

DIEGO DE SOUSA RIBEIRO FONSECA

**AVALIAÇÃO TEMPORAL POR NDVI EM AMBIENTES NATURAIS NA
ÁREA DE PRESERVAÇÃO AMBIENTAL DO RIO PANDEIROS/MG**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Ciências Agrárias, concentração em Agroecologia, do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Agrárias.

Orientador: Prof. Leonardo David Tuffi Santos

Montes Claros
2012

Fonseca, Diego de Sousa Ribeiro.

**F676a
2012**

Avaliação Temporal por NDVI em Ambientes Naturais na Área de Preservação Ambiental do Rio Pandeiros/MG / Diego de Sousa Ribeiro Fonseca. Montes Claros, MG: ICA/UFMG, 2012.

39f.: il.

Dissertação ((Mestrado em Ciências Agrárias, área de concentração em Agroecologia) Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.

Orientador: Leonardo David Tuffi Santos.

Banca examinadora: Marcos Esdras Leite, Flávio Pimenta de Figueiredo, Cristina Rodrigues Nascimento, Leonardo David Tuffi Santos.

Inclui bibliografia: f. 35-39.

1. Bacia hidrográfica – Rio Pandeiros. 2. Meio ambiente – Rio São Francisco. 3. Impacto Ambiental – Montes Claros. I. Tuffi, Santos Leonardo David. II. Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.

CDU: 574.2

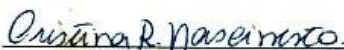
DIEGO DE SOUSA RIBEIRO FONSECA

**AVALIAÇÃO TEMPORAL POR NDVI EM AMBIENTES NATURAIS NA
ÁREA DE PRESERVAÇÃO AMBIENTAL DO RIO PANDEIROS/MG**

Aprovada em 12 de julho de 2012.



Prof. Marcos Esdras Leite
(UNIMONTES)



Profa. Cristina Rodrigues Nascimento
Orientadora (ICA/UFMG)



Prof. Flávio Pimenta de Figueiredo
(ICA/UFMG)



Prof. Leonardo David Tuffi Santos
Orientador (ICA/UFMG)

Montes Claros
2012

AVALIAÇÃO TEMPORAL POR NDVI EM AMBIENTES NATURAIS NA ÁREA DE PRESERVAÇÃO AMBIENTAL DO RIO PANDEIROS/MG

RESUMO

A cartografia é uma ciência há muito tempo utilizada para o estudo e representação de fenômenos ambientais. A partir de 1970, à medida que técnicas de gerenciamento ambiental foram sendo aprimoradas, houve o desenvolvimento e utilização de novas tecnologias cartográficas. Por meio da aplicação de tais recursos, o objetivo deste trabalho é avaliar as fisionomias de cerrado, vereda, solo hidromórfico, várzeas e corpos d'água na APA do Rio Pandeiros, utilizando uma série temporal de imagens orbitais nas épocas chuvosas e secas dos anos 1990, 2000 e 2010, em função das elevações do terreno. A metodologia consistiu na aquisição de imagens do satélite LANDSAT 5/TM; calibração radiométrica e correção atmosférica das bandas do infravermelho próximo e visível; geração, consulta e montagem de um banco de dados contendo valores do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para as fisionomias estudadas; e manipulação de dados de radar. As médias do NDVI indicam a recuperação das fisionomias do tipo cerrado, vereda e várzea ao longo das épocas analisadas, sendo que a primeira e a última apresentaram maior vigor vegetativo nos períodos chuvosos dos anos. As áreas de solo hidromórfico não apresentaram diferenças significativas em função das épocas. Nas áreas de corpos d'água houve inconstância dos valores, o que indica desequilíbrio e distúrbios para essa fisionomia. Em função dos intervalos de altitude, a fisionomia do tipo cerrado apresentou maior vigor da vegetação nas elevações entre 440 e 539m. A partir do ano 2000 foi verificado maior vigor da vegetação nas fisionomias do tipo vereda em elevações entre 539 e 747m; e para áreas de solo hidromórfico verificou-se vigor superior no intervalo entre 539 e 632m. Devido à fragilidade e à importância dos ecossistemas da APA do rio Pandeiros, é imprescindível o constante monitoramento desse ambiente. Com tal intento, o uso de Geotecnologias para aquisição, processamento e análise de informações torna o diagnóstico mais completo e incisivo diante das possibilidades da geração de um catálogo histórico dos fenômenos, o que pode orientar para a maior mitigação de impactos e conservação do ambiente por meio de prognósticos.

Palavras-chave: APA, Bacia hidrográfica, Série temporal, NDVI, rio São Francisco.

TEMPORAL EVALUATION USING NDVI IN NATURAL ENVIRONMENTS IN THE PRESERVATION AREA OF PANDEIROS RIVER/MG

ABSTRACT

Cartography is a science that has long been used to the study and representation of environmental phenomena. From 1970, as environmental management techniques were being refined, there was the development and use of new cartographic technologies. Through the application of these resources, the objective of this study is to evaluate the cerrado, vereda, hydromorphic soil, várzeas (wetlands) and water bodies in the Preservation Area of Pandeiros River, using a time series of satellite images during the rainy and dry seasons of the year 1990, 2000 and 2010, due to high elevations of the land. The methodology consisted of the acquisition of LANDSAT satellite imagery 5/TM; radiometric calibration and atmospheric correction of the bands of near-infrared and visible; generation, survey and assembly of a database containing values of the vegetation index (NDVI) for the physiognomies studied; and manipulation of radar data. The means of NDVI indicate the recovery of cerrado physiognomies, vereda and várzea along the studied periods, with the first and last showing more vigor during periods of rain. The areas of hydromorphic soil showed no significant differences in relation to the years. In the areas of water bodies there was fickleness of values, which indicates imbalance and disturbance. Depending on the altitude ranges, the physiognomy of the cerrado type presented greater force of vegetation at elevations between 440 and 539m. From the year 2000 on, it was recorded the largest vigor in the physiognomy vereda type at elevations between 539 and 747m. For areas of hydromorphic soil, there was more vigor in the interval between 539 and 632m. Due to the fragility and importance of APA ecosystems of Pandeiros River, constant monitoring is essential to this environment. With this intention, the use of Geotechnologies for acquisition, processing and analysis of information makes the diagnosis more complete and incisive on the possibilities of generating a catalog of historical phenomena, which can guide to the mitigation of impact and the conservation of the environment through prognostics.

Keywords: Preservation area, Watershed, Temporal series, NDVI, São Francisco river.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APA – Área de Proteção Ambiental.

GPS – Sistema Global de Posicionamento.

IGA – Instituto de Geociências Aplicadas.

IVP – Infravermelho Próximo.

NDVI – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada.

SAD-69 – Datum Sul-Americano de 1969.

SIG – Sistemas de Informação Geográfica.

SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação.

SR – Sensoriamento Remoto.

UTM – Universal Transversa de Mercator.

WGS-84 – Sistema Geodésico Mundial de 1984.

LISTA DE FIGURAS E GRÁFICOS

| | |
|---|-----------|
| Figura 1 – Localização da APA do rio Pandeiros no Estado de Minas Gerais | 18 |
| Gráfico 1 – Dados médios mensais de precipitação (mm) e de temperatura (oC) para a região de Januária, nos anos de 1990, 2000 e 2010 | 21 |
| Figura 2 – Delineamento das áreas de amostra - imagem NDVI sobreposta a classes de altitude | 25 |

LISTA DE TABELAS

- 1 - Principais aplicações dos sete canais do satélite LANDSAT 5/TM **17**

- 2 - Médias dos valores do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) dos anos 2010, 2000 e 1990, entre épocas e altitudes, para formações do tipo cerrado na Área de Proteção Ambiental do Rio Pandeiros **26**

- 3 - Médias dos valores do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) dos anos 2010, 2000 e 1990, entre épocas e altitudes, para formações do tipo vereda na Área de Proteção Ambiental do Rio Pandeiros...**27**

- 4 - Médias dos valores do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) dos anos 2010, 2000 e 1990, entre altitudes, para áreas de solo hidromórfico na Área de Proteção Ambiental do Rio Pandeiros..... **28**

- 5 - Médias dos valores do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) dos anos 2010, 2000 e 1990, entre épocas e altitudes (440 e 539m), para formações do tipo várzeas na Área de Proteção Ambiental do Rio Pandeiros **29**

- 6 - Médias dos valores do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) dos anos 2010, 2000 e 1990, entre épocas e altitudes, para corpos d'água na Área de Proteção Ambiental do Rio Pandeiros..... **30**

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 09 |
| 2 OBJETIVOS | 10 |
| 3 REFERENCIAL TEÓRICO | 10 |
| 3.1 Geotecnologias: Definição e Contextualização..... | 10 |
| 3.2 Aplicações das Tecnologias de Geoinformação em Estudos Ambientais | 13 |
| 3.3 Os Produtos LANDSAT 5/TM..... | 16 |
| 4 APA do Pandeiros: Localização e Caracterização | 18 |
| 5 MATERIAIS E MÉTODOS | 20 |
| 5.1 Pré-Processamento das Informações | 20 |
| 5.2 Manipulação das Imagens | 22 |
| 5.3 Correção Radiométrica | 22 |
| 5.4 Geração do NDVI | 23 |
| 5.5 Imagens de Radar | 24 |
| 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 26 |
| 7 CONCLUSÃO | 34 |
| REFERÊNCIAS | 35 |

1 INTRODUÇÃO

O Sensoriamento Remoto tem como principal objetivo a obtenção de dados à distância por meio de plataformas orbitais e aéreas e sua finalidade consiste em adquirir informações a respeito da superfície terrestre.

Esse recurso é usado principalmente para observações climáticas, gerenciamento da turbidez da água com as atividades de mineração, gerenciamento de riscos e cumprimento da legislação ambiental, cálculo do estoque de carbono e biomassa, previsão e planejamento de safras, além do acompanhamento do crescimento urbano (LI *et al.*, 2011).

O uso de imagens de satélite, tais como as LANDSAT TM/5, permite a realização de pesquisas voltadas ao contexto ambiental e a exploração de fatores predeterminantes para os transtornos do presente. Essas possibilidades são relevantes e eficientes na prevenção e enfrentamento de problemáticas futuras e para promoção do planejamento ambiental com atitudes sustentáveis, as quais podem trazer a mitigação dos impactos (LEEuw *et al.*, 2010).

A análise de imagens de satélite com alta resolução temporal tem sido utilizada para determinação do uso do solo e evolução das atividades antrópicas, bem como para diagnósticos de impactos ambientais e criação de planos de manejo. O cultivo agrícola, o pastoreio e o uso indiscriminado de áreas naturais são possíveis de serem acompanhados por meio de séries temporais de imagens (ESPINDOLA *et al.*, 2012). Tais atividades estão presentes na APA do rio Pandeiros (FONSECA *et al.*, 2011), tornando-se fundamental o monitoramento desse importante ambiente de preservação.

O interesse no local proposto se deve ao fato da região apresentar grande variedade de corpos hídricos e uma diversificada quantidade de formações vegetais típicas de áreas de cerrado, tais como: matas de galeria, veredas e várzeas. Apesar da diversidade natural, o local em estudo sofre com o avanço não planejado das áreas agrícolas. A ocupação desordenada pode afetar locais importantes para conservação, entre eles, aqueles de aporte das nascentes dos rios.

2 OBJETIVOS

Avaliar o vigor de fisionomias do tipo: cerrado, vereda, solo hidromórfico, várzeas e corpos d'água na APA do rio Pandeiros por meio de uma série temporal de imagens LANDSAT 5/TM nas épocas chuvosas e secas dos anos 1990, 2000 e 2010 em função das elevações do terreno.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Geotecnologias: Definição e Contextualização

A cartografia é a organização, apresentação, comunicação e uso da geoinformação, sob as formas: visual, digital ou tátil, e inclui todos os processos de preparação de dados, emprego e estudo de todo tipo de mapa (MARTINELLI, 2005). Atualmente, com o avanço da tecnologia, os mapas apresentam novas potencialidades a cada dia. Os mais usados são os digitais, de representações binárias, ou seja, compatíveis com manuseio em computador (SILVA, 2003).

Os sistemas computacionais capazes de manipular e sintetizar informações de um dado espaço em material cartográfico, subsidiando a nova demanda de conhecimentos espacialmente referenciados, com a finalidade de facilitar e enriquecer as análises geográficas são chamados genericamente de Geotecnologias. Tais tecnologias constituem um conjunto de sistemas que têm contribuído para a evolução da análise dos recursos naturais, das questões sociais, dos transportes, da energia e do planejamento urbano.

Segundo Silva (2003), para a plena utilização das Geotecnologias é necessário conhecimentos em campos tecnológicos amplos e em disciplinas tradicionais para que os estudos atendam à expectativa dos usuários e da sociedade. Tais saberes englobam: ciência da computação, gerenciamento de informações, cartografia, geodésia, fotogrametria, topografia, processamento digital de imagens e geografia. Tais tecnologias são

compostas por um sistema que envolve a aquisição de informações espaciais com finalidades científicas, legais, administrativas e técnicas.

No uso genérico do termo “Geotecnologia” encontra-se inserido quatro sistemas de aquisição e processamento de informações espaciais, sendo eles: os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), os *softwares* de cartografia temática (*Computer Aided Design – C.A.D's*), o Sensoriamento Remoto (SR) e o Global Position System (GPS). O objetivo desses recursos é utilizar técnicas matemáticas e computacionais para tratamento da informação geográfica (CÂMARA *et al.*, 2001).

Um SIG é constituído por um conjunto de programas e base de dados que ligam informações alfanuméricas a mapas. Os objetos do mundo real (feições) são representados por pontos, linhas e polígonos, espacialmente referenciados e com informações geográficas atreladas (atributos). As informações desse sistema uma vez processadas e manipuladas, podem ser cruzadas e apresentadas de forma de forma sintética, gerando materiais que podem se constituir em mapas, textos, gráficos ou tabelas de diferentes bases de dados digitais.

Os SIG's possibilitam a codificação de dados geográficos proporciona a entrada de informações a partir de mapas, fotografias aéreas, imagens de satélites levantamentos de campo e outras fontes de dados. O sistema armazena, recupera e busca informações, além de transformá-los, analisá-los e modelá-los por meio da estatística espacial (SANTOS; SANTOS, 2007).

Rosa; Brito (1996) afirmam que o desenvolvimento dos programas de SIG começou por volta da década de 1960, no Canadá, onde foi criado o *Canadian Geographic Information System*. Em seguida, outros recursos computacionais de geração e discriminação de informações geográficas foram sendo desenvolvidos, entre eles: o *New York Landuse and Natural Resources Information Systems* (1967) e o *Minnesota Land Management Information System* (1969).

As ferramentas C.A.D, projetos assistidos por computador, começaram a ser popularizados na década de 70 (CÂMARA *et al.*, 2001). Constituem-se em programas que funcionam como editores de dados vetoriais, ou seja, há uma relativa facilidade em usá-las como base para representar as feições

pretendidas (objetos da paisagem), tendo em vista que as distâncias e áreas representadas são definidas com alto grau de precisão, através de pontos (coordenadas x, y).

A diferença entre um SIG e um C.A.D consiste basicamente no fato de que o último é um instrumento de desenho digital, e não um sistema de processamento de informação espacial (ROSA; BRITO, 1996).

O Sensoriamento Remoto é uma ciência que tem como objetivo específico medir características físicas de um objeto sem tocá-lo (SILVA, 2003). O estudo dos objetos representados se dá através do comportamento espectral dos alvos. As imagens do Sensoriamento Remoto estão sob a estrutura de representação matricial (*raster*), termo que significa uma grade regular de pixels, que por sua vez, é o menor elemento de uma imagem digital.

O Sensoriamento Remoto, conforme Li *et al.* (2011), envolve a detecção, identificação, classificação, mensuração e análise dos aspectos e fenômenos da superfície terrestre, usando imagens adquiridas de aviões e satélites, empregando-se várias técnicas de interpretação ópticas e/ou computadorizadas. Tais recursos começaram a ser popularizados a partir da década de 80 (CÂMARA *et. al.*, 2001).

O GPS é um sistema que capta sinais de satélite a fim de mostrar a posição instantânea de um ponto na superfície da Terra. Começou a ser desenvolvido em 1973 pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos. Em 1991, o GPS entrou em operação e em 1993, a constelação de satélites que subsidiariam o pleno funcionamento deste sistema foi concluída. O sistema foi projetado para que a qualquer hora e em qualquer lugar existam pelo menos quatro satélites acima do plano do horizonte do observador, mostrando o posicionamento quase exato, em coordenadas geográficas, do operador do aparelho (SILVA, 2003).

De acordo com Câmara *et al.* (2001), no Brasil, o desenvolvimento das tecnologias geográficas deriva-se dos esforços para divulgação e formação de pessoal, promovidos pelo Prof. Jorge Xavier da Silva (UFRJ) e da vinda para o país, em 1982, do Dr. Roger Tomlinson, o responsável pela criação do primeiro SIG (o *Canadian Geographical Information System*).

Pode-se dizer que nos trabalhos que envolvem Sensoriamento Remoto e SIG, o primeiro instrumento funciona como base de dados para o segundo sistema, ou seja, primeiro extraem-se informações e depois se faz o cruzamento de tais dados por meio do processamento estatístico, usando o segundo recurso. Portanto, para geração de informações provenientes desses recursos é necessária a integração entre os dois sistemas, através de operações geográficas informatizadas.

3.2 Aplicações das Tecnologias de Geoinformação em Estudos Ambientais

O uso das Geotecnologias para tomada de decisões vem sendo adotado por vários setores que tratam da questão ambiental. A avaliação de um grande número de variáveis se torna pragmática e simplificada com o uso do sistema, permitindo não só a rápida construção de informações intermediárias e finais, mas também a inclusão de variáveis antes não avaliadas (DONHA *et al.*, 2006). Na atualidade, a maior parte das aplicações com *Geographical Information System* (GIS) está relacionada à gestão municipal, ao meio ambiente, ao planejamento estratégico de negócios, ao agronegócio e a gestão das concessionárias de redes.

No agronegócio, as Geotecnologias são utilizadas para regularização fundiária, previsão de safras, gestão de bacias hidrográficas e no planejamento do uso da terra. Nas concessionárias e redes, para organização das redes de distribuição e gerenciamento de banco de dados (ROSA, 2009).

Para fins aplicados ao meio ambiente, Dias; Matos (2009) propõem o uso do Sensoriamento Remoto como técnica de compartimentação fisiográfica do terreno, tendo em vista que o método evitaria mapeamentos exaustivos e clássicos. Os autores argumentam que os trabalhos realizados no passado eram morosos e precisavam de equipes com maior número de integrantes, o tempo em campo era superior, e, além disso, poderiam gerar erros sistemáticos.

Entre os aspectos positivos do uso das tecnologias de informação geográfica, Tonial *et al.* (2005) enumera que a identificação e caracterização

de elementos da paisagem com sensores orbitais e SIG sejam recursos eficientes para o diagnóstico e monitoramento ambiental, principalmente em tempos nos quais impera a crescente demanda por recursos naturais. Com a técnica, é possível o acompanhamento do uso e ocupação do solo e a fiscalização do cumprimento da legislação ambiental.

Maillard *et al.* (2009) discute o uso de imagens orbitais de resolução intermediária (10-30m) aliadas às técnicas cartográficas para medir a quantidade de materiais facilmente inflamáveis com o objetivo de prevenir incêndios. Os autores evidenciam que existe a possibilidade de avaliar os prejuízos causados no ambiente após o fato ocorrido, inclusive em áreas frágeis e restritas, tais como as veredas.

Visando outra perspectiva, Tedesco; Centeno (2003) testam o uso de imagens de alta resolução do satélite Ikonos em levantamentos batimétricos. Os autores argumentam que devido à constante mudança de situação hidrográfica dos cursos navegáveis, é necessária a constante atualização das cartas náuticas. Esse procedimento, se desempenhado de forma tradicional, torna-se mais trabalhoso e oneroso. A alternativa proposta seria, no local de pesquisa, usar uma pequena área amostral para coleta dos dados batimétricos a fim de calibrar a imagem do respectivo lugar. Por meio dos tons de resposta espectral da imagem e uma equação de correlação, obter-se-ia uma estimativa de profundidade de toda a superfície hídrica do lugar estudado, com satisfatória confiabilidade.

Em estudo sobre o clima urbano de Teodoro Sampaio, localizado no Estado de São Paulo, Viana; Amorim (2008) utilizam o SIG para processamento e apresentação em material cartográfico dos dados coletados, os quais demonstram a distribuição das ilhas de calor e de frescor em diferentes estações do ano, por meio de isotermas sobrepostas ao mapa planimétrico da cidade. O trabalho chama a atenção pela qualidade gráfica e clareza das informações editadas através do aplicativo *Surfer for Windows*.

Ranieri *et al.* (1996) em um trabalho sobre degradação ambiental em uma microbacia hidrográfica esclarecem que as tecnologias geográficas são de suma importância para o planejamento agrícola devido à rapidez,

possibilidade de cruzamento de informações e simulação da probabilidade de alteração dos cenários que tais recursos oferecem.

Ortiz; Freitas (2005), além dos procedimentos convencionais, testam diferentes modelos de classificação de imagens de satélite no *software* IDRISI com o objetivo de aferir aquele de maior precisão e obter maior número de melhores respostas no diagnóstico de uso do solo, tipos de vegetação e avaliação de impactos ambientais decorrentes das atividades antrópicas. Os autores reforçam que as técnicas de Sensoriamento Remoto reduzem tempo e custos na obtenção dos resultados, sem que haja prejuízo na qualidade do trabalho.

Nascimento *et al.* (2009) empregam imagens do sensor AVHRR/NOAA associado à técnicas de Sensoriamento Remoto para identificação de áreas de cultivo de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. Os autores argumentam que o uso dessas imagens é adequado quando associados a cultivos com grandes extensões territoriais devido à alta resolução temporal e baixa resolução espacial que o material apresenta. Por meio de dados do sensor AVHRR/NOAA é possível obter estimativas de safras agrícolas com os resultados atualizados.

Barrios; Quiñones (2000), em estudo no vale da microbacia do rio Burbusay, subafluente do rio Motatán, localizado no Estado de Trujillo na Venezuela, utilizam relações estatísticas integradas ao SIG como ferramenta para estimativa de níveis de erosão em diferentes épocas e apontam o recurso como dinamizador dos diagnósticos espaciais. Nos resultados das discussões, os autores mostram mapas de Modelo Digital de Elevação (MDE) e de taxas de erosão ao longo dos anos 1966-1999. Os autores ilustram que mesmo em metodologias tradicionais é possível a obtenção de maior sistematização dos resultados com o uso de tecnologias geográficas.

Em trabalho realizado na Espanha, Zújar *et al.* (2009), utiliza tecnologias geográficas para geração de um banco de dados com base em informações geomorfológicas a fim de calcular o Índice de Variabilidade Costeira (CVI) caso haja um expressivo aumento do nível do mar. Os autores argumentam que o uso de tais tecnologias é eficiente quando se espera a integração, interpolação, ponderação e cálculo de um fenômeno. Dessa

forma, ao usar o SIG como ferramenta integrada à metodologia, é possível principalmente prever a probabilidade de ocorrência desse fenômeno intempérico e minimizar seus problemas.

As aplicações mostradas apresentam características próprias e requerem soluções específicas. Entretanto, nas metodologias de análise e nas informações manipuladas, todos os autores mostrados ressaltam as diversas possibilidades da aplicação das tecnologias geográficas, as quais possibilitam o enriquecimento e maior precisão dos dados espaciais.

3.3 Os Produtos Landsat 5/TM

De acordo com Ribeiro (2008), em meados da década de 1960, o governo norte-americano, através da NASA, iniciou uma série de pesquisas para lançamento de satélites objetivando a análise de recursos terrestres. A partir da criação dessa tecnologia foi possível a aquisição de dados espaciais, temporais e espectrais. O primeiro satélite gerado de imagens lançado foi o da série ERTS (*Earth Resources Technology Satélites*), o qual posteriormente foi chamado de LANDSAT.

O satélite LANDSAT opera em órbita geocêntrica a uma altitude de 750 km, cruza a linha do Equador precisamente às 09h45min, fuso horário de Brasília, e apresenta recobrimento repetitivo a cada 16 dias. O satélite dessa série movimenta-se aeroespacialmente a uma velocidade de 7,7 km/seg, e o tempo para obtenção da imagem é de 24 segundos.

Uma cena do sensor 5/TM, por exemplo, representa no solo uma área de 185x185 km. A resolução geométrica nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 é de 30 metros, ou seja, cada pixel da imagem representa uma área de 0,9ha. A banda 6, possui resolução de 120 metros, e, portanto, cada *pixel* da imagem cobre uma área de 1,4ha.

O satélite LANDSAT transporta dois sensores multiespectrais. O primeiro é o *MultiSpectral Scanner* (MSS), que obtém imagem em quatro bandas (região visível e infravermelho), e o segundo é o *Thematic Mapper* (TM), o qual coleta imagens em sete bandas espectrais, sendo elas na região do visível e infravermelho próximo, no infravermelho médio e infravermelho

termal. As características das bandas das imagens provenientes do satélite LANDSAT estão descritas logo abaixo (Tabela 1).

TABELA 1

Principais aplicações dos sete canais do satélite LANDSAT 5/TM.

| CANAIS | COMPRIMENTO DE ONDA (μm) | LOCALIZAÇÃO ESPECTRAL | PRINCIPAIS APLICAÇÕES |
|---------------|---|------------------------------|--|
| 1 | 0,45 – 0,52 | AZUL | Para penetração dos corpos d'água; útil no mapeamento de áreas costeiras; utilizado para discriminação de solo/vegetação, mapeamento de tipos florestais e identificação de características de culturas. |
| 2 | 0,52 – 0,60 | VERDE | Para medição dos picos de refletância verde da vegetação, para discriminação de vegetação e avaliação de vigor; é útil para identificação de características das culturas. |
| 3 | 0,63 – 0,69 | VERMELHO | Para imageamento na região de absorção de clorofila, auxiliando na diferenciação de espécies. |
| 4 | 0,76 – 0,90 | INFRAVERMELHO PRÓXIMO | Determina tipos de vegetação, vigor e volume de biomassa; serve para delineamentos de corpos d'água e para determinação de umidade do solo. |
| 5 | 1,55 - 1,75 | INFRAVERMELHO MÉDIO | Serve para impressão do teor de umidade da vegetação e do solo. |
| 6 | 10,4 – 12,5 | INFRAVERMELHO TERMAL | Análise e estresse da vegetação, na discriminação de umidade do solo e em aplicações de mapeamento termal. |
| 7 | 2,08 – 2,35 | INFRAVERMELHO MEDIO | Discriminam minerais e espécies de rochas. Também possibilita identificar teores de umidade. |

Fonte: Ribeiro, 2008.

4 APA do Pandeiros: Localização e Caracterização

A Área de Proteção Ambiental da bacia hidrográfica do Pandeiros, de acordo com dados do relatório técnico do Instituto de Geociências Aplicadas (IGA, 2006), integra a macrobacia do rio São Francisco, localiza-se à margem esquerda do médio curso desse rio, no extremo norte do Estado de Minas Gerais, entre as coordenadas geográficas $45^{\circ}95'W$, $15^{\circ}88'S$ e $43^{\circ}95'W$, $14^{\circ}40'S$. Encontra-se inserida na mesorregião Norte de Minas, Microrregião de Januária, e compreende parte dos municípios de Januária, Bonito de Minas e Cônego Marinho.

O local foi transformado em Área de Proteção Ambiental (APA) a partir da lei estadual número 11.901, decretada em Minas Gerais no dia 01 de setembro de 1995.

Os municípios circunvizinhos (Figura 1) a APA são: Montalvânia e Miravânia à nordeste, São João das Missões à leste, Itacarambi à sudeste, Pedras de Maria da Cruz no extremo sul, Chapada Gaúcha e São Francisco à oeste, e o Estado da Bahia na porção norte. A área total da APA é de 393.060,4074 hectares; e seu perímetro total é de 387.335,48 metros.

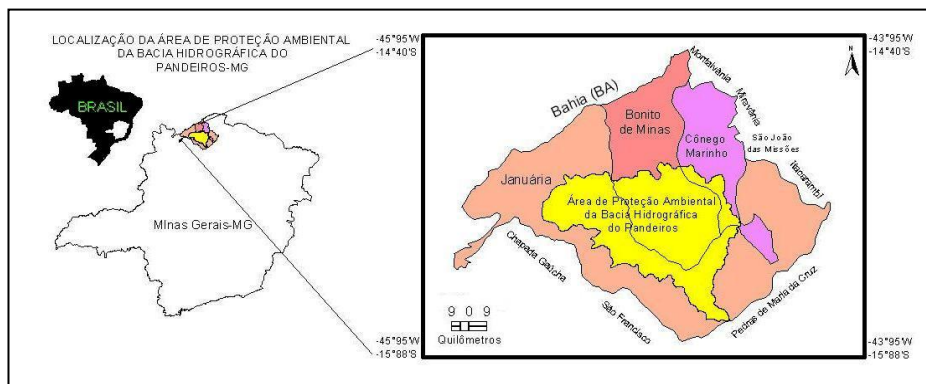


Figura 1. Localização da APA do rio Pandeiros no Estado de Minas Gerais.

Fonte: Arquivo do autor, 2012.

Na APA do rio Pandeiros a temperatura média anual é de $24^{\circ}C$; nos meses mais frios, junho e julho, a temperatura média fica em torno dos $20,4^{\circ}C$; no mês mais quente, outubro, a média é de $25,5^{\circ}C$. A precipitação

anual fica em torno dos 1.057,4mm. Os meses de maior pluviosidade, outubro a março, totalizam 91% do total anual precipitado, os meses mais secos estão entre abril e setembro (BETHONICO, 2009).

Quanto às características geológicas, a APA do rio Pandeiros se localiza dentro da unidade geotectônica denominada Cráton do São Francisco, formações metassedimentares do Norte de Minas, destacando-se os grupos Bambuí, Urucuia e Areado (IGA, 2006). É constituída principalmente por rochas arqueanas e paleoproterozóicas, as quais são delimitadas por cinturões orogênicos neoproterozóicos. Quanto às unidades litoestratigráficas da região, essas são constituídas principalmente por depósitos aluviais e coberturas detríticas do cenozóico; arenitos, formados no mesozóico; calcários, siltitos e dolomitos formados no neoproterozóico (IGA, 2006).

De acordo com o IGA (2006), os solos predominantes na bacia hidrográfica em estudo são do tipo latossolo vermelho-amarelo mesclados a neossolos quartzênicos; nas margens dos córregos, existe a associação do neossolo quartzênico ao gleissolo; e no extremo sul, à margem do Ribeirão Pandeiros, é notada a ocorrência de afloramentos calcários.

A região da APA do rio Pandeiros, conforme Mapa de Cobertura Vegetal do Brasil (IBGE, 2004), é um complexo entre os biomas cerrado e caatinga, predominando o primeiro com algumas variações, um ambiente pantanoso que serve de refúgio para diversas espécies silvestres, tendo em vista que, conforme o IGA (2006), o local é berçário de cerca de 70% dos peixes destinados ao rio São Francisco.

Os cursos d'água de maior extensão e volume são: córregos Catolé e Suçuarana, e os riachos Borrachudo e Macaúbas. Estes mananciais apresentam certa fragilidade, diante da aparência arenosa dos solos e retirada da vegetação ciliar, o que desencadeia processos de erosão com formação de voçorocas e assoreamento.

Conforme dados do (IGA, 2006), com o declínio das atividades econômicas, a região da APA apresenta baixa densidade demográfica, menos de 10 hab/km². Os três municípios que fazem parte da bacia do rio Pandeiros possuem população total de 79.645 habitantes, sendo o município

de Januária o mais populoso (IBGE, 2010). Os povoados existentes são: Vila Pandeiros e Várzea Bonita. Os municípios de Bonito de Minas e Cônego Marinho, em detrimento de Januária, apresentam maior predominância de população rural (IBGE, 2010). Os cultivos agrícolas, em geral, são de subsistência e os mais comuns são o do arroz, feijão, milho e mandioca.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Pré-Processamento das Informações

Para realização da pesquisa foram utilizadas imagens do satélite LANDSAT, geração 5, sensor *Thematic Mapper* (TM). Os respectivos produtos atuam nos comprimentos de onda que vão do 0,45 até o 2,35 μm . As características desses materiais mostram-se adequados para diversos trabalhos de monitoramento de recursos naturais (RIBEIRO, 2008).

As imagens usadas foram adquiridas por meio do catálogo disponível no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). As cenas utilizadas tiveram passagem nas datas: 10/03/1990 e 16/07/1990; 08/12/1999 e 09/06/2000; 12/01/2010 e 21/06/2010. Foram escolhidos arquivos de imagens amostrais da APA do rio Pandeiros correspondentes aos meses de chuva e de seca na região Norte de Minas Gerais, tal como mostram os dados climáticos da Gráfico 1.

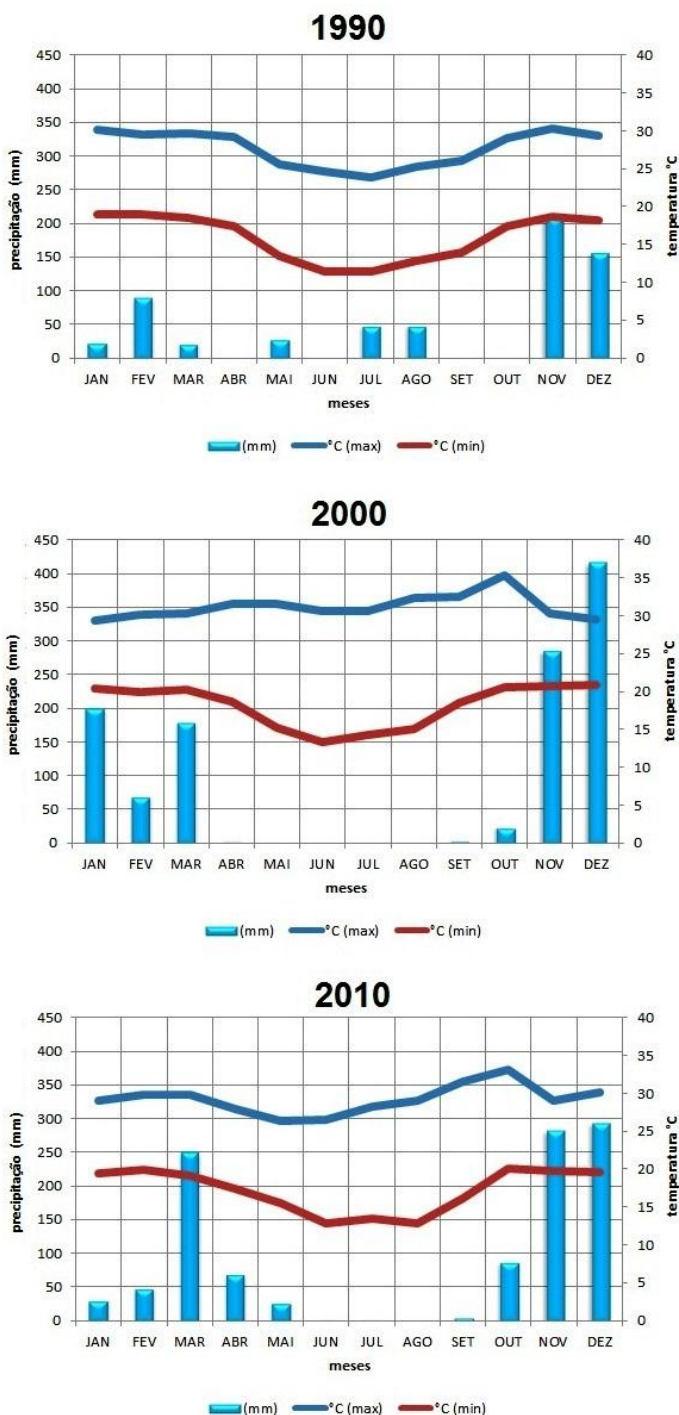


Gráfico 1. Dados médios mensais de precipitação (mm) e de temperatura (°C) para a região de Januária, nos anos de 1990, 2000 e 2010.
Fonte: Adaptado – INMET, 2012.

As bandas processadas originam-se da região do visível (banda 3) e infravermelho próximo (banda 4), as quais foram utilizadas por apresentarem um alto contraste da vegetação verde em sua composição, podendo ser aplicado dessa forma diversos índices de vegetação, tal como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada. Esses produtos apresentam resolução espacial de 30x30m e resolução radiométrica de 8 bits.

5.2 Manipulação das Imagens

Para a correta representação do local de interesse foi necessário que mosaicos entre os pontos 070 e 071 das cenas da órbita 219 fossem formados. Com o objetivo de normalizar a diferença de iluminação entre as cenas, através do uso do programa Spring, versão 5.2, realizou-se um contraste do tipo Raiz Quadrada com valores mínimos e máximos respectivamente de 15-255 nas bandas 3 e de 30-255 nas bandas 4.

As imagens foram georreferenciadas através do aplicativo computacional ArcGIS, versão 9.3, baseado em coordenadas coletadas em campo e no trabalho realizado pelo Instituto de Geociências Aplicadas (IGA, 2006). Por meio do uso desse *software* foi realizada também a correção radiométrica, a obtenção do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada e a manipulação dos dados de radar.

5.3 Correção Radiométrica

Com uso dos parâmetros fornecidos por Chander *et al.* (2009), executou-se a calibração radiométrica das cenas trabalhadas, processo que consiste na transformação do número digital (ND) de cada *pixel* da imagem em radiância espectral. Tal mecanismo foi gerado a partir da relação proposta por Markham; Baker (1987), a qual é representada pela equação:

$$L_{\lambda i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND \quad \text{Eq. (1).}$$

a e b = correspondem à radiância mínima e máxima do sensor LANDSAT 5/TM;
 ND = corresponde aos números digitais da imagem trabalhada (0-255);
 i = corresponde as bandas do satélite em estudo.

A refletância de cada banda ($p_{\lambda i}$), que consiste na razão entre o fluxo de radiação solar emergido pela superfície e o fluxo de radiação solar incidente, foi gerada por meio da equação proposta por Allen *et al.* (2002):

$$p_{\lambda i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda i}}{k_{\lambda i} \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad \text{Eq. (2).}$$

Em que:

$L_{\lambda i}$ = corresponde à radiância espectral de cada banda;

$k_{\lambda i}$ = é a irradiância espectral solar de cada banda no topo da atmosfera;

Z = é o ângulo zenital solar;

d_r = é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol.

5.4 Geração do NDVI

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é obtido ao se realizar a diferença de refletância entre as bandas na faixa do infravermelho próximo e visível, e a divisão pela soma dessas mesmas faixas, tal como mostrado no modelo (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007):

$$\text{NDVI} = (\text{IVP} - \text{vermelho}) / (\text{IVP} + \text{vermelho}) \quad \text{Eq. (3).}$$

Em que:

NDVI = Índice de Vegetação por Diferença Normalizada;

IVP = infravermelho próximo (banda 4);

Vermelho = banda 3.

5.5 Imagens de Radar

O perfil altimétrico da APA do rio Pandeiros foi gerado por meio da manipulação das imagens do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), folhas SD-23-Y-D e SD-23-Z-C, as quais apresentam resolução inicial de 90 metros e são disponibilizadas por intermédio da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2012). Com o manuseio dessas imagens foi criado um mosaico para a representação em classes de altitude do espaço em estudo.

5.6 Geração e Processamento do Banco de Dados

A consulta e coleta de pontos referentes aos valores do *pixel* de regiões amostrais das fisionomias do tipo cerrado, vereda, várzea, solo hidromórfico e água foram alcançados por meio da interpretação visual das imagens NDVI geradas.

A base para interpretação das imagens foi providenciada por meio de pesquisas em campo, realizadas previamente com a utilização de um aparelho receptor do Sistema Global de Posicionamento (GPS), para orientação das áreas de consulta a pontos com valor numérico digital dos *pixels* referentes a cada fisionomia estudada.

O ensaio foi conduzido em delineamento com parcelas subdivididas, considerando-se nessas parcelas a altitude do terreno, variável em função fisionomia avaliada. Na subparcela, considerou-se seis épocas de amostragem correspondentes ao período seco e chuvoso dos anos de 1990, 2000 e 2010, conforme a data de passagem do satélite LANDSAT 5/TM nas cenas trabalhadas.

Para a fisionomia cerrado considerou-se as seguintes faixas de elevação na parcela: 747 a 800; 632 a 747; 539 a 632; e 440 a 539 metros de altitude. Para as áreas abrangidas por vereda e solo hidromórfico, os intervalos analisados foram: 747 a 800; 632 a 747; e 539 a 632 metros. Para corpos d'água foram considerados na parcela os intervalos de altitude

correspondentes a: 632 a 747; 539 a 632; e 440 a 539 metros de altitude, tal como mostrado na Figura 3.

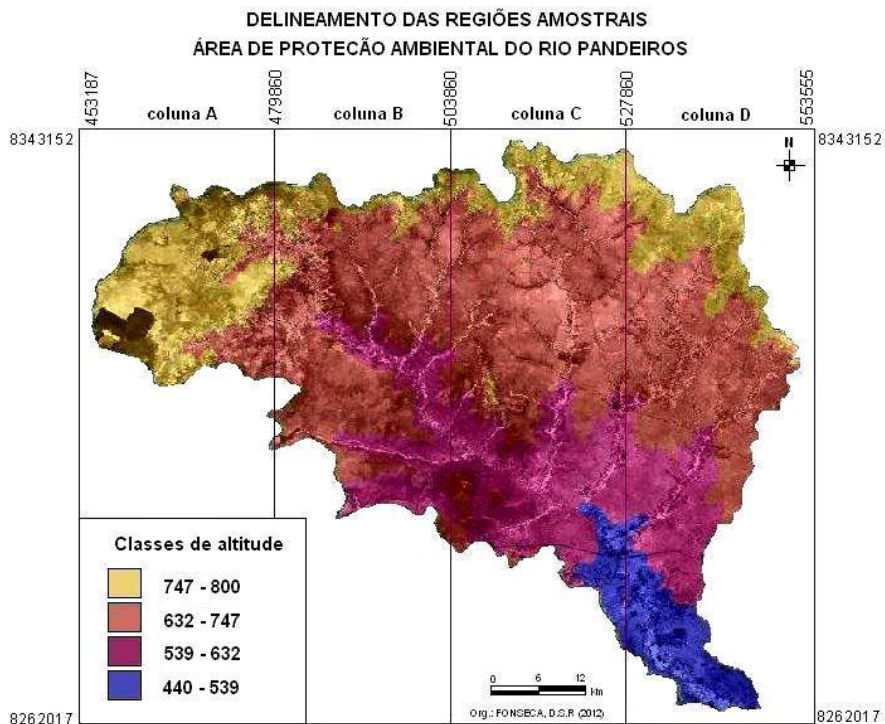


Figura 2. Delineamento das áreas de amostra - imagem NDVI sobreposta a classes de altitude.

Fonte: Arquivo do autor, 2012.

Na fisionomia várzea, maior clareza e melhor resposta espectral foram observadas na faixa de altitude entre 440 a 539m na cena trabalhada da imagem LANDSAT 5/TM, desconsiderando-se as demais altitudes. Assim, para essa fisionomia trabalhou-se isoladamente nesse intervalo de elevação, comparando-se apenas as épocas de amostragem.

Foram avaliados 40 pontos, considerados como repetições para todas as fisionomias avaliadas. O critério para distribuição da coleta dos pontos amostrais foi baseado nas diferenças de altitude e padrão longitudinal das formações estudadas, de forma semialeatória. Assim, para todas as análises considerou-se o delineamento inteiramente casualizado com 40 repetições.

Os dados gerados foram submetidos à análise de variância e ao teste de diferença de médias Skott-Knott, ambos a 5% de probabilidade, com

auxílio do aplicativo computacional ASSISTAT, versão 7.6 beta (SILVA; AZEVEDO, 2009).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na APA do rio Pandeiros os locais abrangidos por vegetação do tipo cerrado apresentaram variação no valor médio do NDVI entre 0,155 a 0,381. Maiores valores do índice de vegetação por diferença normalizada, o que se reflete no maior vigor da vegetação, foram encontrados nos períodos chuvosos dos anos, com crescimento verificado até o ano de 2010 (Tabela 2).

TABELA 2

Médias dos valores do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) dos anos 2010, 2000 e 1990, entre épocas e altitudes, para formações do tipo cerrado na Área de Proteção Ambiental do Rio Pandeiros.

| Épocas | | Altitudes (m) | | | |
|---------|---------|---|-----------|-----------|-----------|
| | | 747 a 800 | 632 a 747 | 539 s 632 | 440 a 539 |
| | | Valores de NDVI para fisionomia do tipo cerrado | | | |
| 2010 | chuvosa | 0,309 aB | 0,286 aB | 0,296 aB | 0,377 aA |
| | seca | 0,272 bA | 0,238 bB | 0,244 bB | 0,261 bA |
| 2000 | chuvosa | 0,279 bB | 0,279 aB | 0,277 aB | 0,381 aA |
| | seca | 0,237 cA | 0,225 bA | 0,203 cB | 0,234 cA |
| 1990 | chuvosa | 0,275 bB | 0,261 aB | 0,246 bB | 0,376 aA |
| | seca | 0,229 cA | 0,212 bA | 0,155 dB | 0,233 cA |
| C.V (%) | | épocas = 17,15 altitudes = 19,62 | | | |

Médias seguidas por letras idênticas, minúsculas nas colunas e maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.

Entre os intervalos de altitude foi encontrado maior desenvolvimento da vegetação no intervalo entre 440 e 539m. Os intervalos onde se constataram as médias mais baixas do índice utilizado para a vegetação cerrado foram

nas faixas de altitude compreendidas entre 539 a 632m, seguida do intervalo entre 632 a 747m; ano 1990 na época seca.

Em áreas onde há fisionomias do tipo vereda os valores de NDVI variaram de 0,341 a 0,436. Maior vigor da vegetação foi verificado em geral, nas áreas de altitude entre 539 e 747m e os menores valores observados na parte mais alta do recorte espacial estudado (Tabela 3).

TABELA 3

Médias dos valores do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) dos anos 2010, 2000 e 1990, entre épocas e altitudes, para formações do tipo vereda na Área de Proteção Ambiental do Rio Pandeiros.

| Épocas | | Altitudes (m) | | |
|---------|---------|---|-----------|-------------------|
| | | 747 a 800 | 632 a 747 | 539 a 632 |
| | | Valores de NDVI para fisionomias do tipo vereda | | |
| 2010 | chuvosa | 0,377 bB | 0,396 aB | 0,436 aA |
| | seca | 0,419 aA | 0,419 aA | 0,427 aA |
| 2000 | chuvosa | 0,341 cB | 0,407 aA | 0,423 aA |
| | seca | 0,355 cB | 0,385 aA | 0,389 aA |
| 1990 | chuvosa | 0,367 bB | 0,419 aA | 0,403 bA |
| | seca | 0,396 aA | 0,398 aA | 0,384 bA |
| C.V (%) | | épocas = 16,70 | | altitudes = 15,06 |

Médias seguidas por letras idênticas, minúsculas nas colunas e maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.

Na porção dos terrenos compreendida entre as altitudes de 632 a 747m não se observou variação da cobertura vegetal na fisionomia vereda em função das épocas amostradas (Tabela 3). Nessa região encontram-se terrenos mais planos e de atividades antrópicas mais intensas, principalmente áreas de pastagens e cultivos de subsistência.

Nas altitudes entre 539 a 632m, verificou-se aumento dos valores de NDVI para vereda com decorrer do tempo, o que se reflete em maior recuperação desse ecossistema na APA do rio Pandeiros (Tabela 3) entre os anos analisados. Na parte mais elevada da APA, as veredas apresentaram

variação ao longo dos anos, não sendo observados padrões em função do período chuvoso ou seco.

Áreas de solos hidromórficos na APA do rio Pandeiros apresentaram valores médios de NDVI entre 0,043 a 0,310. Esses locais não foram influenciados pela época de avaliação nem pela interação da época com as altitudes ($p > 0,05$). Nas elevações entre 539 a 632m, as áreas abrangidas por solos hidromórficos apresentaram maiores índices em relação àquelas notadas em terrenos com elevação superior dentro dos limites do território estudado (Tabela 4).

TABELA 4

Médias dos valores do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) dos anos 2010, 2000 e 1990, entre altitudes, para áreas de solo hidromórfico na Área de Proteção Ambiental do Rio Pandeiros.

| | Altitudes (m) | | |
|------------------------|---------------|-----------|-----------------|
| | 747 a 800 | 632 a 747 | 539 a 632 |
| NDVI solo hidromórfico | 0,110 b | 0,135 b | 0,182 a |
| | | | CV (%) = 209,62 |

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.

Os locais abrangidos por fisionomias do tipo várzea apresentaram valores médios de NDVI em torno de 0,274 a 0,471 na APA do rio Pandeiros. As épocas chuvosas do período estudado foram aquelas em que se perceberam os maiores valores, representando áreas mais conservadas. As épocas secas foram aquelas nas quais se encontrou os valores mais baixos do índice trabalhado para essa formação (Tabela 5). Adicionalmente, percebe-se uma melhoria na qualidade desses ecossistemas ao longo dos anos em que valores de NDVI mais baixos são encontrados no ano de 1990, e os valores mais elevados são observados em 2010, seguido do ano 2000.

TABELA 5

Médias dos valores do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) dos anos 2010, 2000 e 1990, entre épocas e altitudes (440 e 539m), para formações do tipo várzeas na Área de Proteção Ambiental do Rio Pandeiros

| Épocas | | Valores de NDVI para várzeas |
|---------------|---------|-------------------------------------|
| 2010 | chuvosa | 0,471 a |
| | seca | 0,403 c |
| 2000 | chuvosa | 0,456 a |
| | seca | 0,339 d |
| 1990 | chuvosa | 0,428 b |
| | seca | 0,274 e |
| | | C.V (%) = 14,02 |

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.

Para as áreas ocupadas com corpos d'água, os valores de NDVI apresentaram médias entre -0,731 a -0,099 (Tabela 7). Para esse tipo de fisionomia, valores próximos a -1 indicam maior qualidade da água, relacionados à maior profundidade, menor turbidez e ausência de plantas aquáticas (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

No período chuvoso dos anos de 2010 e 2000 não houve variação dos valores de NDVI para corpos d'água em função das elevações dos terrenos. Entretanto, na época chuvosa do ano 1990 os valores observados são mais próximos de -1 nas áreas de altitude entre 440 a 539m (Tabela 6), ou seja, próximo à área de deságue do rio Pandeiros com o rio São Francisco. Para as épocas secas dos períodos avaliados, maiores valores de NDVI foram observados nas elevações entre 632 a 747m nos anos de 2010 e 2000, não havendo variação para o ano de 1990 (Tabela 6).

TABELA 6

Médias dos valores do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) dos anos 2010, 2000 e 1990, entre épocas e altitudes, para corpos d'água na Área de Proteção Ambiental do Rio Pandeiros.

| Épocas | Altitudes (m) | | | |
|------------------------------------|---------------|-----------------|-----------|--------------------|
| | 632 a 747 | 539 a 632 | 440 a 539 | |
| Valores de NDVI para corpos d'água | | | | |
| 2010 | chuvosa | -0,460 bA | -0,362 bA | -0,536 bA |
| | seca | -0,721 dC | -0,208 aA | -0,530 bB |
| 2000 | chuvosa | -0,226 aA | -0,099 aA | -0,257 aA |
| | seca | -0,731 dB | -0,386 bA | -0,481 bA |
| 1990 | chuvosa | -0,295 aA | -0,148 aA | -0,711 cB |
| | seca | -0,538 cA | -0,349 bA | -0,459 bA |
| C.V (%) | | épocas = -84,48 | | altitudes = -83,35 |

Médias seguidas por letras idênticas, minúsculas nas colunas e maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.

Ribeiro; Walter (1998) propõem a estratificação do bioma Cerrado em onze espécies fito-fisionômicas, as quais são subdivididas e compreendem três formações vegetativas, sendo elas do tipo florestal, a qual é corresponde à mata ciliar, às matas de galeria, à mata seca e ao cerradão; do tipo savânicas, com o cerrado sentido restrito, parque de cerrado, palmeiral e vereda; e do tipo campestre, com o campo sujo, campo rupestre, várzeas e campo limpo. Alguns trabalhos reportam a relação entre fitofisionomias com a variação das formas de relevo e topografia (OLIVEIRA FILHO *et al.*, 1989; FURLEY, 1996), associada ainda à dinâmica da água no terreno (OLIVEIRA FILHO *et al.* 1997).

O IBGE (2004) catalogou uma mescla de áreas de cerrado e caatinga na região de abrangência da APA do rio Pandeiros. No entanto, levando em

consideração a descrição acima, todas as áreas estudadas nesse trabalho corresponderam a zonas de abrangência de subsistemas do bioma Cerrado.

As regiões de vegetação marcadamente do tipo cerrado (senso restrito) na APA do rio Pandeiros são abrangidas por latossolos vermelho-amarelos conjuntamente com neossolo quartzênicos (IGA, 2006). Nessa fisionomia predominam arbustos com galhos ramificados, fustes retorcidos e cascas grossas com profundos sistemas de raízes.

Tais formações são caracterizadas pela constituição de estratos rasteiros, arbustivos e arbóreos, distribuídos em regiões de solos ácidos e suavemente ondulados. Conforme Ribeiro; Walter (1998), essa formação está presente em altitudes que variam entre 300 a 1600m, condizentes com as elevações estudadas neste trabalho.

As regiões abrangidas por esse tipo de fisionomia são marcadas por duas estações bem definidas, uma seca no outono-inverno, e outra chuvosa na primavera-verão (CHAVES, 2003), tal como confirmado pelos dados climáticos da região nos anos de estudo (Gráfico 1).

Essas descrições são confirmadas por meio da análise dos valores do NDVI para a fisionomia do tipo cerrado na APA do rio Pandeiros, as quais mostraram as variações nas características físicas dessa vegetação em função das épocas chuvosas e secas. Em comparação às áreas marcadas pelas fisionomias do tipo vereda é notada maior mistura de estratos herbáceo, arbustivo e arbóreo, o que justifica a maior amplitude dos valores do NDVI para a fisionomia do tipo cerrado.

Ambientes marcados por vegetações do tipo veredas são vistos em zonas de interflúvio das chapadas, locais onde há uma rede intermitente e mal distribuída de caminhos d'água. Esses caminhos d'água permanecem abaixo dos talwegues na estação seca desses pequenos vales, somente tangenciando cabeceiras em anfiteatros rasos e pantanosos com presença de vegetação hidrófila e buritizais (AB'SÁBER, 2003).

Na APA do rio Pandeiros esses locais são encontrados em vales rasos, com vertentes côncavas, arenosas, de caimento pouco pronunciado e fundo, preenchidos por argilas hidromórficas ricas em matéria orgânica e solos predominantes do tipo gleissolo (IGA, 2006).

Os ambientes de veredas servem como redes de abastecimento dos cursos d'água do cerrado e constitui-se num refúgio de sua fauna e flora (CASTRO, 1980), além de serem essenciais para as populações rurais que necessitam dessa fonte de água durante os meses de estiagem. Devido a maior oferta d'água nesses ambientes, observa-se maior exuberância dessa fisionomia em relação às áreas de cerrado, por apresentar árvores de maior porte além da maior densidade da vegetação. Os fatores enumerados se refletiram nas médias de NDVI mais elevadas para áreas de vereda em relação às de cerrado na APA do rio Pandeiros.

Também marcada pela presença de solos hidromórficos e vegetação hidrófila, as áreas de várzea apresentam como principal diferença fitofisionômica em relação às áreas de vereda, conforme Ab'Sáber (2003), o fato deste último ambiente ser assinalado pela ocorrência da palmeira buriti (*Mauritia vinifera*). As demais áreas brejosas, desprovidas de buritizais, não são consideradas subsistemas de vereda, mas várzeas ou campos alagadiços.

As áreas de várzeas da APA do rio Pandeiros apresentam solos do tipo gleissolo (IGA, 2006), tratando-se de zonas de acúmulo de sedimentos provenientes das partes mais elevadas do terreno e de outras várzeas situadas à montante (MARQUES JÚNIOR *et al.*, 2008). Essas características justificam os valores médios de NDVI para a fisionomia do tipo várzea muito similares àqueles verificados nas áreas de vereda.

A maior parte dos resíduos das encostas são distribuídos e depositados em áreas de várzea (SANTOS *et al.*, 2008). No entanto, também pode ocorrer a redistribuição desses resíduos depositados nas várzeas para os locais de menor cota de uma bacia hidrográfica (ALVARENGA; DAVIDE, 1999), o que leva esse ambiente a sofrer constantes modificações ao longo do tempo.

Os resultados obtidos para as áreas de solo hidromórfico, presentes em locais de várzea e de veredas, comprovam a dinamicidade desses locais ao se observar o coeficiente de variação obtido (209,62%), o qual indica a alta dispersão do ambiente.

Devido a essa constante modificação e fragilidade, os ecossistemas de várzeas podem ser comprometidos quando uma topossequência de vegetação nativa é convertida em áreas cultivadas. A prática leva à diminuição cíclica da quantidade de nutrientes por mineralização ao longo do declive em decorrência de práticas agrícolas inadequadas e sem planejamento (SANTOS; SALCEDO, 2010).

Caso haja a perpetuação dos cultivos, o solo pode ficar suscetível a processos erosivos, resultando na perda de biodiversidade e na diminuição da capacidade desses ecossistemas recuperarem-se após perturbações (SANTOS *et al.*, 2008). O risco de degradação é ainda maior nas áreas margeadas por relevo ondulado, tal como visto na APA do rio Pandeiros, resultando no incremento dos processos de erosão, notadamente quando a vegetação nativa é convertida em culturas agrícolas anuais e pastagens (GALVÃO *et al.*, 2005). Dessa forma, faz-se necessário o constante monitoramento e criação de um plano de manejo para reorientação e maior preservação da ambiência natural de tal território.

Devido à falta de planejamento conservacionista e a grande exploração verificada nas áreas de corpos d'água, Bethonico (2009); Miranda *et al.* (2011) destacam que os principais impactos ambientais da APA do rio Pandeiros encontram-se nas áreas de cursos hídricos, onde já foram percebidos a diminuição do volume das águas, o assoreamento e a secagem de vários riachos.

As áreas de corpos d'água são degradadas por meio de estradas que interceptam cursos hídricos e pela drenagem indiscriminada para irrigação de cultivos agrícolas (FONSECA *et al.*, 2011). O uso sem critérios desse recurso refletiu-se nos dados do NDVI obtidos no trabalho, os quais se apresentaram inconstantes e sem padrões definidos ao longo dos anos e das altitudes, o que é um indicativo de distúrbio.

A importância e a fragilidade dos ecossistemas da APA do rio Pandeiros exige o constante monitoramento desse ambiente, o que pode ser otimizado com o uso de Geotecnologias para aquisição, processamento e análise de informações. Essas tecnologias permitem o diagnóstico mais completo e abrangente com a possibilidade de geração de um catálogo

histórico dos fenômenos, o que pode orientar para a maior mitigação de impactos e conservação do ambiente por meio de prognósticos.

Entretanto, devido às limitações da técnica que utiliza dados à distância, o monitoramento deve sempre ser acompanhado de trabalhos de campo, de fiscalização efetiva e de caracterizações da dinâmica das vegetações e demais fisionomias, com a finalidade de se obter conhecimento de maior abrangência a respeito da APA do rio Pandeiros.

7 CONCLUSÃO

Por meio dos resultados gerados com o uso da série temporal de imagens LANDSAT 5/TM e análise das médias dos valores do NDVI, é notada a recuperação das fisionomias do tipo cerrado, vereda e várzea ao longo das épocas analisadas, sendo que a primeira e a última fisionomias apresentaram maior vigor vegetativo nos períodos chuvosos dos anos.

As áreas de solo hidromórfico não apresentaram diferenças significativas em função das épocas. Nas áreas de corpos d'água houve inconstância dos valores, o que indica desequilíbrio e distúrbios para essa fisionomia. Para essas áreas seria necessária a realização de mais estudos e a verificação de testes com outros índices de normalização de imagens mais específicos para detecção de áreas úmidas.

Em função dos intervalos de altitude, a formação do tipo cerrado apresentou maior vigor nas elevações entre 440 e 539m. A partir do ano 2000 foi verificado maior vigor para vegetação do tipo vereda em elevações entre 539 e 747m. Para áreas de solo hidromórfico, verificou-se valores mais elevados de NDVI no intervalo entre 539 e 632 metros de altitude.

REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, A.N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. 160p.

ALLEN, R; BASTIAANSEN, W; WATERS, R; TASUMI, M.; TREZZA, R. **Surface energy balance algorithms for land (SEBAL)**. Advanced Training and Users Manual, Version 1.0. EUA: University of Idaho, 2002. 97p.

ALVARENGA, M. I. N.; DAVIDE, A. C. **Características físicas e químicas de um Latossolo vermelho-escuro e a sustentabilidade de agroecossistemas**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 23, p. 933-942, 1999.

BARRIOS, A. G.; QUIÑONES, E. **Evaluación de la erosión utilizando el Modelo R(USLE), con apoyo en SIG: aplicación en una Microcuenca en los Andes Venezolanos**. Revista Forestal Venezolano. v. 1, p. 65-71, 2000.

BETHONICO, M. B. M. **Rio Pandeiros: território e história de uma área de proteção ambiental no Norte de Minas Gerais**. Revista Acta Geográfica, v. 5, p. 23-38, 2009.

CÂMARA, G; DAVIS, C; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da Geoinformação**. Ministério da Ciência e Tecnologia. Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), 2001. Disponível em: <http://www.geolab.faed.udesc.br/paginaweb/Pagina%20da%20disciplina%20geop_files/intoducao.pdf>. Acesso em: 07 mai. 2010.

CASTRO, J. P. C. **As veredas e sua proteção jurídica**. Fundação João Pinheiro: Análise e Conjuntura, Belo Horizonte, v.10, p.321–333, 1980.

CHANDER, G; MARKHAN, B. L.; HELDER, D. L. **Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors**. Remote Sensing of Environment, v. 113, p. 893–903, 2009.

CHAVES, M. R. **Descentralização da política ambiental no Brasil e a gestão dos recursos naturais do Cerrado goiano**. Rio Claro: Universidade Estadual Paulista, 2003. 185p. Tese de Doutorado

DIAS, R. R; MATOS, J. T. **Zoneamento ecológico-econômico no tocantins: comparação de resultados usando um mesmo método em diferentes datas**. Revista Brasileira de Cartografia, v.4, p. 351-365, 2009.

DONHA, A.G; SOUZA, L. C. P; SUGAMOSTO, M. L. **Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 10, p. 175-181, 2006.

ESPINDOLA, G. M.; AGUIAR, A. P. D.; PEBESMA, E.; CÂMARA, G.; FONSECA, L. **Agricultural land use dynamics in the Brazilian Amazon based on remote sensing and census data**. Applied Geography, v. 32, p. 240-252, 2012.

FONSECA, D. S. R.; NASCIMENTO, C. R.; MIRANDA, W. A.; FIGUEIREDO, F. P. **Diagnóstico do uso do solo e degradação ambiental na Bacia Hidrográfica do Pandeiros-MG como subsídio para estudos de impacto ambiental**. Revista Eletrônica Georaguaiá, v. 1, p. 1-20, 2011.

GALVÃO, S. R. S.; SALCEDO, I. H.; SANTOS, A. C. **Frações de carbono e nitrogênio em função da textura, do relevo e uso do solo na microbacia do agreste em Vaca Brava (PB)**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 29, p. 955-962, 2005.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de vegetação do Brasil**. 2004.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE cidades, censo 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.com.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acessado em: 01 de jun. 2011.

IGA. Instituto de Geociências Aplicadas. **Áreas de proteção ambiental do Estado de Minas Gerais. Demarcação e estudos para pré-zoneamento ecológico. APA Bacia do Rio Pandeiros**. Belo Horizonte: Governo do Estado de Minas Gerais, 2006. 271p.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <<http://www.agritempo.gov.br/agroclima/sumario?uf=MG>>. Acessado em: 06 de jul. 2012.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Catálogo de imagens**. São Paulo, 2010. Disponível em: <www.inpe.br/>. Acesso em: 15 jan. 2012.

KÖPPEN, W. **Grundriss der Klimakunde**. Berlin: Walter de Gruyter, 1931. 390p.

LEEJW, J. de; GEORGIADOU, Y; KERLE, N; GIER, A. de; INOUE, Y; FERWERDA, J; SMIES, M.; NARANTUYA, D. **The function of Remote Sensing in support of environmental policy**. Remote Sensing, v. 2, p. 1731-1750, 2010.

LI, M; ZHU, Z; VOGELMANN, J.E; XU, D; WEN, W.; LIU, A. **Characterizing fragmentation of the collective forest in southern China from multitemporal Landsat imagery: a case study from Kecheng district of Zhejiang**. Applied Geography, v. 31, p. 1026-1035, 2011.

MAILLAD, P.; PEIREIRA, P. S. Costa. **Estimating the age of Cerrado regeneration using Landsat TM data**. Canadian Journal of Remote Sensing, v. 36, p. 1-14, 2010.

MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T.; BARBIERI, D. M. **Variabilidade espacial de matéria orgânica, P, K e CTC de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar por longo período**. Revista de Biologia e Ciências da Terra, v. 8, p. 143-152, 2008.

MARKHAM, B. L.; BARKER, L. L. **Thematic Mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances**. Journal of Remote Sensing, v. 8, p. 517-523, 1987.

MARTINELLI, M. **Mapas da Geografia e Cartografia Temática**. São Paulo: Contexto, 2005. 144p.

MIRANDA, W. A; MELO, A. de A. M; SILVEIRA, P. H. F; FONSECA, D. S. R.; FIGUEIREDO, F. P. **Análise da ocupação humana na microbacia da vereda Grumichá, Bonito de Minas**. In: ENCONTRO REGIONAL POVOS DO CERRADO, 6., 2011, Pirapora. **Anais...** Montes Claros: UNIMONTES, 2011. p. 1-10.

NASCIMENTO, C. R; ZULLO JÚNIOR, J; RODRIGUES, L. H. A. **Associação de mineração de dados e Imagens do sensor AVHRR/NOAA na busca de padrões para identificação de áreas com cana-de-açúcar no Estado de São Paulo**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** São Bernardo do Campo: INPE, 2009. p. 7845-7853.

OLIVEIRA FILHO, A. T; SHEPHERD, G. J.; MARTINS, F. R.; STUBBLELINE, W.H. **Environmental factors effecting physiognomic and floristic variation in area of Cerrado in central Brazil**. Journal of Tropical Ecology, v. 5, p. 413-431, 1989.

OLIVEIRA FILHO, A.T.; CURTI, N.; VILELA, E.A.; CARVALHO, D.A. **Tree species distribution along soil catenas in a riverside semideciduous forest in the southeastern Brazil**. Flora, v.192, p. 47-64,1997.

ORTIZ; J. L. FREITAS, M. I. C. **Mapeamento do uso da terra, vegetação e impactos ambientais por meio de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento**. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 24, p. 91-104, 2005.

PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E. **Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2007. 130p.

RANIERI, S. B. L; SPAROVEK, G; SOUZA, M. P.; DOURADO NETO, D. **Aplicação de índice comparativo na avaliação do risco de degradação das terras**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 22, p. 751-760, 1998.

RIBEIRO, G. N. **Utilização de técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento no estudo dos recursos naturais.** Revista Verde Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 3, p. 22-41, 2008.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. **Fitofisionomias do bioma Cerrado.** In: Sano, S. M.; Almeida, S. P. de. (ed.). Cerrado: Ambiente e Flora. Planaltina: Embrapa CPAC, 1998. p. 89-166.

ROSA, R. **Geomática no Brasil: histórico e perspectivas futuras.** Revista Internacional de Ciência y Tecnología de la Información Geográfica, v. 9, p. 29-40, 2009.

ROSA, R.; BRITO, J. L. S. **Introdução ao Geoprocessamento: Sistema de Informação Geográfica.** Uberlândia: UFU, 1996. 104p.

SANTOS, A.C.; SALCEDO, I. H. **Fertilidade nas áreas de várzea e topo em função do uso do solo e posição do relevo.** Revista de Biologia e Ciências da Terra, v. 10, p. 83-90, 2010.

SANTOS, A.C.; SALCEDO, I. H.; GALVÃO, S. R. **Relações entre uso do solo, relevo e fertilidade do solo em escala de microbacia.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.12, p.498-504, 2008.

SILVA, A. B. **Sistemas de Informações Georreferenciadas: conceitos e fundamentos.** Campinas: Unicamp, 2003. 236p.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. **Principal components analysis in the software Assistat Statistical Assistance.** In: World Congress on Computers in Agriculture, 7, 2009, Reno. Proceedings... St. Joseph: ASABE, 2009. p.1-5.

TEDESCO, A.; CENTENO, J. A. S. **Estimativa de profundidades através da integração de dados Batimétricos e dados espectrais provenientes de imagens Ikonos.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte-MG, Anais... São Bernardo do Campo: INPE, 2003. p. 303-309.

TONIAL, T. M.; MISSIO, E; SANTOS, J. E; OLIVEIRA, C. H.; HOLZSCHUH, M. L; ZANG, N. **Diagnóstico ambiental de unidades da paisagem da região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul no período de 1984 a 1999.** Revista Brasileira de Cartografia, v. 3, p. 213-225, 2005.

VIANA, S. S. M; AMORIM, M. C. C. T. **Caracterização do clima urbano em Teodoro Sampaio/SP: Uma Introdução.** Revista Sociedade e Natureza IG/UFU, v. 2, p. 19-42, 2008.

ZÚJAR, J. O; FRANCOSO, J. I. A; CAJAVILLE, D. M; JURADO, P. F. **El uso de las Tecnologías de la Información Geográfica para el cálculo del Índice de Vulnerabilidad Costera (CVI) ante una potencial subida del**

nivel del mar en la costa Andaluza (España). Revista Internacional de
Ciência y Tecnología de la Información Geográfica, v. 9, p. 83-100, 2009.