Figura 4**) tomados apenas aqueles representantes de remanescentes de floresta nativa. Os fragmentos encontrados tiveram I_c muito próximo de zero indicando que os mesmos têm formato alongado e grandes efeitos de borda, desta maneira foram escolhidos os dez maiores fragmentos, com áreas acima de 120 ha, a serem conectados.

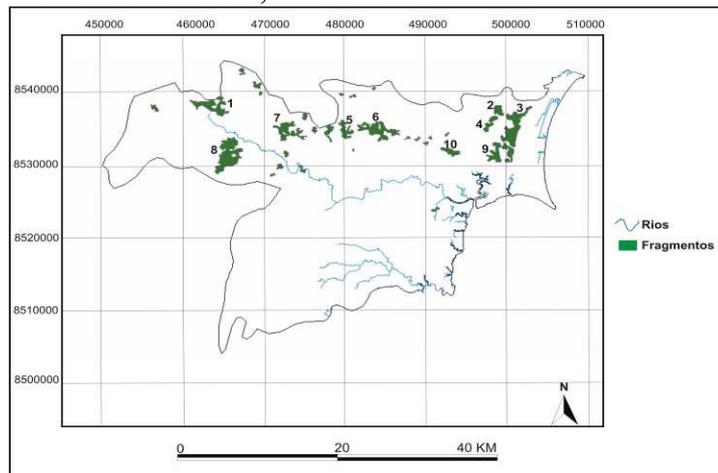


Figura 4 - Mapa dos fragmentos de floresta. Destacados os 10 maiores.

A criação do mapa de dificuldade exige a avaliação e escolha de facilitadores e de restrições à movimentação do fluxo gênico, exemplificando: área de culturas ou um rio são considerados restrições e fragmento de mata primária considerado como facilidade. Para definir os fatores é necessário: identificação dos fatores mais importantes para o fenômeno derivados dos indicadores de paisagem; padronização dos fatores escolhidos em seqüência de importância; atribuição de pesos relativos aos fatores, reclassificação do mapa de uso do solo com base nos pesos relativos, tendo como resultado o mapa de dificuldade ou restrições. As operações com mapas estão representadas na **Figura 5**.

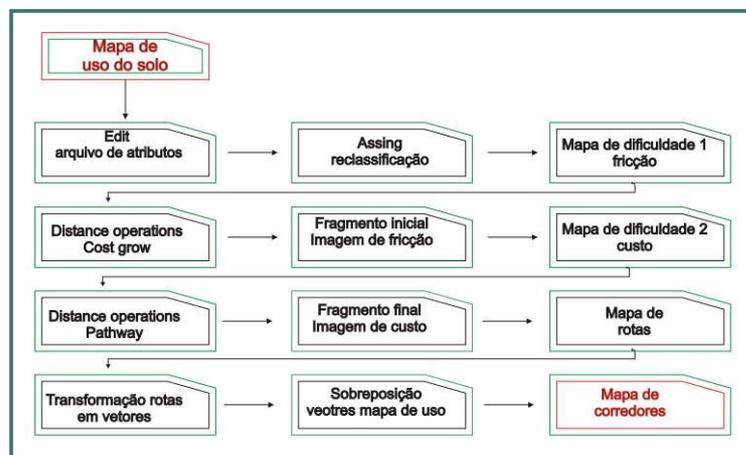


Fig.5. Operações com mapas para geração do mapa de corredores.

Para a criação do mapa de dificuldade 1 ou fricção (pesos qualitativos) utilizou-se o mapa de uso do solo (**Figura 6**) através de uma reclassificação dos valores determinados a cada classe. Definiram-se pesos de adequabilidade, sendo os de maiores pesos aqueles por onde não deveriam passar os corredores (**Tabela 1**), como no caso das áreas urbanas e maricultura, dando-se origem ao mapa de fricção (**Figura 7**).

Tabela 1. – Pesos qualitativos para obtenção do mapa de dificuldade 1.

Classe	Pesos cenário otimista	Pesos cenário pessimista
Floresta	1	1
Capoeira	10	30
Cabruca	5	50
Uso	50	60
Restinga arbustiva	1	70
Restinga herbácea	1	90
Área urbana	100	100
Rio	20	30
Maricultura	90	100
Mangue	1	60
Estradas	60	60

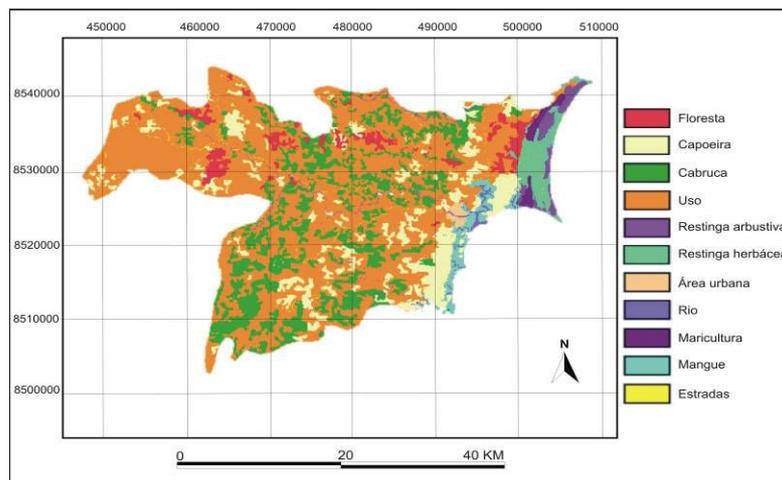


Fig. 6 – Mapa de uso do solo com 11 classes.

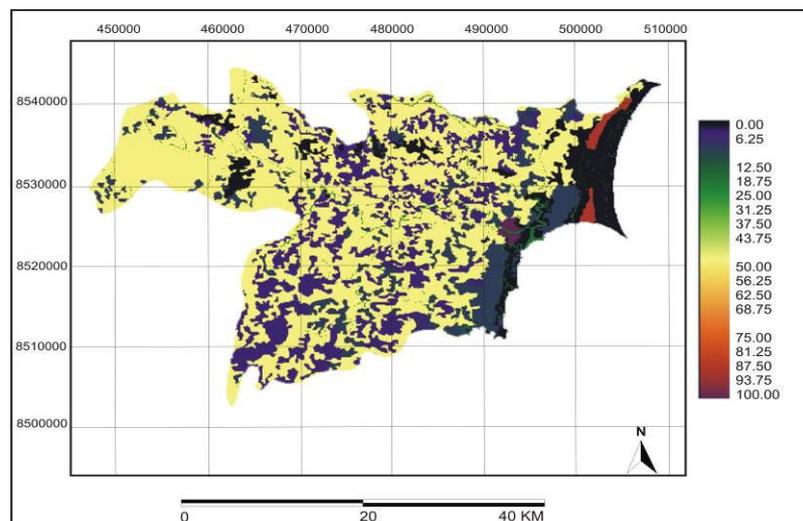


Fig. 7 – Mapa de fricção ou dificuldade 1.

Para a criação do mapa de custo ou dificuldade 2, gerou-se uma superfície de custos, onde regiões com maiores pesos têm maiores custos, ou seja, dificuldade à passagem da fauna. A operação matemática para a obtenção deste mapa é Distância Euclidiana. Foram elaborados dois mapas de custo: um para “cenário otimista” e outro para um “cenário pessimista”. O cenário otimista tem valores (custos) menores para classes como cabruca, por exemplo.

Para a criação do mapa de rotas selecionou-se o fragmento final, e a imagem de custo obtidas e em seguida elaborou-se o mapa de corredores propostos. Foram obtidos quatro corredores principais (**Figura 8**). Utilizando-se as ligações mais distantes (fragmento 1 a 3), determinou-se os corredores para um cenário otimista e um cenário pessimista (**Figura 9**)

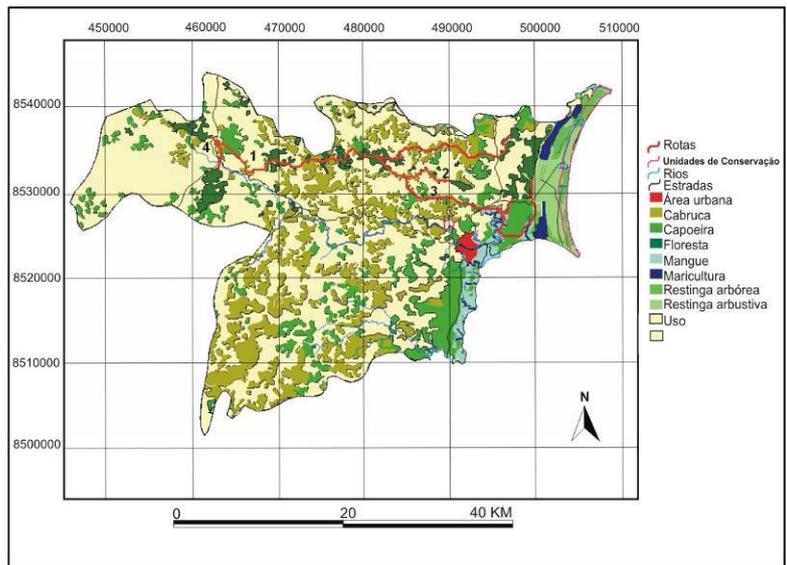


Figura 08. - Mapa de corredores final – quatro corredores principais.

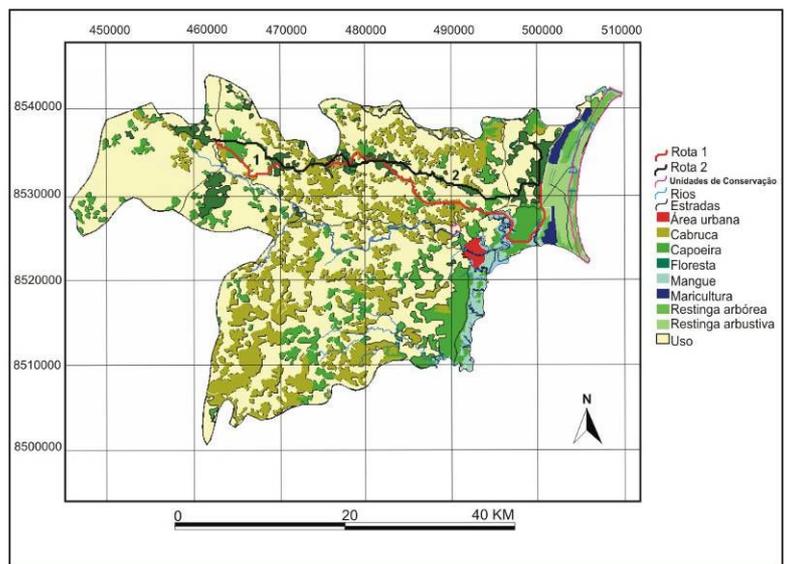


Fig. 09. Mapa de corredores cenário 1 otimista x cenário 2 pessimista.

4. Conclusões

Para a escolha dos pesos de restrição usados para reclassificar o mapa de uso do solo, transformando-o em mapa de dificuldade ou fricção, adotou-se um pequeno

mamífero. Inicialmente, foram utilizados pesos para um cenário otimista sendo que a cabruca foi considerada como favorável à fauna. A capoeira também foi considerada positivamente ponderando-se que as ligações se dariam num estágio secundário de regeneração, diminuindo o efeito de borda. O mangue do mesmo modo apresenta-se como facilitador julgando-se que esta é uma área prioritária para preservação permanente.

Para o cenário pessimista a cabruca tem peso maior refletindo-se que para a cultura de cacau retira-se os patamares mais baixos de vegetação, de herbáceo até por vezes bosque, preserva-se apenas o dossel superior garantindo o sombreamento da cultura. Desta forma o ecossistema é bastante modificado e pode não garantir a sobrevivência das espécies, especialmente de pequenos mamíferos herbívoros. No caso da capoeira avaliou-se que não é homogênea e a depender do seu estágio de regeneração não tem condições de manter a vida das espécies. Quanto ao mangue não teria condições de manter a vida de espécies diferentes daquelas específicas do ecossistema.

As diferenças de análise têm resultantes que se diferenciam porque o corredor correspondente ao cenário otimista ficou maior ligando basicamente a cabruca e capoeira, evitando o uso e passando pelo mangue. O corredor do cenário pessimista ficou mais coerente no que tange à ligação dos fragmentos de floresta, ligando-os prioritariamente, além de compor um percurso menor.

As técnicas de processamento digital de imagens têm como grande vantagem a rapidez na obtenção e facilidade na integração dos dados inclusive de diferentes épocas e formatos, no ambiente SIG, oferecendo também a vantagem de quantificação mais rápida e diferenciação maior do que o olho humano, o que não ocorre, ou pelo menos é bem mais difícil, numa interpretação analógica. Tem-se, no entanto, que atentar à confiança exacerbada na tecnologia, que pode levar o pesquisador a deixar de lado o seu bom senso na interpretação acreditando apenas nos processamentos matemáticos, ou ainda deixando de ter cuidados com a auditoria dos dados e o grau de confiabilidade (acurácia, por exemplo) dos mesmos.

Os resultados obtidos a partir do teste efetuado com a metodologia proposta foram satisfatórios, alcançando os objetivos propostos: um modelo para determinação de corredores ecológicos com metodologia que possa ser utilizada para quaisquer ecossistemas fragmentados. No entanto, destaca-se que apesar do modelo proposto ter atingido aos objetivos ele não foi validado por trabalho de campo, nem aplicado em um ecossistema diferente das florestas, o que é recomendada para uma pesquisa subsequente.

5. Referências Bibliográficas

BAHIA, Governo Estadual. Superintendência de Recursos Hídricos – SRH. **Sistema de Informações Geográficas (SIG)**. CD Rom, vol. 1. SRH. Salvador, 2003.

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. Ed. Edgar Blücher. EDUSP. São Paulo. 1999.

_____. **As perspectivas dos Estudos Geográficos**. In: CHRISTOFOLETTI, A. (org). 1982. Perspectivas da Geografia. Ed. DIFEL. São Paulo.

CORDEIRO, C.M. 2003. **Identificação de áreas prioritárias à formação de corredores ecológicos no município de Belmonte – Bahia**. Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente. UESC. Ilhéus.

CROSTA, A.P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. ed. rev. IG UNICAMP. Campinas. São Paulo 1999. 170p

FONSECA, G.A.B., Alger K., Pinto L.P., Araújo M. e Cavalcanti R. **Corredores de biodiversidade: o Corredor Central da Mata Atlântica**. 2003. In: PRADO, P.I., Landau, E.c. Moura, R.T., Pinto, I.P.S.,

- Fonseca, G.A.B, Alger K. (Orgs) **Corredor de Biodiversidade da Mata Atlântica do Sul da Bahia**. Publicação em CD-ROM, Ilhéus, IESB/CI/CABS/UFMG/UNICAMP.2003
- FONSECA, L.M.G. **Processamento Digitalde Imagens**. INPE. SÃO PAULO. 2000.
- FORMAN, R.T.T. **Land Mosaics – The ecology of Landscapes and regions**. Cambridge University Press. 1997.
- MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Geociências. **Mapa de Vegetação**. Rio de Janeiro. 2004.
- PRADO, P.I., Landau, E.c. Moura, R.T., Pinto, I.P.S., Fonseca, G.A.B, Alger K. (Orgs) **Corredor de Biodiversidade da Mata Atlântica do Sul da Bahia**. Publicação em CD-ROM, Ilhéus, IESB/CI/CABS/UFMG/UNICAMP.2003
- PRADO, P.I. **Corredor Central da Mata Atlântica**. CD-ROM. Ilhéus. IESB/CI/CRA. 2001.
- RESEARCH SYSTEMS & SULSOFT. **Guia em português do Envi 3.5**. www.sulsoft.com.br . Acessado em 04.01.2003
- RICHARDS, J.A. 1993. **Remote sensing digital image analysis - an introduction**. 2nd ed. Springer-Verlag, Berlin
- SOUZA, João Dalton de.; Melo Roberto Campêlo de; Kosin,Marília; et al. **Mapa Geológico** na escala 1:1.000.000. Geologia e Recursos Minerais do Estado da Bahia: Sistema de Informações Geográficas – SIG e Mapas. Versão 1.1. Salvador: CPRM, 2003. 1 CD-ROM.