



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**GABRIEL DE ARAUJO KEIDEL**

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA COBERTURA DA TERRA E  
INTEGRAÇÃO DE VARIÁVEIS COM O USO DE MATRIZES  
HEXAGONAIS EM APOIO À TOMADA DE DECISÃO PARA A  
RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS**

Rio de Janeiro  
2016

**GABRIEL DE ARAUJO KEIDEL**

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA COBERTURA DA TERRA E  
INTEGRAÇÃO DE VARIÁVEIS COM O USO DE MATRIZES  
HEXAGONAIS EM APOIO À TOMADA DE DECISÃO PARA A  
RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro como requisito para a obtenção do Grau de Mestre em Geografia.

**Orientadores:**

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Carla Bernadete Madureira Cruz (UFRJ)**

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Monika Richter (UFRRJ)**

**Rio de Janeiro  
2016**

**GABRIEL DE ARAUJO KEIDEL**

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA COBERTURA DA TERRA E  
INTEGRAÇÃO DE VARIÁVEIS COM O USO DE MATRIZES  
HEXAGONAIS EM APOIO À TOMADA DE DECISÃO PARA A  
RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro como requisito para a obtenção do Grau de Mestre em Geografia.

Aprovada em 28 de Abril de 2016

---

**Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. CARLA BERNADETE MADUREIRA CRUZ – Orientadora**  
**Universidade Federal do Rio de Janeiro**

---

**Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. MONIKA RICHTER – Co-orientadora**  
**Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro**

---

**Prof. Dr. MANOEL DO COUTO FERNANDES**  
**Universidade Federal do Rio de Janeiro**

---

**Prof. Dr. VINICIUS DA SILVA SEABRA**  
**Universidade do Estado do Rio de Janeiro**

**Rio de Janeiro**  
**2016**

## FICHA CATALOGRÁFICA

KEIDEL, Gabriel de Araujo.

Análise espaço-temporal da cobertura da terra e integração de variáveis com o uso de matrizes hexagonais em apoio à tomada de decisão para a recuperação de áreas degradadas / Gabriel de Araujo Keidel - 2016. XI, 68p.

Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2016.

Orientadores: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Carla Bernadete Madureira Cruz e Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Monika Richter

1. Favorabilidade à Recuperação Florestal. 2. Análise Multicriterial 3. Evolução do Uso e Cobertura da Terra

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família por todo o suporte que me deram durante a vida e por sempre apoiarem minhas escolhas.

À minha orientadora Carla Madureira, por tudo que me ensinou ao longo dos anos de orientação em projetos de pesquisa desde a Graduação até a conclusão do Mestrado. Pessoalmente e profissionalmente foram experiências enriquecedoras.

À minha co-orientadora Monika Richter, com quem também venho trabalhando em projetos de pesquisa desde a Graduação e cuja colaboração foi de grande importância para a realização deste projeto.

À equipe do laboratório Espaço que, sempre com um espírito de colaboração, estiveram dispostos a me ajudar na pesquisa, em especial Julia, Raissa, Maíra, Gabriel, Valente, João e Marcus.

Aos meus amigos Carlos André, Sidney, Pilar, Emily, Carol e Gustavo, pelo companheirismo e apoio que me deram ao longo do curso de Mestrado.

## RESUMO

A Mata Atlântica é atualmente considerada o bioma brasileiro mais ameaçado devido ao seu estado crítico, pois concentra cerca de 70% da população brasileira e apesar da devastação acentuada, ainda contém uma parcela significativa da diversidade biológica do Brasil. A região da planície litorânea do centro-norte fluminense foi alvo durante séculos de intensas perturbações antropogênicas, intensificadas nas últimas décadas com o expressivo crescimento da população urbana e rural. Assim, a paisagem atual dessa região encontra-se representada por fragmentos florestais de variados tamanhos imersos em extensas matrizes antrópicas. A compreensão das relações existentes entre as variáveis físicas, bióticas e socioeconômicas da paisagem constituem um dos principais desafios a serem alcançados na elaboração de métodos e técnicas mais eficientes para promover a recuperação ambiental. Este trabalho tem por objetivo a realização de um estudo sobre integração de dados multicriteriais, através do uso de matrizes hexagonais para compreender a interação de diferentes elementos da paisagem de forma a identificar as áreas prioritárias quanto à implementação de projetos de recuperação de ecossistemas na bacia do rio São João. Foi realizada a classificação de imagens orientada a objetos com uso da imagem Landsat 8 OLI (*Operational Land Imager*) para produção do mapa de uso e cobertura da terra para o ano de 2015. Em seguida, este mapa foi integrado ao mapa de dinâmica de uso e cobertura referente ao período de 1975 a 2010, proveniente de Seabra (2012), para sua atualização. Por fim, utilizou-se a matriz hexagonal como unidade de integração destes dados com outras variáveis importantes quanto à recuperação de ecossistemas para avaliação das influências dessas variáveis na dinâmica de uso da terra.

## ABSTRACT

The Atlantic Forest is currently considered the most threatened biome due to its critical condition, concentrating around 70% of the population and despite the sharp devastation, still contains a significant portion of the biological diversity of Brazil. The region of the coastal plain located in the center-north of the Rio de Janeiro state was the target for centuries of intense anthropogenic disturbances, intensified in recent decades with the significant growth of the urban and rural population. Thus, forest fragments of various sizes inserted into extensive anthropogenic matrices represent the prevailing landscape in this region. The understanding of the relationship between the physical, biotic and socioeconomic landscape variables are one of the main challenges to be met in the development of more efficient methods and techniques to promote environmental recovery. This thesis aims to conduct a study on integrating multicriteria data using hexagonal grids to understand the interaction between different elements of the landscape in order to identify priority areas for the implementation of ecosystem restoration projects in the basin of São João river. The Geographic-Object-Based Image Classification was made to the Landsat 8 OLI (*Operational Land Imager*) image in order to product the use and land cover map for 2015. Then, this map was integrated to the dynamic of use and coverage map related to the period of 1975-2010 for its updating. Finally, hexagonal grids were used as integration unit of this data with other important variables for the recovery of ecosystems to evaluate the influence of these variables on the dynamics of land use.

## Lista de Figuras

Figura 1: Localização da área de estudo no estado do Rio de Janeiro. ....	5
Figura 2: Municípios inseridos na bacia do rio São João. ....	6
Figura 3: Mapa de Uso e Cobertura da bacia em 2010.....	19
Figura 4: Dinâmica de uso e cobertura entre 1975 e 2010.....	20
Figura 5: Detalhe do deslocamento de uso e cobertura de 2010 antes e depois da correção geométrica.....	26
Figura 6: Exemplos da mudança de posicionamento após a correção geométrica...	27
Figura 7: Deslocamento da dinâmica de uso e cobertura após a correção geométrica.....	28
Figura 8: Recortes de duas áreas da imagem original (A e B) e as respectivas áreas após a correção atmosférica (A <sup>1</sup> e B <sup>1</sup> ).....	29
Figura 9: Comportamento espectral do fitoplâncton, sedimentos em suspensão, matéria orgânica dissolvida e água clara. ....	31
Figura 10: Mapa de uso e cobertura da bacia do São João em 2015 .....	34
Figura 11: Matriz de Confusão para cálculo da exatidão global do mapeamento. ....	35
Figura 12: Mapa de Dinâmica de Uso e Cobertura entre 1975 e 2015 .....	38
Figura 13: Classes do mapeamento de Dinâmica de Uso e Cobertura entre 1975 e 2015. ....	39
Figura 14: Reclassificação do Mapa de Dinâmica de Uso e Cobertura entre 1975 e 2015. ....	41
Figura 15: Matriz de hexágonos para a bacia do rio São João. ....	45
Figura 16: Matriz Hexagonal por Média de Áreas Remanescentes. ....	47
Figura 17: Matriz Hexagonal por Média de Áreas Regeneradas.....	48
Figura 18: Matriz Hexagonal por Média de Áreas Desmatadas. ....	49
Figura 19: Medida da distância Euclidiana pelo cálculo da hipotenusa entre as origens de duas células.....	50
Figura 20: Cálculo da Distância Euclidiana para as variáveis analisadas. ....	51

Figura 21: Matriz Hexagonal por Distância Média de Sistema Viário.....	52
Figura 22: Matriz Hexagonal por Distância Média dos Fragmentos Florestais.....	53
Figura 23: Matriz Hexagonal por Distância Média de Unidades de Conservação.....	54
Figura 24: Matriz Hexagonal por Distância Média de Áreas Urbanas .....	55
Figura 25: Matriz hexagonal com maiores valores médios de áreas regeneradas pela distância média aos fragmentos florestais.....	56
Figura 26: Matriz hexagonal com maiores valores médios de áreas regeneradas pela distância média às unidades de conservação.....	57
Figura 27: Matriz hexagonal com maiores valores médios de áreas regeneradas pela distância média ao Uso Urbano. ....	58
Figura 28: Matriz hexagonal com maiores valores médios de áreas regeneradas pela distância média ao Sistema Viário. ....	59
Figura 29: Matriz Hexagonal para maior favorabilidade à ocorrência de Regeneração entre 1975 e 2015. ....	60

## **Lista de Tabelas**

Tabela 1: Descrição das classes adotadas para Uso e Cobertura. Adaptado de Seabra (2012). .....	23
Tabela 2: Área das classes de uso e cobertura de 2015.....	37
Tabela 3: mudanças entre as classes de dinâmica de uso de 2010 e 2015 .....	41

## Lista de Gráficos

Gráfico 1: Curvas espectrais em valores médios de reflectância da Água para cada banda nas imagens original e corrigida.....	30
Gráfico 2: Detalhe das curvas espectrais em valores médios de reflectância da Água para cada banda na imagem corrigida.....	30
Gráfico 3: Curvas espectrais em valores médios de reflectância do Solo para cada banda nas imagens original e corrigida.....	32
Gráfico 4: Detalhe das curvas espectrais em valores médios de reflectância do Solo para cada banda na imagem corrigida.....	32
Gráfico 5: Curvas espectrais em valores médios de reflectância da Vegetação para cada banda nas imagens original e corrigida .....	33
Gráfico 6: Detalhe das curvas espectrais em valores médios de reflectância da Vegetação para cada banda na imagem corrigida .....	33

## Sumário

<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1. Apresentação do tema .....	1
1.2. Objetivos .....	3
1.3. Estrutura da dissertação .....	4
<b>2. Área de estudo .....</b>	<b>5</b>
<b>3. Revisão Conceitual.....</b>	<b>11</b>
<b>4. Dinâmica de uso e cobertura da terra da bacia do rio São João entre 1975 e 2015 .....</b>	<b>17</b>
4.1. Introdução .....	17
4.2. Metodologia.....	18
4.3. Resultados .....	24
4.4. Conclusões.....	42
<b>5. Integração de variáveis por matrizes hexagonais .....</b>	<b>43</b>
5.1. Introdução .....	43
5.2. Metodologia.....	44
5.3. Resultados .....	47
5.4. Conclusões.....	60
<b>6. Considerações Finais.....</b>	<b>62</b>
<b>7. Referências Bibliográficas.....</b>	<b>64</b>

## **1. Introdução**

### **1.1. Apresentação do tema**

Dentre os biomas brasileiros, a Mata Atlântica é atualmente considerada o mais ameaçado devido ao seu estado crítico, pois concentra cerca de 70% da população brasileira e é composto por uma série de fitofisionomias bastante diversificadas, determinadas pela proximidade da costa, relevo, tipos de solo e regimes pluviométricos. Essas características foram responsáveis pela evolução de um rico complexo biótico. (PROBIO/MMA, 2004)

Para Câmara (1996), o conceito de Mata Atlântica tem variado através dos tempos, tendendo para admitir-se a expansão de sua área. Desde 1993, com a publicação do Plano de Ação, o Governo Federal baixou o Decreto nº 750 de 10-02-1993 que passou a considerar a Mata Atlântica como as formações florestais e os ecossistemas associados inseridos no Domínio Mata Atlântica, com as delimitações estabelecidas no Mapa de Vegetação do Brasil, IBGE 1988 (reeditado em 1993), abrangendo a Mata Atlântica abrange a Floresta Ombrófila Densa Atlântica, a Floresta Ombrófila Mista, a Floresta Ombrófila Aberta, a Floresta Estacional Semidecidual, a Floresta Estacional Decidual, manguezais, restingas, campos de altitude, brejos interioranos e encaves florestais do Nordeste.

Apesar da devastação acentuada, ainda contém uma parcela significativa da diversidade biológica do Brasil, com altíssimos níveis de endemismo. É também abrigo para várias populações tradicionais e garante o abastecimento de água para mais de 120 milhões de brasileiros. Seus remanescentes regulam o fluxo dos mananciais hídricos, asseguram a fertilidade do solo, controlam o clima, protegem escarpas e encostas das serras, além de preservar um patrimônio histórico e cultural imenso. (PROBIO/MMA, 2004; RODRIGUES et al, 2009)

As diversas atividades humanas promovem os mais variados usos do solo e vêm causando um processo histórico de degradação e fragmentação da Mata Atlântica, através da extração de seus recursos desde o período colonial para expansão de atividades madeireiras e agropastoris, representados na literatura pelos bem conhecidos ciclos do café e da cana-de-açúcar, ameaçando a sua rica biodiversidade. Deste modo, não basta apenas conservar os fragmentos remanescentes, sendo necessária também a recuperação de diversas áreas que se

encontram degradadas para incrementar um resgate da biodiversidade local e a promoção de serviços ambientais.

A Mata Atlântica brasileira é provavelmente uma das regiões sul americanas com o maior número de áreas de proteção integral (parques, reservas, estações ecológicas e reservas privadas). No entanto, o sistema está longe de ser adequado: as áreas protegidas cobrem menos de 2% de todo o bioma e as áreas de proteção integral protegem apenas 24% dos remanescentes e ressalta-se que muitas são pequenas (cerca de 75% das áreas protegidas são menores que 100 Km<sup>2</sup>) tornando-se insuficientes para garantir a persistência de espécies a longo prazo. (TABARELLI, et al, 2005)

A região da planície litorânea do centro-norte fluminense, originalmente coberta em sua maior parte por florestas de baixas altitudes (<250 m), foi alvo durante séculos de intensas perturbações antropogênicas, intensificadas nas últimas sete décadas com o expressivo crescimento da população urbana e rural, ocasionando aumento na extração madeireira e a substituição de suas florestas por áreas agrícolas (Carvalho *et al.* 2008).

Assim, a paisagem atual dessa região encontra-se representada por fragmentos florestais de variados tamanhos, em sua grande maioria pequenos, isolados, perturbados e imersos em extensas matrizes antrópicas, como pastos e monoculturas (Carvalho et al, 2008).

Neste sentido, a compreensão das relações existentes entre as variáveis abióticas da paisagem, as mudanças de uso e cobertura da terra, a capacidade de recuperação natural dos ecossistemas, de acordo com os aspectos de conectividade de fragmentos e regeneração natural, bem como a pressão imposta pelas variáveis socioeconômicas sobre os remanescentes de Mata Atlântica constituem um dos principais desafios a serem alcançados na elaboração de métodos e técnicas mais eficientes para promover a recuperação ambiental. Estas relações são peças fundamentais para a compreensão das variáveis que condicionam ou influenciam a existência de áreas onde a recuperação ocorre espontaneamente.

Teixeira apud Silva e Santos (2004), afirma que trabalhar em planejamento ambiental é trabalhar com a interdisciplinaridade, ressaltando que um dos obstáculos para o avanço da prática interdisciplinar é o problema da integração analítica dos processos naturais (físicos, biológicos) e sociais. A esse respeito cabem duas

observações. De uma parte, há o entrave principal à integração representado pelas diferenças de escala de observação dos fenômenos entre as diferentes disciplinas, tanto do ponto de vista temporal (periodicidade) quanto do espaço de apreensão (ecossistema, cultura, região etc.).

Ainda de acordo com o mesmo autor, para analisar os fatos ambientais em toda a sua diversidade e complexidade, é necessário conhecer as interações entre os sistemas naturais e as condições de funcionamento dos sistemas sociais. Esses dois sistemas se organizam segundo diferentes propriedades estruturais e dinâmicas, com condições intrínsecas de funcionamento. Dessa forma, integrá-los efetivamente é um desafio científico que exige compatibilizar conceitos e escalas espaciais e temporais de observação, mostrar clareza na formulação das questões a serem tratadas e apresentar métodos que conduzam, eficientemente, ao cruzamento de todas as informações.

O presente trabalho surgiu dentro do contexto de um projeto de pesquisa visando à construção de um modelo de identificação de áreas mais favoráveis à recuperação de ecossistemas, junto ao qual diversas iniciativas de pesquisa foram implementadas de acordo com diversas temáticas dos dados (meios físico, biótico e socioeconômico).

Este trabalho se justifica pela contribuição que pretende fazer a estudos que propõem analisar a grande pressão exercida por fenômenos naturais, como as mudanças climáticas, bem como pela ação humana, através da exploração dos recursos florestais ou sua degradação para expansão populacional, permitindo conhecer a dinâmica dos ecossistemas, no caso, referentes ao bioma Mata Atlântica, para o desenvolvimento e adoção de práticas que visam à conservação e ao uso sustentável de seus recursos.

Também se justifica pela importância da área de estudo em relação à preservação de remanescentes da Mata Atlântica, com a presença de importantes unidades de conservação inseridas na bacia do rio São João, oferecendo proteção a diversas espécies endêmicas, como o mico-leão-dourado.

## **1.2. Objetivos**

O objetivo geral desta pesquisa é a realização de um estudo sobre integração de dados multicriteriais, apoiado na dinâmica da cobertura da terra, através do uso

de matrizes hexagonais como unidade de análise, para apoiar iniciativas de identificação de áreas prioritárias em projetos de recuperação de ecossistemas na bacia do rio São João.

Como objetivos específicos, tem-se:

- Caracterizar o Uso e Cobertura da bacia do rio São João na escala 1:100.000 de modo a complementar o estudo de Dinâmica da bacia do rio São João de 1975 a 2015, na escala 1:100.000
- Analisar a integração das variáveis dependentes (desmatamento, regeneração e remanescentes) através de matrizes hexagonais, em apoio à tomada de decisão.

### **1.3. Estrutura da dissertação**

Esta dissertação está dividida em sete capítulos. Neste primeiro foi feita uma introdução ao tema e sua justificativa, além de apontados os objetivos do trabalho de pesquisa. O segundo capítulo apresenta a área de estudo. O terceiro capítulo corresponde à revisão bibliográfica dos principais conceitos abordados na temática da pesquisa. Os dois capítulos seguintes correspondem ao desenvolvimento do projeto de pesquisa, sendo escritos sob a forma de artigo. No quarto capítulo focou-se na caracterização do uso e cobertura da terra atual para a bacia do São João de modo a complementar o estudo de Seabra (2012) quanto à dinâmica de uso e cobertura da terra na área (desde 1975). No quinto capítulo investiu-se na integração de variáveis dependentes da cobertura florestal, oriundas do estudo de dinâmica (desmatamento, regeneração e remanescentes florestais) através de uma matriz hexagonal, a fim de se identificar áreas que respondem melhor à favorabilidade para recuperação de ecossistemas. No sexto capítulo são expostas algumas conclusões e considerações sobre o projeto de pesquisa. E o sétimo capítulo apresenta as referências bibliográficas da pesquisa.

## 2. Área de estudo

A área de estudo corresponde à bacia do rio São João, localizada dentro do contexto da Mata Atlântica, situada entre o corredor da Serra do Mar e do litoral atlântico.

Justifica-se pela sua importância na proteção e conservação dos mananciais, proteção dos remanescentes de floresta atlântica e como patrimônio ambiental e cultural da região, além do fato do Rio São João e seus afluentes serem os responsáveis pelo abastecimento de grande parte da população residente e veranista da região dos lagos.

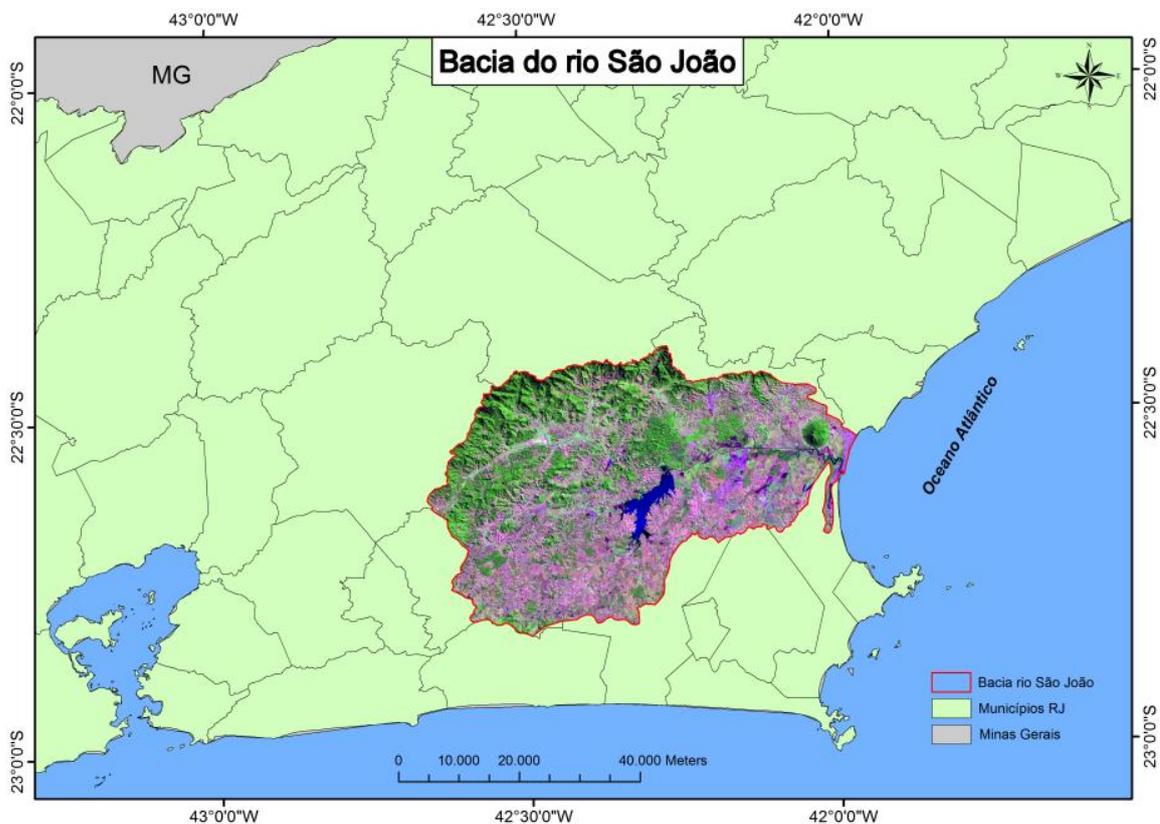


Figura 1: Localização da área de estudo no estado do Rio de Janeiro. Fonte: Keidel (2012)

Localizada a 22° 20' e 22° 50' S de latitude sul e 42° 00' e 42° 40' de longitude oeste (Figura 1), a bacia possui uma superfície de 2.160 km<sup>2</sup>, compreendendo os municípios de Araruama, Cabo Frio, Cachoeiras de Macacu, Casimiro de Abreu, Rio Bonito, Rio das Ostras, São Pedro da Aldeia e Silva Jardim (Figura 2) e se destina aos mais diversos usos, como: abastecimento público, irrigação, consumo industrial, extração de areia, criação de peixes, pitus e animais domésticos, manutenção da biodiversidade, pesca, recreação e navegação.

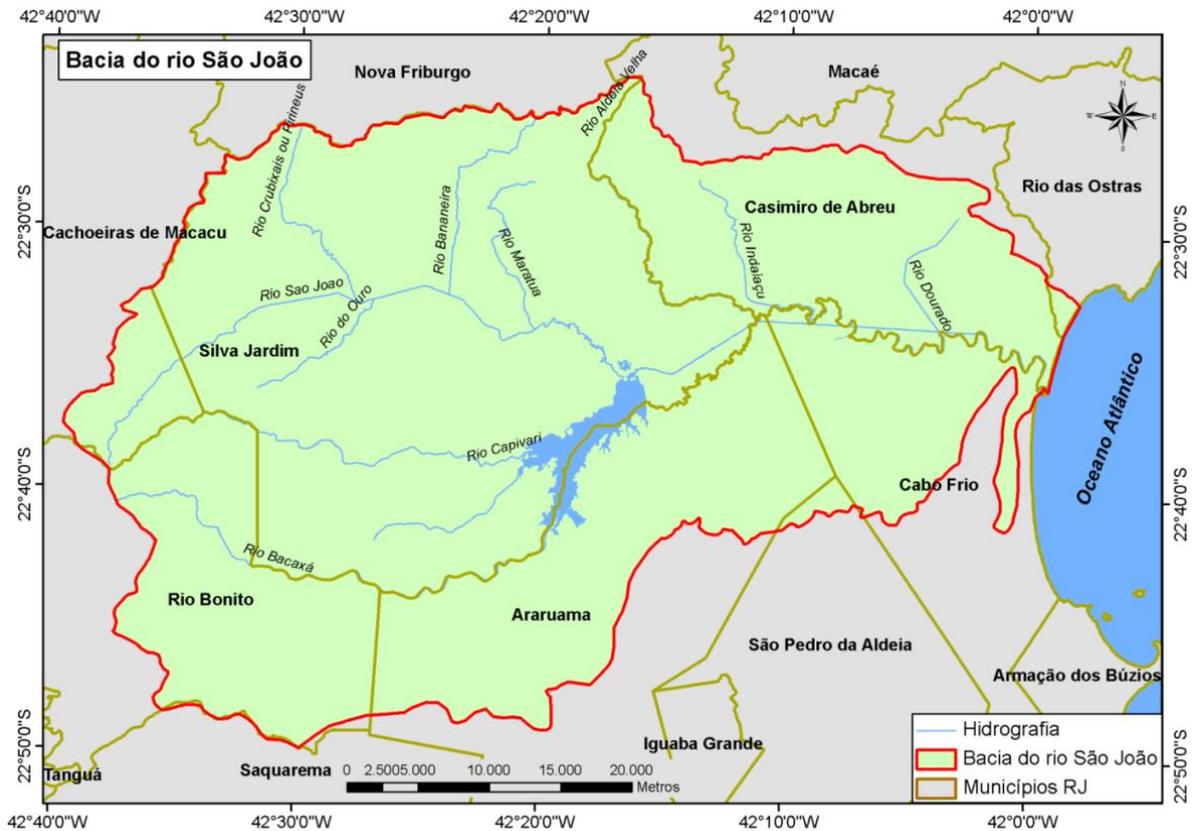


Figura 2: Municípios inseridos na bacia do rio São João. Fonte: Keidel (2012)

A maior distância leste-oeste de 67 km e a maior norte-sul de 43 km. O ponto mais elevado está a 1.719 metros de altitude. A bacia faz limite a oeste com a bacia da baía da Guanabara, ao norte e nordeste com as bacias dos rios Macaé e das Ostras e ao sul com as bacias do rio Una e das lagoas de Araruama, Jacarepiá e Saquarema. (CILSJ, 2007)

A região da planície litorânea do centro-norte fluminense, originalmente coberta em sua maior parte por florestas de baixas altitudes (<250 m), foi alvo durante séculos de intensas perturbações antropogênicas, intensificadas nas últimas sete décadas com o expressivo crescimento da população urbana e rural, ocasionado aumento na extração madeireira e a substituição de suas florestas por áreas agrícolas. (Dean 1996 apud Carvalho *et al.* 2007)

A paisagem atual dessa região encontra-se representada por fragmentos florestais de variados tamanhos, mas em sua grande maioria pequenos, isolados, perturbados e imersos em extensas matrizes antrópicas, como pastos e monoculturas (Kierulff *et al.* 2005, apud Carvalho *et al.* 2007).

O rio São João nasce a 800m de altitude, no município de Cachoeiras de Macacu, num trecho da serra do Mar conhecido como serra do Sambê. Possui cerca de 120 km de comprimento e deságua no oceano entre a vila de Barra de São João, na margem esquerda, e o povoado de Santo Antônio, que pertence a Cabo Frio, na margem direita. Devido às maiores precipitações nas áreas montanhosas, os rios da margem esquerda ao rio São João possuem vazões maiores que os da margem oposta. O vale do rio São João e de muito de seus afluentes apresenta amplas superfícies de várzeas, sendo pequenas as áreas onde fluem encaixados, o que se dá exclusivamente no alto curso. (CILSJ, 2007)

“A bacia do rio São João possui topografia predominantemente de planície costeira, sendo formada por serras (21%), planaltos (13%), colinas ou morrotes mamelonares (32%), áreas de baixadas aluviais sujeitas ao alagamento permanente ou periódico do solo (30%) e restingas (4%)”. (Primo & Völker 2003 apud Carvalho *et al.* 2007)

Segundo dados do Consórcio Intermunicipal Lagos São João (CILSJ, 2007) as serras escarpadas encontram-se principalmente na periferia norte e sudoeste da bacia, apresentando encostas íngremes a abruptas. O primeiro conjunto de montanhas, que faz parte da serra do Mar tem seu ponto culminante na pedra do Faraó, com 1.719m. O segundo conjunto de montanhas aparece na periferia sudoeste da bacia onde as altitudes oscilam entre 100 e 600m, estando o pico situado na serra do Boqueirão, na altitude de 690m. Próximo ao litoral destaca-se, isolado na baixada, o Morro de São João, um antigo vulcão extinto com mais de 59 milhões de anos de idade, com 781 metros de altitude, formato arredondado e superfície com cerca de 14 km<sup>2</sup>. O planalto se desenvolve na região entre o rio São João e os rios Bacaxá e Capivari, apresentando altitudes que variam de 100m a 908m e ainda manchas isoladas de planalto na parte norte da bacia, com altitudes em torno de 60-70m, nos vales dos rios Indaiáçu, Lontra e Dourado. As colinas ocupam uma grande parte da bacia, distribuindo-se entre as serras e o planalto, no vale do rio São João a montante da represa. Apresentam, em geral, topos arredondados, com altitude variando entre 30 e 100m. As baixadas foram construídas pelos rios, com o material obtido do desgaste das serras, do planalto e das colinas, e também pelo mar e domina toda a parte central da bacia ao longo do rio São João e de alguns de seus afluentes. Destaca-se na paisagem o trecho

abaixo da barragem, onde a baixada expande-se por mais de 24 km de comprimento e largura variável entre 16 e 8 km. A zona da baixada construída pelo mar e um pouco pelos rios, chamada de restinga, ocupa a parte litorânea da bacia, chegando a ter 4 km de largura. Ao sul da foz, a restinga é formada por uma sucessão de montes baixos, com altura de 3 a 5 m, alinhados em paralelo e intercalados por estreitas depressões alagadas. Sobre a restinga assentam-se as cidades de Barra de São João e Santo Antônio.

Predomina na região o clima tropical úmido com estação chuvosa no verão e sem inverno pronunciado. As temperaturas médias anuais são elevadas durante quase todo o ano, sendo o clima enquadrado pela classificação de Koeppen (1948) no tipo As (tropical chuvoso com estação seca no inverno) (Primo & Volker 2003). A quantidade de chuva oscila entre 1.500 e 2.000 mm, sendo os meses de junho a agosto os menos chuvosos e de menores temperaturas, e os meses de novembro a março os mais chuvosos e de maiores temperaturas. (Primo & Völker 2003 apud Carvalho *et al.* 2007)

Segundo dados Consórcio Intermunicipal Lagos São João (CILSJ, 2007), as chuvas na bacia do rio São João precipitam de maneira distinta formando quatro regiões diferentes, oscilando entre 1000 e 1500 mm na faixa próxima a foz do rio São João e entre 2500 e 2000 mm na faixa do topo da Serra do Mar.

Os solos encontrados nessa região são classificados como Latossolo Vermelho-Amarelo, nas florestas de baixa altitude não alagáveis, Cambissolo, nas florestas de elevadas altitudes, e solos Gleissolos, Organossolos e Neossolos Flúvicos, nas florestas das planícies de inundação e aluviais (Primo & Völker 2003 apud Carvalho *et al.* 2007)

É importante ressaltar ainda que os últimos remanescentes de Mata Atlântica em áreas de baixada no estado do Rio de Janeiro se encontram nesta área, que também possui espécies em extinção, como o Mico Leão Dourado. Nesse sentido, destacam-se dentro da bacia algumas importantes unidades de conservação referentes às categorias Área de Proteção Ambiental (APA), Reserva Biológica (REBIO) e Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN). São elas:

A APA do rio São João/Mico-Leão-Dourado foi criada por Decreto de 27 de junho de 2002 com a finalidade de proteger e conservar os mananciais, regular o uso dos recursos hídricos e o parcelamento do solo, garantindo o uso racional dos

recursos naturais e protegendo remanescentes de floresta atlântica e o patrimônio ambiental e cultural da região. Conta com cerca de 150.700 ha, abrangendo perto de 2/3 da bacia do rio São João.

A Reserva Biológica União foi criada em 1998. Possui uma área de 3.126 ha, a maior parte situada na bacia do rio Macaé, em Rio das Ostras, e uma pequena parte na bacia do rio São João, nas cabeceiras de um afluente do rio Dourado, em Casemiro de Abreu. A finalidade da Reserva é assegurar a proteção e recuperação de remanescentes da Floresta Atlântica e formações associadas, e da fauna típica, que delas depende, em especial o mico-leão-dourado (*Leontopitecus rosalia*).

A reserva abriga um fragmento de floresta atlântica de baixada em excelente estado de conservação e que, deste modo, se revela extremamente importante para a ampliação da área em que podem ser translocadas e reintroduzidas populações de mico-leão-dourado.

A Reserva Biológica de Poço das Antas possui uma área com 5.000 ha, criada em 11 de março de 1974. A Reserva tem por objetivos assegurar a sobrevivência do mico-leão-dourado e da preguiça-de-coleira; conservar a diversidade e os habitats para o mico-leão-dourado; promover a recuperação das áreas degradadas e fomentar as atividades de pesquisa científica e monitoramento ambiental. Dentre os problemas que afetam a Reserva destacam-se: a retificação do rio São João, que provocou mudanças consideráveis no ambiente; a construção da barragem de Juturnaíba, que inundou parte das florestas e virou uma via de acesso para a entrada de caçadores e para a pesca predatória. Os incêndios na turfa, que geralmente duram semanas e destroem grandes áreas constituem um risco constante para a Reserva. A estrada de ferro que corta seu interior também cria embaraços.

Há ainda as áreas protegidas privadas, estabelecidas por iniciativa dos proprietários rurais é um fato novo e altamente positivo que está ocorrendo na bacia do rio São João. Homologadas pelo IBAMA através de portaria do presidente deste órgão, recebem o nome de Reserva Particular do Patrimônio Natural - RPPN. Ultimamente, a Associação Mico-Leão-Dourado - AMLD tem apoiado a criação de novas RPPN's prestando assessoria técnica gratuita aos fazendeiros. Tramitam no IBAMA processos que criarão reservas, protegendo áreas de grande

importância como o Morro de São João, além de criar corredores florestais para interligar machas de matas.

### 3. Revisão Conceitual

Este projeto de pesquisa se desenvolveu no âmbito de estudos para a modelagem de variáveis ambientais e socioeconômicas para identificação de áreas mais favoráveis à recuperação de ecossistemas.

Nesse sentido, através da realização de pesquisa bibliográfica, foram identificados alguns dos principais conceitos relacionados à favorabilidade para recuperação de áreas degradadas, a fim de alcançar maior compreensão sobre o tema e possibilitar a identificação das variáveis mais relevantes para a integração dos dados a ser realizada neste estudo. Os capítulos referentes aos resultados atingidos neste projeto de pesquisa apresentam, por sua vez, a definição de conceitos específicos para seus respectivos temas.

A preocupação com a reparação dos danos provocados pelo homem aos ecossistemas não é recente e, como exemplo de medidas de reparação a esses danos, Engel e Parrotta (2003) citam as plantações florestais estabelecidas desde o século XIX no Brasil com diferentes objetivos conservacionistas. Desde então, muitos têm sido os termos utilizados para designar os processos naturais e artificiais de reparação de danos ambientais aos ecossistemas.

Assim, faz-se necessária a definição de alguns conceitos ecológicos, além de outros conceitos relevantes abordados no presente trabalho, buscando a distinção entre alguns termos que são facilmente confundidos e tomados como sinônimos. Para isso, foram utilizados a Lei 9985/00 e diversos artigos e livros de estudiosos sobre o tema.

Inicialmente são abordados os conceitos de favorabilidade e de degradação, que constituem a motivação do estudo de integração de variáveis que o presente trabalho realizou como apoio à modelagem da favorabilidade para recuperação de áreas degradadas.

Geralmente calculada na forma de índice, por análise de critérios múltiplos, a **favorabilidade** resulta da constituição e interação dos diferentes fatores naturais componentes da paisagem. É importante destacar ainda que, considerar uma área muito favorável não significa a certeza de que se encontrará o recurso natural, o fenômeno, ou a recuperação ambiental desejada. A favorabilidade não representa a certeza de ocorrência, ou a probabilidade da existência, mas sim o quanto o ambiente reúne condições favoráveis para que o recurso, o fenômeno ou a

recuperação ocorra. Quando afirmamos que uma área apresenta condições favoráveis à existência de algo, baseamo-nos em um conjunto de fatores que consideramos relevantes, sendo impossível à consideração de todos.

Os ecossistemas passam a ter sua estabilidade comprometida a partir do momento em que ocorrem mudanças drásticas no seu regime de distúrbios característico, e que as flutuações ambientais ultrapassam seu limite homeostático. Como consequência, a sua resiliência diminui, como também a sua resposta a novos distúrbios, podendo chegar a um ponto em que o ecossistema entra em colapso com processos irreversíveis de **degradação** (ENGEL; PARROTA, 2003).

Ou seja, entende-se por degradação as alterações das características originais de determinada área, em função de causas naturais ou da ação do homem.

Deste modo, Reis-Duarte e Galvão-Bueno (2006) consideram que **áreas degradadas** são aquelas que não mais possuem a capacidade de repor as perdas de matéria orgânica do solo, nutrientes, biomassa, estoque de propágulos etc. (BROWN; LUGO, 1994). Os ecossistemas terrestres degradados são aqueles que tiveram a cobertura vegetal e a fauna destruídas, perda da camada fértil do solo, alteração na qualidade e vazão do sistema hídrico (MINTER/IBAMA, 1990) por ações como intervenções de mineração, efeitos de processos erosivos acentuados, movimentação de máquinas pesadas, terraplanagem, construção civil e deposição de lixo, entre outras.

A seguir, alguns conceitos ecológicos relacionados à favorabilidade para recuperação de áreas degradadas identificados através da pesquisa bibliográfica realizada para este trabalho são apresentados.

De acordo com a Lei 9.985, de 18 de Julho de 2000 que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), entende-se por **conservação da natureza** o manejo do uso humano da natureza, compreendendo a preservação, a manutenção, a utilização sustentável, a restauração e a recuperação do ambiente natural, para que possa produzir o maior benefício, em bases sustentáveis, às atuais gerações, mantendo seu potencial de satisfazer as necessidades e aspirações das gerações futuras, e garantindo a sobrevivência dos seres vivos em geral.

Conservação seria então o manejo do uso humano sobre os recursos naturais de forma sustentável, com a finalidade de garantir a manutenção desses recursos às gerações futuras. Para a realização da conservação vale destacar, até mesmo para

desfazer possíveis confusões entre os termos, a **preservação** que, definida pela mesma Lei, é o conjunto de métodos, procedimentos e políticas que visam à proteção em longo prazo das espécies, habitats e ecossistemas, além da manutenção dos processos ecológicos, prevenindo a simplificação dos sistemas naturais.

Faz-se ainda uma observação sobre a **conservação in situ**, como sendo a conservação de ecossistemas e habitats naturais e a manutenção e recuperação de populações viáveis de espécies em seus meios naturais e, no caso de espécies domesticadas ou cultivadas, nos meios onde tenham desenvolvido suas propriedades características.

A necessidade e preocupação com a conservação de ecossistemas no Brasil é histórica e alguns autores ressaltam a tardia iniciativa do país na criação de áreas, métodos e políticas para a conservação da natureza. Medeiros (2006) destaca que os primeiros dispositivos voltados à proteção de áreas ou recursos em terras brasileiras têm seu registro ainda no período colonial e tinham por objetivo o controle e manejo de alguns recursos como a madeira e a água.

No âmbito da conservação da natureza, além da preservação, já definida anteriormente, Reis-Duarte e Galvão-Bueno (2006) fazem um importante estudo dos conceitos ecológicos aplicados à recuperação de áreas degradadas e faz distinção entre três conceitos erroneamente utilizados como sinônimos: ***Reabilitação, Restauração e Recuperação***.

Segundo a Lei 9985/2000 que criou a SNUC, **recuperação** visa à restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original. Assim, trata-se de retornar às condições de funcionamento, pois objetiva recuperar a estrutura (composição em espécies e complexidade) e as funções ecológicas (ciclagem de nutrientes e biomassa) do ecossistema.

De acordo com o Manual de Recuperação de Áreas degradadas pela Mineração (MINTER/IBAMA, 1990), o termo recuperação se refere ao “retorno do sítio degradado a uma forma e utilização de acordo com um plano pré-estabelecido de uso do solo”. Alguns autores analisados por Engel e Parrotta (2003), consideram que, para muitas pessoas, a recuperação de áreas degradadas é um problema essencialmente técnico, onde se almejam conseguir, a baixo custo, alguns objetivos

simples, como a estabilização de superfícies, controle da poluição, melhoria visual e aumento da produtividade do sítio. Por essas limitações técnicas da recuperação e a não garantia de estabilidade do sistema a longo prazo, Engel&Parrotta (2003) consideram que as técnicas de recuperação poderiam estar aliadas à restauração, sendo a primeira etapa da reconstrução de comunidades ecologicamente viáveis, desde que outras preocupações adicionais fossem incluídas, como diversidade e composição, funcionamento do ecossistema e estabilidade a longo prazo.

Pela Lei 9958/00, a **restauração** visa à restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada o mais próximo possível da sua condição original. Neste sentido, Engel e Parrotta (2003) definem a **restauração ecológica** como sendo a ciência, prática e arte de se assistir e manejar a recuperação da integridade dos ecossistemas, incluindo um nível mínimo de biodiversidade e de variabilidade na estrutura e no funcionamento dos processos ecológicos, considerando-se seus valores ecológicos, econômicos e sociais.

Entretanto, para alguns autores a restauração é considerada uma hipótese remota e até mesmo utópica, uma vez que há falta de informações sobre a situação original, podendo ter ocorrido extinção de espécies e alterações na comunidade e em sua estrutura no decorrer da sucessão, além da indisponibilidade de recursos financeiros para tal. (BARBOSA; MANTOVANI, 2000; RODRIGUES; GANDOLFI, 2001).

Young (2000) também considera que restaurar integralmente os ecossistemas e retorná-lo ao seu estado original é impossível, devido às características dinâmicas do mesmo. Entretanto, a ecologia da restauração tem como premissa básica que muitas forças degradativas são temporárias, e que algumas perdas de habitats e populações são recuperáveis.

Já a **reabilitação** de uma área ocorre quando se atribui a ela uma função adequada ao uso humano e se restabelece suas principais características, conduzindo-a a uma situação alternativa e estável (MINTER/IBAMA, 1990). Ou seja, para a reabilitação apenas se deseja dar condições de uso a uma área degradada, restabelecendo sua estrutura e função ecológica, tornando-a auto-sustentável em longo prazo, sem necessidade de similaridade com o ecossistema original, diferente da restauração onde se pretende buscar um cenário o mais próximo possível da realidade original.

O conjunto de métodos, técnicas e procedimentos necessários para se estabelecer a restauração ecológica podem encarecer consideravelmente o custo da atividade. Por isso é estimulada a adoção de estratégias que induzam à **regeneração natural** do ecossistema, um processo que ocorre naturalmente, mediado exclusivamente pelos fatores do ambiente. Porém, para Metzger (2003), a regeneração natural só é possível em áreas onde o processo de degradação não foi intenso ao ponto de esgotar completamente os solos e a resiliência do ecossistema.

Por **resiliência** Duarte e Bueno (2006) afirmam ser a capacidade de um ecossistema se recuperar de flutuações internas provocadas por distúrbios naturais ou antrópicos.

Pimm (2000) definiu resiliência como a rapidez com que as variáveis de um sistema retornam ao equilíbrio após um distúrbio, ou como a capacidade que um ecossistema lida com flutuações internas provocadas por distúrbios naturais ou antrópicos. (Richter, 2010)

A regeneração ocorre naturalmente através do funcionamento de mecanismos de interação entre animais fugívoros e plantas dispersoras. Howe&Smallwood (2003) afirmam que cerca de 50 a 90% das espécies de árvores nas florestas tropicais são dispersas por animais fugívoros, representados principalmente por aves e mamíferos.

O processo de regeneração natural também pode ocorrer através da intervenção humana. Segundo Silva (2003), sendo conhecidos os agentes dispersores mais importantes, seus comportamentos característicos, os ambientes que freqüentam e as plantas que dispersam, pode-se fazer uso dessas informações para manipular um processo natural em benefício de propósitos mais aplicados.

Dentre as diversas formas de se estimular a regeneração natural pode-se citar: plantação de árvores frutíferas nativas para atrair a fauna dispersora de sementes; introdução de poleiros artificiais na paisagem; enriquecimento de “ilhas de regeneração” com árvores de crescimento rápido que vão permitir o desenvolvimento de outras espécies que necessitam de sombreamento; manutenção de fontes próximas de sementes, pois quanto mais próxima uma área a ser recuperada estiver de uma área com vegetação nativa, mais rápida e intensa deve ser a chegada das sementes pelos dispersores.

A **fragmentação** da paisagem representa uma ruptura na continuidade espacial de habitats naturais que ocasiona também, uma ruptura nos fluxos gênicos entre populações presentes nesses habitats podendo, uma paisagem fragmentada, manter diversas populações de forma sustentável até certo grau de fragmentação onde os efeitos desta tornam-se muito intensos e a restauração é necessária para manter a diversidade biológica. (Metzger, 2003)

A **conectividade** é geralmente definida como a capacidade de uma paisagem de facilitar os fluxos de organismos e nutrientes, sementes e grãos de pólen, dentre outras funcionalidades. (Urban&Shugart, 1986)

Para o restabelecimento da conectividade entre os fragmentos faz-se uso de técnicas que possibilitem a formação de corredores ecológicos. Os corredores são faixas estreitas de vegetação que facilitam o movimento (fluxo) entre fragmentos de habitat, evitando o isolamento de populações. Ao facilitarem estes fluxos, os corredores permitem reduzir os riscos de extinção local e favorecem as recolonizações, aumentando assim a sobrevivência das metapopulações. (Kageyama et. al., 2003)

Conforme a Lei 9985/00, entende-se por **corredores ecológicos** porções de ecossistemas naturais ou seminaturais, ligando unidades de conservação, que possibilitam entre elas o fluxo de genes e o movimento da biota, facilitando a dispersão de espécies e a recolonização de áreas degradadas, bem como a manutenção de populações que demandam para sua sobrevivência áreas com extensão maior do que aquela das unidades individuais.

Os corredores devem ser contínuos e largos o suficiente para conterem áreas internas de boa qualidade, assim como devem ser implementados em áreas anteriormente ligadas.

Metzger (2003) enfatiza que para uma restauração efetiva não basta apenas ter uma visão estrutural dos corredores, na qual a fragmentação é analisada unicamente em função do tamanho e do isolamento dos fragmentos. Deve-se também passar a uma visão funcional deles, na qual a ligação das sub-populações isoladas através de fluxos gênicos é considerada.

## **4. Dinâmica de uso e cobertura da terra da bacia do rio São João entre 1975 e 2015**

### **4.1. Introdução**

Estudos referentes à classificação de uso e cobertura da terra e ao monitoramento das mudanças ao longo dos anos são de grande importância para a identificação e controle da pressão exercida pelas atividades humanas sobre os recursos naturais e, a partir daí, promover medidas que contribuam para a preservação dos mesmos.

De acordo com Abreu (2010), a “cobertura da terra” está relacionada ao revestimento da superfície terrestre, incluindo aspectos bióticos e abióticos (Viera 2005), podendo ser vegetação, agriculturas, construções humanas, rochas, água etc. Ela é facilmente percebida, sendo a materialização das interações entre o meio e o homem. Já o termo “uso” envolve um valor atribuído pelo homem a uma determinada área ou a uma atividade econômica, sua noção é mais subjetiva e não é tão materializável como a cobertura.

Para se identificar o uso e cobertura da terra de determinada área com uso de dados de sensoriamento remoto faz-se necessária a aplicação de técnicas de classificação de imagens. Segundo Novo (2008), o processo de atribuir significado a um pixel em função de suas propriedades numéricas é chamado genericamente de “classificação”. As técnicas de classificação visam, em última análise, atribuir a cada pixel um rótulo em função de suas propriedades espectrais e/ou espaciais.

Dentre estas técnicas destaca-se o processo de Classificação de Imagens Orientada a Objetos (GEOBIA), que utiliza os polígonos gerados na segmentação para definição dos objetos de imagem a partir de um conjunto de dados, no caso, as bandas. As características espectrais de forma e relações de vizinhança são as informações utilizadas na descrição destes objetos. A partir destes descritores os objetos podem ser agrupados em categorias com significado ou em classes temáticas (DEFINIENS, 2010).

Cruz *et. al* (2007) apontam que a classificação orientada a objeto busca simular técnicas de interpretação visual através da modelagem do conhecimento

para identificação de feições, baseada na descrição de padrões identificadores, tais como textura, cor, métrica, contexto.

Apesar de ser um produto final básico sob o ponto de vista da análise de seus resultados, o mapa de uso e cobertura da terra é realizado a partir de complexas técnicas de modelagem do conhecimento para se obter a representação espacial das classes e constitui material fundamental que serve como base para o diagnóstico de qualquer área bem como para uma série de outros estudos.

O objetivo deste trabalho consiste na elaboração do mapa de dinâmica de uso e cobertura da bacia do rio São João para o período de 1975 a 2015, na escala 1:100.000, como subsídio a um conjunto de estudos ambientais referentes à identificação de áreas favoráveis a recuperação de ecossistemas.

Como objetivo específico destaca-se a elaboração do mapa de uso e cobertura para a mesma área de estudo referente ao ano de 2015.

#### **4.2. Metodologia**

Para o presente trabalho foram utilizados os seguintes materiais:

- Imagem do satélite Landsat 8, sensor OLI, cena 216/76 de 26 de março de 2015.
- Mapa de uso e cobertura da terra para a bacia do rio São João de 2010, na escala 1:100.000, conforme Figura 3, proveniente de Seabra (2012).
- Mapa de dinâmica de uso e cobertura da terra para a bacia do rio São João, referente ao período de 1975 a 2010, na escala 1:100.000, conforme Figura 4, proveniente de Seabra (2012).

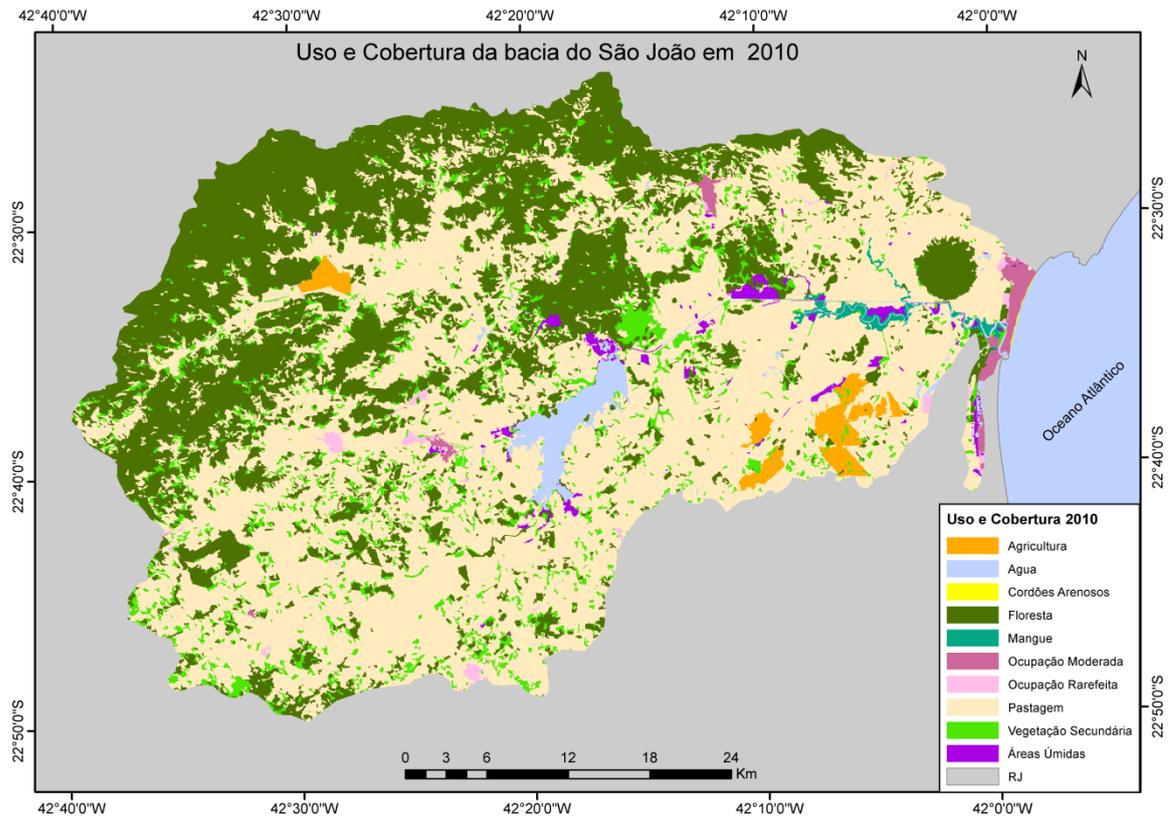


Figura 3: Mapa de Uso e Cobertura da bacia em 2010, proveniente de Seabra (2012)

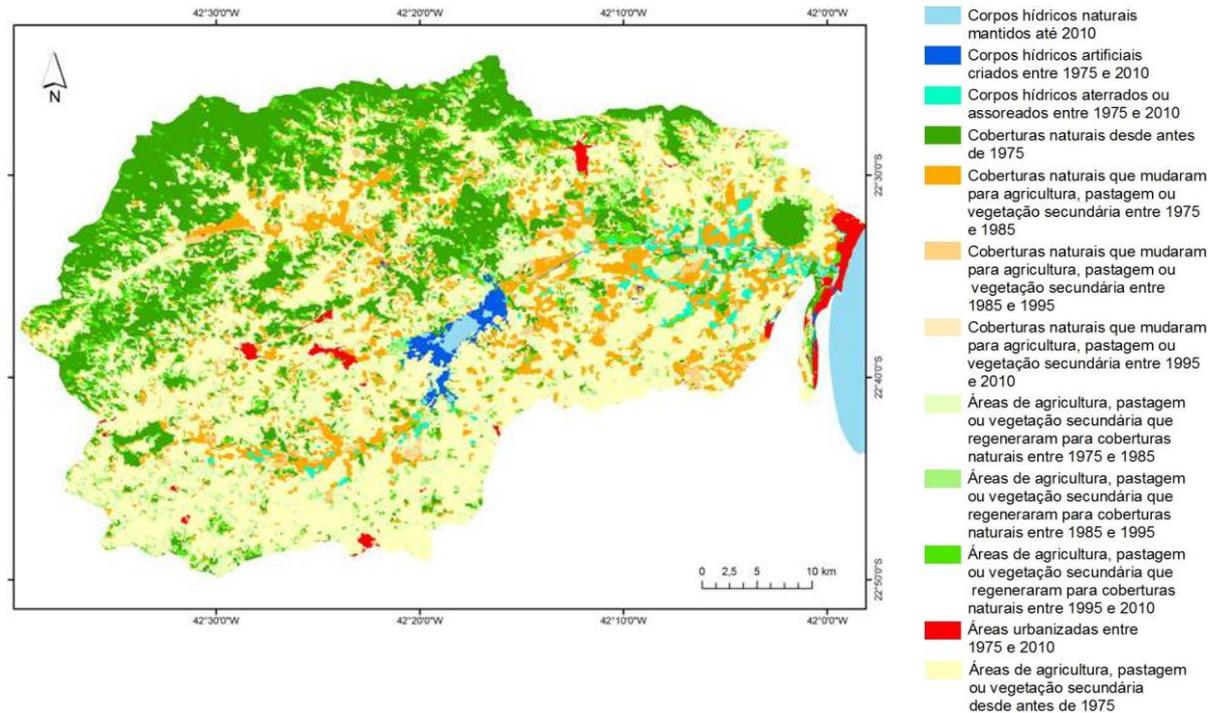


Figura 4: Dinâmica de uso e cobertura entre 1975 e 2010 (Fonte: Seabra, 2012)

O trabalho iniciou-se com a aquisição da imagem *Landsat 8 OLI (Operational Land Imager)*, cena 216/76 de 26 de março de 2015, para elaboração do mapa de uso e cobertura da bacia.

Em seguida, foi realizada a correção atmosférica desta cena com a utilização do módulo *ATCOR 2 (Atmospheric and Topographic Correction for Satellite Imagery)* do software *ERDAS IMAGINE 2014*, através da inserção de alguns parâmetros referentes às condições atmosféricas e ângulos solares específicos obtidos nos metadados da imagem e a adoção do Modelo para Região Solar “Tropical Rural”, considerando a Visibilidade da Cena estimada pelo software em 59Km.

Para avaliar o resultado da correção atmosférica, realizada pelo módulo *ATCOR 2*, primeiramente foram coletadas três amostras para cada classe (água, solo e vegetação), que constituem um conjunto de pixels que representam as variações de respostas espectrais para elas.

Em seguida, foram extraídas as sete bandas utilizadas para geração dos dois *stacks* utilizados na correção pelo *ATCOR 2*, referentes às imagens original e corrigida, pois os cálculos referentes às amostras das classes água, vegetação e solo devem ser realizados em cada banda separadamente.

Para a imagem original (antes da correção), foi necessária a transformação dos valores dos pixels para reflectância do topo da atmosfera (ou reflectância aparente) para cada banda, utilizando-se a ferramenta *raster calculator* presente no ArcGIS 10 para realização deste cálculo com uso de informações extraídas dos metadados da imagem.

Sobre os resultados deste cálculo para cada banda foram extraídos valores de reflectância aparente para as amostras de água, vegetação e solo, com uso da ferramenta *zonal statistics as table* do ArcGIS 10. Os produtos dessa ferramenta foram tabelas com as médias de valores de reflectância aparente para cada classe em cada banda, sobre os quais foram elaborados os gráficos referentes às curvas espectrais das amostras das classes para serem avaliados de acordo com a literatura.

A mesma ferramenta para extração de valores em tabelas foi utilizada para extrair os valores de reflectância de superfície de cada banda da imagem corrigida e os resultados, que constituem as médias de valores de cada classe e para cada banda, foram divididos por 65.535 (número de pixels na imagem Landsat 8 OLI, 16 bits), pois o ATCOR2 reescala os valores de reflectância que deveriam ser de 0 a 1, para 0 e 65.535. A partir desses valores foram gerados os gráficos no software Microsoft Excel 2010.

A partir dos gráficos referentes às curvas espectrais de amostras das classes Solo, Vegetação e Água, para as imagens original e corrigida pôde-se comparar a assinatura espectral destas classes, conhecidas pela literatura, com o comportamento de suas respectivas curvas espectrais do mesmo grupo de amostras selecionadas nas duas imagens, referentes aos momentos antes e depois da correção atmosférica.

Notou-se um pequeno deslocamento entre o mapa de uso e cobertura de 2010 e a imagem *Landsat 8 OLI* de 2015, sendo necessária a realização de um processo de georreferenciamento com uso da ferramenta AutoSync do software ERDAS IMAGINE 2014, de forma a ajustar o posicionamento dos polígonos do mapa de 2010 sobre a imagem Landsat 8 OLI de 2015. Este processo foi de extrema importância para a posterior de atualização do mapa de dinâmica de uso e cobertura para o ano de 2015, pois apenas com os polígonos referentes a estes dois períodos estando geometricamente bem posicionados foi possível realizar a

integração destes dois dados e analisá-los em ambiente SIG com uso do software ArcGIS 10.

Para isso, o dado temático (vetorial) de dinâmica de uso e cobertura do período de 1975 a 2010, proveniente de Seabra (2012), foi convertido em um arquivo do tipo *raster* com uso do software ERDAS IMAGINE 2014. Este arquivo *raster* referente ao dado temático foi então incluído como uma nova banda da imagem Landsat 5 de 2010 para geração de um *stack*, que é o conjunto de bandas a serem utilizadas para o georreferenciamento. Este *stack* foi então inserido em um projeto neste mesmo software para se dar início ao processo de georreferenciamento com base na imagem Landsat 8 OLI de 2015.

Assim, em um projeto no módulo AutoSync do software ERDAS IMAGINE 2014, a partir de 3 pontos escolhidos pelo usuário do software, foram criados automaticamente um conjunto de 100 pontos de referência pela ferramenta APM (Automatic Point Measurement), entre a imagem Landsat 8 de 2015 e o *stack* gerado anteriormente pelo conjunto de bandas da Landsat 5 de 2010 e do dado temático referente a 2010 como uma nova banda. Destes 100 pontos gerados, alguns foram excluídos para que se reduzisse o erro de posicionamento, calculado pelo próprio software, a um valor menor que 1 pixel, de forma a ajustar mais precisamente o posicionamento dos dados de 2010 em relação a 2015.

O resultado deste processo de georreferenciamento foi exportado e a banda referente ao dado temático de 2010 foi extraída do *stack* e transformada em arquivo do tipo vetorial, com uso do software ArcGIS 10, para que pudesse ser posteriormente utilizada na integração com os dados de 2015.

Depois de realizados estes ajustes de posicionamento entre os dados de 2010 e 2015, e avaliada a correção atmosférica da imagem de 2015, esta foi inserida em um projeto no software *eCognition Developer 8.9* para início do processo de classificação.

Primeiramente foram realizados testes para definição dos parâmetros a serem adotados para segmentação, sendo escolhido o valor de escala 50, através da ferramenta "*multiresolution segmentation*", com valores de forma e compacidade adotados em 0.4 e 0.5, respectivamente.

Como o objetivo da classificação da imagem de 2015 se refere à identificação das mudanças ocorridas nas classes de uso e cobertura da terra em relação ao

mapeamento de 2010, proveniente de Seabra (2012), para posterior integração destes dados, a legenda adotada para a classificação referente a imagem de 2015 foi a mesma utilizada nos períodos estudados por este autor, conforme Tabela 1.

*Tabela 1: Descrição das classes adotadas para Uso e Cobertura. Adaptado de Seabra (2012).*

	CLASSES	DESCRIÇÃO
1	Areia	Cordões arenosos
2	Água	Espelho d'água das lagoas, do oceano, ou de alguns rios.
3	Áreas Úmidas	Áreas de inundação temporária (não permanente): áreas alagadas por afloramento do lençol freático (brejos) ou áreas de inundação de rios e lagoas.
4	Mangue	Vegetação associada às margens de baías, enseadas, barras, desembocaduras de rios, lagoas e reentrâncias costeiras, onde haja encontro de águas de rios com a do mar.
5	Floresta	Florestas, matas de restinga, matas aluviais e demais coberturas naturais arbóreas, excetuando-se apenas a vegetação de mangue.
6	Pastagem	Áreas de vegetação rasteira ou de pequenas capoeiras, utilizadas para criação de gado.
7	Vegetação Secundária	Áreas de vegetação de capoeira, também conhecidas como pasto sujo.
8	Agricultura	Áreas de ocorrência de atividades agrícola, sobretudo de cana-de-açúcar. Os cultivos familiares, em pequena escala, não foram identificados nesta classe.
9	Urbano Moderado	Nesta classe a ocupação se dá de forma contínua, com poucas interrupções (lotes vazios). Poucas são as construções com mais de 1 pavimento, e mais raras ainda são as que ultrapassam 2 pavimentos.
10	Urbano Rarefeito	Representa as áreas de menor ocupação, com lotes vazios (não construídos) intercalando as casas.

Depois de inseridas as classes da legenda neste projeto no software *eCognition Developer 8.9*, iniciou-se a coleta de amostras para as classes do mapeamento. Para a coleta de amostras buscou-se, sempre que possível, abranger a maior variabilidade de respostas espectrais para cada classe de forma que a modelagem dos descritores conseguissem reduzir erros de classificação e diminuir o esforço de edição final do resultado.

Como exemplo de variedades de amostras, podem-se citar as classes água, floresta e pastagem. Para a classe água foram coletadas amostras de corpos d'água com maior ou menor presença de sedimentos, trechos de rios e águas em regiões oceânicas. Para a classe floresta, amostras que representassem a variedade de formações florestais encontradas na região. E para a classe pastagem, as amostras coletadas buscaram atender às diferentes características de vegetação e umidade que interferem na resposta espectral desta classe.

Após coletadas as amostras para as classes do mapeamento iniciou-se o procedimento de modelagem dos descritores para cada classe, que consiste na escolha de valores referentes às médias e desvio padrão para determinadas bandas da imagem que melhor descrevem uma classe em relação à outra, buscando a realização da classificação de maneira automatizada e o mais eficiente possível para que se reduzissem os esforços posteriores de edição manual.

Com a definição dos descritores e realizada a classificação de uso e cobertura da terra para a imagem de 2015 houve a edição final do mapeamento e exportação do resultado.

Para este resultado foi gerado, em ambiente *ArcGIS 10.1*, um conjunto de 30 pontos para cada classe a fim de avaliar, com auxílio do *Google Earth*, a exatidão global do mapa temático elaborado.

Finalmente, com o mapa de uso e cobertura de 2015 editado e avaliado pela matriz de confusão, este dado pode então ser integrado com o mapa de dinâmica de uso e cobertura da terra entre 1975 e 2010, em ambiente *ArcGIS 10*, para que a partir do confronto de suas classes de mapeamento, este último pudesse ser atualizado para representar o período entre 1975 e 2015, que constitui resultado final deste capítulo.

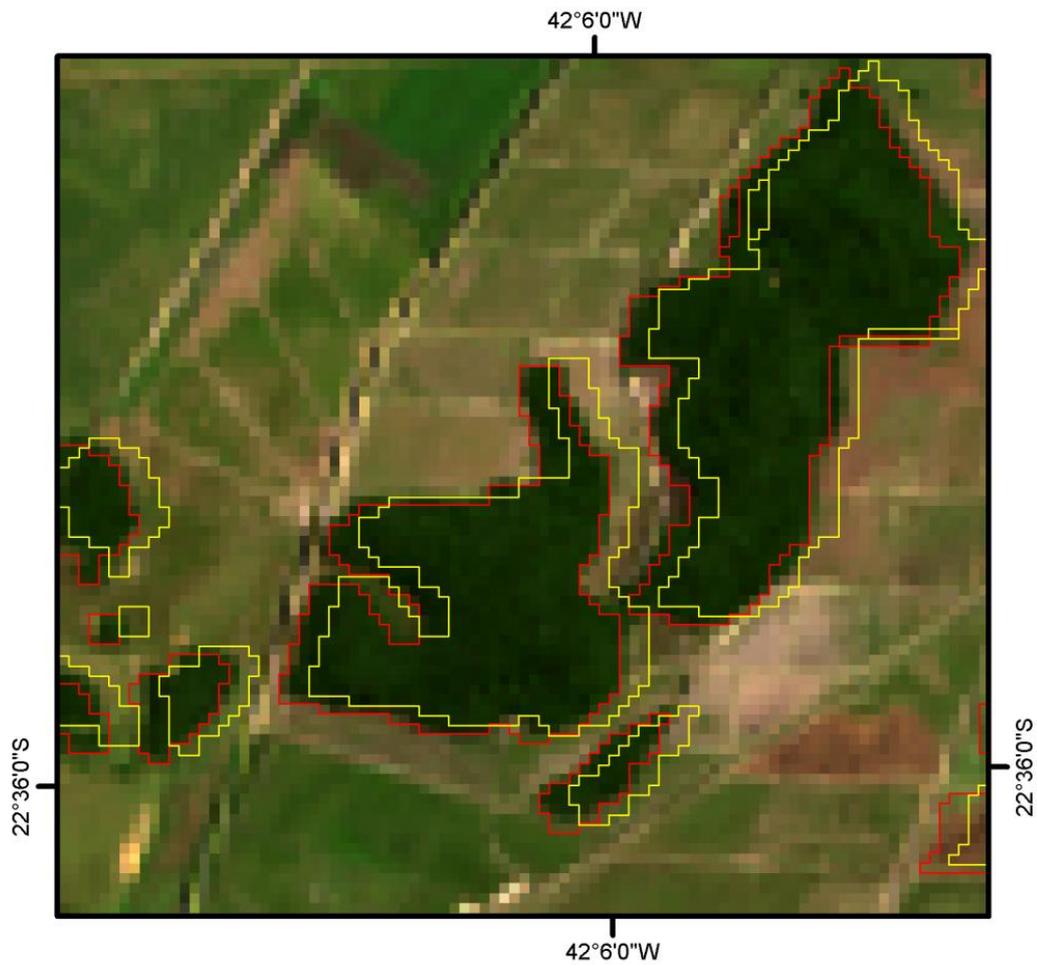
### **4.3. Resultados**

O primeiro resultado a ser destacado se refere ao georreferenciamento dos dados de uso e cobertura de 2010, elaborados por Seabra (2012) a partir de imagens Landsat 4 MSS (68m x 83m) e Landsat 5 TM (30 x 30m), tomando por base a imagem Landsat 8 OLI (30m x 30m) de 26 de março de 2015. Este processo foi necessário para corrigir o deslocamento que havia entre os dados de 2010 com o mapa de uso e cobertura de 2015 e assim, possibilitar a integração destes dois

dados na elaboração do mapa de dinâmica de uso e cobertura atualizado para o ano de 2015 que será apresentado ainda neste capítulo.

As linhas em amarelo representam os limites das classes de uso e cobertura da terra para o ano de 2010 antes do processo de georreferenciamento e as linhas em vermelho, sua representação após esta correção geométrica. O mesmo padrão de representação foi adotado para o dado de dinâmica de uso e cobertura entre 1975 e 2010. A Figura 5 mostra este deslocamento numa escala mais detalhada e a Figura 6 apresenta três exemplos deste deslocamento em diferentes áreas da bacia do rio São João.

No detalhe da Figura 5 é possível observar o quão satisfatório se mostrou o resultado da correção geométrica do mapa de uso e cobertura de 2010, visto que após este procedimento, houve o deslocamento do mapa (polígonos em amarelo - antes da correção) para posicioná-lo mais ajustado aos objetos da imagem, neste caso, alguns fragmentos florestais da bacia (polígonos em vermelho – depois da correção).



*Figura 5: Detalhe do deslocamento de uso e cobertura de 2010 antes e depois da correção geométrica.*

Na Figura 6 pode-se perceber que os contornos das classes referentes ao mapa de uso de cobertura de 2010 após a correção geométrica, representadas em vermelho, estão mais bem posicionados em relação aos objetos identificados na imagem como, por exemplo, as margens da lagoa de Juturnaíba e alguns fragmentos florestais presentes na bacia, do que os contornos em amarelo que representam o mesmo dado antes da correção.

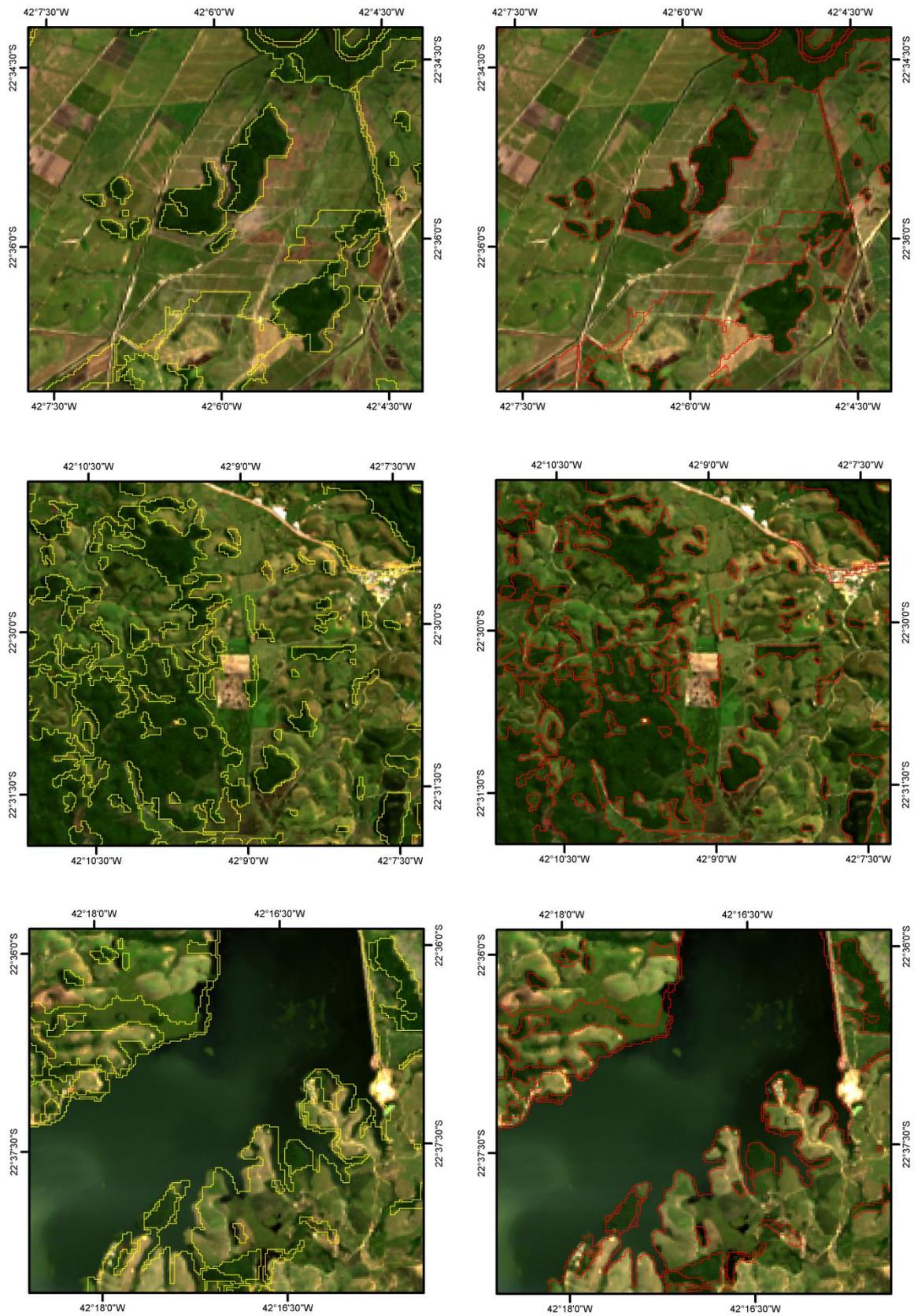


Figura 6: Exemplos da mudança de posicionamento após a correção geométrica.

O mesmo processo de georreferenciamento foi realizado tanto com o dado de uso e cobertura de 2010 quanto com o dado de dinâmica de uso e cobertura entre 1975 e 2010, provenientes de Seabra (2012). Esta etapa de ajustes de posicionamento dos dados em referência à imagem de 2015 foi essencial para a integração com o mapa de uso e cobertura da terra de 2015 para atualização da dinâmica de uso e cobertura, que constitui resultado final deste capítulo.

Vale ressaltar que, como o mapa de dinâmica de uso e cobertura resulta da integração de dados referentes a uma série de datas diferentes, seus polígonos não correspondem exatamente aos elementos da paisagem identificados nos recortes das imagens tomadas como exemplos na Figura 7. Por este motivo, a maior parte dos exemplos ilustrados utilizam o mapa de uso e cobertura de 2010 e não o de dinâmica de uso, apesar de apenas o mapa de dinâmica ter sido usado na integração final de dados que este capítulo propõe.

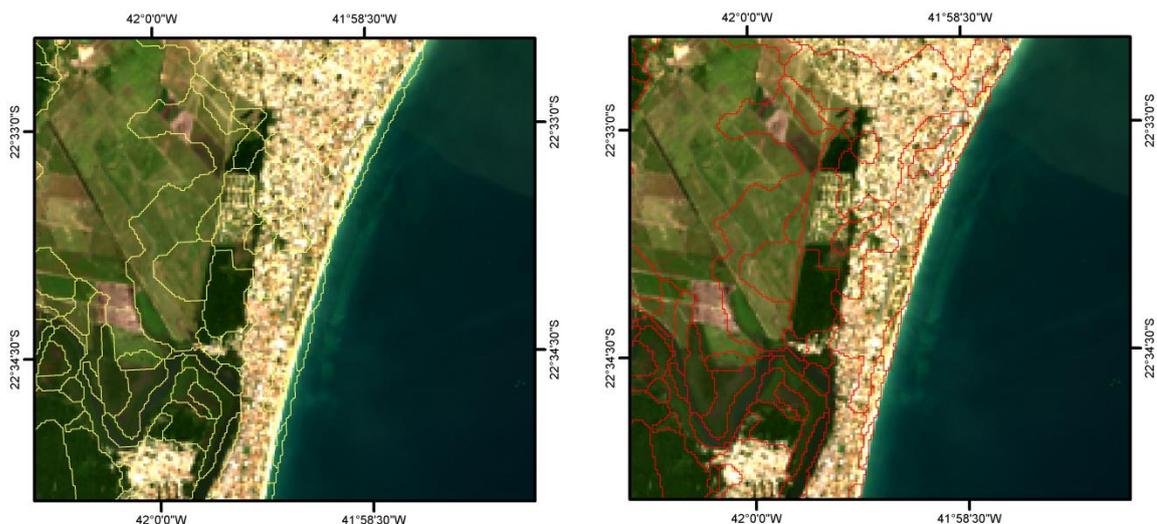
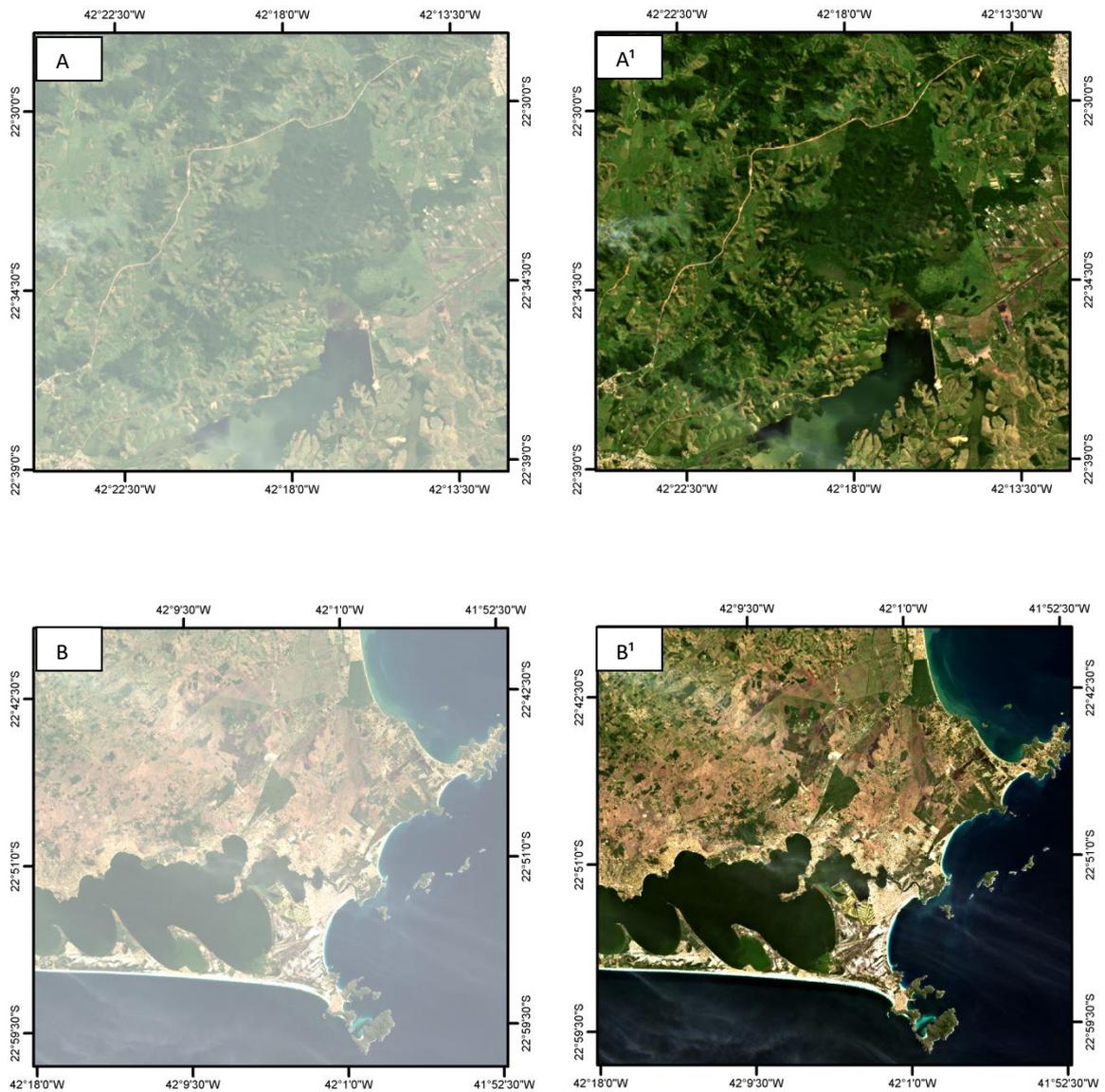


Figura 7: Deslocamento da dinâmica de uso e cobertura após a correção geométrica.

O segundo resultado a ser destacado refere-se ao processo de correção atmosférica da imagem do satélite *Landsat 8 OLI* adquirida em 26 de março de 2015. Este resultado é apresentado na Figura 8, no qual todos os recortes referentes aos momentos antes (A e B) e depois (A' e B') da correção atmosférica foram elaborados com uso do software *ArcGIS 10.1* estão apresentados com a composição colorida R4G3B2, usando a simbologia *Stretch type: "Standard Deviations"*, "n: 1".



*Figura 8: Recortes de duas áreas da imagem original (A e B) e as respectivas áreas após a correção atmosférica (A<sup>1</sup> e B<sup>1</sup>)*

Para a validação do resultado da correção foram analisadas as respostas espectrais, em valores médios de reflectância aparente (imagem original) e de superfície (imagem corrigida), das amostras de água, solo e vegetação para as bandas das imagens referentes aos momentos antes e depois da correção. Seus valores são expressos nos gráficos a seguir.

Segundo Novo (2005), o corpo de água representa uma mistura complexa de diversos materiais dissolvidos e particulados que possuem propriedades ópticas características. Esses materiais interagem com a luz solar de forma diferenciada devido suas concentrações e naturezas, modificando a cor da água, pois eles

absorvem e/ou espalham seletivamente a luz incidente. O fitoplâncton, por exemplo, tem propriedades específicas de absorção que modificam a cor da água, tornando-a mais esverdeada, amarelada ou avermelhada. As partículas inorgânicas presentes na água também modificam sua cor. O Gráficos 1 e 2 apresentam as curvas espectrais das amostras de água.

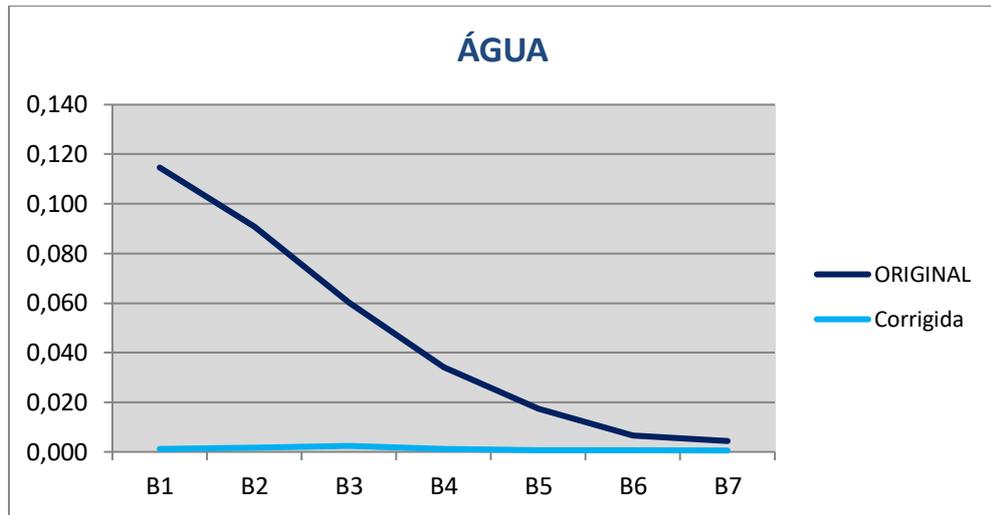


Gráfico 1: Curvas espectrais em valores médios de reflectância da Água para cada banda nas imagens original e corrigida.

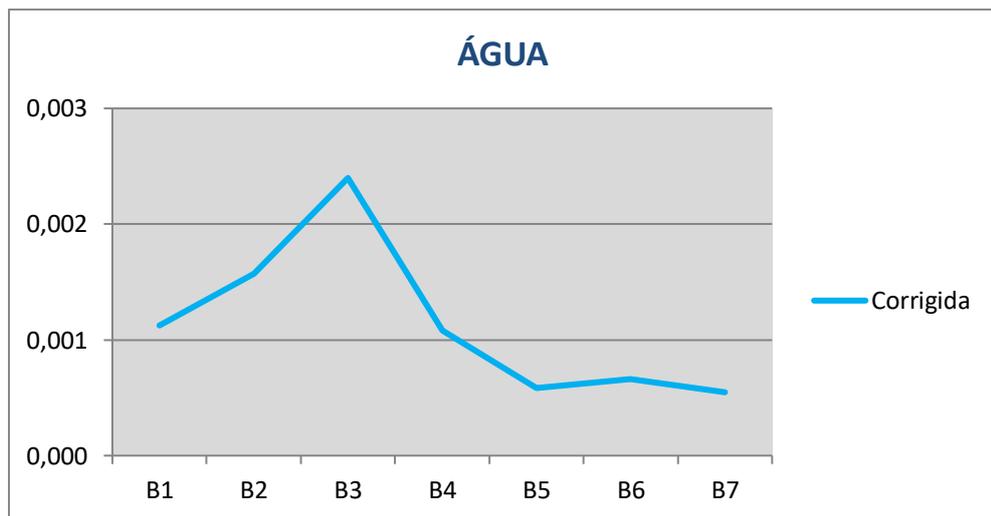


Gráfico 2: Detalhe das curvas espectrais em valores médios de reflectância da Água para cada banda na imagem corrigida.

Observou-se um pico no valor de reflectância da imagem corrigida na banda 3, provavelmente por causa de materiais orgânicos ou sedimentos em suspensão presentes nas amostras da classe água coletadas para a elaboração dos gráficos.

Jensen (2009) ressalta que o comportamento espectral da água clara que apresenta matéria orgânica e clorofila em suspensão é alterado e passa a apresentar um pico de reflectância entre os comprimentos de onda 400 e 500nm (banda verde da imagem Landsat 8 OLI).

Valério (2009) faz considerações sobre como a interação entre os componentes opticamente ativos (COAs) presentes na água determina o comportamento espectral da luz que penetra, ou é refletida por esta camada. A Figura 9 ilustra o comportamento espectral de corpos d'água com presença de fitoplanctons apresentando pico de reflectância na banda verde.

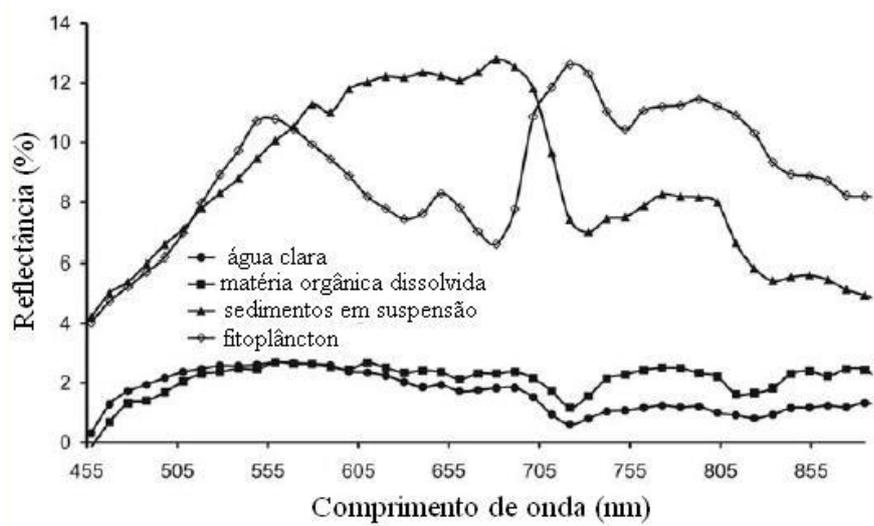


Figura 9: Comportamento espectral do fitoplâncton, sedimentos em suspensão, matéria orgânica dissolvida e água clara. Adaptado de Ruddorff (2006). Fonte: Valério (2009)

De acordo com Jensen (2009), existe uma relação entre o tamanho das partículas do solo e a quantidade de umidade que o solo pode armazenar. Assim, quanto maior a umidade em solos arenosos e argilosos, menor a reflectância ao longo da região do visível e do infravermelho próximo. A umidade do solo absorve mais energia radiante incidente resultando em um “vale” (observado pela queda do valor de reflectância na banda 7 – infravermelho próximo) na curva de reflectância das bandas de absorção da água. Os Gráficos 3 e 4 apresentam as curvas

espectrais em valores médios das amostras de solo para as imagens original e corrigida.

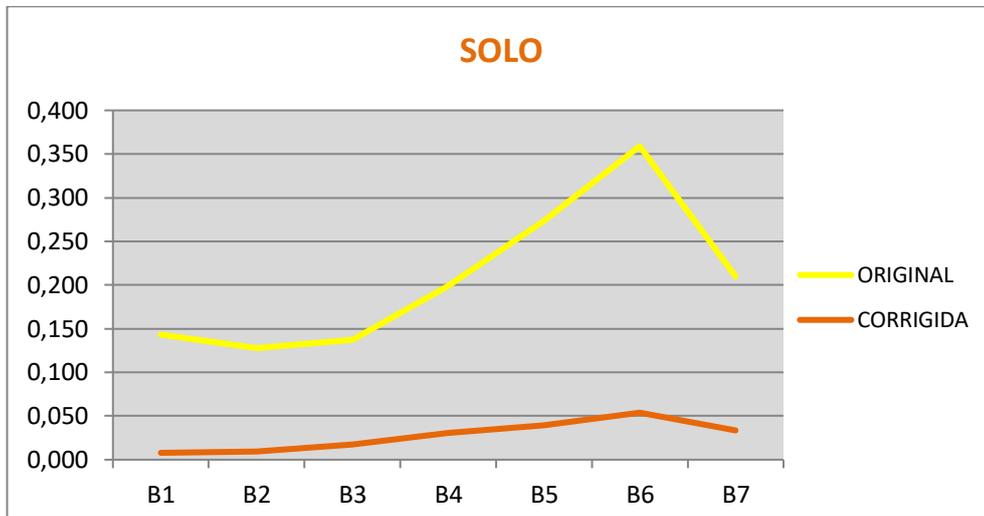


Gráfico 3: Curvas espectrais em valores médios de reflectância do Solo para cada banda nas imagens original e corrigida.

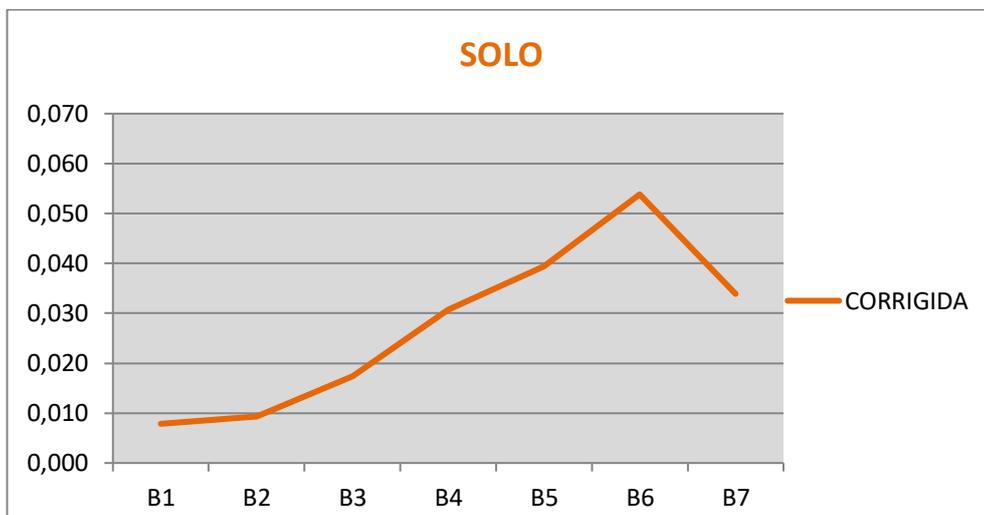


Gráfico 4: Detalhe das curvas espectrais em valores médios de reflectância do Solo para cada banda na imagem corrigida.

No Gráficos 5 e 6 pode-se observar que o comportamento da curva espectral da Vegetação na imagem corrigida corresponde ao esperado para a classe, na medida em que, de acordo com Liu (2007), o intervalo do espectro das bandas do visível (bandas 1 a 4) apresenta os menores valores de reflectância devido a absorção da radiação solar incidente pelas folhas e pela ocorrência de um pico de

reflectância no intervalo do infravermelho próximo (banda 5, em detalhe no gráfico 6) por causa da reflectância múltipla de água nas paredes dos vacúolos.

Jensen (2009) ressalta a influência da água presente nas folhas das plantas sobre comportamento espectral desta classe, referentes ao infravermelho médio (bandas 6 e 7 da imagem Landsat 8 OLI). Como há absorção de energia pela água nessas bandas e, conseqüentemente, diminuição da reflectância neste intervalo, há uma queda brusca na curva do gráfico da vegetação para este intervalo do espectro.

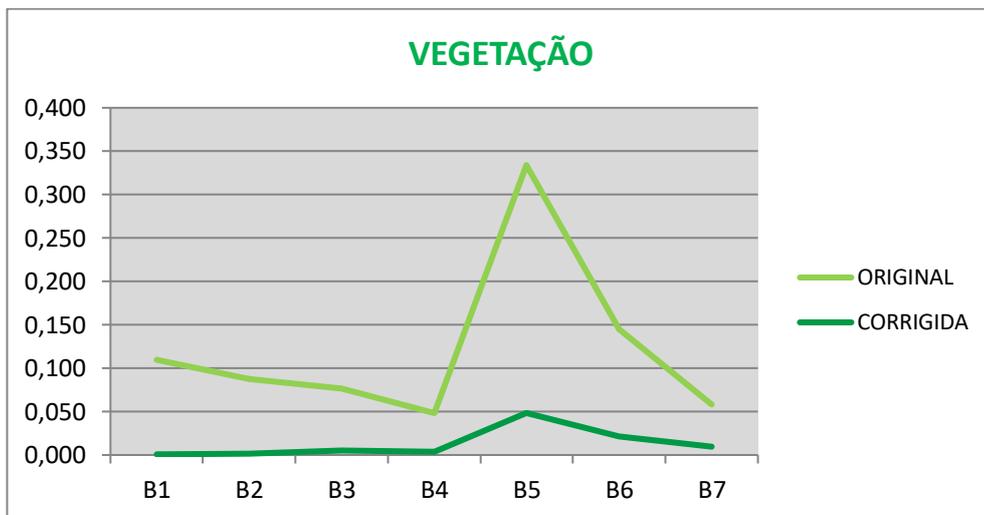


Gráfico 5: Curvas espectrais em valores médios de reflectância da Vegetação para cada banda nas imagens original e corrigida

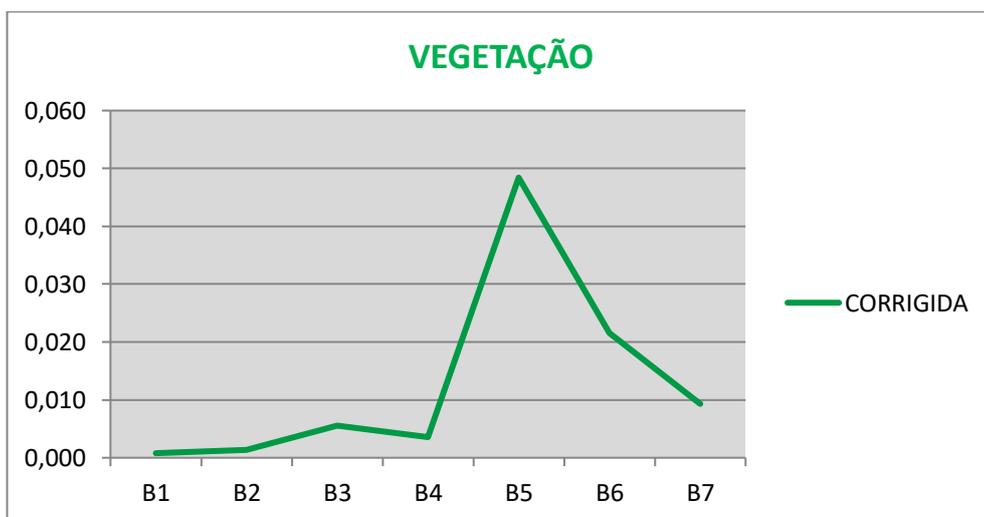


Gráfico 6: Detalhe das curvas espectrais em valores médios de reflectância da Vegetação para cada banda na imagem corrigida

Depois de validada a correção atmosférica, pôde-se dar início ao processo de classificação de imagens a fim de se elaborar o mapa de uso e cobertura da bacia do rio São João referente ao ano de 2015, apresentado na Figura 10.

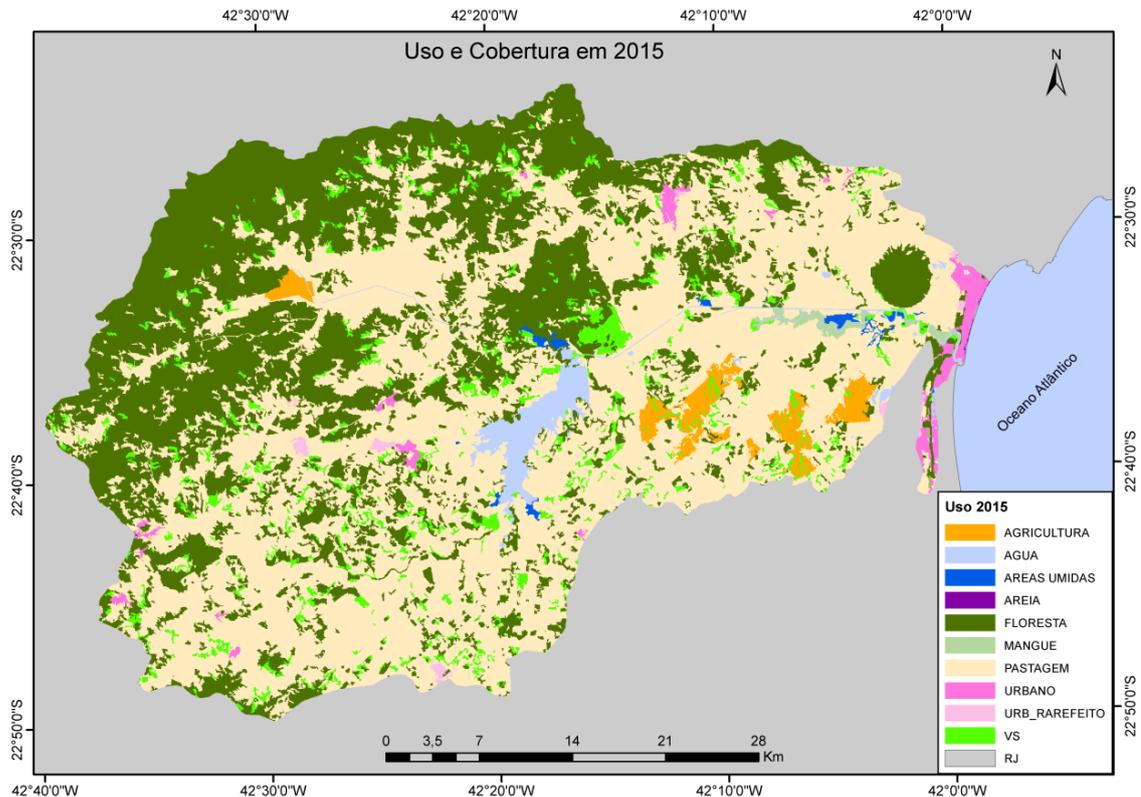


Figura 10: Mapa de uso e cobertura da bacia do São João em 2015

Segundo Novo (2008) a forma mais utilizada para representar a exatidão global de classificação é a comparação do mapa temático gerado com uma fonte de referência, a partir da utilização da Matriz de Confusão.

Na matriz de confusão elaborada para este trabalho (Figura 11), as linhas referentes às classes destacadas em verde representam a verdade, ou seja, as classes que foram identificadas no *Google Earth* para cada um dos 300 pontos analisados (30 para cada classe). Já as colunas referentes às classes destacadas em vermelho, representam as que foram adotadas no mapeamento para os respectivos pontos.

A exatidão global foi calculada dividindo-se o total de amostras classificado corretamente (somatório da diagonal principal, destacada em cinza na Figura 11)

peelo número total de pixels da Matriz de Confusão (30 para cada classe), obtendo-se um resultado de 85% de acerto.

	AG	A	AU	CA	F	M	P	UR	UM	VS	Total
AG	26						4				30
A		27			1	1				1	30
AU		2	23				2			3	30
CA		6		20					4		30
F		1			26		1			2	30
M		1			2	27					30
P	1						28			1	30
UR							2	28			30
UM							1	2	27		30
VS					4		3			23	30
Total	27	37	23	20	33	28	41	30	31	30	255

Legenda:

<b>AG</b>	Agricultura
<b>A</b>	Água
<b>AU</b>	Áreas Úmidas
<b>CA</b>	Cordões Arenosos
<b>F</b>	Floresta
<b>M</b>	Mangue
<b>P</b>	Pastagem
<b>UM</b>	Urbano Moderado
<b>UR</b>	Urbano Rarefeito
<b>VS</b>	Veg. Secundária

Figura 11: Matriz de Confusão para cálculo da exatidão global do mapeamento.

Vale ressaltar a dificuldade de modelar algumas classes adotadas no mapeamento, devido ao fato de suas respostas espectrais em diversas bandas, utilizadas como descritores para a modelagem no processo de classificação pelo *eCognition Developer 8.9*, se confundirem com os descritores de outras classes nas mesmas bandas. A forte presença de sombra nas partes de relevo mais movimentado da bacia foi um fator negativo na modelagem das classes de Floresta e Vegetação Secundária presentes nessa região da bacia, ocasionando um maior esforço no trabalho de edição após a classificação da imagem.

Outro fator que influenciou negativamente na modelagem dos descritores foi a presença de uma fina camada de nuvens na porção mais a Oeste da bacia, numa área que abrange parte dos municípios de Rio Bonito e Silva Jardim. Grandes esforços de edição manual pós-classificação também foram realizados nesta área, através da identificação visual dos objetos da imagem, possível de ser realizada

devido à transparência desta fina camada de nuvens, e também com o auxílio Google EARTH.

Pode-se notar que as classes Áreas Úmidas, Cordões Arenosos, e Vegetação Secundária foram as que mais apresentaram confusão com as outras classes do mapeamento.

A classe Áreas Úmidas apresentou confusão com outras três classes do mapeamento. Os erros ocorreram principalmente em áreas representadas pelas classes Água, Pastagem e Vegetação Secundária, localizadas próximas a corpos d'água, totalizando sete pontos mapeados errados.

A classe Cordões Arenosos apresentou confusão com as classes Água e Urbano Moderado. A maioria destes erros foi verificada em pontos localizados na água do mar, com influência da espuma na zona de espraiamento que apresenta resposta espectral parecida com a dos cordões arenosos, bem como nas manchas urbanas em áreas litorâneas, que por isso fazem limites com a classe Cordões Arenosos, onde há uma ocupação de forma contínua, com poucas interrupções (lotes vazios) e por isso também apresentam resposta espectral muito parecida com a desta classe.

A classe Vegetação Secundária apresentou sete pontos de confusão com as classes Pastagem e Floresta, o que representa um erro bastante significativo para a amostra de pontos. A maioria destes erros foi verificada em áreas próximas aos remanescentes de floresta em áreas de encostas da bacia, onde os polígonos de Vegetação Secundária se apresentavam inseridos no fragmento florestal com muita influência de sombra na classe Floresta ou nas bordas dos fragmentos onde ocorre o uso Pastagem.

Todas as outras classes que apresentaram confusão na matriz representam erros menos significativos, visto que obtiveram mais de 26 pontos mapeados corretamente, podendo-se destacar apenas a classe Agricultura, que apresentou 4 pontos mapeados em confusão com a classe Pastagem, provavelmente pela semelhança entre as respostas espectrais das áreas em diferentes estágios de cultivo com as áreas de pastagem.

Os erros de comissão representam a acurácia do usuário, ou seja, razão entre o número de acerto de cada classe e o total de pontos classificados pelo produtor em determinada classe. O mapeamento apresentou média de erros de comissão no valor de 87%.

Já os erros de omissão representam a acurácia do produtor, ou seja, a razão entre o total de pontos coletados (30 para cada classe) e o total de acertos para cada classe. Assim, o mapeamento apresentou erro de omissão no valor de 85%.

A Tabela 2 apresenta as áreas absoluta e relativa de cada classe do mapeamento de uso e cobertura de 2015.

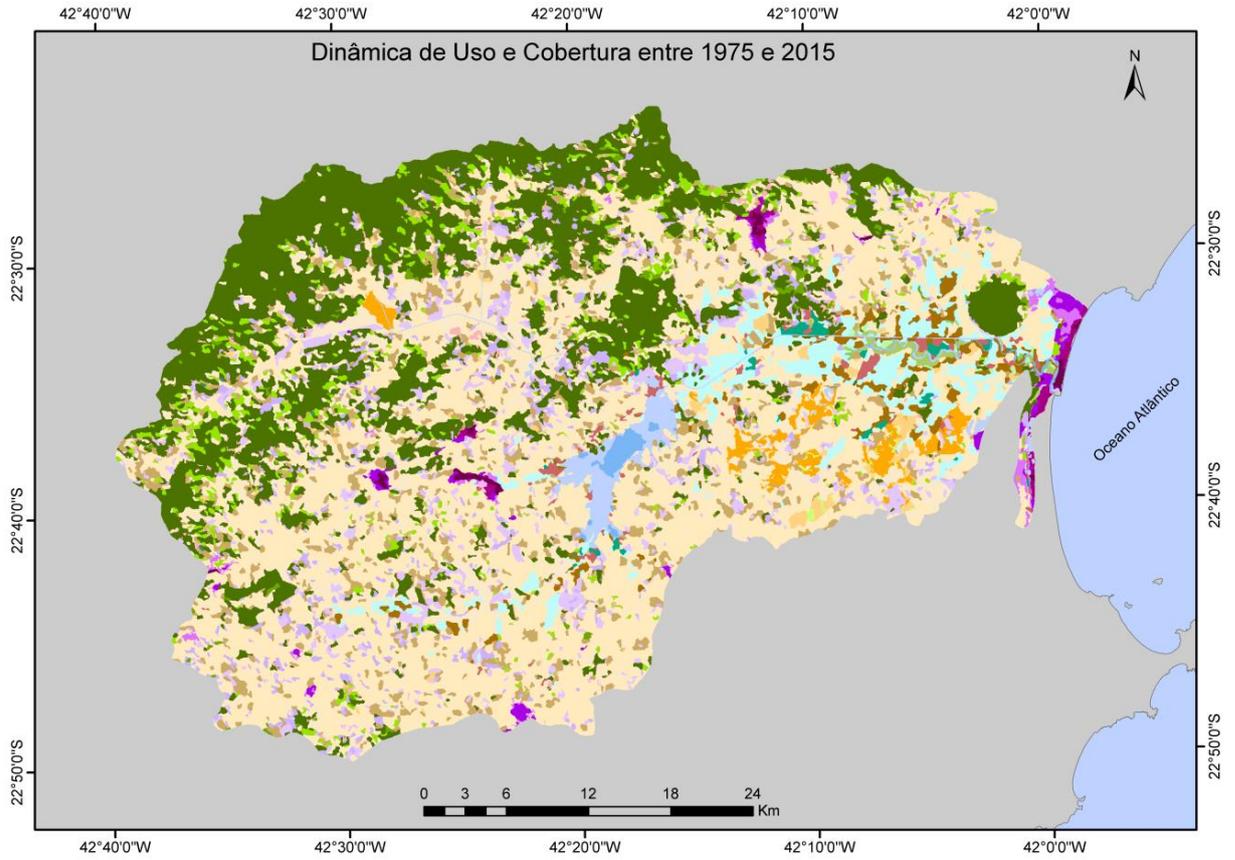
*Tabela 2: Área das classes de uso e cobertura de 2015*

<b>CLASSES</b>	<b>ÁREA (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>ÁREA (%)</b>
Agricultura	38,71	1,83%
Água	39,28	1,86%
Áreas Úmidas	6,4	0,30%
Cordões Arenosos	0,2	0,01%
Floresta	754,51	35,65%
Mangue	7,41	0,35%
Pastagem	1145,75	54,13%
Urbano Rarefeito	5,44	0,26%
Urbano Moderado	24,88	1,18%
Vegetação Secundária	94,11	4,45%
<b>TOTAL</b>	<b>2.114,23</b>	<b>100,00%</b>

Para o mapeamento de uso e cobertura de 2015, como já esperado devido ao conhecimento sobre o processo histórico de ocupação da região da planície costeira norte-fluminense, nota-se o predomínio das classes Pastagem, com 54,13% do total, seguida da classe Floresta, com 35,65% do total.

As demais classes de Urbano Rarefeito e Moderado, Mangue, Áreas Úmidas Cordões Arenosos, Água, Agricultura e Vegetação Secundária apresentam extensões muito pouco expressivas na bacia, destacando-se como menor representação a classe Cordões Arenosos, com 0,01% e a maior representação dentre elas, a Vegetação Secundária, com 4,45%.

Finalmente, após a elaboração do mapa de uso e cobertura de 2015, pode-se realizar a integração deste com o mapa de dinâmica de uso e cobertura entre 1975 e 2010, proveniente de Seabra (2012) para atualização deste último em referência ao período de 1975 a 2015. Assim, o mapa de dinâmica de uso da bacia do São João entre 1975 e 2015 é representado na Figura 12 e sua legenda na Figura 13.



*Figura 12: Mapa de Dinâmica de Uso e Cobertura entre 1975 e 2015*



Figura 13: Classes do mapeamento de Dinâmica de Uso e Cobertura entre 1975 e 2015.

A elaboração do mapa de Dinâmica de Uso entre 1975 e 2015 se deu pelo confronto das classes do mapeamento anterior (período de 1975 a 2010) com as classes do mapa de uso e cobertura de 2015. Assim, seguiu-se o método de seleção das classes de dinâmica e a comparação com a classe de uso. Nos casos em que as classes de uso 2015 correspondiam às de dinâmica entre 1975 a 2010, esta última foi mantida para o resultado final.

Por exemplo: áreas de Uso e Cobertura 2015 da classe Floresta, quando confrontadas com as classes de Dinâmica de 2010, os polígonos que

correspondessem às classes de “Floresta desde 1975, 1985 e 1995” permaneceram com estas mesmas classes de Dinâmica. Já nos casos em que apresentavam incompatibilidades, estas classes foram analisadas para tomada de decisão sobre qual seria a classificação final.

As classes de Uso e Cobertura de 2015 que mais apresentaram incompatibilidades foram Floresta, Pastagem e Vegetação Secundária. E dentre as classes de Dinâmica de Uso entre 1975 e 2010, destacam-se a “Deixou de ser floresta” e “Pastagem desde 1975” e “Áreas que alternam entre pastagem e vegetação secundária”. Grande parte dos polígonos de Floresta do mapa de uso e cobertura de 2015 estão representados por estas classes no mapeamento de dinâmica de 2010 e esta incompatibilidade superestimaria a área referente às florestas recuperadas depois de 2010.

Após a edição da tabela de atributos, o mapa de dinâmica de uso e cobertura para o período entre 1975 e 2015 foi reclassificado para representar as áreas degradadas, de regeneração, de remanescentes e de corpos hídricos de forma a simplificar a posterior integração com as matrizes hexagonais. A Tabela 3 faz uma comparação das áreas (em Km<sup>2</sup>) destas classes simplificadas entre os resultados obtidos nos períodos de 1975 a 2010, elaborado por Seabra (2012) e de 1975 a 2015, que constitui resultado do presente trabalho. O resultado da reclassificação do mapa referente ao período de 1975 a 2015 pode ser visto na Figura 14.

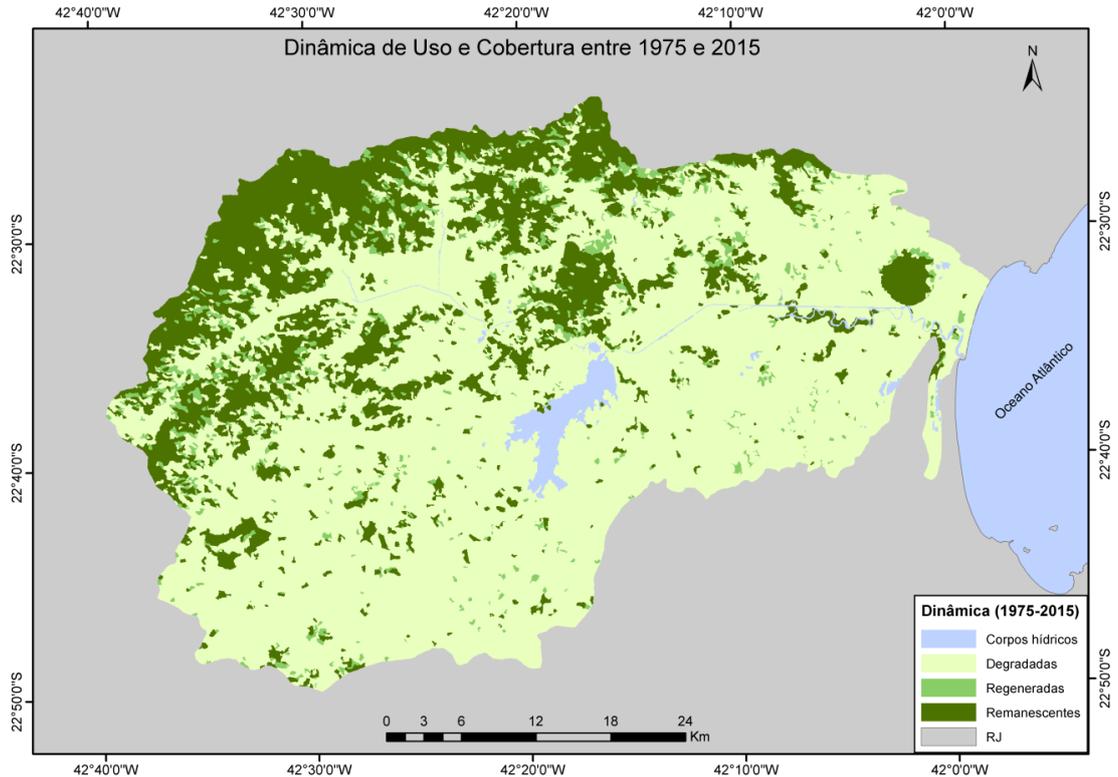


Figura 14: Reclassificação do Mapa de Dinâmica de Uso e Cobertura entre 1975 e 2015.

A tabela 3 apresenta a área em Km<sup>2</sup> para as classes simplificadas do mapa de dinâmica de uso e cobertura da bacia do rio São João entre os períodos de 1975 a 2010 e 1975 a 2015.

Tabela 3: mudanças entre as classes de dinâmica de uso de 2010 e 2015

Classes	1975-2010	1975-2015
Corpos hídricos	37 Km <sup>2</sup>	42,09 Km <sup>2</sup>
Degradação	1466,88 Km <sup>2</sup>	1492,4 Km <sup>2</sup>
Regeneração	98,05 Km <sup>2</sup>	86,36 Km <sup>2</sup>
Remanescentes	514 Km <sup>2</sup>	486,47 Km <sup>2</sup>

Percebe-se um aumento de áreas dos corpos hídricos devido, provavelmente, ao fato de alguns canais artificiais, que antes pertenciam a outras classes do entorno, terem sido considerados no processo de edição dos atributos durante a integração do mapa de uso e cobertura de 2015 com mapa de dinâmica de uso entre 1975 e 2010.

#### 4.4. Conclusões

A experiência da modelagem dos descritores no momento da classificação pelo *eCognition Developer 8.9* demonstrou que, para evitar maiores confusões entre as classes e diminuir o esforço de edição manual pós classificação, é importante desmembrá-las em subclasses que considerem a influência, por exemplo, da umidade e do relevo na resposta espectral de algumas delas. E assim, depois da modelagem realizada, as subclasses poderiam voltar a ser incorporadas novamente em uma única classe generalizada.

Vale destacar a importância do georreferenciamento em análises temporais com integração de dados se refere. O ajuste do posicionamento dos dados significa uma integração mais eficiente e possibilita a realização destas análises.

Além do georreferenciamento, outro fator importante para a integração de dados produzidos por imagens de diferentes resoluções e datas para estudos de mudança de uso e cobertura da terra, se refere ao uso dos mapeamentos antigos para a segmentação dos posteriores no processo de classificação. Ao integrar estes mapeamentos para confrontar as classes e identificar a dinâmica do uso notou-se a presença de polígonos muito pequenos, nas bordas das classes referentes aos mapeamentos antigos, que são provenientes, provavelmente, destas diferentes segmentações e resoluções e não de uma real mudança de uso e cobertura, necessitando assim, um esforço para a generalização destes pequenos polígonos através de métodos automáticos.

A validação do mapa de uso e cobertura para o ano de 2015 foi realizada com base na visualização dos pontos referentes às classes sobre imagens do Google Earth que possuem alta resolução e permite enxergar com maior detalhe as feições em relação à imagem Landsat 8 OLI que apresenta média resolução. Deste modo, pode-se considerar que o processo de validação foi um pouco rigoroso e, assim, o resultado da exatidão global poderia ter sido maior que 85%.

Finalmente, espera-se que o resultado final deste capítulo, o mapa de dinâmica de uso e cobertura da terra entre 1975 e 2010, contribua para a integração com outras variáveis através de matrizes hexagonais para identificação de áreas mais favoráveis à recuperação de ecossistemas, bem como para auxiliar outros estudos ambientais referentes ao tema.

## 5. Integração de variáveis por matrizes hexagonais

### 5.1. Introdução

Compreender a distribuição espacial e a interação de elementos e fenômenos na paisagem constitui um desafio a ser ultrapassado e o uso das ferramentas de Geoprocessamento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica se torna bastante eficiente em estudos ambientais.

As ferramentas computacionais para Geoprocessamento, chamadas de *Sistemas de Informação Geográfica (SIG)*, permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados, tornam ainda possível automatizar a produção de documentos cartográficos. (Câmara, 2001)

Para Vilas Boas (2006), a gestão do meio ambiente é um processo de tomada de decisão que deve explicitamente considerar a variável ambiental. Decisões relacionadas com o meio ambiente são complexas, pois buscam alcançar objetivos tangíveis e/ou intangíveis, envolvem aspectos essencialmente quantitativos e/ou eminentemente qualitativos e são cercadas por significativos interesses em conflito. Tudo isso dificulta o processo de escolha de caminhos e o uso de instrumentos auxiliares na seleção de alternativas de políticas, programas e projetos ambientais.

Nesse sentido, estudiosos como Stirling apud Vilas Boas (2006) sugerem instrumentos alternativos que permitam a agregação de variáveis intangíveis e considerem diversos critérios para o processo de escolha, como é o caso dos métodos multicritérios de apoio à decisão ou métodos multicritérios de análise de decisão (MMAD).

O objetivo da análise multicritérios é ajudar o “decisor” a analisar os dados que são intensamente complexos no campo ambiental e buscar a melhor estratégia de gestão do meio ambiente. (Vilas Boas, 2006)

Nessa pesquisa, optou-se pelo uso de matrizes hexagonais como forma de estruturar a área de estudo em unidades espaciais regulares, que garantem a integração de vizinhança e minimizem ruídos provenientes de diferentes fontes e/ou diferentes escalas de mapeamento.

Segundo Birch et. al. (2007), redes regulares são frequentemente usadas em observações, experimentos e simulações relacionados a estudos ecológicos. Esta rede deve ser constituída por células regulares de formato quadrangular ou hexagonal.

Birch et. al. (2007) apud C zar (2011) enfatizam vantagens de hexagonais frente a células quadrangulares em análises ambientais, entre elas a sua aproximação maior a um círculo e sua simetria de seis lados possuindo adjacência uniforme, que melhor representa aspectos de vizinhança entre as unidades de análise. Além de seu espaçamento ser mais regular que uma rede de quadrados de igual densidade; seu perímetro é menor que um quadrado de igual  rea. (Birch et. al. 2007)

Pimenta (2014) ressalta ainda que o uso de redes hexagonais para estudos de sistemas ambientais vem possibilitando a interseção de dados de diferentes escalas, o que diminui erros de interpretação; e também a utilização de recorte dos dados espaciais como amostras padronizadas, onde cada hexágono se caracteriza como uma unidade de paisagem representativa da área de estudo, sendo trabalhadas dentro de seus limites todas as análises espaciais de maneira discreta.

O objetivo deste trabalho consiste na integração multicriterial de dados através do uso de matrizes hexagonais em apoio   identificação de áreas prioritárias quanto   implementação de projetos de recuperação.

## **5.2. Metodologia**

Para o presente trabalho foram utilizados os seguintes materiais:

- Mapa Dinâmica de Uso e Cobertura de 1075 a 2015 na escala 1:100.00 reclassificado
- Mapa de Proximidade a Uso Urbano, proveniente de Keidel (2012)
- Mapa de Proximidade a Fragmentos Florestais, proveniente de Keidel (2012)
- Mapa de Proximidade a Sistema Viário, proveniente de Keidel (2012)
- Mapa de Proximidade a Unidades de Conservação, proveniente de Keidel (2012)

O trabalho se iniciou com a geração de uma matriz de hexágonos regulares com tamanho de 20ha, através da extensão Patch Analyst do software ArcGIS 10. A escolha do tamanho dos hexágonos foi fruto de vários testes realizados em busca da melhor adequação para a escala de trabalho em termos de detalhamento. O intervalo de maior investigação ficou entre 15 a 30 ha, sendo escolhido o tamanho de 20ha.

Para áreas de limites muito irregulares, sempre há perda de representação de hexágonos inteiros ajustados às bordas. Para a bacia esse também foi um fator preponderante na escolha do tamanho das unidades, pois buscou-se um ajuste que ao mesmo tempo fosse representativo para a integração das variáveis e minimizasse tais perdas. A matriz hexagonal elaborada para este trabalho por ser vista na Figura 15.

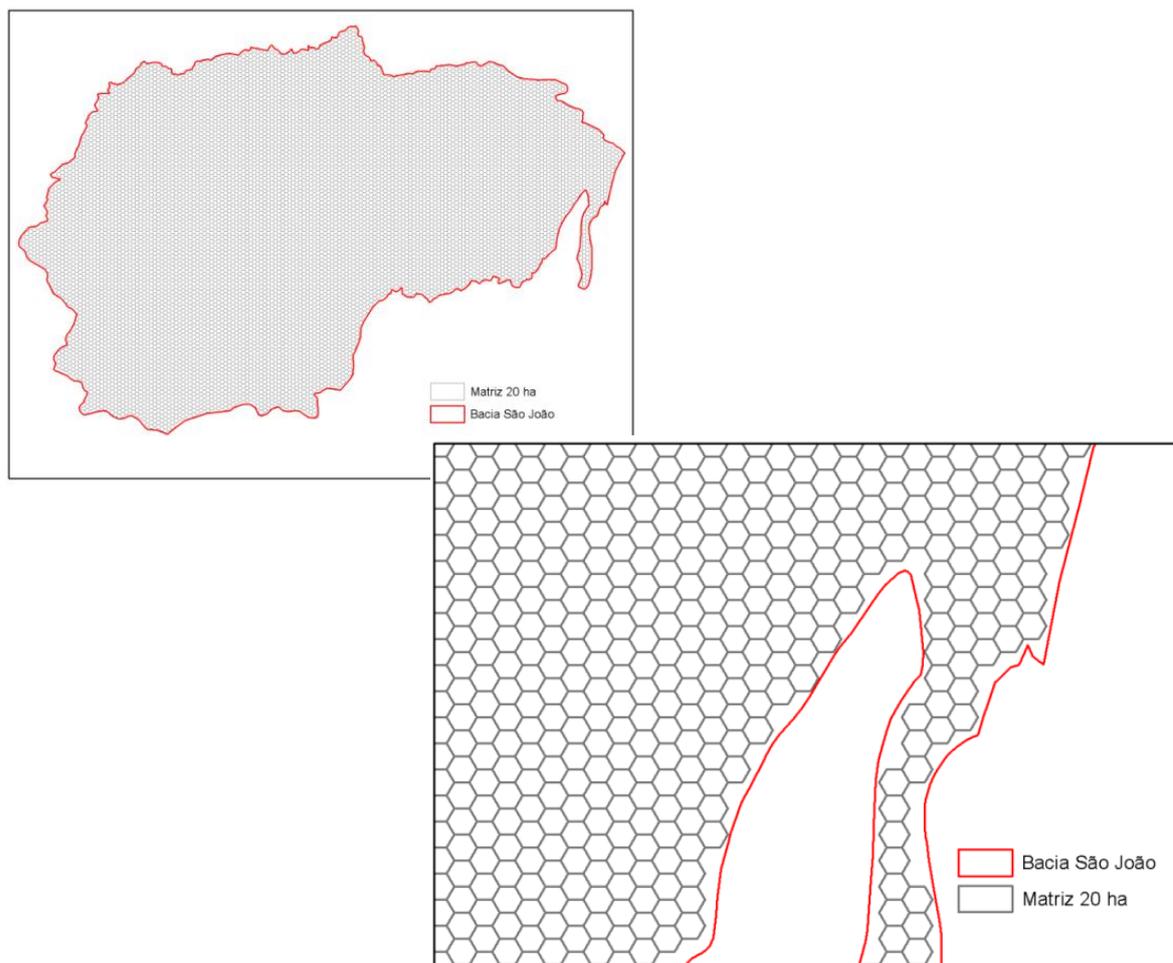


Figura 15: Matriz de hexágonos para a bacia do rio São João.

Observa-se na Figura 15 a exclusão de alguns hexágonos que não estavam completamente inseridos no perímetro da bacia do rio São João representado pelo contorno em vermelho. A falta de informação sobre as classes nas áreas que ultrapassam os limites da bacia comprometeria os cálculos estatísticos a serem realizados posteriormente bem como a análise final dos resultados e, por este motivo, estes hexágonos foram excluídos.

Após esta etapa de escolha do tamanho dos hexágonos e delimitação da real área de estudo a partir da exclusão de alguns hexágonos na borda da bacia, iniciou-se a integração dos dados a serem analisado com as matrizes.

Assim, o mapa de dinâmica de uso e cobertura da bacia para o período de 1975 a 2015, já reclassificado para representar as áreas de regeneração, de remanescentes, de desmatamento e de corpos hídricos foi integrado à matriz de hexágonos de 20 hectares para que se calculasse, dentro de cada hexágono, a área de cada classe (desmatado, reflorestado, remanescente) a ser analisada. Este resultado precisou sofrer uma edição na tabela de atributos para que permitisse representar cada uma dessas classes separadamente em matrizes hexagonais. Para isso, foi utilizada a ferramenta de geração de tabela dinâmica presente no software Microsoft Excel 2010, de forma a transformar, os campos referentes a estas classes e suas respectivas áreas calculadas em hectares, em colunas na tabela de atributos. Este resultado possibilitou a representação separadamente das três classes em matrizes hexagonais pelo uso do software ArcGIS 10.

Em seguida, foram calculadas as distâncias euclidianas sobre os mapas de Proximidade a Unidades de Conservação, Sistema Viário, Fragmentos Florestais e Uso Urbano com uso da ferramenta Euclidean Distance do software ArcGIS 10. Os resultados foram então convertidos para arquivos do tipo *raster* a fim de se possibilitar a integração com as matrizes hexagonais com uso da ferramenta Zonal Statistic do mesmo software. Este processo resultou em matrizes hexagonais para cada uma das variáveis representadas em valores médios de distância por hexágono.

Finalmente, foram selecionados os hexágonos que apresentam o predomínio da classe regeneração para integração com os resultados obtidos das matrizes hexagonais referentes às variáveis utilizadas no presente trabalho, a fim de se

identificar como e quais destas variáveis respondem melhor para a ocorrência de regeneração no período entre 1975 e 2015.

### 5.3. Resultados

O primeiro resultado corresponde à matriz hexagonal inserida totalmente nos limites da bacia do rio São João.

Após a integração da matriz de hexágonos com o dado referente à dinâmica de uso já reclassificado e com a tabela editada, pôde-se gerar a representação por média de área de cada classe por hexágonos.

Os resultados dessa integração correspondem às Matrizes Hexagonais representadas por valores médios de área para cada classe (desmatado, reflorestado, remanescente), conforme as figuras 16, 17 e 18.

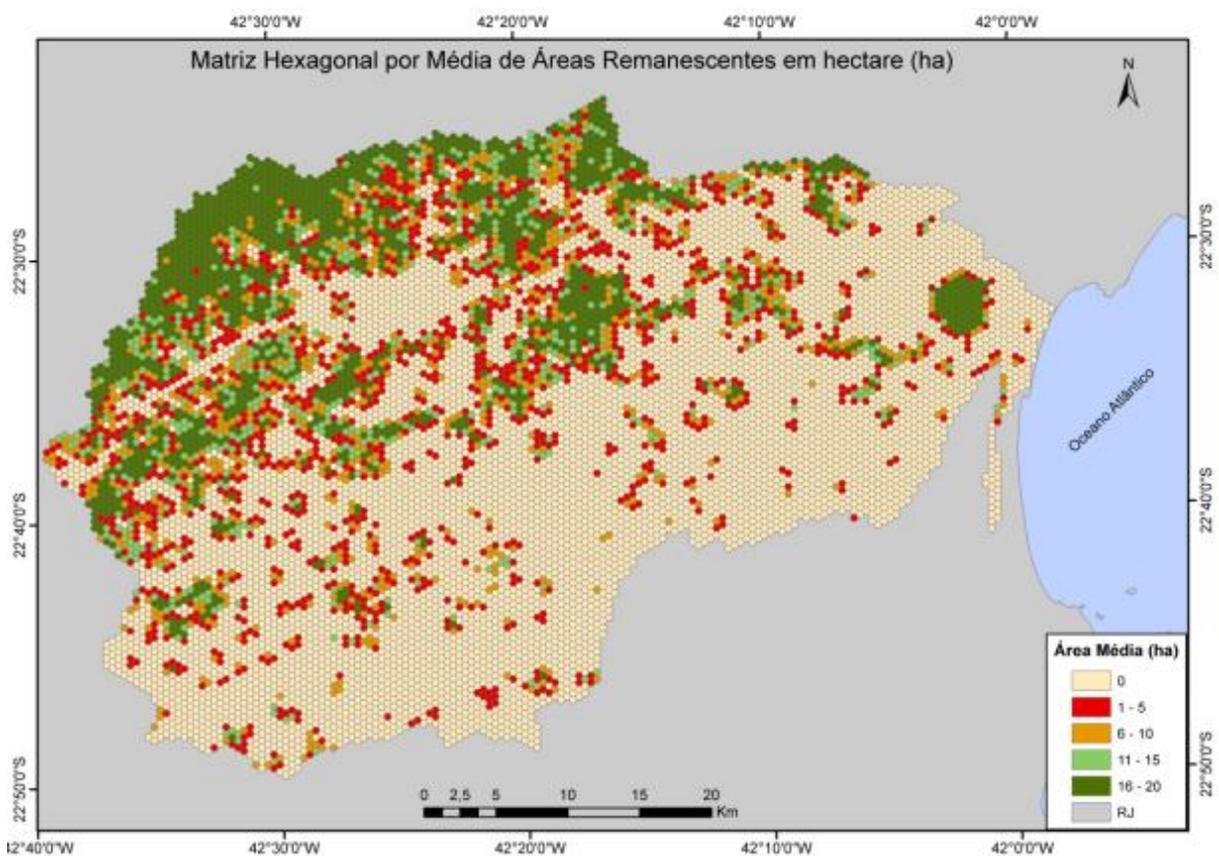


Figura 16: Matriz Hexagonal por Média de Áreas Remanescentes.

A representação da legenda buscou excluir as áreas com nenhuma área de remanescentes para melhor visualização da distribuição espacial desta classe dentro da bacia. Assim, os hexágonos em verde escuro representam áreas totalmente

inseridas nos remanescentes ou que são preenchidas por esta classe em média entre 75% e 100%. Esse isolamento também permite uma melhor análise da espacialização das variáveis estudadas sobre os hexágonos que representam esta classe.

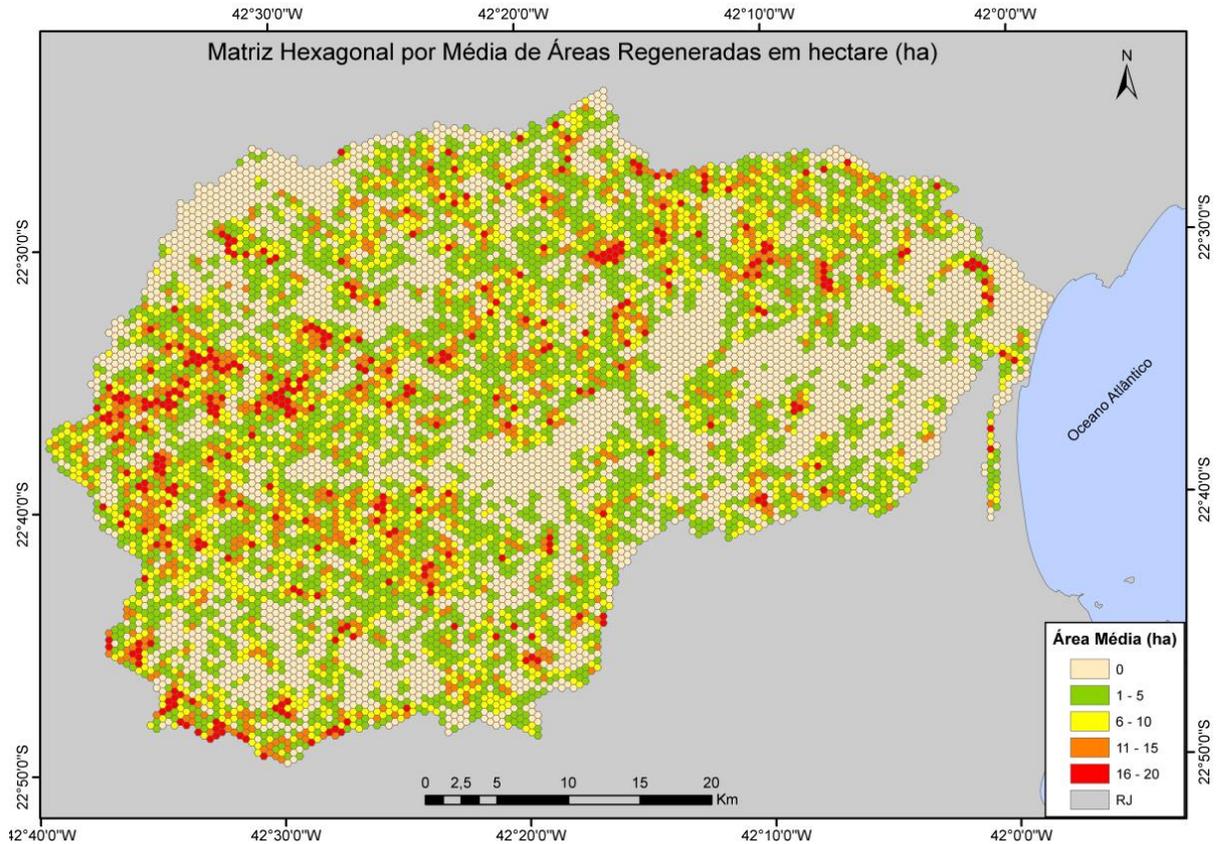


Figura 17: Matriz Hexagonal por Média de Áreas Regeneradas.

Mais uma vez, houve o isolamento das classes de hexágonos que não apresentam valores médios de área para a classe estudada.

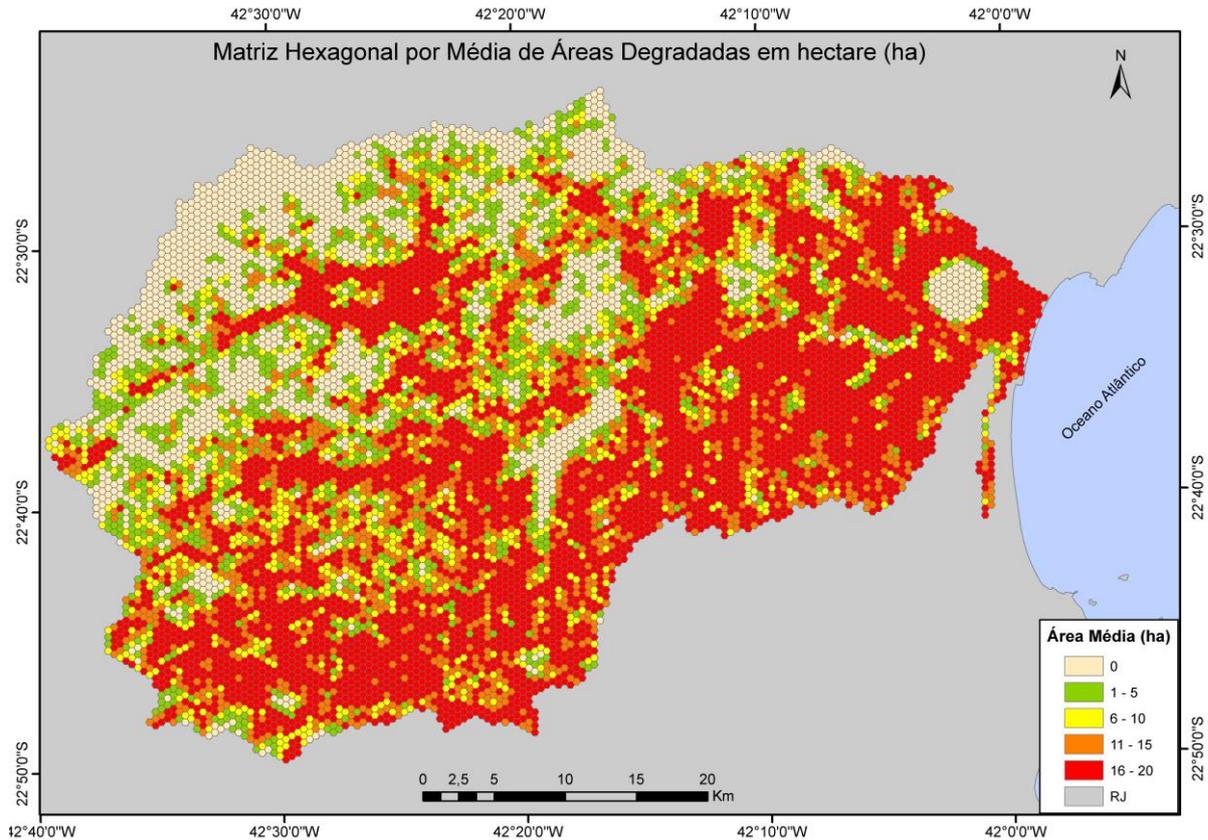


Figura 18: Matriz Hexagonal por Média de Áreas Desmatadas.

Assim como nos dados anteriores houve a exclusão dos hexágonos com valor de média de área desmatada igual a zero e isso possibilitou isolar grandes áreas de corpos hídricos e de remanescentes florestais das áreas que realmente sofreram algum grau de desmatamento.

É importante ressaltar que este resultado representa não apenas as áreas desmatadas no período de 1975 a 2015, como também áreas que já eram desmatadas antes desse período. Para uma integração destes dados com as variáveis adotadas, os hexágonos referentes às áreas desmatadas antes do período estudado devem ser excluídos do mapeamento, restando apenas para a integração os hexágonos que sofreram desmatamento neste período.

Para analisar a resposta das variáveis escolhidas para este estudo em relação à ocorrência das classes de dinâmica de uso e cobertura, foram elaborados os dados matriciais referentes aos cálculos da Distância Euclidiana para cada uma destas variáveis.

A Distância Euclidiana é calculada a partir do centro da célula de origem para o centro de cada uma das células circundantes. Conceitualmente, o algoritmo de

Euclides funciona da seguinte forma: para cada célula, o raio de cada célula de origem é determinado através do cálculo da hipotenusa com “x\_max” e “y\_max” (os outros dois lados do triângulo). Assim, menor distância para uma origem é determinada e se ela for menor do que a distância máxima definida, este valor é atribuído à localização da célula na quadrícula de saída. (Figura 19)

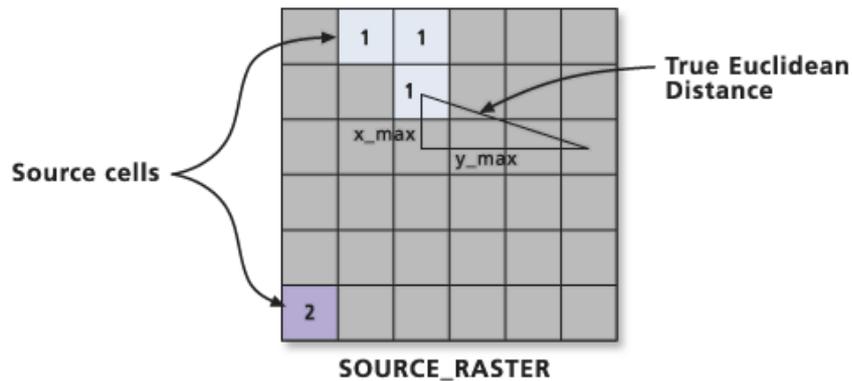
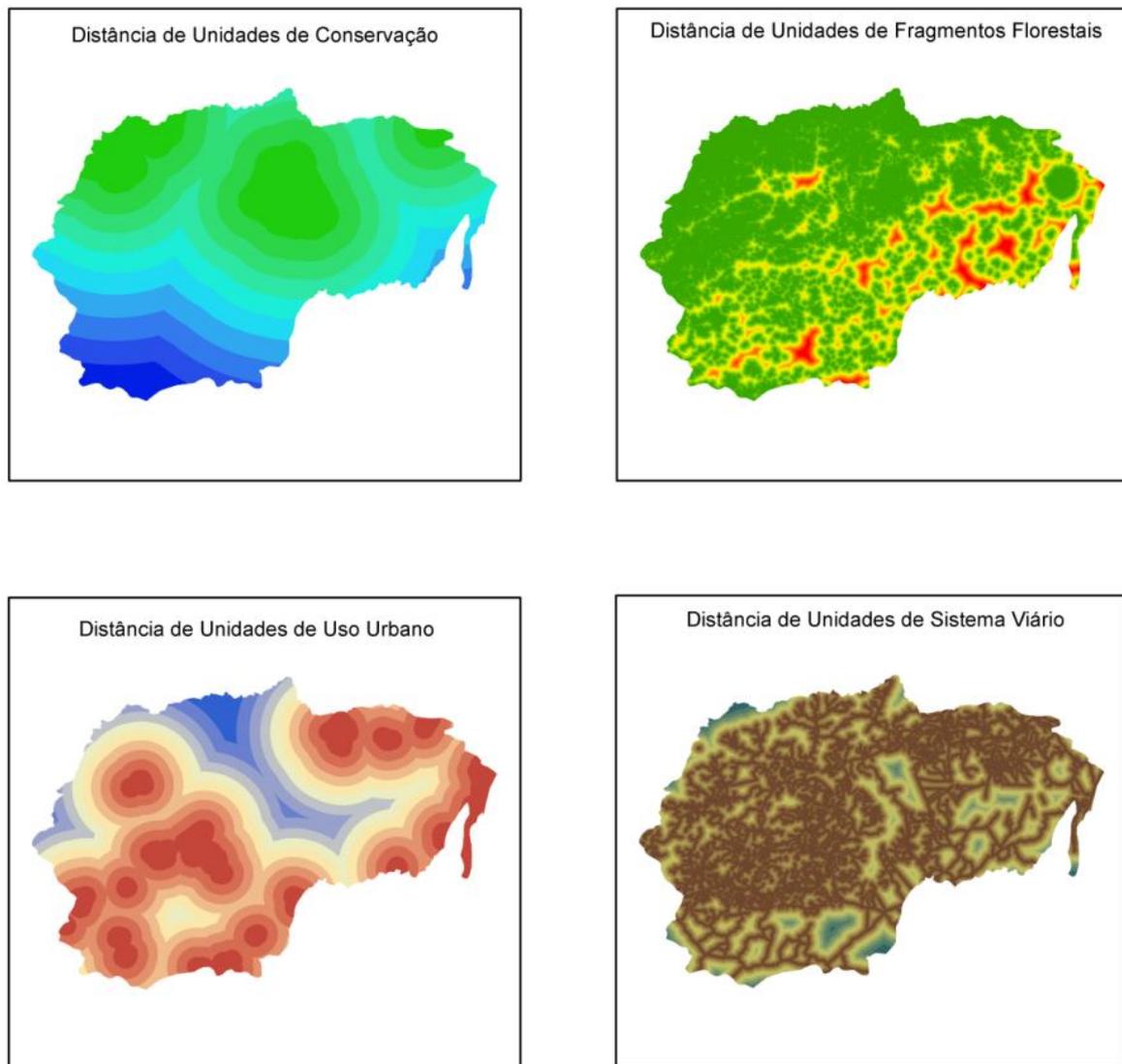


Figura 19: Medida da distância Euclidiana pelo cálculo da hipotenusa entre as origens de duas células. (Fonte: ESRI)

O cálculo da Distância Euclidiana foi aplicado a cada uma das variáveis adotadas para presente estudo (Uso Urbano, Unidades de Conservação, Fragmentos Florestais e Sistema Viário) com a elaboração de arquivos do tipo raster, referentes a elas, que representam a distância medida a partir da origem de cada célula para a origem da célula mais próxima. (Figura 20)



*Figura 20: Cálculo da Distância Euclidiana para as variáveis analisadas.*

A partir do cruzamento dos resultados obtidos pelo cálculo da Distância Euclidiana para as variáveis estudadas com a matriz hexagonal de vinte hectares de área, os valores médios de distância por hexágonos, referente a cada variável, foram representados em matrizes hexagonais. (Figuras 21, 22, 23 e 24)

Quanto mais próximo de uma rodovia maior a exposição a agentes estressantes como o fogo. Além disso, o sistema viário interfere nos fluxos hidrológicos e fragmenta a cobertura florestal. Assim, a Distância ao Sistema Viário (Figura 21) constitui variável importante a ser estudada quanto à sua influência negativa para a recuperação.

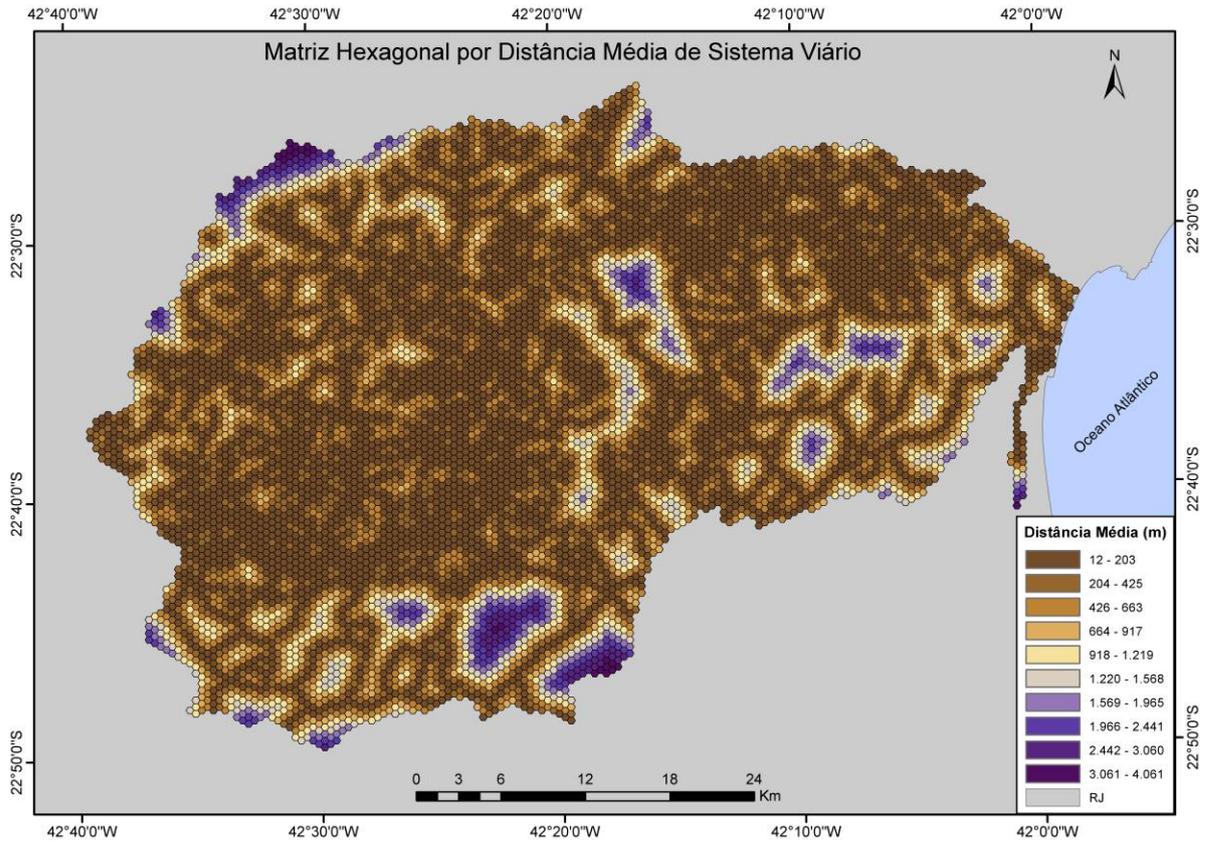


Figura 21: Matriz Hexagonal por Distância Média de Sistema Viário.

A favorabilidade de uma área à recuperação ambiental aumenta com a proximidade de outros fragmentos florestais, com o grau de fragmentação dos remanescentes naturais da área, com os estágios sucessionais dos fragmentos, com a proximidade com banco de sementes, dentre outros aspectos. Neste sentido, a Matriz Hexagonal por distância Média aos Fragmentos Florestais (Figura 22) constitui um resultado importante quanto à análise de favorabilidade à recuperação florestal.

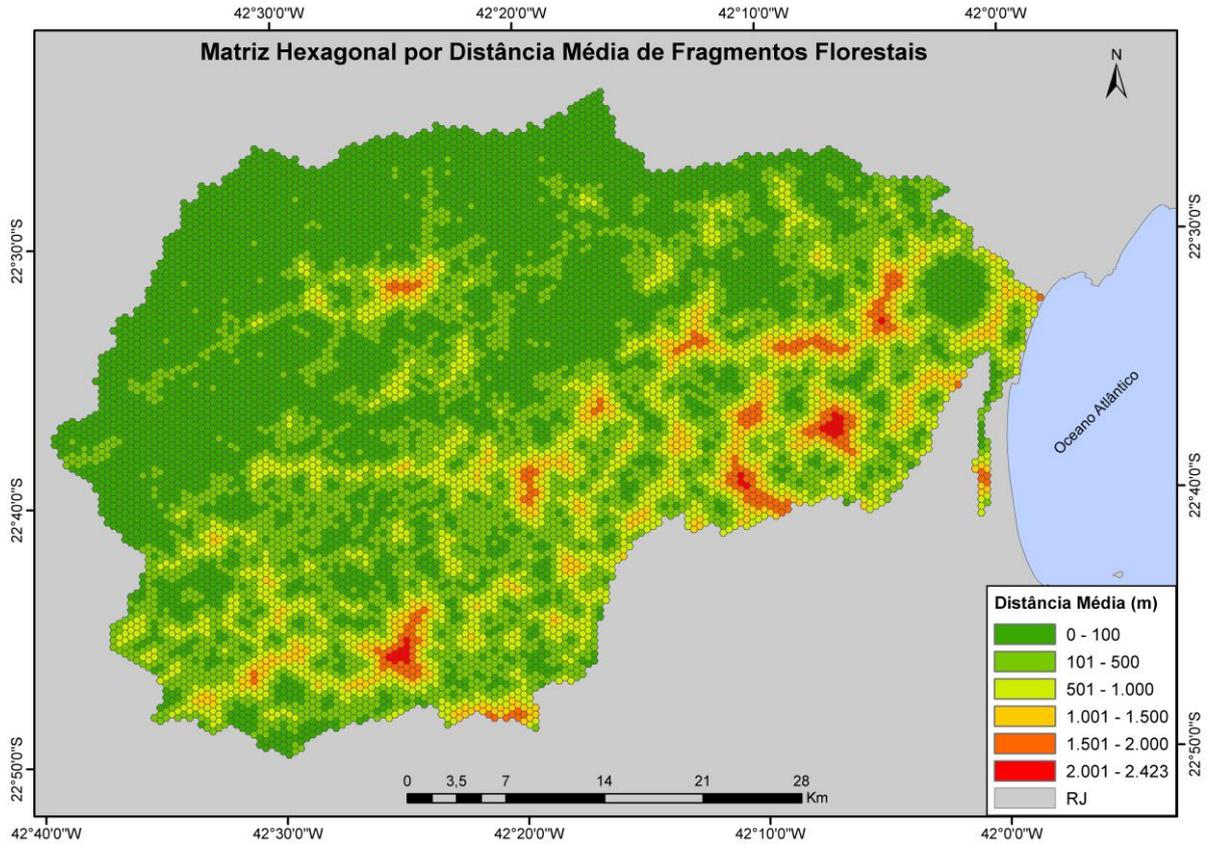


Figura 22: Matriz Hexagonal por Distância Média dos Fragmentos Florestais.

Outra variável importante para este estudo se refere à presença de importantes Unidades de Conservação na bacia do rio São João. A Figura 23 apresenta a matriz hexagonal elaborada a partir da distância média às Unidades de Conservação.

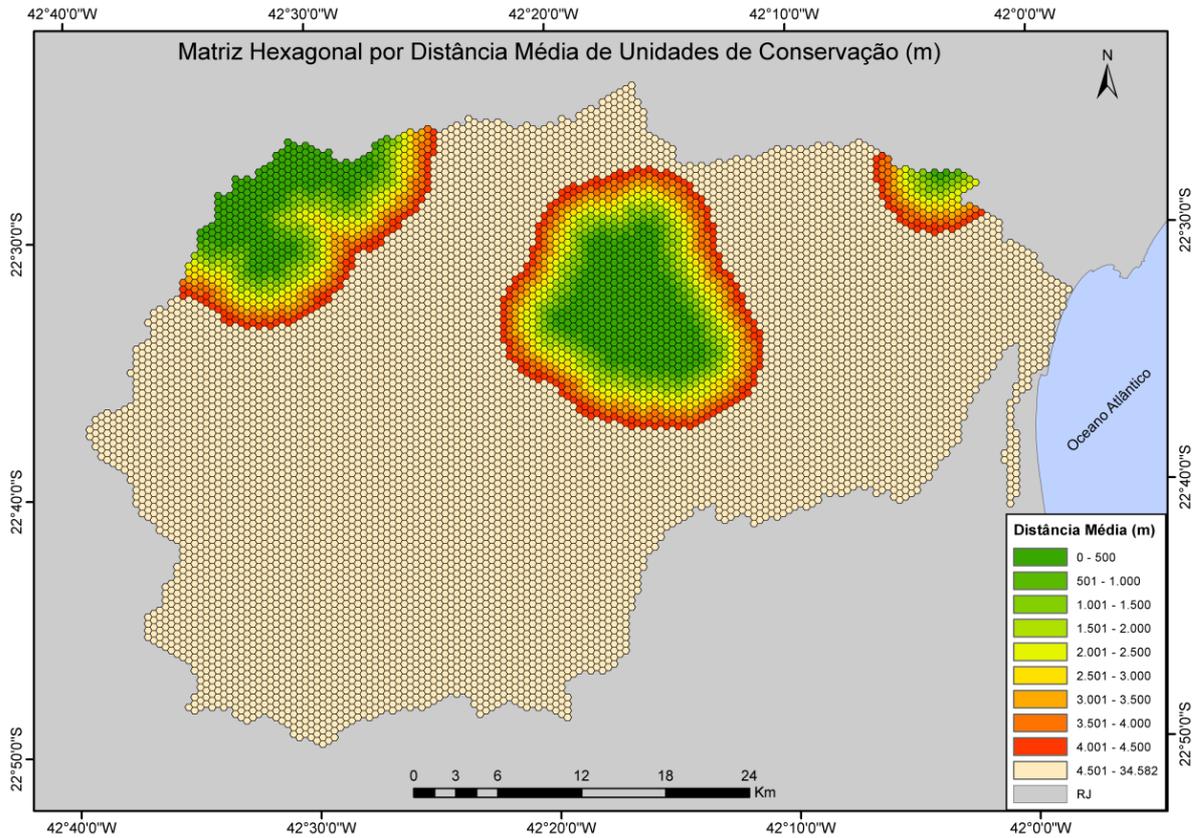


Figura 23: Matriz Hexagonal por Distância Média de Unidades de Conservação.

Os centros urbanos constituem um fator que provoca enorme pressão sobre a recuperação de áreas florestadas, devido a sua expansão que muitas vezes ocorre de maneira rápida e desordenada, bem como pela irreversibilidade da degradação que ela provoca ao retirar coberturas florestais para sua expansão. Assim, a matriz hexagonal por distância média de áreas urbanas, representada pela Figura 24, constitui variável importante para este estudo.

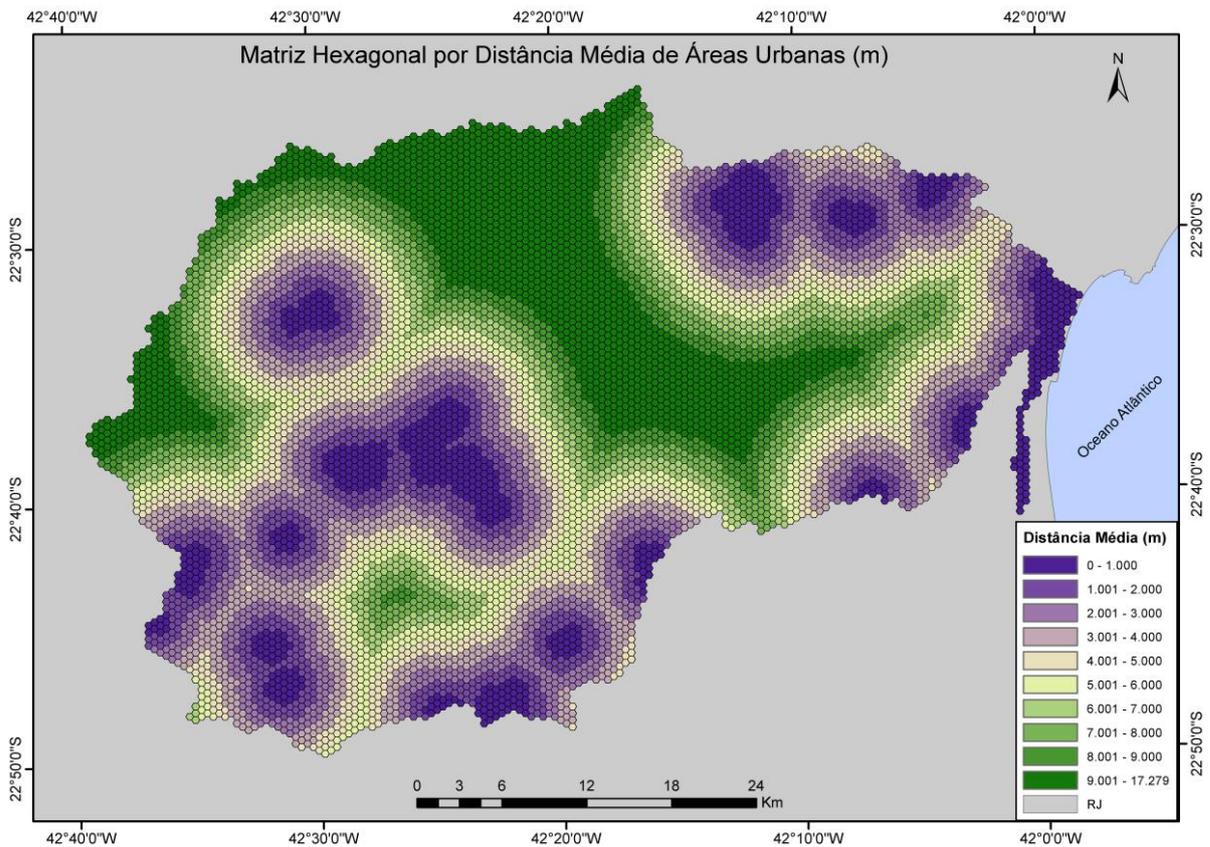


Figura 24: Matriz Hexagonal por Distância Média de Áreas Urbanas

A partir da espacialização dos hexágonos por valores médios de área das classes de dinâmica de uso e cobertura (desmatamento, regeneração e remanescentes) foram selecionados os hexágonos nos quais predomina a classe Regeneração, ou seja, aqueles que apresentaram maiores valores médios de área regenerada (entre 11 e 20 hectares) para se realizar a integração com as matrizes hexagonais referentes às variáveis adotadas para este estudo. Após a integração, estes hexágonos foram representados pelos valores médios de distância referentes às variáveis escolhidas (Figuras 25, 26, 27 e 28).

A Figura 25 apresenta a matriz de hexágonos com maiores valores de média de áreas regeneradas em relação à distância média destes hexágonos aos fragmentos florestais.

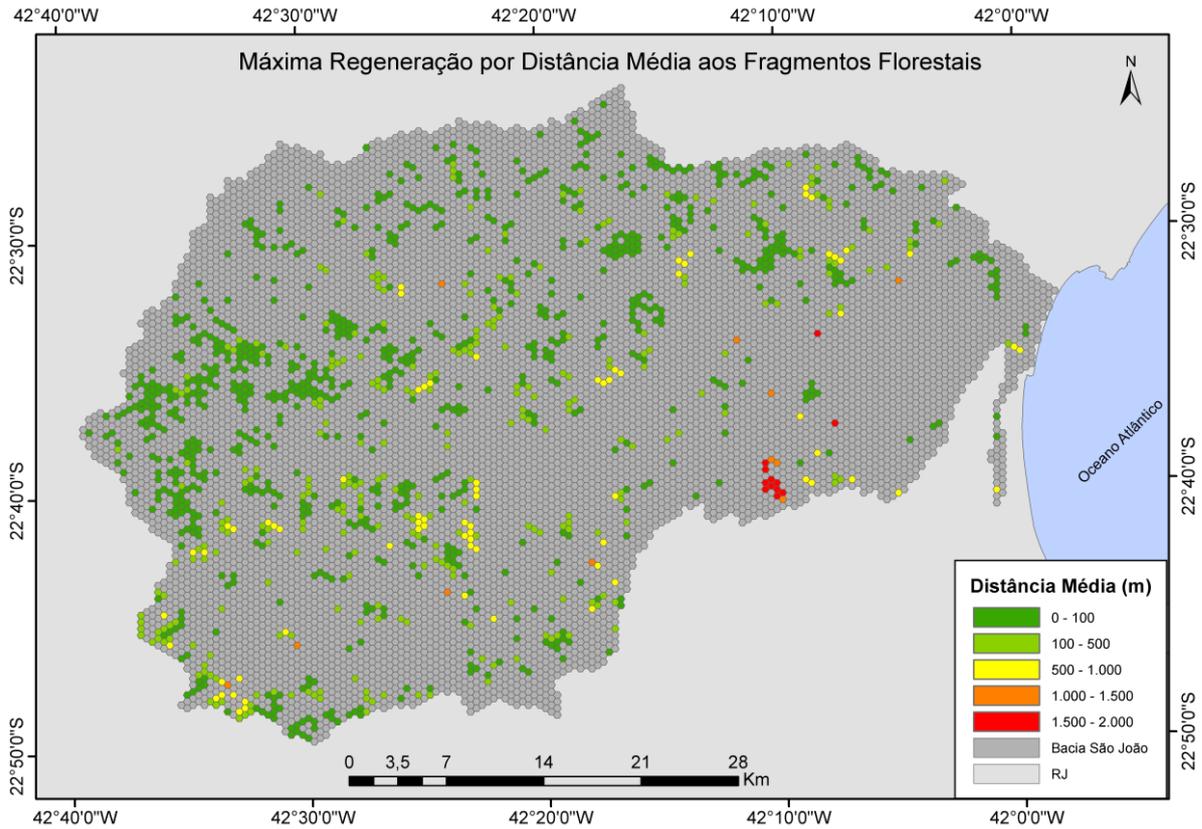


Figura 25: Matriz hexagonal com maiores valores médios de áreas regeneradas pela distância média aos fragmentos florestais.

Pode-se observar uma forte relação entre a ocorrência de regeneração, nos hexágonos selecionados, com a proximidade aos fragmentos florestais, visto que a grande maioria dos hexágonos (aproximadamente 94%) está representada pelos tons de verde, localizando-se a uma distância média de até 500 metros dos fragmentos florestais.

A Figura 26 apresenta a matriz de hexágonos com maiores valores de média de áreas regeneradas em relação à distância média destes hexágonos às Unidades de Conservação.

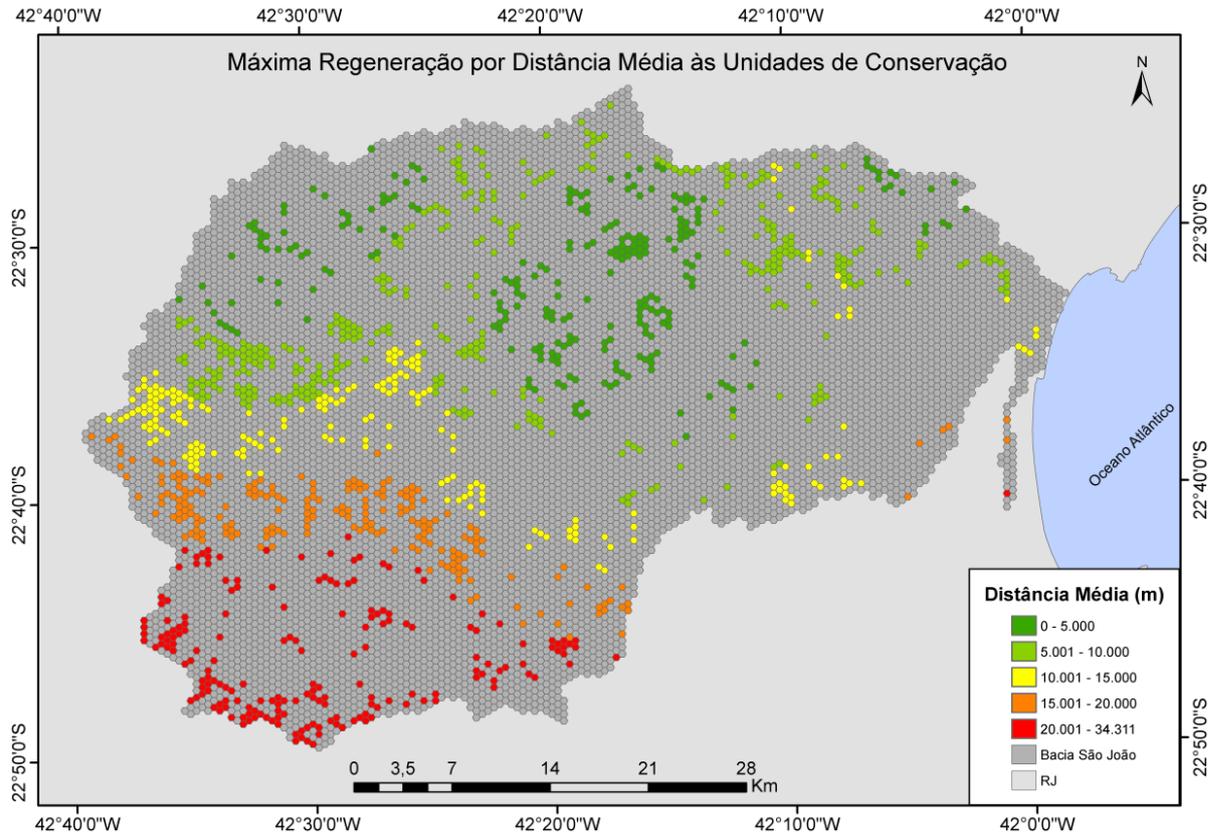


Figura 26: Matriz hexagonal com maiores valores médios de áreas regeneradas pela distância média às unidades de conservação.

Aproximadamente 26% dos hexágonos selecionados para a integração na matriz hexagonal se referem às menores distâncias médias (entre 0 e 5Km) das Unidades de Conservação. E do total de hexágonos que apresentam entre 11 e 20 hectares de área ocupadas pela classe Regeneração, cerca de 52% estão a até 10Km desta variável.

A Figura 27 apresenta a matriz de hexágonos com maiores valores de média de áreas regeneradas em relação à distância média destes hexágonos ao Uso Urbano.

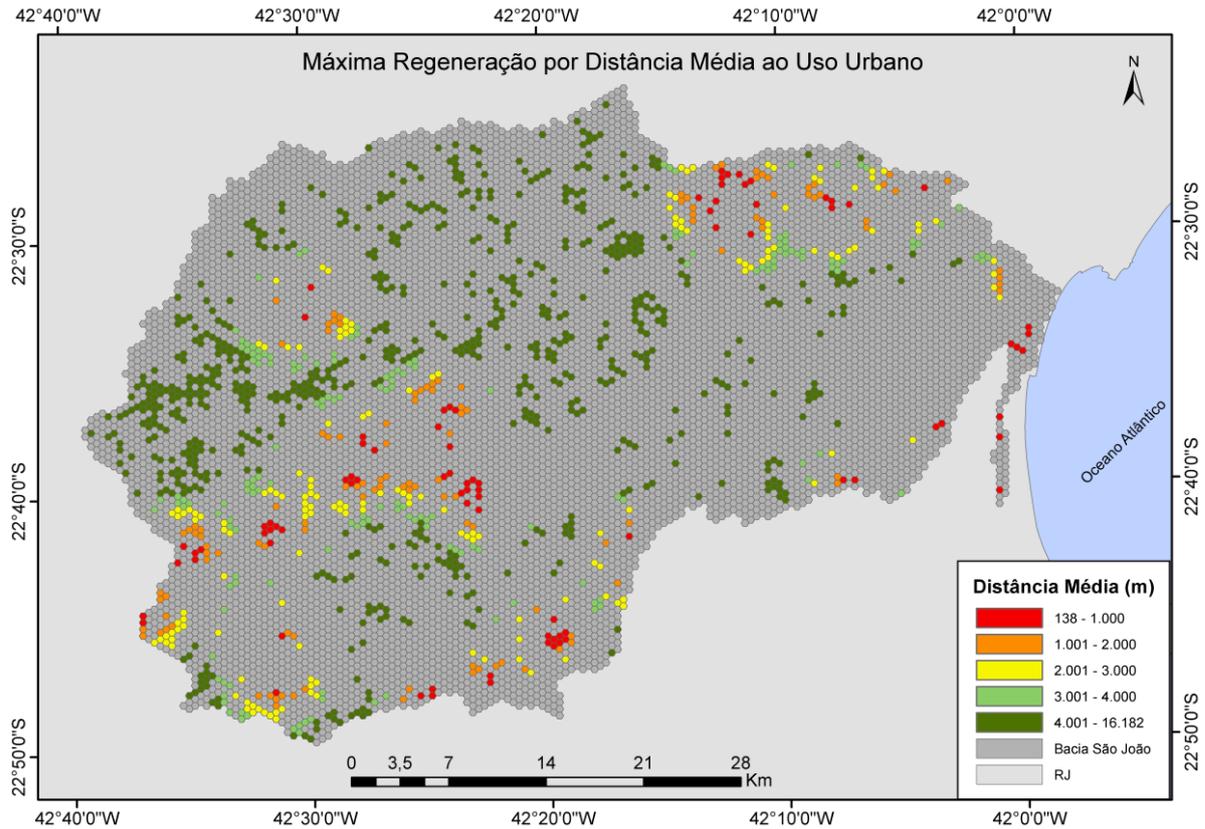


Figura 27: Matriz hexagonal com maiores valores médios de áreas regeneradas pela distância média ao Uso Urbano.

Pode-se observar que a grande maioria dos hexágonos (aproximadamente 70%) com predomínio da classe Regeneração estão mais distantes dos centros urbanos (mais de 3Km), representados pelos tons de verde no mapa. E os outros 30% encontram-se a uma distância de até 3Km dos centros urbanos. Sendo assim, pode-se deduzir que a variável Uso Urbano possui forte relação com a ocorrência de áreas regeneradas.

A Figura 28 apresenta a matriz de hexágonos com maiores valores de média de áreas regeneradas em relação à distância média destes hexágonos ao Sistema Viário.

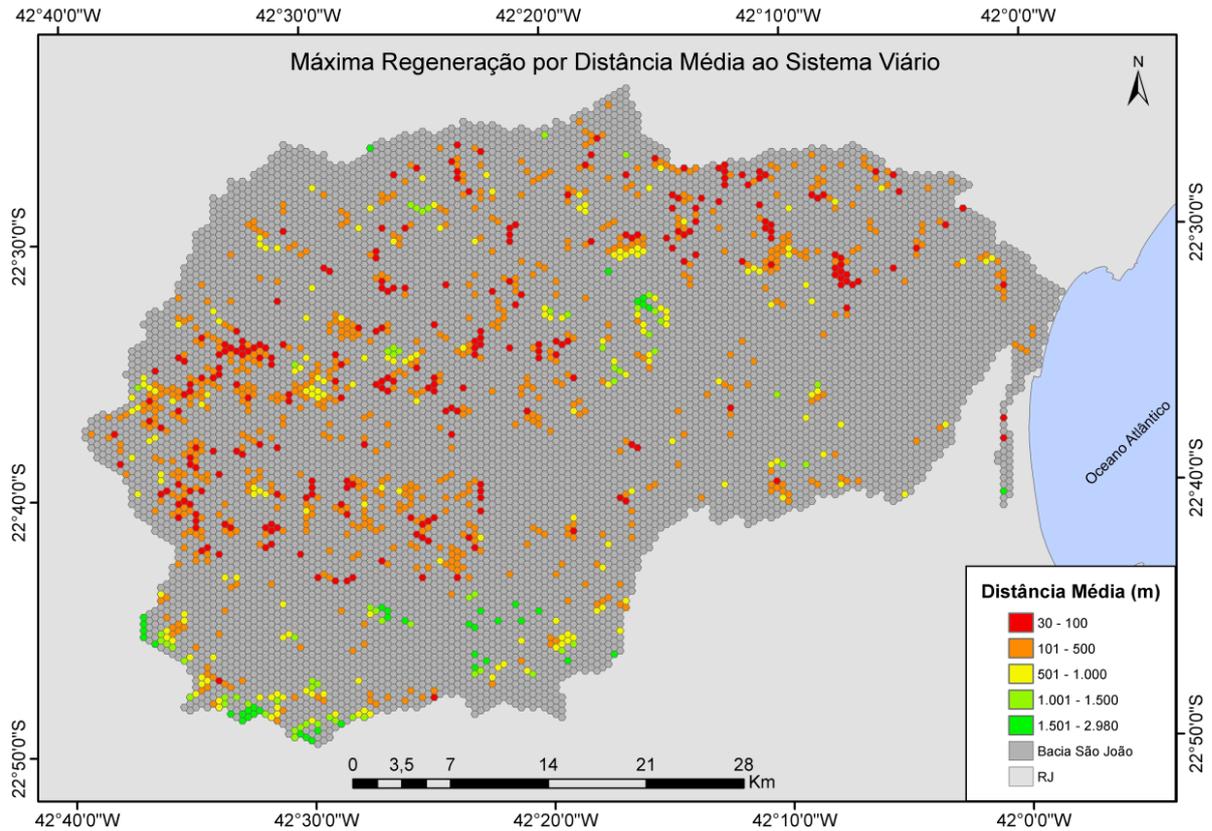


Figura 28: Matriz hexagonal com maiores valores médios de áreas regeneradas pela distância média ao Sistema Viário.

Menos de 10% dos hexágonos estão representados pelos tons de verde no mapa e se encontram mais distantes (mais de 1Km) das rodovias. Os outros 90% dos hexágonos cujas áreas predominam a classe regeneração estão a uma distância de até 1Km das rodovias.

A baixa correlação entre o predomínio de áreas regeneradas nos hexágonos selecionados em relação à distância ao sistema viário observado neste mapa provavelmente ocorre porque não foi considerada a intensidade do fluxo de veículos nas rodovias, mas apenas a existência ou não delas nos hexágonos.

Finalmente, a partir da matriz hexagonal referente ao predomínio da classe Regeneração e dos resultados de sua integração com as variáveis utilizadas neste trabalho, pôde-se identificar quais hexágonos apresentaram as melhores condições para a ocorrência da regeneração, no período entre 1975 e 2015, de acordo com a análise das classes mais favoráveis à ocorrência de regeneração para todas as variáveis, conforme a Figura 29.

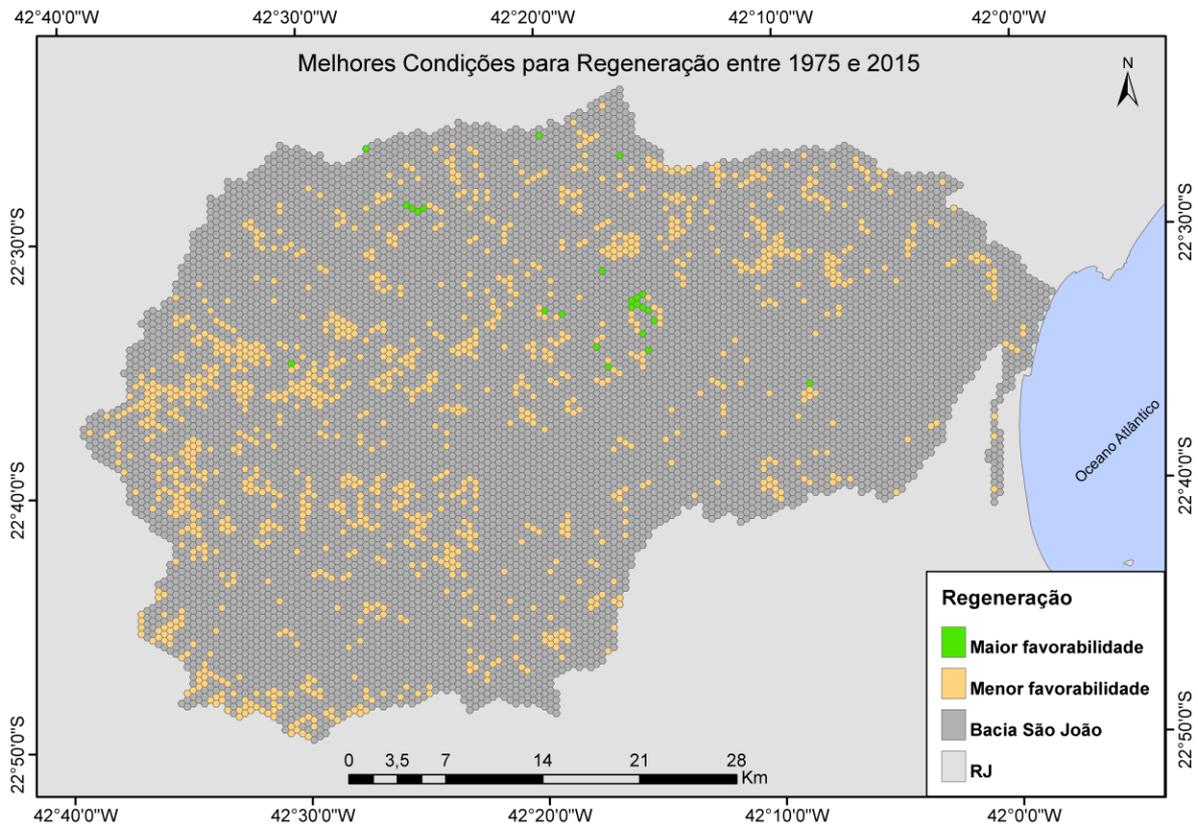


Figura 29: Matriz Hexagonal para maior favorabilidade à ocorrência de Regeneração entre 1975 e 2015.

Aproximadamente 2% dos hexágonos com predomínio da classe Regeneração apresentaram as melhores condições em relação a todas as variáveis estudadas, após a integração dos dados, para o predomínio desta classe em sua área.

#### 5.4. Conclusões

A matriz hexagonal se mostrou uma eficiente ferramenta para integração de dados de naturezas distintas e que se apresentam em variadas escalas, pois ao adotar uma unidade única de análise, possibilita a realização de tratamentos estatísticos mais satisfatórios.

É importante considerar a necessidade de utilização de outras variáveis além das escolhidas para este trabalho, bem como de avaliação de interferências que determinados fatores podem gerar na análise dos resultados, como visto em relação à variável Distância ao Sistema Viário, na qual se esperava ter uma resposta negativa em relação à ocorrência de regeneração nos hexágonos mais próximos a

ela, mas que não foi observada devido a não consideração da interferência do fluxo de veículos que representa grande pressão quanto à regeneração em áreas próximas às rodovias.

Também se considera a necessidade de realizar o mesmo método de integração das variáveis com a classe Regeneração, para as classes Remanescentes e Desmatamento, de forma a analisar como estas variáveis se comportam em relação à ocorrência destas outras classes de dinâmica de uso e cobertura na bacia.

Para uma análise mais aprofundada da correlação das variáveis adotadas para este trabalho com as matrizes referentes às classes de dinâmica de uso e cobertura pretende-se a utilização de métodos como regressão ponderada geograficamente.

Espera-se que a integração e análise destes resultados por matrizes hexagonais permita uma melhor compreensão das influências das variáveis estudadas, bem como de outras que ainda possam ser integradas a este estudo, sobre a favorabilidade para recuperação de áreas degradadas.

## 6. Considerações Finais

Estudos ambientais que envolvem a integração de dados multicriteriais constituem um grande desafio a ser alcançado para compreender as inter-relações dos elementos da paisagem na elaboração de métodos e técnicas mais eficientes para promover a recuperação ambiental.

Os dados provenientes de Seabra (2012) foram de grande importância para a realização deste projeto de pesquisa bem como a metodologia seguida, de acordo com a realizada por ele, para a atualização da dinâmica de uso e cobertura para o ano de 2015.

A utilização do método de Classificação de Imagens Orientada a Objetos (GEOBIA) foi de grande importância para a elaboração do mapa de uso e cobertura da bacia referente ao ano de 2015, diminuindo consideravelmente o esforço de edição manual. Mesmo tendo sido considerados apenas descritores referentes às respostas espectrais, em detrimento da utilização de outros como textura, forma e contexto, os resultados se mostraram satisfatórios. A criação de subclasses durante o processo de classificação, de acordo com variações de tonalidade encontradas em algumas classes como Pastagem e Vegetação Secundária, contribuiu para um melhor resultado da classificação automática, minimizando a confusão entre classes e a posterior edição.

A utilização de dados matriciais para a integração das variáveis adotadas no presente estudo (Uso Urbano, Sistema Viário, Fragmentos Florestais e Unidades de Conservação) com a matriz hexagonal, referente à variável dependente Regeneração, se mostrou bastante eficiente para compreender as relações existentes entre elas de acordo com suas ocorrências nos hexágonos.

Sendo considerada uma metodologia de integração de dados bastante eficiente, valem-se investimentos na continuação desta pesquisa com a utilização de outras variáveis de ordem física, biótica e socioeconômica, além das já utilizadas, para incrementar os resultados e enriquecer as análises quanto à favorabilidade para recuperação florestal na bacia do rio São João. Outros fatores que ainda contribuiriam para isso seriam a consideração de certas particularidades referentes às variáveis adotadas, como visto em relação ao Sistema Viário, bem como a utilização do método de Regressão Ponderada Geograficamente para compreender

melhor as inter-relações existentes entre as variáveis dependentes (Desmatamento, Regeneração e Remanescentes) com as variáveis independentes.

Finalmente, espera-se que os resultados produzidos neste trabalho possam contribuir com estudos ambientais que visam à compreensão das relações existentes entre os elementos da paisagem referentes ao tema recuperação de ecossistemas, bem como a aplicação desta metodologia para outras áreas de estudo.

## 7. Referências Bibliográficas

- ABREU, M.B. (2010) **Análise Espaço temporal da Cobertura e Uso da Terra no Estado do Rio de Janeiro de 1994 até 2007**. Dissertação de Mestrado em Geografia, PPGG, UFRJ. Rio de Janeiro, RJ.
- ALMEIDA, D.S. **Recuperação Ecológica de Paisagens Fragmentadas**. Série Técnica IPEF, v. 12, n 32, 99-104p. 1998.
- BARBOSA, L.M.; MANTOVANI, VW. **Degradação ambiental: Conceituação e base para o repovoamento vegetal**. In: WORKSHOP DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS DA SERRA DO MAR E FORMAÇÕES LITORÂNEAS. Anais... São Paulo: SMA, 2000.
- BIRCH, C. P. D.; OOM, S. P.; BEECHAM, J. A. **Rectangular and hexagonal grids used for observation, experiment and simulation in ecology**. Ecological Modelling 206 (3-4), 2000. pp. 347-359
- BRADSHAW, A. D. Ecological principles and land reclamation practice. In: KAGEYAMA, P. Y. et al. **Restauração Ecológica de Ecossistemas Naturais**. Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais – FEPAF, Botucatu, SP, 2003. p. 3-22.
- BRASIL. **Sistema Nacional de Unidades de Conservação**. Lei nº 9.985, 18 de julho de 2000.
- CÂMARA, I. G. 1996, PLANO DE AÇÃO PARA A MATA ATLÂNTICA. SÃO PAULO, **Roteiro para a conservação de sua biodiversidade. Caderno nº. 4 – Série Políticas Públicas**. SÃO PAULO, 1996.
- CÂMARA, G., MONTEIRO, A. M., FUKS, S., CAMARGO, E., FELGUEIRAS, C. **Análise Espacial de Dados Geográficos**. São José dos Campos, INPE, 2001.
- CÉZAR, A.A. **Técnicas de geoprocessamento para o mapeamento de habitats de onça-pintada no cerrado e floresta matogrossense**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2011.

CARVALHO, F.A.; NASCIMENTO, M.T.; & OLIVEIRA FILHO, A.T.: **Composição, riqueza e heterogeneidade da flora arbórea da bacia do rio São João, RJ, Brasil**. Acta Botânica Brasílica. Vol.22, N.4. 2008.

CILSJ - Consórcio Intermunicipal Lagos São João. Consórcio Intermunicipal para Gestão Ambiental das Bacias da Região dos Lagos, do Rio São João e Zona Costeira. Disponível em <http://www.lagossaojoao.org.br/>.

CRUZ, C.B.M., VICENS, R.S., SEABRA, V.S., REIS, R.B., FABER, O.A., RICHTER, M., ARNAUT, P.K.E., ARAUJO, M. (2007) **Classificação orientada a objetos no mapeamento dos remanescentes da cobertura vegetal do bioma Mata Atlântica, na escala 1:250.000**. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE, Florianópolis, Brasil. 2007.

DEFINIENS, The Principles of Definiens Cognition Network Technology. Disponível em: <http://earth.definiens.com/learn/technology>.

ENGEL, V.L.; PARROTA, J.A. definindo a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais. In: KAGEYAMA, P. Y. et al. **Restauração Ecológica de Ecossistemas Naturais** – FEPAF, Botucatu, SP, 2003. p. 3-22.

ESRI – ArcGIS for Desktop. Disponível em: <http://desktop.arcgis.com/es/desktop/latest/tools/spatial-analyst-toolbox/understanding-euclidean-distance-analysis.htm>

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. 2002. **Atlas da evolução dos remanescentes florestais e ecossistemas associados no domínio da Mata Atlântica no período 1995-2000**. São Paulo, Fundação SOS Mata Atlântica/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

GREMONINI, L.; VICENTINI, E. **Autômatos celulares**: revisão bibliográfica e exemplos de implementações. Revista eletrônica Lato Sensu - UNICENTRO, Ed. 6, 2008.

HOWE, H.F.; SMALLWOOD, E.J. Ecology of seed dispersal. In: KAGEYAMA, P. et al (2003) **Restauração Ecológica de Ecossistemas Naturais. Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais** – FEPAF, Botucatu, SP, 2003

KEIDEL, G.A. **Construção de indicadores favoráveis à recuperação de ecossistemas na bacia do rio São João através de análise multicriterial.** Monografia do curso de Geografia. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2012.

LIU, William T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto.** Campo Grande – Ed. UNIDERP, 2006. 908 pp.

MATA ATLÂNTICA - RELATÓRIO. 1993. SÃO PAULO. CONVÊNIO FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA E INPE.

MEDEIROS, R. **Evolução das tipologias e categorias de áreas protegidas no Brasil.** Ambiente & Sociedade – Vol. IX nº. 1, 2006

METZGER, J.P. Como restaurar a conectividade de paisagens fragmentadas? In: KAGEYAMA, P. Y. et al. **Restauração Ecológica de Ecossistemas Naturais – FEPAF, Botucatu, SP, cap. 3, 2003.**

MINTER/IBAMA. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação.** Brasília: IBAMA, 1990.

NOVO, E.M.L.M. Sensoriamento remoto aplicado à ecologia aquática In: ROLAND, F.; CÉSAR, D.; MARINHO, M. (Ed.). **Lições de limnologia.** São Carlos: RiMa, 2005. cap.5, p.417-432.

NOVO, Evlyn M. L. de Moraes. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações.** São Paulo – Blucher, 2008

PIMENTA, M.L.F. **A reconstituição paleogeográfica como subsídio à renaturalização fluvial do alto rio São João - RJ.** Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2014.

PROBIO/MMA. **Levantamento da Cobertura Vegetal Nativa do Bioma Mata Atlântica.** Relatório Final, 2004.

REIS, R. B., CARDOSO, P. V., CRUZ, C B. M., VICENS, R. S. **Classificação do Uso e Cobertura do Solo da APA do São João em uma abordagem orientada a objeto.** Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 7087-7094. 2009.

REIS-DUARTE, R.M.; GALVÃO-BUENO, M.S. Fundamentos ecológicos aplicados à recuperação de áreas degradadas para conservação da Biodiversidade. In: **Manual para recuperação de áreas degradadas em matas ciliares do estado de São Paulo**. Marília – SP, 2006. PP.31-42.

REIS, A.; KAGEYAMA, P.Y. **Restauração Ecológica de Ecossistemas Naturais**. Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais – FEPAF, Botucatu, SP, 2003.

RICHTER, M. **Modelagem de Indicadores em escala de paisagem para a definição de áreas prioritárias e estratégicas à restauração dos ecossistemas, em apoio ao manejo da APA do Rio São João, RJ**. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2010.

RODRIGUES, R. R. **Protocolo de Monitoramento para Programas/Projetos de Restauração Ambiental**, organizado pelo grupo de trabalho técnico-científico do Pacto pela Restauração da Mata Atlântica. 2011.

RODRIGUES, et al. **Pacto pela restauração da Mata Atlântica**. LERF, USP, 2009. p.11

RODRIGUES, R.R.; GANDOLFI, S. **Conceitos, tendências e ações para a recuperação de florestas ciliares**. In: BARBOSA, L.M. Manual para recuperação de áreas degradadas em matas ciliares do estado de São Paulo. São Paulo: Instituto de Botânica, 2006.

SILVA, W.R. A importância das interações planta-animal nos processos de restauração. In: KAGEYAMA, P. et al (2003) **Restauração Ecológica de Ecossistemas Naturais**. Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais – FEPAF, Botucatu, SP, 2003.

SEABRA, Vinicius da Silva. **Análise da paisagem em apoio aos estudos de favorabilidade à recuperação florestal na bacia hidrográfica do rio São João**. Tese de Doutorado em Geografia - Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, 2012.

SILVA, J.S.V.; SANTOS, R.F. **Zoneamento para planejamento ambiental: vantagens e restrições de métodos e técnicas.** Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília, v. 21, n. 2, p.221-263, 2004.

TEIXEIRA, O. Agricultura, meio ambiente e pesquisa interdisciplinar: alguns elementos para o debate. **Agricultura Sustentável**, Jaguariúna, v. 2, n. 1, p. 31-37, 1995.

TIVY, F. Ecosystem and disturbance. In: Biogeography: a study of plants in the ecosphere. Essex: Longman Scientific & Technical, 1993. p.293-310.

URBAN, D.L.; SHUGART, H.H. JR. Avian demography in mosaic landscapes: modeling paradigm and preliminary. In: KAGEYAMA, P. Y. et al. **Restauração Ecológica de Ecossistemas Naturais – FEPAF**, Botucatu, SP, 2003. pp. 51.

VALÉRIO, A. M. **O Uso do Sensoriamento Remoto Orbital e de Superfície para o Estudo do Comportamento do Corpo de Água do Reservatório de Manso, MT, Brasil.** Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. INPE. São José dos Campos. SP. 2009

VILAS BOAS, C. L. de. **Modelo multicritérios de apoio à decisão aplicado ao uso múltiplo de reservatórios:** estudo de caso da barragem do ribeirão João Leite. Dissertação de Mestrado – Departamento de Economia/UNB. Brasília, 2006.

YOUNG, T. P. Restoration and conservation biology. In: KAGEYAMA, P.Y.; OLIVEIRA, R. E.; MORAES, D. B. **Restauração ecológica de ecossistemas naturais.** FEPAF. Botucatu, SP. 2003. Cap. 2.