

Revista Brasileira de Cartografia (2014) N^o 66/2: 303-320
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

USO DO SENSORIAMENTO REMOTO NA AVALIAÇÃO DE ALTERAÇÕES DOS ESTADOS DINÂMICOS DA PAISAGEM DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO JOÃO

*Use of Remote Sensing in Evaluating Alterations of the Dynamic States of the
Landscape of São João River's Watershed*

Vinicius da Silva Seabra¹ & Carla Bernadete Madureira Cruz²

¹Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ
Faculdade de Formação de Professores – FPP / Departamento de Geografia
Rua Dr. Francisco Portela, 1470 - Patronato, São Gonçalo - Rio de Janeiro, Brasil, 24435-005
vinigeobr@yahoo.com.br

²Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ
Departamento de Geografia
Av. Athos da Silveira, 274 (CCMN), Ilha do Fundão (Cidade Universitária),
CEP 21.949-900, Rio de Janeiro, RJ - Brasil
carlamad@gmail.com

Recebido em 29 de Março, 2013/ Aceito em 13 de Setembro, 2013
Received on March 29, 2013/ Accepted on September 13, 2013

RESUMO

A proposta deste trabalho é realizar, a partir do uso de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, a avaliação das alterações dos estados dinâmicos da paisagem na bacia hidrográfica do rio São João (BHRSJ) em diferentes temporalidades. Para tal, analisamos a radiação solar, a dinâmica de inundação das planícies fluviais e a evolução do uso e cobertura da Terra na BHRSJ, utilizando classificação baseada em objetos sobre imagens Landsat 5 TM e extração automática de informações sobre o MDE Topodata. Todos os processos e fenômenos foram estudados objetivando a representatividade dos fenômenos na escala de 1:100.000. Os resultados obtidos são apresentados através de gráficos, mapas e tabelas. A partir das análises realizadas, pode-se afirmar que a paisagem na BHRSJ possui estados de curta (diária), média (estações do ano) e longa duração (décadas), que devem ser amplamente compreendidos antes que possamos tomar ações voltadas para conservação ou recuperação geossistêmica.

Palavras chaves: Estados da Paisagem, Classificação Baseada em Objetos, Uso e Cobertura da Terra, Geoecologia das Paisagens, Radiação Solar.

ABSTRACT

This work evaluates, through the use of Remote Sensing and GIS, the dynamic states of the landscape of São João river's watershed (BHRSJ), in different time spans. It's analyzed the phenomenon of solar radiation, the flood dynamics of the river's lowland, and the evolution of the land use and land cover at BHRSJ. It's used a classification based on objects with images of Landsat5 TM sensor, and Topodata DEM's information obtained by automatic extraction in GIS. All the processes and phenomena are being represented in a scale of 1:100.000. The obtained results are presented in

this work by many graphics, maps and tables. It's possible to confirm that the landscape in BHRSJ has states of short (daily), medium (season), and long duration (decades), which must be widely understood before we can take actions about geo-systemic conservation or recuperation.

Keywords: Landscape States; Object-based Classification; Land use and Coverage; Geoecology of Landscape; Solar Radiation.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Rodriguez (2004) a paisagem é um sistema espaço-temporal, uma organização espacial complexa e aberta, formada pela interação entre componentes ou elementos físicos (estrutura geológica, relevo, clima, solos, águas superficiais e subterrâneas, vegetação e fauna) que podem, em diferentes graus, serem transformados ou modificados pelas atividades humanas. Sendo assim, o autor considera como estudo da paisagem, o conjunto de métodos e procedimentos técnicos e analíticos, que permitem conhecer e explicar as regularidades da estrutura e funcionamento das unidades de paisagem. Inclui ainda o estudo de suas propriedades e determinação dos índices e parâmetros sobre a dinâmica, a história do desenvolvimento, os estados, os processos de formação e transformação, assim como os aspectos relacionados com a autoregulação e integração das mesmas.

As propriedades dos geossistemas são aquelas que os caracterizam, que os individualizam, e que representam seu comportamento diante de pressões que sofrem ou possam vir a sofrer. São consideradas: 1- Gênese; 2- Funcionamento; 3- Estrutura; 4- Estado; 5- Estabilidade; 6- Autoregulação; 7- Capacidade Adaptativa; 8- Resistência e 9- Resiliência.

O estado da paisagem é definido pelas características de sua estrutura e funcionamento, em um dado momento. Em diferentes intervalos de tempo e por ação de agentes externos ou internos ao sistema, o estado de uma paisagem poderá se modificar de distintas maneiras. Estas mudanças podem ser caracterizadas a partir do intervalo de tempo em que ocorrem, sendo classificadas como estados de curta, média ou longa duração (RODRIGUEZ, 2007).

Destacamos ainda que, consideraremos em nossas análises, os estados dinâmicos ou funcionais da paisagem, caracterizados pela periodicidade e reversibilidade provocadas como

consequência do conjunto de processos que ocorrem no interior das paisagens e em partes da autorregulação. Neste contexto, conceitua-se a autorregulação como propriedade da paisagem de conservar em determinado nível, no seu processo de funcionamento, o regime e o caráter das relações entre os seus componentes.

Trataremos a questão a partir de um enfoque rítmico, sistêmico e integrado. Os estados de paisagem serão analisados a partir de suas mudanças em diferentes escalas de tempo, e não apenas de forma qualitativa. Os estados da paisagem, nesta proposta, não representam a qualidade do geossistema em um dado momento do tempo (ex: Estado crítico, bom estado, péssimo estado) e sim a sua organização interna e funcionamento em diferentes momentos no tempo.

As mudanças do estado da paisagem podem ocorrer ao longo de um único dia, em áreas, por exemplo, sobre constante efeito da maré (estados de curta duração); em períodos sazonais, como o caso das mudanças observadas da estação úmida para a estação seca (estados de média duração); ou até mesmo ao longo de centenas de anos, como as mudanças geológicas ou climáticas (estados de longa duração) (RODRIGUEZ, 2007).

O Sensoriamento Remoto (SR) é de fundamental importância para a detecção de tais mudanças, independente da escala e do prazo com que ocorrem. A disponibilidade atual de sensores, com resoluções bastante variadas, tem ampliado o potencial de percepção das variações espaço-temporais de diferentes magnitudes na paisagem. O grande desafio atual consiste em se ampliar o conhecimento sobre o comportamento de eventos, de forma a que os mapeamentos gerados possam refletir a dinâmica da paisagem com o máximo de fidelidade possível. Desta forma, investimentos na modelagem do conhecimento associada ao uso de classificadores de maior complexidade, como os baseados em objeto, tem sido foco de muitas frentes.

Avaliar os estados da paisagem configura-se como uma tarefa muito relevante para estudos voltados para a recuperação florestal, ordenamento territorial, zoneamentos ecológico-econômicos, dentre outros. Esta necessidade se faz ainda mais presente em áreas onde as mudanças de estado ocorrem com maior intensidade, alterando de forma muito profunda a configuração e funcionamento dos geossistemas. A bacia hidrográfica do rio São João (BHRSJ) é uma das áreas do estado do Rio de Janeiro que apresenta elevado dinamismo, possuindo ainda uma grande diversidade de ambientes e ecossistemas.

Além disso, a escolha da BHRSJ como área de estudo deve-se a sua grande importância estratégica para o Estado do Rio de Janeiro, sendo uma das principais fontes de abastecimento de água para a região e para as baixadas litorâneas, além de também possuir um alto grau de endemismo de espécies. É importante ressaltar ainda que na BHRSJ encontra-se grande parte dos últimos remanescentes de Mata Atlântica em áreas de baixada no estado do Rio de Janeiro, com vegetações em diferentes estágios sucessionais e evolutivos. A BHRSJ localiza-se dentro do contexto da Mata Atlântica, situada entre o corredor da Serra do Mar e o litoral atlântico. Esta bacia posiciona-se a oeste da Bacia Hidrográfica da Baía da Guanabara, estando quase que em sua totalidade na Região das Baixadas Litorâneas do Estado do Rio de Janeiro (Figura1). Segundo o Consórcio Intermunicipal Lagos São João (CILSJ, 2007) a BHRSJ estende-se por 63 km no sentido leste-oeste e por 43 km no sentido norte-sul, possuindo uma área total de 2.160 km².

Este trabalho teve como objetivo a avaliação de mudanças de estado da paisagem na BHRSJ, classificando estas mudanças como de curta (diário), média (estacional) e longa duração (décadas). Para tal, foram analisados o fenômenos da radiação solar, a dinâmica de inundação das planícies fluviais e a evolução do uso e cobertura da Terra na BHRSJ. Todos os processos e fenômenos foram estudados em escala de 1:100.000 e baseados em produtos

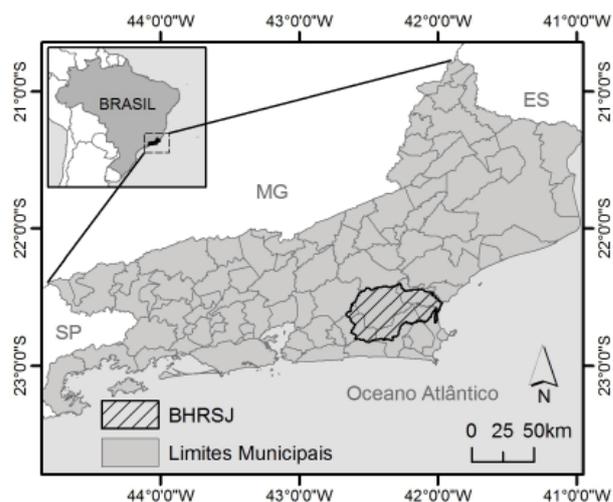


Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do rio São João (BHRSJ).

oriundos do SR.

2. ANÁLISE DAS MUDANÇAS DOS ESTADOS DE CURTA DURAÇÃO (ECD): O EXEMPLO DA RADIAÇÃO SOLAR NA BHRSJ

A radiação solar é o principal modo de propagação de energia do Sistema Superfície-Atmosfera, que representa as interações responsáveis pelos fluxos de matéria e energia que ocorrem entre a superfície da Terra e a baixa atmosfera. Esta radiação corresponde à emissão de energia sob forma de ondas eletromagnéticas que se propagam à velocidade da luz. No sistema Superfície-Atmosfera, que se configura em um sistema aberto, a radiação proveniente do Sol é o *input* do sistema (entrada de energia) e os processos de emissão, reflexão, transmissão e absorção são os responsáveis pelos fluxos que se efetuam entre a superfície e atmosfera (MENDONÇA & DANNI-OLIVEIRA, 2007).

A radiação solar total que penetra nessa atmosfera representa um fluxo anual de energia de 13.10²⁰ KWh. No entanto, aproximadamente um terço deste fluxo, principalmente os raios ultravioletas e infravermelhos curtos, é refletido por nuvens, poeiras e outras substâncias presentes na atmosfera. Outra parte significativa desta energia é absorvida em diferentes camadas da atmosfera (BARBAULT, 2011).

Segundo BARBAULT (2011) a energia

restante que chega a superfície terrestre, ou seja, cerca de 50% da energia total que chega no nosso planeta, causam o aquecimento do ar, do solo e das águas. Esta ação calorífera age na vaporização da água presente em nossa superfície, seja por evaporação ou por transpiração dos vegetais, atuando também como mantenedora de processos atmosféricos, oceânicos e etc.

A emissão de radiação é um processo muito dinâmico, possuindo alterações contínuas de intensidade em diferentes temporalidades, com grandes mudanças ao longo de um único dia e entre os diferentes dias do ano. Desta maneira considera-se importante analisar este processo, já que o mesmo promove significativas mudanças na paisagem em breves intervalos, formando com isso diferentes estados da paisagem de curta duração.

O cálculo da intensidade da radiação solar, assim como a análise de suas mudanças ao longo de um único dia, relaciona-se diretamente com a definição do grau de umedecimento de diferentes ambientes terrestres (KEIDEL et al., 2011), que representa a capacidade com que os geossistemas têm de reter água em seus diferentes componentes (solos, vegetação, fraturas, baixa atmosfera etc.). Sendo assim, podemos considerar que a radiação solar, e sua influência direta no grau de umedecimento, é um fator ambiental relevante para estudos voltados para o planejamento, gestão e recuperação dos ecossistemas.

Como o presente estudo foca uma abordagem em mesoescala (1:100.000), considerou-se a utilização do modelo digital de elevação MDE Topodata (VALERIANO, 2005), que é fruto de uma interpolação de dados do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), para a obtenção da Radiação Solar Global. Os resultados obtidos por este modelo, segundo BARROS (2006), atende em precisão e acurácia, a geração de subprodutos na escala proposta para esta pesquisa.

A Radiação Solar Global foi expressa em valores de Watt/horas por metro quadrado (Wh/m^2). Estes valores indicam a incidência de energia solar por área, e servem como uma importante variável para a definição da umidade (ou aridez) das diferentes regiões da BHRSJ. O cálculo da Radiação Solar Global ($\text{Global}_{\text{tot}}$) foi

obtido a partir da soma da Radiação Solar Direta (Dir_{tot}) e da Radiação Difusa (Dif_{tot}):

$$\text{Global}_{\text{tot}} = \text{Dir}_{\text{tot}} + \text{Dif}_{\text{tot}}$$

A Radiação Solar Direta, para a BHRSJ, foi mensurada a partir do seguinte modelo, fornecido pela função *Solar Radiation*, do software ArcGis 9.x:

$$\text{Dir}_{\theta,\alpha} = S_{\text{Const}} * \beta^{\text{m}(\theta)} * \text{SunDur}_{\theta,\alpha} * \text{SunGap}_{\theta,\alpha} * \cos(\text{AngIn}_{\theta,\alpha}), \text{ sendo:}$$

S_{Const} - Constante Solar
 $\beta^{\text{m}(\theta)}$ - Transmissividade da atmosfera (média de todos os comprimentos de onda), considerando a altitude e o ângulo zenital. Representados pela seguinte equação:

$$\text{EXP}(-0.000118 * \text{Elev} - 1.638 * 10^{-9} * \text{Elev}^2) / \cos(\theta), \text{ onde:}$$

θ - Ângulo Zenital (obtido pelo valores de latitude e dia do ano)

Elev - Elevação do terreno em relação ao nível do mar (obtido pelo MDE Topodata).

$\text{SunDur}_{\theta,\alpha}$ - Tempo de insolação para o setor (*sky sector*) mapeado.

$\text{SunGap}_{\theta,\alpha}$ - A fração de área que receberá insolação (*Gap Fraction*) para o setor (*sky sector*) mapeado.

$$\text{AngIn}_{\theta,\alpha} = \text{acos}(\text{Cos}(\theta) * \text{Cos}(Gz) + \text{Sin}(\theta) * \text{Sin}(Gz) * \text{Cos}(\alpha - Ga)), \text{ onde:}$$

Gz - Superfície do ângulo Zenital

Ga - Superfície do ângulo Azimutal

É importante ressaltar que a metodologia empregada subdivide o hemisfério em uma série de setores (*sky sectors*), a partir de ângulos azimutais e do zênite, criando assim o mapa de setores (*skymap*). Cada setor possui diferentes valores para algumas variáveis, considerando assim as particularidades existentes (ex: tempo de insolação) destas áreas para o cálculo de radiação solar (Figura 2).

Já a Radiação Difusa foi calculada a partir das seguintes equações:

$$\text{Dif}_{\theta,\alpha} = R_{\text{glb}} * P_{\text{dif}} * \text{Dur} * \text{SkyGap}_{\theta,\alpha} * \text{Weight}_{\theta,\alpha} * \cos(\text{AngIn}_{\theta,\alpha}), \text{ onde:}$$

R_{glb} - Radiação Global Normal, calculada a partir da seguinte equação:

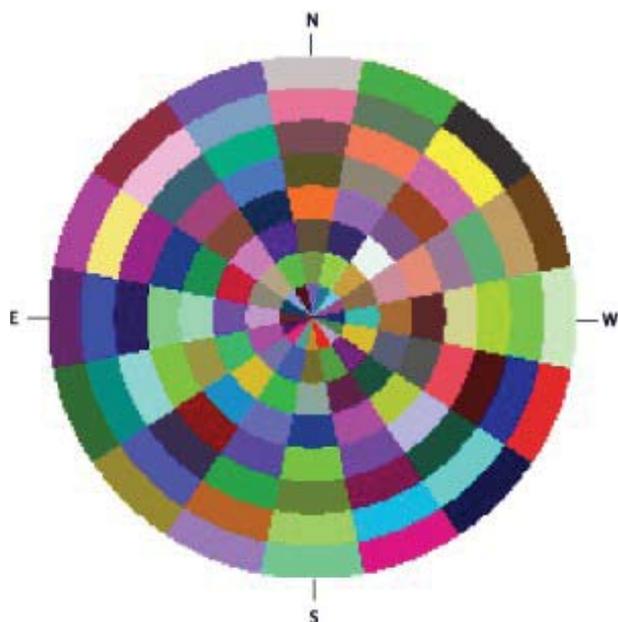


Figura 2 - Skymap. Fonte: (FU & RICH, 2000).

$$R_{\text{glb}} = (S_{\text{Const}} \sum(\beta^{m(\theta)})) / (1 - P_{\text{dif}})$$

P_{dif} - Corresponde a proporção do fluxo global de radiação normal que é difuso. Normalmente, é cerca de 0,2 para céu claro e 0,7 para condições de céu muito nublado.

Dur - Intervalo de tempo das análises.

SkyGap $_{\theta,\alpha}$ — Proporção de céu visível para o setor (*sky sector*) analisado.

$$\text{Weight}_{\theta,\alpha} = (\cos\theta_2 - \cos\theta_1) / \text{Div}_{\text{azi}}$$

onde:

θ_1 and θ_2 — Ângulos zenitais limítrofes do setor (*sky sector*) mapeado.

Div_{azi} — Número de divisões azimutais no que a área tem no *skymap*.

AngIn $_{\theta,\alpha}$ — O ângulo de incidência entre o setor mapeado e a superfície de interceptação.

Por fim, a radiação difusa total é calculada a partir da soma da radiação em todos os setores mapeados:

$$\text{Dif}_{\text{tot}} = \sum \text{Dif}_{\theta,\alpha}$$

Os modelos utilizados no cálculo da radiação solar para a BHR SJ, e disponíveis no software utilizado, baseou-se nos trabalhos de Rich et al. (Rich 1990, Rich et al. 1994) e Fu and Rich (2000, 2002), que são importantes referências para maiores esclarecimentos sobre

as equações e variáveis empregadas.

Para cada um dos dias considerados neste trabalho (equinócios e solstícios), em seus diferentes períodos do dia (matutino e vespertino), foi calculada a Radiação Global, ou seja, a soma da radiação difusa (que representa a insolação que chega a Terra após sofrer difusão por nuvens e pela atmosfera) com a radiação direta. Para o período chamado de matutino foi calculada a insolação entre as 0 e 12h, e para o período considerado vespertino, consideramos a insolação compreendida entre 12 e 24h de cada dia.

As variações sazonais ou diárias da radiação solar produzem impactos diretos no grau de umedecimento e nas mudanças na temperatura local, regulando com isso a disponibilidade de água no sistema (serrapilheira, solos, folhas, etc.). Sendo assim, pode-se afirmar que estas alterações proporcionam mudanças na estrutura florestal, influenciam os deslocamentos da fauna e ainda promovem alterações na ciclagem e disponibilidade de nutrientes, em todo geossistema.

Podemos observar a partir do mapa de variação diária da radiação solar na BHR SJ (Figura 3) que, em um dia típico, as encostas voltadas para o norte recebem maior radiação solar no período da tarde (após o meio-dia), o que coincide com o momento do dia em que, segundo o gráfico de Christopherson (2012), alcançamos os maiores valores de temperatura do ar (Figura 4). Podemos considerar que nestas áreas criam-se condições com menores teores de umedecimento e maiores perdas de água por evapotranspiração.

Nas áreas onde temos a ocorrência de grandes amplitudes e médias diárias totais nos valores de radiação solar (Figs. 5 e 6), e por consequência uma maior variação diária nos valores de temperatura local, estima-se que seja maior a exigência de adaptação das espécies vegetais que ali tenham se fixado. Desta maneira, pode-se afirmar também, que o cálculo da radiação solar é ainda um importante fator biogeográfico a ser considerado, tanto em ações voltadas para a recuperação de áreas degradadas, como em estudos de análise da paisagem.

3. ANÁLISE DAS MUDANÇAS DOS ESTADOS DE MÉDIA DURAÇÃO (EMD): O MAPEAMENTO DA DINÂMICA DE INUNDAÇÃO DAS PLANÍCIES DA BHRSJ

A classificação digital é uma das funções prioritárias do processamento de imagens de sensoriamento remoto. A maior parte dos mapeamentos temáticos, dentre eles o de Cobertura e Uso da Terra, é embasada em alguma forma de interpretação de fotografias e/ou imagens, sejam provenientes de sensores passivos ou ativos. Esse processo pode ser totalmente visual, o que demanda muito tempo de execução e cuidados com a padronização/

uniformização de critérios; automático, bastante questionado pela baixa acurácia dos resultados; ou ainda, semiautomático, que busca agregar vantagens dos dois processos anteriores, dando um espaço significativo para a etapa de edição manual (CRUZ *et. al.*, 2009).

Para a realização das análises dos EMD da paisagem, foram utilizadas quatro imagens Landsat 5 TM (04/2008; 04/2009; 09/2010; 07/2011) e o MDE Topodata (VALERIANO, 2008) para extração da amplitude do relevo e declividade. A utilização de quatro imagens diferentes justifica-se na tentativa de modelarmos as mudanças da paisagem em diferentes estações (úmidas e secas) em distintos anos. A abordagem

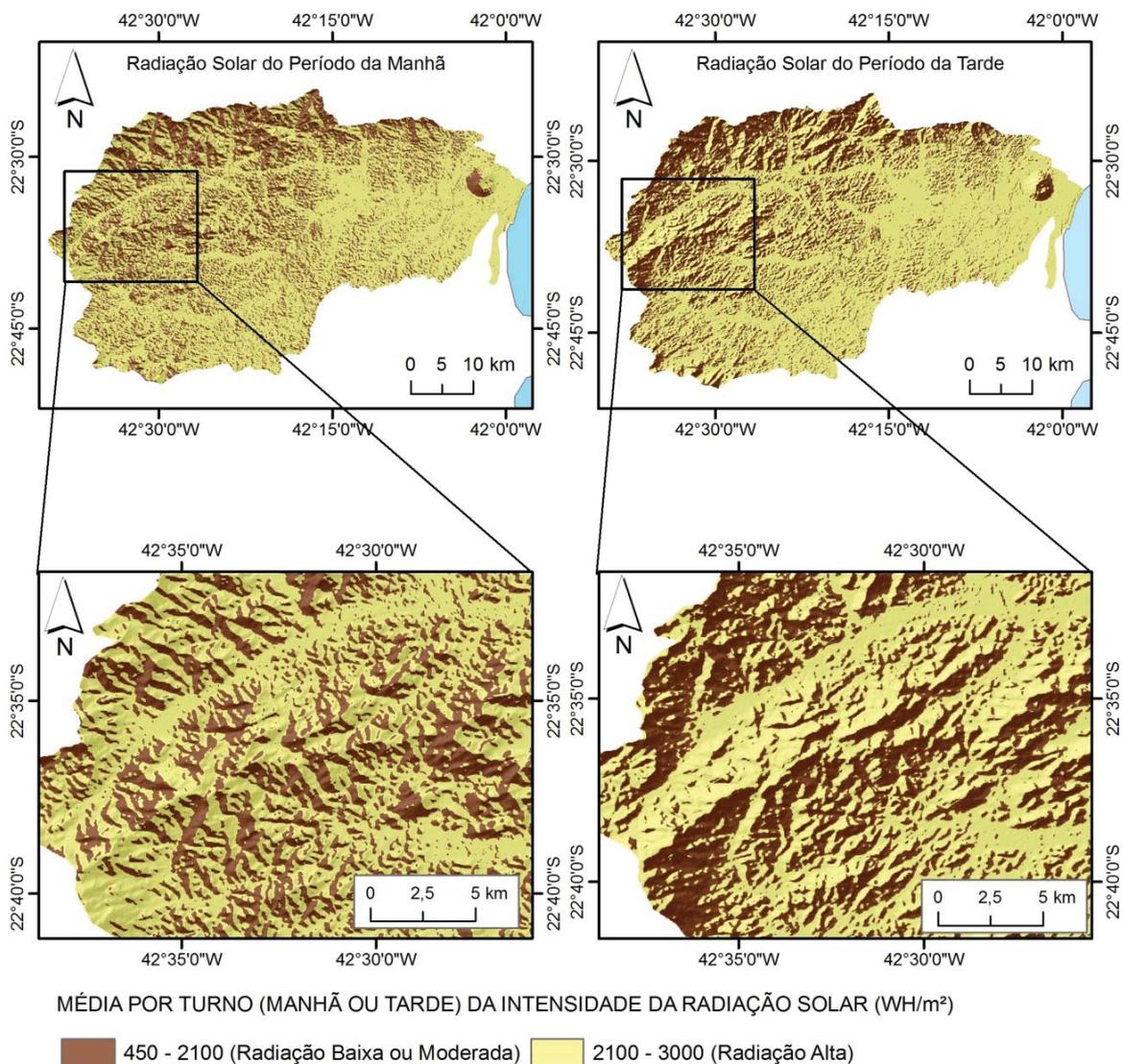


Figura 3 - Média da Radiação solar para os períodos da manhã e tarde na BHRSJ. Todos os mapas de radiação solar foram construídos com percentual de transparência de 15%, fazendo uso de uma imagem sombreada ao fundo (315° de azimute e 45° de inclinação). Qualquer pequena diferença nos tons das cores (mais fortes ou mais claros) da legenda indicam um maior ou menor sombreamento, o que aumenta a percepção do relevo, atendendo melhor a interpretação dos resultados.

de mapeamento adotada considerou a análise de imagens baseada em objetos geográficos (GEOBIA) através do sistema Definiens 7.0 e o uso de mineração de dados (software livre neozelandês Weka) no apoio a seleção de descritores e regras de classificação hierárquica. Diferentemente dos métodos de classificação tradicionais, a GEOBIA possibilita o uso de diferentes atributos dos objetos para sua diferenciação e classificação, não se limitando às cores e tons. Desta forma, passa a ser possível integrar no processo de classificação dados de outras origens (não só as imagens), determinar limiares *fuzzy* (não só booleanos), hierarquizar geometrias e itens de legenda, entre outros.

O GEOBIA utiliza os polígonos gerados na segmentação para definição dos objetos de imagem a partir de um conjunto de dados; no presente caso, as bandas das 4 datas de imageamento Landsat 5. As características espectrais relacionadas à 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 baseada em objetos geográficos 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.

Reis (2009) destaca ainda que a classificação baseada em objetos veio para suprir os tradicionais classificadores que tinham como base apenas os atributos espectrais, que não permitiam o uso de dados de diferentes resoluções e que não tratavam as classes de forma individualizada.

A GEOBIA ainda se diferencia das demais técnicas por apresentar a possibilidade de se realizar multissegmentações, gerando níveis hierarquizados, incluindo ainda aspectos de multirresolução. Esse processo de classificação considera muitos tipos de descritores, tratando-os como parâmetros caracterizadores dos objetos, tais como: cor, textura, tamanho, forma, padrão, localização, contexto, etc. Portanto, a inserção destes elementos, ou seja, do conhecimento do intérprete no processo, consiste

em uma alternativa para a distinção de alvos que espectralmente apresentam dificuldades de serem mapeados. A caracterização dos objetos da imagem não pode limitar-se apenas a atributos espectrais, pois estes, muitas vezes, não conseguem delimitar objetos complexos (DEFINIENS, 2010).

Para a determinação dos EMDs, no presente estudo de caso, foram classificadas em um único projeto as 4 cenas Landsat 5 TM (04/2008; 04/2009; 09/2010; 07/2011), que foram adquiridas no catálogo de imagens do INPE, selecionadas segundo critérios de ausência de nuvens na área de interesse (Figura 7). O objetivo inicial era buscar 4 imagens dos anos de 2010 e 2011, sendo duas do período de inundação das planícies fluviais (março/abril) e duas do período de maior estiagem (julho/agosto/setembro). No entanto, a indisponibilidade de imagens sem nuvens no período úmido nos anos de 2010 e 2011 fez com que fossem utilizadas imagens de anos anteriores (2008 e 2009).

As imagens Landsat 5 TM selecionadas foram georreferenciadas no software Spring 5.2.1, onde buscou-se um RMS inferior a 0,8 pixels (24m), e um ajuste (deslocamento) entre as 4 imagens inferior a 50m. Os dados hipsométricos obtidos junto ao Topodata (VALERIANO, 2008) foram manipulados no ArcGIS 9.3. Além do cálculo de declividade, o MDE Topodata permitiu ainda a geração da grade de amplitude do relevo. Para o cálculo da amplitude do relevo foram traçadas as bacias

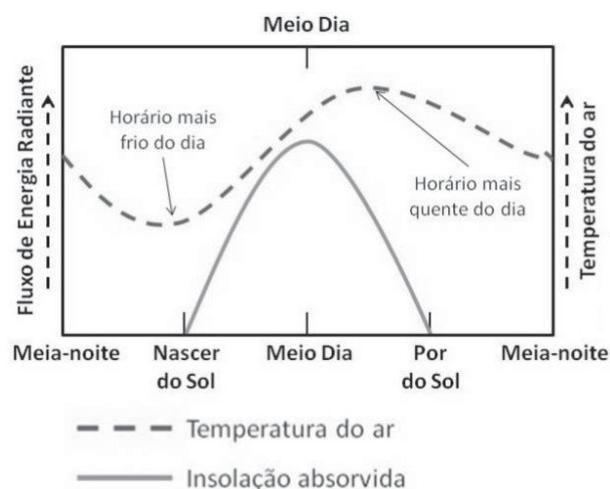


Figura 4 - Variação diária de temperatura do ar e radiação solar ao longo de um dia típico. Adaptado de Christopherson (2012).

hidrográficas contribuintes do Rio São João, considerando preferencialmente os limites das bacias de terceira ordem e, em seguida, dos rios contribuintes para os rios principais. Para cada uma destas bacias foram calculados os respectivos níveis de base, que foram então definidos a partir da confluência de rios de 3º ordem, ou da cota altimétrica da foz dos rios de menor ordem. Com estes limites hidrográficos e com os valores de altitude absoluta, tornou-se possível o cálculo do nível de base para cada sub-bacia e posteriormente o cálculo da amplitude do relevo em cada ponto.

Em seguida foi elaborado o projeto de classificação no software DEFINIENS 7.0, onde foram adicionados como descritores as bandas espectrais que classicamente definem a

assinatura dos alvos (todas, exceto a pancromática e o infravermelho termal) das imagens georreferenciadas e grades de declividade e amplitude do relevo. A segmentação adotada utilizou o parâmetro de escala 12, (parâmetro de cor/forma 0,8 e suavidade/compacidade 0,2), com pesos iguais para todas as bandas. Essa escolha baseou-se em vários testes e reflete o resultado que melhor delimitou os alvos associados à legenda e escala de interesse.

Baseando-se no conhecimento da área de estudo, e da observação dos descritores incluídos no projeto de classificação, foram criadas as seguintes classes temáticas dos estados de médio prazo da paisagem na BHRSJ:

Corpos Hídricos - Massas d'água permanentes, com maior destaque para a represa de Juturnaíba.

Áreas Urbanas - Áreas com ocupações humanas de baixa, média ou alta densidade.

Florestas - Áreas florestadas em terrenos que não sofrem influência das inundações sazonais.

Áreas Inundáveis - Terrenos que inundam periodicamente ao longo do ano, com formação de corpos d'água temporários e desprovidos de vegetação (gramíneas).

Florestas em Áreas Inundáveis - Áreas florestadas em terrenos que inundam em boa parte do ano.

Brejos ou Alagados - Terrenos inundados permanentemente ao longo do ano.

Várzeas - Baixadas úmidas que acompanham os grandes leitos dos rios. Normalmente são ocupadas por gramíneas e inundáveis no período úmido.

Áreas não inundáveis - Terrenos não florestados que não sofrem influência das inundações sazonais.

Dentre as classes mapeadas, são consideradas sem mudanças significativas de estado da paisagem a médio prazo, as classes corpos hídricos, áreas urbanas, brejos ou alagados, florestas e áreas não inundáveis. Por outro lado, podemos afirmar que as áreas mapeadas como áreas inundáveis, florestas em áreas inundáveis e várzeas, apresentam dois estados da paisagem ao longo de um mesmo ano.

Após a segmentação e escolha das classes temáticas do mapeamento, foi realizada a etapa

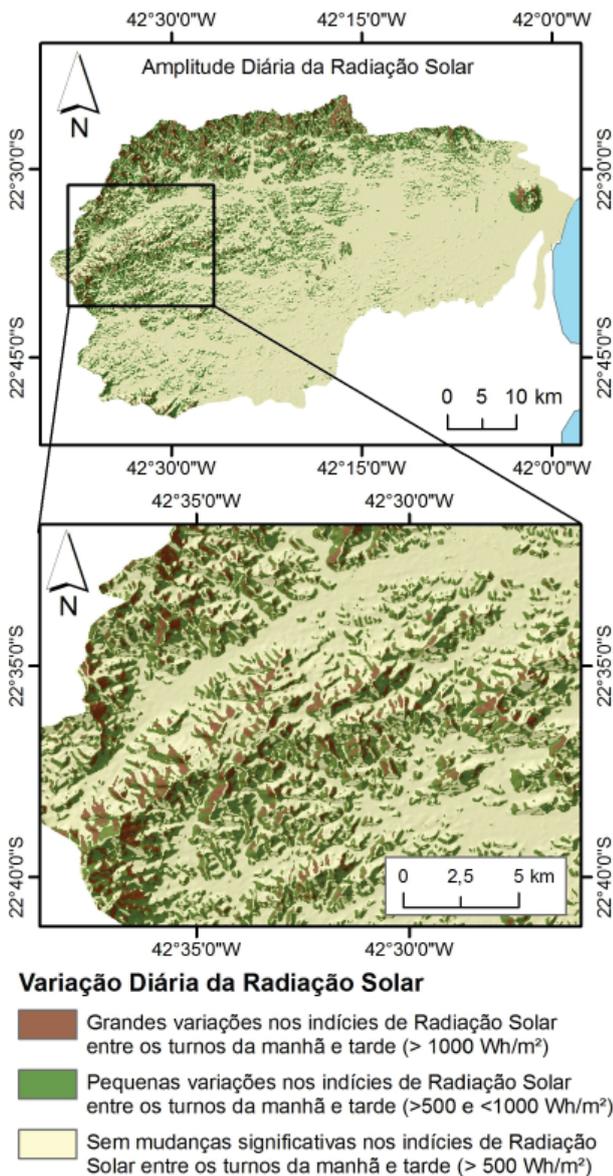


Figura 5. Amplitude diária da radiação solar

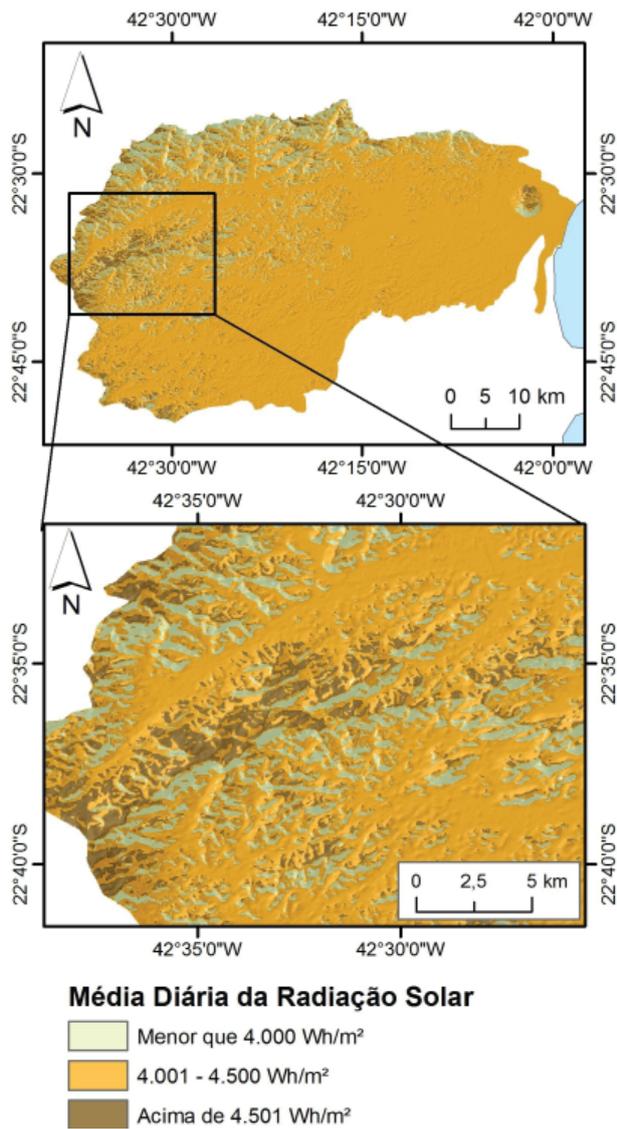


Figura 6 - Média Diária da Radiação Solar.

de amostragem. Para cada classe temática foram escolhidas de 10 a 14 amostras distribuídas dentro da área de estudo. As amostras foram exportadas em formato de tabela (.CSV) com a quantificação de todos os descritores (referentes às 4 datas) escolhidos para classificação (médias e desvio padrão das bandas, NDVI, brilho, amplitude do relevo e declividade). A tabela de atributos com os valores dos descritores para cada amostra escolhida foi importada e manipulada no *software* WEKA, onde foi realizada a mineração de dados e a indicação de uma árvore de decisão para a classificação das classes identificadas. Atualmente, tem-se incorporado os mineradores de dados na etapa de seleção dos melhores descritores para a classificação, dado que o conhecimento prévio exigido para tal ainda é considerado incipiente.

Os resultados encontrados através da

mineração de dados auxiliaram as etapas de modelagem e classificação, na medida em que sugeriram, em diversas situações, os melhores descritores para a separação das classes temáticas, acelerando assim, o processo de modelagem. Alguns descritores, não sugeridos pela mineração de dados foram acrescentados na modelagem, uma vez que em muitos casos apenas um descritor não foi capaz de discriminar com êxito algumas classes. Além disso, em todas as situações foram utilizados modelos de exclusão (NOT) para separação dos principais grupos de classes temáticas. Os limiares indicados para os descritores selecionados pelo WEKA sofreram poucas alterações.

Outra modificação implementada junto à classificação sugerida pela mineração de dados foi o desmembramento da árvore de decisão na classificação das classes de “Áreas Urbanas, Brejos”. Esta separação tornou-se necessária,

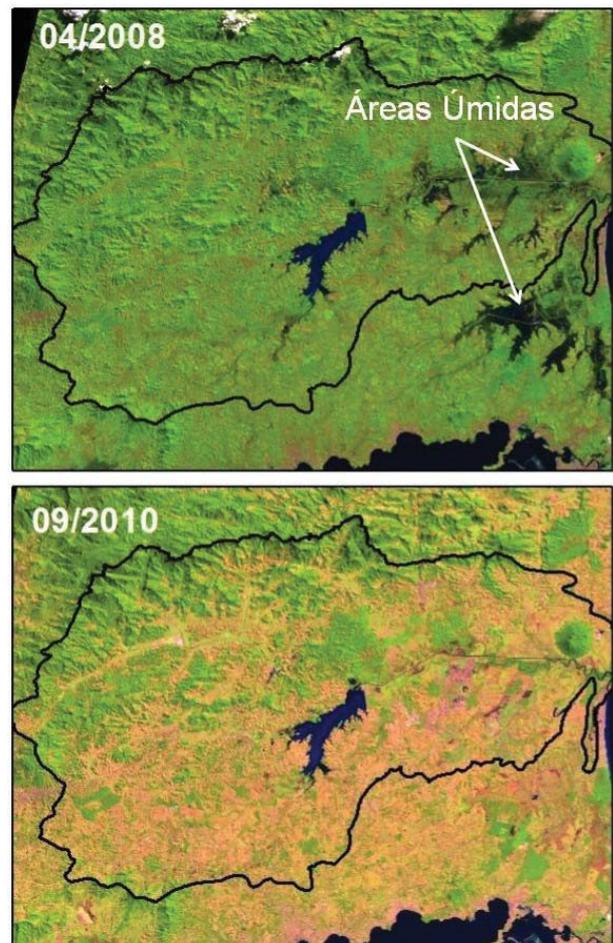


Figura 7 - Exemplo de cenas das Imagens Landsat 5 TM utilizadas para classificação (04/2008-período úmido; 09/2010-período seco).

pois estas classes estariam organizadas em um mesmo *cluster*, dificultando o processo de classificação. A origem deste problema está relacionada à construção da árvore de decisão a partir do WEKA, que é realizada de forma binária, e que não inclui, dentro de um mesmo *cluster*, mais de duas classes temáticas.

A partir da árvore de classificação dos estados de paisagem na BHRSJ (Figura 8), podemos observar como se deu o processo de classificação a partir da mineração de dados e da classificação baseada em objetos geográficos. No gráfico, podemos reconhecer as etapas onde foram adotados os descritores sugeridos pela mineração de dados e os momentos em que a escolha baseou-se na análise e modelagem das respostas encontradas com a amostragem.

Os resultados demonstram que aproximadamente 30% de toda superfície da BHRSJ constitui-se por usos e coberturas que apresentam mais de um estado da paisagem, em médio prazo, durante o ano (Figura 9). Destas, as várzeas são as coberturas predominantes, cobrindo uma área de 402 km² que representam 19% de toda a bacia. As florestas em áreas que não estão sujeitas à inundação são as coberturas sem mudanças de estado que apresentam maior representatividade dentro da bacia, com uma área de 604 km², totalizando 28% de cobertura em toda bacia.

As florestas em áreas inundáveis são encontradas, sobretudo na reserva biológica de Poço das Antas, na região central da BHRSJ. A ocorrência de florestas inundáveis e não inundáveis nesta unidade de conservação faz com que a delimitação dos estados de paisagem seja imprescindível para projetos de recuperação florestal neste local, já que a escolha de áreas inundáveis a serem recuperadas deverão considerar o uso de manejo e espécies adaptados às condições de inundação (hidromorfismo) em pelo menos 2 meses do ano.

Estes resultados também servem como importantes instrumentos para a gestão pública, sobretudo no planejamento ou ordenamento territorial, uma vez que a ocupação de algumas áreas, seja para uso urbano ou agrícola, deverão também levar em consideração as mudanças de paisagem, em médio prazo, identificadas na bacia. O mapa de estados de paisagem pode fornecer subsídios para outras importantes

análises, tais como: análises de risco, aptidão agrícola, vulnerabilidade e outros.

Cabe ressaltar que ainda estão sendo elaboradas formas de avaliação do mapeamento obtido através de levantamento de campo.

4. ANÁLISE DAS MUDANÇAS DOS ESTADOS DE LONGA DURAÇÃO (ELD): O MAPA DE EVOLUÇÃO DO USO E COBERTURA DA TERRA NA BHRSJ

Para a determinação dos ELD foram elaborados os mapas de Uso e Cobertura da Terra para os anos de 1975, 1985, 1995 e 2010 (figs. 10 e 11), gerados a partir de classificação baseada em objetos geográficos no *software Definiens®* com o uso das bandas do visível e infravermelho do sensores MSS (Landsat 4) para a cena de 1975 e TM (Landsat 5) para os demais anos (1985, 1995 e 2010). Para os processos de modelagem e classificação foram ainda utilizados os mapas de paisagem gerados no âmbito deste trabalho. Os mapas de paisagem foram úteis para classificarmos as áreas de mangue, áreas úmidas, cordões arenosos e corpos hídricos. No entanto, os principais descritores utilizados para a classificação foram os valores das médias espectrais dos alvos (segmentos) nas diferentes bandas e seus respectivos desvios padrão.

A classificação da imagem Landsat MSS (1975) ofereceu maiores obstáculos para a geração do mapa temático de Uso e Cobertura da Terra, para a escala pretendida (1:100.000), justamente em razão das diferenças existentes entre as imagens produzidas por este sensor (resoluções espacial e espectral) e as demais imagens utilizadas no trabalho (Landsat TM). As dificuldades encontradas no processamento da imagem Landsat MSS, para atender o mapeamento em escala 1:100.000, foram desde o georreferenciamento até a sua classificação e edição final. A definição das classes, assim como a escolha das amostras que representariam cada uma destas classes, baseou-se nos dados adquiridos em trabalho de campo. Com utilização de GPS de navegação, câmeras fotográficas e observações de campo, pôde-se avaliar a distribuição dos diferentes usos na área de estudo, assim como a sua abundância na área a ser mapeada.

A partir do mapa de Uso e Cobertura da Terra para 1975, podemos perceber que a maior

das áreas com coberturas naturais, fato mais facilmente detectado em regiões próximas a desembocadura da bacia.

Além da progressiva redução dos fragmentos florestais, a classificação da imagem Landsat TM para o ano de 1995 indica um significativo aumento da ocupação urbana, sobretudo na estreita faixa costeira da bacia. Também podemos perceber claramente, mais uma vez, a redução das áreas úmidas e dos mangues, presentes no baixo curso do rio São João. Tem-se também o aumento do espelho d'água da represa de Juturnaíba em detrimento das áreas úmidas que existiam nos vales dos rios Bacaxá e Capivari.

É ainda relevante chamarmos atenção para o surgimento de extensas áreas de cultivo de cana-de-açúcar na porção sudeste da bacia, próximas à margem direita do baixo São João. Nos mapas dos próximos anos estes cultivos reaparecem, alternando em alguns períodos para pastagens ou áreas alagadas.

Os resultados obtidos com a classificação de Cobertura e Uso da Terra para 2010 exibe um representativo crescimento e intensificação da ocupação urbana nas localidades de Barra de São João e Tamoios, sobretudo na planície costeira. Além disso, podemos perceber a recuperação de algumas pequenas áreas de pastagem ou de vegetação secundária, sobretudo nas regiões de colinas e da escarpa da Serra do Mar. Ocorre também o crescimento do espelho d'água da represa de Juturnaíba e a consequente redução das áreas úmidas que existiam em seu entorno.

O cálculo das áreas das classes de Cobertura e Uso da Terra comprovam quantitativamente as mudanças percebidas a partir da observação dos mapas temáticos (tabelas 1 e 2). É importante chamar atenção para o crescimento das áreas florestadas entre os anos de 1995 e 2010, o progressivo decréscimo das áreas úmidas desde antes de 1975 e o acentuado aumento das áreas urbanas entre os anos de 1995 e 2010. Para todos os cálculos de área realizados foi utilizada a projeção equivalente cônica de Albers sobre representações vetoriais (*shapes*) em mesoescala (1:100.000), gerados a partir de imagens Landsat 4 MSS (68 m X 83 m) e imagens Landsat 5 TM (30 x 30m).

4.1 Análise da Evolução do Uso e Cobertura da Terra na BHRSJ entre os anos de 1975, 1985, 1995 e 2010

O estudo da evolução do Uso e Cobertura da Terra na BHRSJ entre os anos de 1975, 1985, 1995 e 2010 baseou-se no cruzamento (interseção) dos mapas temáticos digitais gerados. Para a melhor compreensão das mudanças, a legenda do mapa foi reclassificada, em diferentes etapas. Na primeira etapa, as classes cordões arenosos, floresta, mangue, e áreas úmidas, foram reclassificadas para coberturas naturais. Em seguida, as classes pastagem, agricultura e vegetação secundária foram agregadas em uma única classe, chamada de “áreas de agricultura, pastagem ou vegetação secundária”. As classes de ocupação moderada e rarefeita compuseram uma única classe, chamada de ocupação urbana, e as demais classes foram mantidas.

Tabela 1: Quantitativo das classes de Cobertura e Uso da Terra na BHRSJ nos anos de 1975, 1985.

Uso e Cobertura da Terra	1975	%	1985	%
	(km ²)	1975	(km ²)	1985
Agricultura	0,00	0,00	52,80	2,50
Água	41,62	1,97	19,09	0,90
Cordões Arenosos	0,30	0,01	0,38	0,02
Floresta	795,1	37,6	742,98	35,1
Mangue	7,11	0,34	6,91	0,33
Ocupação Moderada	0,00	0,00	0,87	0,04
Ocupação Rarefeita	0,59	0,03	5,31	0,25
Solo Exposto	0,00	0,00	0,40	0,02
Pastagem	998,4	47,2	1.141,4	53,9
Vegetação Secundária	178,04	8,42	115,8	5,47
Áreas Úmidas	94,54	4,47	29,68	1,40
Total	2.116	100	2.116	100

É relevante destacarmos as mudanças relativas às coberturas naturais que quantitativamente decresceram até 1995, apresentando um leve crescimento entre 1995 e 2010. A partir deste processamento, tornou-se possível a análise quantitativa das mudanças

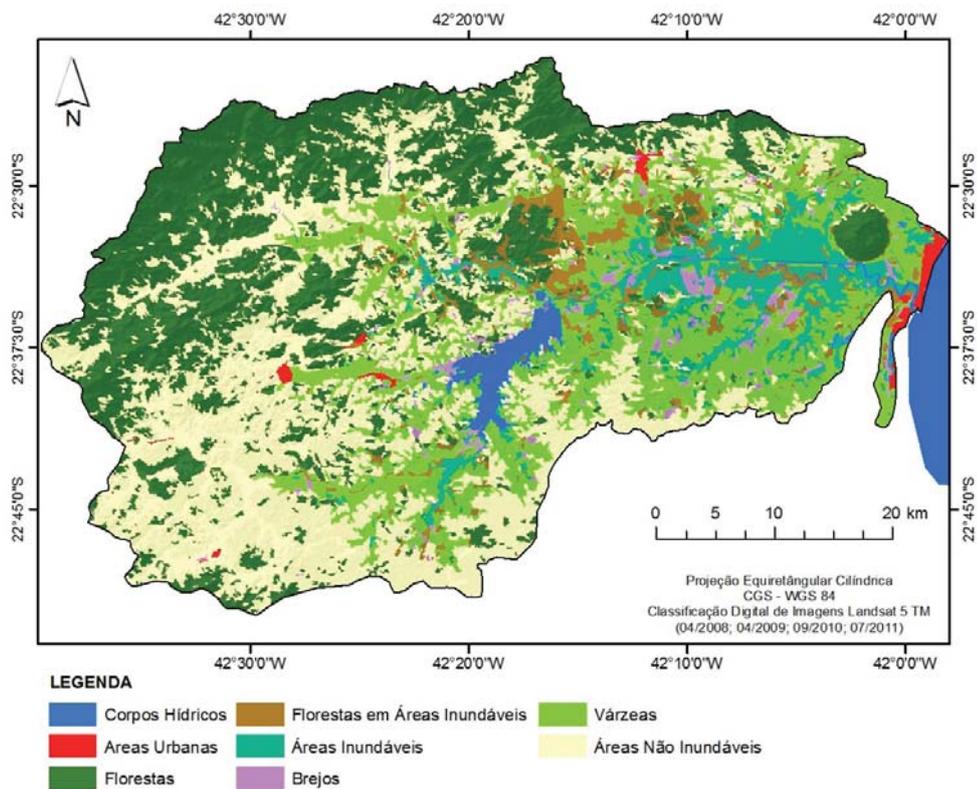
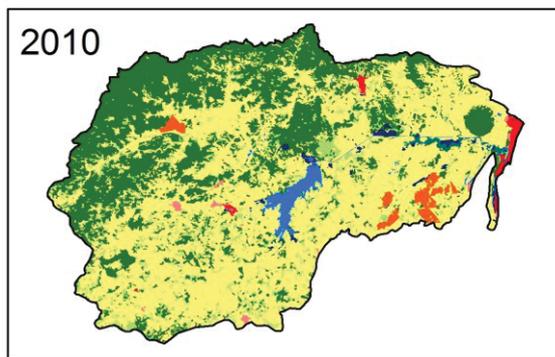
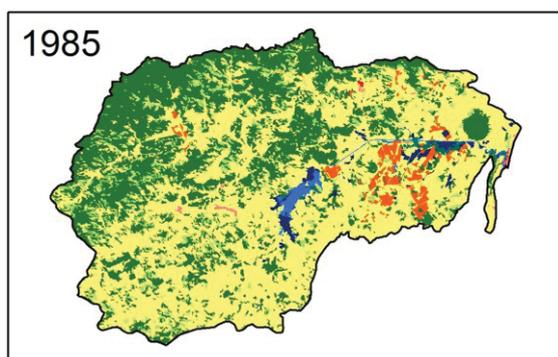
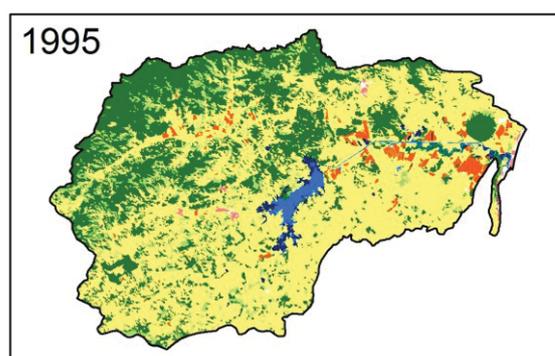
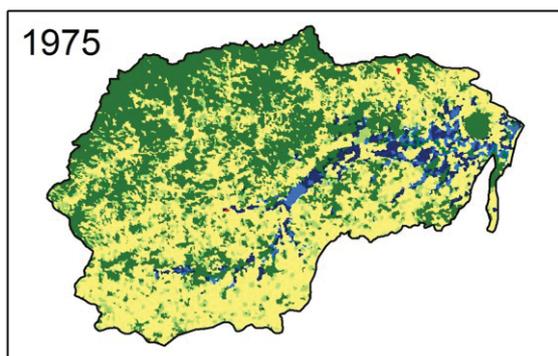


Figura 9 - Mapa de Estados de Paisagem de Médio Prazo da BHRSJ.



Uso e Cobertura da Terra (1975-1985)

- | | |
|--------------|----------------------|
| Água | Vegetação Secundária |
| Áreas Umidas | Pastagem |
| Areia | Agricultura |
| Mangue | Ocupação Rarefeita |
| Floresta | Ocupação Moderada |

Uso e Cobertura da Terra (1995-2010)

- | | |
|--------------|----------------------|
| Água | Vegetação Secundária |
| Áreas Umidas | Pastagem |
| Areia | Agricultura |
| Mangue | Ocupação Rarefeita |
| Floresta | Ocupação Moderada |

Figura 10 - Usos e Cobertura da Terra na BHRSJ para os anos de 1975, 1985.

Figura 11 - Usos e Cobertura da Terra na BHRSJ para os anos de 1995, 2010.

ocorridas em todas as classes temáticas mapeadas para a BHRSJ.

Podemos perceber ainda que as mudanças observadas nas coberturas naturais apresentam fortes correlações com as alterações ocorridas na classe pastagem, agricultura e vegetação secundária. Ou seja, nos anos de decréscimo de coberturas naturais percebemos um aumento na classe Pastagem, agricultura e vegetação secundária”, e vice-versa (Figura 12).

Tabela 2: Quantitativo das classes de Cobertura e Uso da Terra na BHRSJ nos anos de 1995 e 2010.

Uso e Cobertura da Terra	1995 (km ²)	% 1995	2010 (km ²)	% 2010
Agricultura	49,81	2,35	30,40	1,44
Água	28,58	1,35	36,18	1,71
Cordões Arenosos	0,55	0,03	0,32	0,02
Floresta	647,9	30,6	682,97	32,28
Mangue	5,57	0,26	9,20	0,43
Ocupação Moderada	4,52	0,21	15,71	0,74
Ocupação Rarefeita	8,87	0,42	10,91	0,52
Solo Exposto	1,70	0,08	0,30	0,01
Pastagem	1.214	57,4	1.174	55,49
Vegetação Secundária	128,6	6,08	137,12	6,48
Áreas Úmidas	24,70	1,17	18,47	0,87
Total	2.116	100	2.116	100

Quando analisamos os mapas temáticos detalhadamente, podemos verificar que o aumento de coberturas naturais entre 1995 e 2010 é impulsionado principalmente pelo significativo aumento de cobertura florestal na BHRSJ. Curiosamente, percebemos também o crescimento de áreas ocupadas por corpos hídricos, que se justificam pelo aumento da área de espelho d'água da lagoa de Juturnaíba e também pelo surgimento de significativas lagoas na zona costeira e na planície fluvial do Rio São João. Estas lagoas foram artificialmente criadas por atividades de extração de areia.

O crescimento das áreas urbanas na BHRSJ também apresenta-se como uma

importante mudança, principalmente entre os anos de 1995 e 2010. É importante destacar mais uma vez que estas mudanças são mais significativas na planície costeira da BHRSJ, mais precisamente no distrito litorâneo de Barra de São João, pertencente ao município de Casimiro de Abreu. Este forte crescimento está associado, provavelmente, ao crescimento acelerado das cidades vizinhas de Macaé e Cabo Frio, impulsionado pela atividade de exploração de petróleo.

Os dados quantitativos apresentados na tabela 3 permitem a observação e análise de outras significativas mudanças observadas na BHRSJ. Através dos valores de áreas descritos na tabela podemos verificar que aproximadamente 39% de toda a BHRSJ passou por mudanças da Cobertura e Uso da Terra nos últimos 35 anos, e que pelo menos 40% de toda área da bacia já possuía cobertura de pastagens e/ou vegetação secundária antes de 1975. No entanto é relevante destacarmos ainda que 21% de toda bacia possui coberturas naturais remanescentes desde antes de 1975.

A mudança de coberturas naturais para pastagens agricultura e vegetação secundária vem decaindo progressivamente no período analisado, enquanto a regeneração de áreas, ou seja, a mudança de pastagem, agricultura ou vegetação secundária para coberturas naturais sofreu um significativo aumento entre 1995 e 2010. A partir da análise dos resultados podemos observar também que as mudanças mais significativas da Cobertura e Uso da

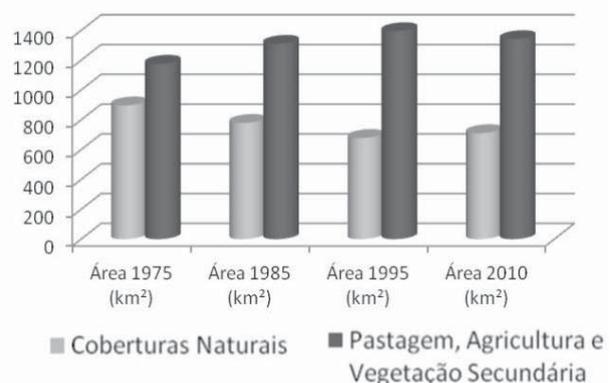


Figura 12 - Mudanças quantitativas das coberturas naturais e áreas de pastagem, agrícolas e de vegetação secundária entre os anos de 1975, 1985, 1995 e 2010.

Terra ocorreram entre os anos de 1975 e 1985, coincidindo com o mesmo período de realização das mais significativas obras de engenharia na BHRSJ.

Tabela 3: Quantificação das mudanças de Uso e Cobertura da Terra entre os anos de 1975 e 2010 na BHRSJ

	Mudanças de Uso e Cobertura da Terra na BHRSJ entre 1975 e 2010	Área km ²
1	CH naturais mantidos até 2010	8,91
2	CH artificiais criados entre 1975 e 2010	27,3
3	CH aterrados entre 1975 e 2010	32,7
4	CN que mudaram para agricultura, pastagem ou VS entre 1975 e 1985	310
5	CN que mudaram para agricultura, pastagem ou VS entre 1985 e 1995	170
6	CN que mudaram para agricultura, pastagem ou VS entre 1995 e 2010	126
7	Áreas de agricultura, pastagem ou VS que regeneraram para CN entre 1975 e 1985	195
8	Áreas de agricultura, pastagem ou VS que regeneraram para CN entre 1985 e 1995	75,4
9	Áreas de agricultura, pastagem ou VS que regeneraram para CN entre 1995 e 2010	163
10	Áreas urbanizadas entre 1975 e 2010	26
11	CN desde antes de 1975	443
12	Áreas de agricultura, pastagem ou VS desde antes de 1975	839

*CH = Corpos Hídricos; CN= Coberturas Naturais; VS= Vegetação Secundária

A análise das mudanças da Cobertura e Uso da Terra (1975-1985-1995-2010) indicou que ocorreram mudanças em 46,84% da área total da Bacia, sendo que o desmatamento (25,03%) e a regeneração (17,71%) de áreas foram as alterações mais significativas (tabela 4).

Dentre as áreas que não sofreram mudanças, ou seja, permanecem com o mesmo uso desde 1975, destacam-se as áreas de pastagem e agricultura, que juntas alcançam 34,56% e as áreas com coberturas naturais, que ocupam 18,23% da área total da BHRSJ.

O mapa de mudanças entre os anos de 1975 e 2010 na BHRSJ revela que as áreas onde ocorreram as maiores perdas de fragmentos florestais nos últimos 35 anos foram as regiões das planícies fluviais e colinas, sobretudo nas porções orientais da bacia. Além de verificarmos a ocorrência de ocupação urbana em praticamente toda planície costeira, também podemos observar a grande quantidade de antigos corpos hídricos drenados para ampliação de áreas agrícolas ou de pastagem (Figura 13).

As áreas de recuperação florestal estão localizadas principalmente nas regiões das escarpas, nos patamares residuais e nas regiões de morro, localizadas sobretudo nas porções norte e oeste da BHRSJ. Também devemos destacar no mapa a relevante presença da represa de Juturnaíba, das cavas e lagoas construídas para exploração de areia, e dos canais retinizados que foram classificados na legenda como corpos hídricos artificiais.

Tabela 4: Processos predominantes na BHRSJ

Trajetória Evolutiva	Área (Km ²)	%
Desmatamento	605,59	25,03
Regeneração	433,97	17,71
Assoreamento	32,71	1,35
Expansão Urbana	26,03	1,08
Formação de Novos Corpos Hídricos	27,26	1,13
Sem mudanças (mesmo uso de 1975)	1.290,55	53,16

As principais áreas de recuperação foram reavaliadas a partir de análises visuais mais rigorosas, realizadas sobre imagens Landsat TM, com apoio de imagens SPOT 5 disponíveis para toda BHRSJ e, ainda, com a utilização do software Google Earth.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aumento gradativo da disponibilização de sensores remotos de diferentes características tem favorecido uma variedade de aplicações que focam níveis de detalhamento que vão do micro ao macro, além do acompanhamento de mudanças que podem ocorrer em poucas horas ou dias, até variações anuais e decenais.

Por outro lado, recentes avanços das técnicas de processamento de imagens digitais tem facilitado a obtenção de informações de forma mais rápida e eficiente. A integração de imagens de diferentes resoluções e datas em projetos de classificação ampliam as chances de se alcançar resultados de maior complexidade para o mapeamento final, como é o caso dos classificadores baseados em objetos geográficos (GEOBIA).

A necessidade de caracterizar e determinar variações no estado da paisagem está presente em muitos estudos. Nesse sentido, tem-se investido na ampliação do conhecimento sobre os produtos de SR que efetivamente podem contribuir para o mapeamento e percepção de tais alterações em diferentes escalas.

Mudanças de curto prazo no estado da paisagem, normalmente requerem condições

favoráveis para a percepção de detalhes no tempo e, as vezes, no espaço. Pode-se citar aqui, a título de exemplo, os sensores geoestacionários utilizados no monitoramento de fenômenos meteorológicos. No caso do presente trabalho, a aplicação de curto prazo envolveu o uso de um modelo digital de elevação oriundo de imageamento por SR (SRTM) e a adoção de modelos matemáticos disponíveis em SIG para estimativa da variação da radiação incidente na paisagem considerando diferentes formas do relevo. Esse dado permitiu a estimativa indireta da distribuição espacial do grau de umedecimento na área, fator importante para estudos relacionados a conservação e recuperação ambiental.

Mudanças de médio prazo normalmente exigem o cuidado de se selecionar datas representativas das variações que se deseja

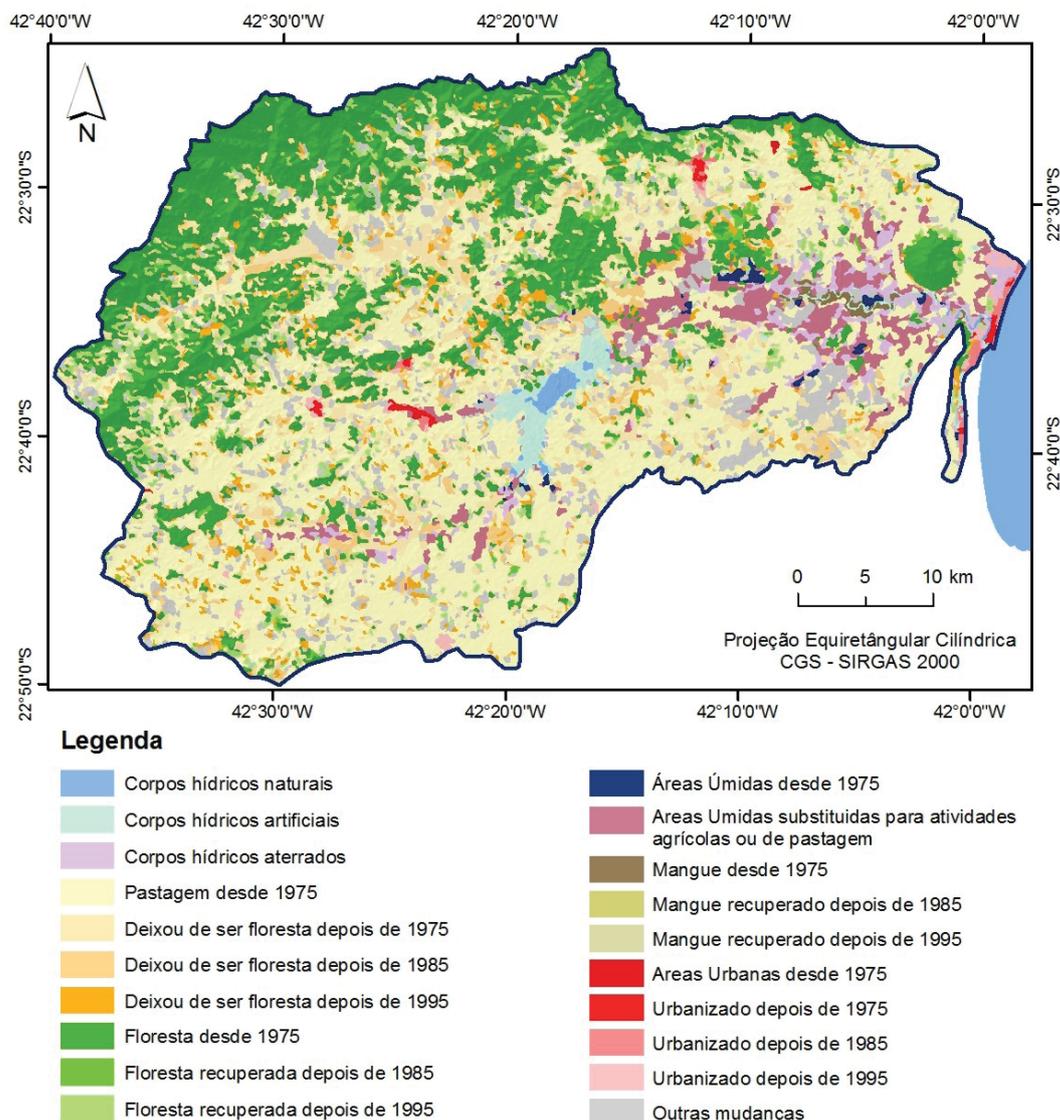


Figura 13 - Evolução do Uso e Cobertura da Terra na BHRSJ.

identificar, como é o caso das sazonais. Para os sensores passivos, o desafio é conseguir imagens adequadas do período úmido, quando as condições de nebulosidade pioram bastante. Experiências têm mostrado que o mapeamento de determinadas classes de cobertura, cuja caracterização principal é o seu comportamento ao longo do tempo, é facilitado com o uso de imagens de diferentes épocas. Pode-se citar, como exemplo, o mapeamento das florestas estacionais. Neste trabalho, o mapeamento das áreas temporariamente inundadas só foi possível através deste recurso.

Por fim, mudanças de longo prazo têm maior desafio nas questões relacionadas à estabilidade do sensor, que muitas vezes tem vida curta e/ou seu programa espacial não garante a manutenção de longo prazo de sensores de características similares. Neste caso, deve-se ter muito cuidado com a comparação de produtos oriundos de diferentes sensores remotos. Em nosso caso, o uso dos sensores MSS (80m) e TM (30m) exigiu maiores cuidados e o estabelecimento de maiores tolerâncias na integração dos dados de diferentes datas. Para propostas futuras, em possíveis desdobramentos desta pesquisa, poderemos utilizar as imagens de satélite do Landsat 8, mantendo assim a análise a partir de produtos de média resolução (30m).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS, R. S. **Avaliação da Altimetria de Modelos Digitais de Elevação Obtidos a Partir de Sensores Orbitais** [Rio de Janeiro], 2006 XIX, 172p.(IGEO/UFRJ), D.Sc., Geografia, 2006 Tese – Universidade Federal do Rio de Janeiro, IGEO. 2006.

ILSJ - 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/>. Consultado em Janeiro de 2007.

CHRISTOPHERSON, R. W. **Geossistemas: Uma introdução à Geografia Física**. Tradução: Francisco Eliseu Aquino (et. al.). 7ª Edição. Porto Alegre. Bookman, 726 pág. 2012

CRUZ, C. B. M., ROSÁRIO, L. S., ABREU, M. B., ALMEIDA, P. M. M., VICENS,

R.S., CRONEMBERGUER, F. M. **Classificação Orientada a Objetos na Geração do Mapa de Uso e Cobertura da Terra do estado do Rio de Janeiro**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 7789-7796. 2009.

CRUZ, C.B.M., VICENS, R.S., SEABRA, V.S., REIS, R.B., FABER, O.A., RICHTER, M., ARNAUT, P.K.E., ARAUJO, M. **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. p. 5691-5698. 2007.

DEFINIENS, **The Principles of Definiens Cognition Network Technology**. Disponível em: <http://earth.definiens.com/learn/technology>. Acesso em 15/01/2010.

FROHN, R. **Remote sensing for landscape ecology: New metric indicators for monitoring, modeling, and assessment of ecosystems**. Boca Raton, FL: Lewis, 99 p. 1998.

FU, P. **A Geometric Solar Radiation Model with Applications in Landscape Ecology**. Ph.D. Thesis, Department of Geography, University of Kansas, Lawrence, Kansas, USA. 412 pág. 2000.

FU, P., & P. M. Rich. **The Solar Analyst 1.0 Manual. Helios Environmental Modeling Institute (HEMI)**, USA. 49 pág. 2000.

FU, P., & P. M. Rich. **A Geometric Solar Radiation Model with Applications in Agriculture and Forestry**. Computers and Electronics in Agriculture 37:25–35. 2002.

KEIDEL, G. A.; RICHTER, M.; CRUZ, C. B. M.; CARIS, E. P.; SEABRA, V. S. **Estudo do grau de umedecimento como indicador para a recuperação de ecossistemas da Bacia e APA do rio São João**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 2011.

PEREIRA, J.L.G.; BATISTA, G.T.; THALÊS, M.C.; ROBERTS, D.A.; VENTURIERI, A.V. **Métricas da paisagem na Caracterização da evolução da ocupação da Amazônia**. Geografia, v. 26, n. 1, p. 59-90, abr. 2001.

MENDONÇA, F. & DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do**

- Brasil.** São Paulo. Oficina de Textos, 206 p. 2007.
- 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.
- RIÁBCHICOV, A.M. **Estructura y Dinámica de La Esfera Geográfica: Su desarrollo natural y transformación por el hombre.** Traducido del Ruso para Español por Isabel Alvarez Moran. Editorial MIR. Moscou., 312 pág. 1976.
- RICH, P. M., R. DUBAYAH, W. A. HETRICK, AND S. C. SAVING. **Using Viewshed Models to Calculate Intercepted Solar Radiation: Applications in Ecology.** American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Technical Papers, 524–529pp. 1994.
- RICH, P. M., & P. FU. **Topoclimatic Habitat Models.** Proceedings of the Fourth International Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling. Pág. 1-14 2000.
- RODRIGUEZ, J. M. M., SILVA, E.V., CAVALCANTI, A.P.B. **Geoecologia das Paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental.** 222p. Fortaleza: Editora UFC, 2007.
- TROLL, C. **A paisagem geográfica.** Hamburg: Stadium Generale, v.2, p. 163-181. 1950.
- VALERIANO, M. M. **Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA.** In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia, GO. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p. 1-8. 2005.
- VOGT, P. **User Guide of Guidos.** European Commission, Joint Research Centre (JRC). Italy. 26 pág. 2012.