

## ANÁLISE COMPARATIVA DO NDVI EM FITOFISIONOMIAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO MARCOS

### COMPARATIVE ANALYSIS OF NDVI IN PHYSIOGNOMIES ON SÃO MARCOS RIVER BASIN

Aline Biasoli Trentin  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS  
abtrentin@gmail.com

Dejanira Luderitz Saldanha  
Universidade Federal do Rio Grande Sul - UFRGS  
dejanira.saldanha@ufrgs.br

Tatiana Mora Kuplich  
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais ó CRS/INPE  
tmk@dsr.inpe.br

#### RESUMO

Este trabalho objetivou a comparação da fenologia de fitofisionomias de cerrado e classes de cobertura da terra utilizando o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na Bacia Hidrográfica do rio São Marcos. As etapas de trabalho foram: (1) identificação espacial de cada classe de cobertura da terra utilizando o mapa de vegetação PROBIO; (2) vetorização de amostras em cada uma das áreas; (3) extração das médias de NDVI para todas as cenas MODIS entre os anos 2001 e 2011 e (4) elaboração dos gráficos da série temporal para cada fitofisionomia e classe de cobertura da terra. Os resultados mostraram semelhança na distribuição sazonal do NDVI para as áreas de savana parque e gramíneo-lenhosa, sendo que as diferenças anuais se dão em função da época chuvosa ou seca. A área de agricultura apresentou diferença anual mais abrupta devido à ocorrência de monocultura. Na área de atividade pecuária ocorreu diferença sazonal em função das épocas chuvosa e seca, e alteração para valores maiores de NDVI a partir do ano 2005, possivelmente pela inserção de pastagem plantada no local. A utilização do NDVI permitiu a comparação entre a fenologia das fitofisionomias e o entendimento da dinâmica de cobertura da terra que ocorre na área de estudo.

**Palavras-chave:** Dinâmica da cobertura da terra, índice de vegetação, série temporal, NDVI, MODIS.

#### ABSTRACT

This work aimed to compare the phenology of cerrado physiognomies and classes of land cover classes using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) on São Marcos river basin. Work steps were: (1) identification of each type of land cover class using the PROBIO vegetation map as reference; (2) vectorization of the land cover samples; (3) NDVI values sampling and averaging for all MODIS scenes between 2001 and 2011 and (4) development of time series plots for each class. The results showed similarity in seasonal distribution of NDVI for the savannah physiognomies, with annual differences due to the rainy or drought seasons. The agriculture samples showed marked annual differences due to the occurrence of monoculture and the cycles of seed. In the area of pasture for cattle grazing the seasonal differences also occurred in function of the rainy and dry seasons. Changes in the NDVI values for 2005 were possibly due to insertion/planting of a different pasture type in the area. The use of NDVI allowed the comparison between phenology of the physiognomies and allowed the understanding of the land cover dynamics that occurs in the study area.

**Keywords:** Land cover dynamics, vegetation index, temporal series, NDVI, MODIS.

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com os dados do Quarto Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC) (2007), as mudanças no uso da terra podem ocasionar o aumento das emissões de gases do efeito estufa e o manejo adequado da utilização da terra é uma das formas de controle para esse aumento. Além disso, considera-se que ecossistemas que aumentam a produtividade da biomassa e o sequestro de carbono, bem como a melhoria das tecnologias de sensoriamento remoto e mapeamento da mudança no uso da terra, são úteis para as práticas de mitigação das emissões de gases do efeito estufa (IPCC, 2007).

O papel dos ecossistemas terrestres quanto às questões do aumento da quantidade de carbono lançado na atmosfera está sendo alvo de grandes estudos e interesse pela comunidade científica e autoridades governamentais. O debate mundial relacionado ao processo de aquecimento global, que em grande parte é causado cada vez mais pela intensificação das atividades humanas devido à apropriação dos recursos naturais (IPCC, 2001; Greenpeace, 2006), é um dos principais focos relacionado a este interesse.

De acordo com Lambin et al. (2001) o uso da terra e as mudanças na cobertura da terra em aspectos globais, têm significativo efeito no funcionamento do sistema terrestre. Mudanças de uso e cobertura da terra têm sido usadas extensamente em balanços globais do carbono antropogênico, que envolvem um grau de complexidade muito grande e representam o conhecimento de como os ecossistemas terrestres trabalham e como eles respondem ao clima, uso da terra e mudanças climáticas (Fearnside e Guimarães, 1996; Alves et al., 1997).

O ciclo de carbono da biosfera terrestre pode afetar os níveis de CO<sub>2</sub> na atmosfera e tornar-se importante para o sistema climático (IPCC, 2007), pois as trocas de CO<sub>2</sub> entre superfície-atmosfera relacionadas à vegetação representam o equilíbrio desses sistemas. O carbono absorvido no processo de fotossíntese pela vegetação é estocado na biomassa e em materiais que se acumulam no solo. Quando a vegetação é submetida ao processo de queima ou mesmo desmatada, o carbono acumulado é convertido em CO<sub>2</sub> e atua como fonte de emissão para a atmosfera (Anderson e Shimabukuro, 2007; Korn et al., 2007; Ramankutty et al., 2007).

A expansão das atividades agrícolas visando o desenvolvimento econômico tem se mostrado uma das principais formas na transformação dos ecossistemas. Neste estudo se destaca o bioma cerrado, que ocupa uma área de aproximadamente 2.039.386 km<sup>2</sup> (MMA e IBAMA, 2011) e se tornou um dos mais notados biomas convertidos pela expansão das atividades agrícolas.

Atualizações constantes sobre a dinâmica da cobertura da terra permitem acesso a informações sobre áreas com diversos interesses. A tecnologia de geoprocessamento incluindo o sensoriamento remoto e a distribuição espacial de dados quantitativos georreferenciados permite a determinação dos padrões espaciais e temporais dos diversos usos e cobertura do solo, constituindo uma ferramenta importante para o planejamento ambiental e o desenvolvimento socioeconômico. É uma técnica que fornece subsídios para o monitoramento constante da superfície terrestre, gerando dados contínuos no tempo e no espaço. Promove ainda uma abordagem ao longo do tempo, com a geração e tratamento de assinaturas temporais de índices de vegetação associados à produção de biomassa e de estoque de carbono.

O sensoriamento remoto fornece dados valiosos para a identificação e descrição de ecossistemas em escalas regionais e globais (Paruelo et al., 2001; Sun et al., 2008). Imagens coletadas remotamente e seus produtos derivados podem auxiliar na compreensão da dinâmica sazonal da vegetação (Liang e Schwartz, 2009), estimativa da cobertura da terra e as mudanças em diferentes escalas espaciais (IPCC, 2001).

O mapeamento de uso da terra com imagens de satélite oferece como principal vantagem a possibilidade de análises temporais de acordo com as necessidades de cada estudo. A precisão de cada mapeamento, porém, depende da identificação correta da resposta espectral de cada alvo nas imagens, sendo que esta informação pode ser diferente ao considerar épocas distintas (Anderson e Shimabukuro, 2007).

A interação que acontece entre os dosséis vegetais e a energia eletromagnética no processo da fotossíntese está relacionada diretamente com a forma de registro dessas fisionomias pelos instrumentos de

sensoriamento remoto (Jensen, 2009). Cada fisionomia vegetal tem sua característica e estrutura e, portanto, respondem de forma diferente à disponibilização dos componentes envolvidos no processo de fotossíntese.

Como as relações entre os dados de campo e os dados remotos muitas vezes não são diretas, dada a complexidade das interações da radiação eletromagnética (REM) com dosséis vegetais, foram criados índices que realçam as diferenças entre a grande absorção da REM na região visível do espectro e a reflectância na região do infravermelho próximo (Ponzoni e Shimabukuro, 2009). Estes índices minimizam a variabilidade causada por fatores externos à vegetação e servem como indicadores do crescimento e vigor da vegetação verde (Jensen, 2009).

O avanço na utilização de imagens de satélite para obtenção de dados com maior exatidão favorece estudos relacionados a superfície ocupada e suas modificações, dados biofísicos da vegetação, entre outros (Brizuela e Milera, 2003). Para a determinação de padrões espaciais/temporais e monitoramento da vegetação em escalas regionais (Anderson e Shimabukuro, 2007), destaca-se a utilização dos produtos do sensor MODIS (*MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer*), a bordo das plataformas TERRA e AQUA, que disponibiliza dados gratuitos e com alta periodicidade. Este sensor registra dados em bandas espectrais planejadas para o desenvolvimento de produtos capazes de fornecer informações específicas da superfície terrestre e atmosfera.

Em estudos relacionados a vegetação apresenta entre seus dados o produto MOD13, que contém o índice de vegetação NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), disponibilizado a cada 16 dias com resolução espacial de 1 km, 500 m e 250 m (Latorre et al., 2007; Soares et al., 2007). O NDVI é calculado a partir da relação entre as reflectâncias do infravermelho próximo e vermelho ( $NDVI = (I_{VP} - V) / (I_{VP} + V)$ ), resultando em valores entre -1 (ausência de vegetação) e +1 (alto vigor da vegetação). Este é um dos índices mais utilizados para o monitoramento da vegetação, uma vez que permite avaliações sazonais e interanuais com a detecção de mudanças fenológicas na vegetação (Ponzoni e Shimabukuro, 2009), elimina diferenças sazonais do ângulo de elevação solar minimizando efeitos da atenuação atmosférica (Jensen, 2009; Latorre et al., 2007).

Estudos relacionados a cobertura da terra, fenologia e estoque de carbono pela vegetação demonstram a grande utilização do NDVI. Anderson e Shimabukuro (2007) empregaram o NDVI a fim de registrar a fenologia e a sazonalidade da vegetação para o Estado do Mato Grosso, utilizando correlações com amostras de diferentes formações vegetais e precipitação. Em outro trabalho, Pereira e Gontijo (1993) identificaram unidades fitofisiográficas na Serra do Cipó-MG correlacionando dados de índices de vegetação com tipos de solo e relevo.

Nesse sentido, se destaca a avaliação de espectros temporais que detecta e caracteriza variações fenológicas na vegetação. Por isso, o objetivo deste trabalho concentra-se em comparar as fitofisionomias encontradas na Bacia Hidrográfica do Rio São Marcos, situada entre os estados de Goiás e Minas Gerais, considerando o comportamento temporal do NDVI.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi iniciado com a busca das imagens do sensor MODIS ó produto MOD13Q1, as quais foram adquiridas no *Land Processes Distributed Active Archive Center* (LP DAAC)/NASA onde são disponibilizadas gratuitamente. Utilizou-se 230 cenas correspondentes ao dado de NDVI, distribuídas entre os anos de 2001 e 2011 (23 cenas por ano), com o propósito de analisar a temporalidade dos dados para o recorte espacial correspondente a Bacia Hidrográfica do rio São Marcos.

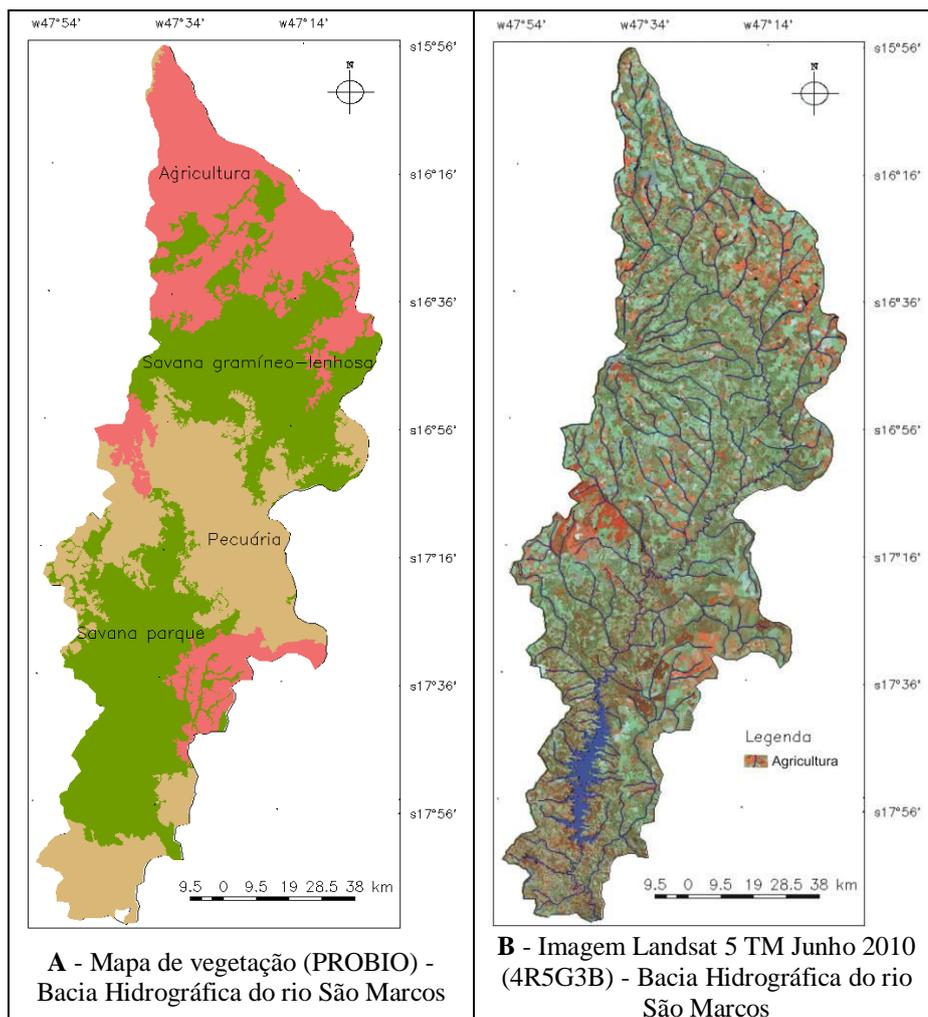
As imagens NDVI têm resolução espacial de 250 metros e resultam de um mosaico de pixels escolhidos entre as imagens diárias em um tempo de dezesseis dias, objetivando extrair pixels com melhor qualidade (sem interferência de nuvens, ruídos) (Latorre, et al., 2007). Para modificar o formato dos arquivos (\*.hdf para \*.tif) e atribuir a uma projeção cartográfica, as imagens foram pré-processadas no *software*

MRTTools e posteriormente incorporadas em banco de dados no aplicativo Spring 5.1.8.

No banco de dados no aplicativo Spring foi incorporado o mapa de vegetação disponibilizado pelo PROBIO (Figura 1 A). Com este dado foi possível localizar cada fitofisionomia (savana gramíneo-lenhosa (campo limpo de cerrado), savana parque (campo sujo de cerrado), agricultura e pecuária) e determinar os locais de amostragem aleatoriamente (considerando uma amostra para cada fitofisionomia). As amostras de savana parque, gramíneo-lenhosa e de pecuária foram identificadas a partir da chave de interpretação para o mapeamento do cerrado do PROBIO (MMA, 2007), sendo escolhido para a pecuária um padrão entre savana gramíneo-lenhosa e pastagem cultivada. A amostra de agricultura foi identificada em função da ocorrência de pivô central na área de estudo verificada por meio da imagem Landsat 5 TM (Figura 1 B).

Após a escolha dos locais de amostragem foi realizada a vetorização das amostras (com aproximadamente 30 pixels cada uma), a fim de identificar a média do NDVI para cada classe de cobertura da terra e fitofisionomia de cerrado. A média de cada amostra para cada uma das cenas MODIS que compõe a série temporal neste trabalho foi extraída utilizando estatísticas descritivas na ferramenta de análise exploratória de dados contida no aplicativo Spring.

Os valores das médias retiradas no aplicativo Spring foram plotados em tabela Excel onde se elaborou gráficos com o comportamento temporal do NDVI para cada fitofisionomia e classe de cobertura da terra. Por fim, foi calculada a média simples e o desvio padrão por cena em cada amostra para toda a série temporal. Com os dados foram elaborados gráficos de média e desvio padrão.



**Figura 1** - Mapa de vegetação (PROBIO) e Imagem Landsat 5 TM utilizados para identificar os locais de amostragem e a separabilidade das classes na Bacia Hidrográfica do rio São Marcos.

## 2.1. Área de Estudo

A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do rio São Marcos (Figura 2) - área de captação do reservatório do Aproveitamento Hidrelétrico Serra do Facão (AHE Serra do Facão). A bacia hidrográfica possui uma área de aproximadamente 12.000 km<sup>2</sup> dentro do bioma cerrado e abrange nove municípios. Seis localizados no estado de Goiás (Catalão, Cristalina, Campo Alegre de Goiás, Davinópolis, Ipameri e Ouvidor) e três no estado de Minas Gerais (Guarda-Mor, Paracatu e Unaí). A população residente nos municípios que estão inseridos na área de estudo é de 340.393 habitantes, sendo 171.545 nos municípios que se localizam no estado de Goiás e 168.848 em Minas Gerais (IBGE, 2010).

Para Silva et al. (2006), o Estado de Goiás apresenta um clima tropical, com duas estações bem definidas, uma chuvosa (outubro a abril) e outra seca (maio a setembro). A média anual da pluviosidade está em torno de 1.532 mm, sendo que 95% das chuvas ocorrem na estação chuvosa. A temperatura do ar apresenta maiores índices térmicos nos meses de agosto e setembro, enquanto as temperaturas mínimas ocorrem nos meses de junho e julho.

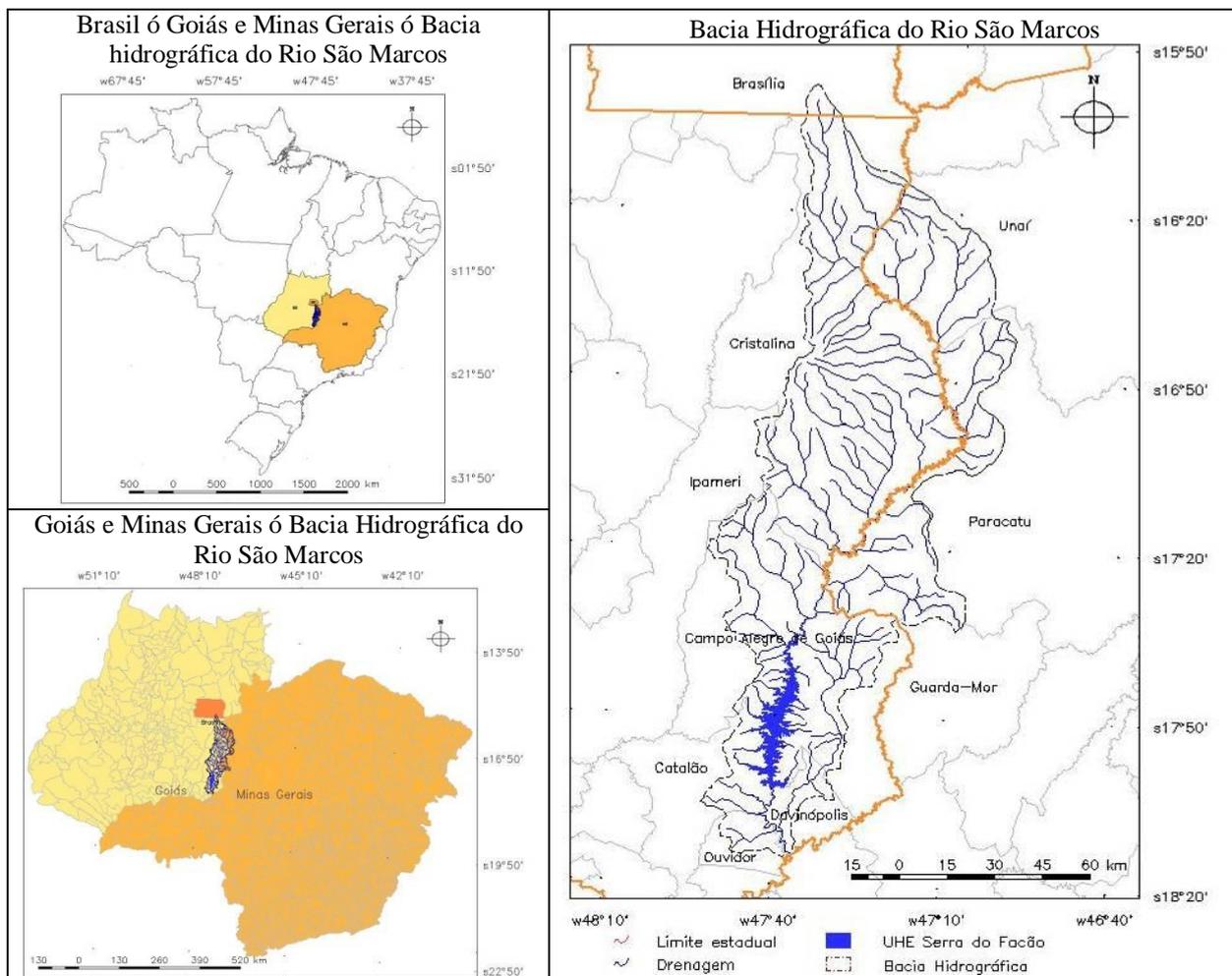


Figura 2 - Localização da área de estudo - bacia hidrográfica do rio São Marcos.

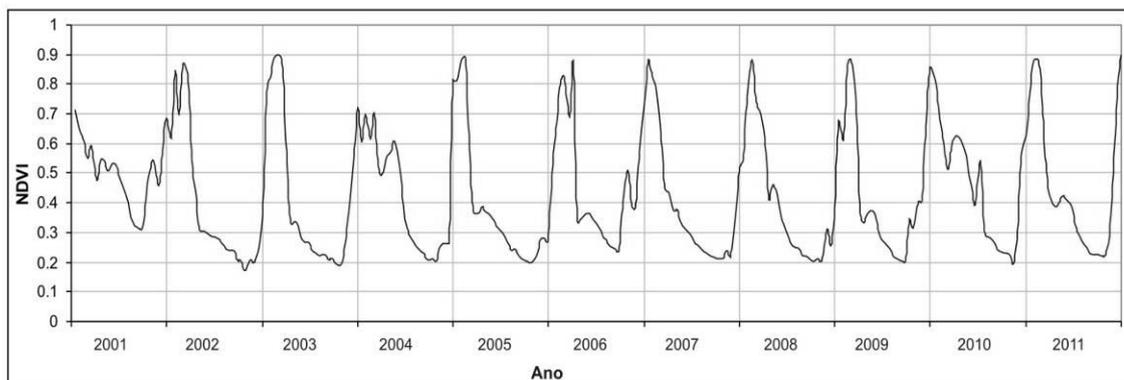
De acordo com dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) com resolução espacial de 30 metros obtidos no Banco de Dados Geomorfológicos do Brasil ó Projeto TOPODATA (INPE), o relevo na área da Bacia Hidrográfica do Rio São Marcos apresenta altitudes superiores a 600 metros e declividades que variam de planas a escarpadas, esta última encontrada no entorno dos canais de drenagem. A morfologia do terreno observada a partir do Mapa Geomorfológico do Estado de Goiás (Latrubesse e Carvalho, 2006), concentra os seguintes sistemas geomorfológicos: superfícies regionais de aplainamento (cotas entre 900 e 1100m) com dissecação fraca, média e forte, zonas de erosão recuante com dissecação média e forte, além de estrutura dômica com dissecação fraca.

Em relação ao solo, conforme o mapa de solos disponibilizado pelo MMA/IBGE (2001) em escala 1:5.000.000, encontram-se na bacia hidrográfica cinco tipos de solos (classificados até o 2º nível categórico): (a) Plintossolo Pétrico ó apresentam concreções e geralmente tem boa drenagem; (b) Cambissolo Háplico ó tem grande variação de profundidade, a drenagem varia de acentuada a imperfeita e muitas vezes são pedregosos ou rochosos; (c) Latossolo Vermelho-Amarelo - são profundos, com boa drenagem e normalmente baixa fertilidade natural; (d) Latossolo Vermelho - geralmente com grande profundidade, homogêneos, de boa drenagem e baixa fertilidade natural; (e) Neossolo Litólico ó constituídos por material mineral ou material orgânico pouco espesso, ocorrendo nos relevos mais escarpados (IBGE, 2007; EMBRAPA, 2006).

No levantamento da fitofisionomia vegetal do PROBIO (MMA, 2007) em escala 1:5.000.000, predominam na bacia hidrográfica do Rio São Marcos vegetação de Savana (Parque e Gramíneo-Lenhosa), ocupando área de aproximadamente 5.333 km², Agricultura (3.189 km²) e Pecuária (3.522 km²). A vegetação de savana inclui áreas abertas ou com pouca vegetação caracterizada por um estrato arbustivo distribuído sobre um tapete gramíneo-lenhoso (IBGE, 2006). Nas áreas de agricultura destaca-se a produção de grãos principalmente da soja, cultivada em grande parte em lavouras com pivô central de irrigação (Matos e Pessôa, 2012). A atividade pecuária é desenvolvida sobre pastagem cultivada e nativa, esta última muitas vezes incluída nos remanescentes do cerrado (Sano e Ferreira, 2005).

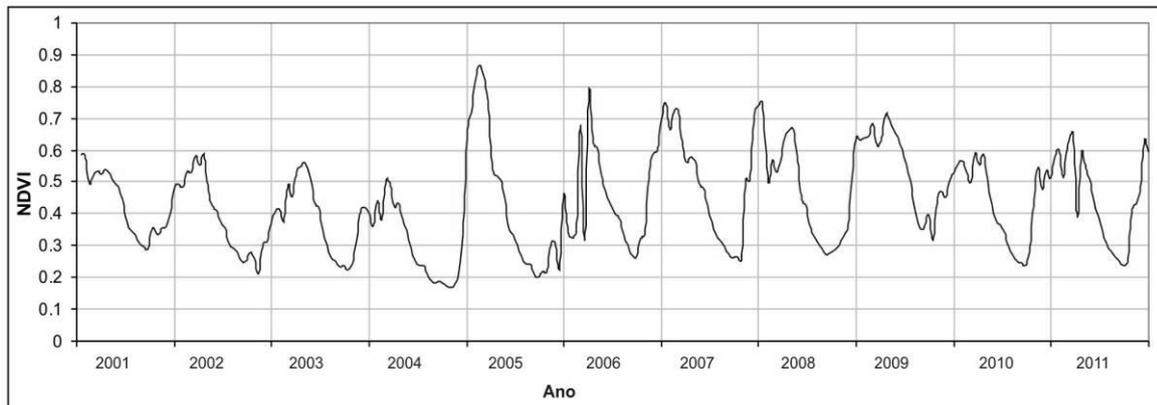
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O gráfico resultante da série temporal do NDVI correspondente a agricultura (Figura 3) mostra a ocorrência de padrões semelhantes para todo o período, com valores máximos no verão e mínimos no inverno, perfazendo ciclos. Este padrão pode ser explicado pela ocorrência dominante de apenas uma espécie vegetal anual por atividade de monocultura (Ferreira et al., 2006), como a soja que é cultivada em grande parte da área, e apresenta a fase de plantio e crescimento no verão, senescência no outono e interrupção do cultivo no inverno e primavera (Ferreira e Huete, 2004).



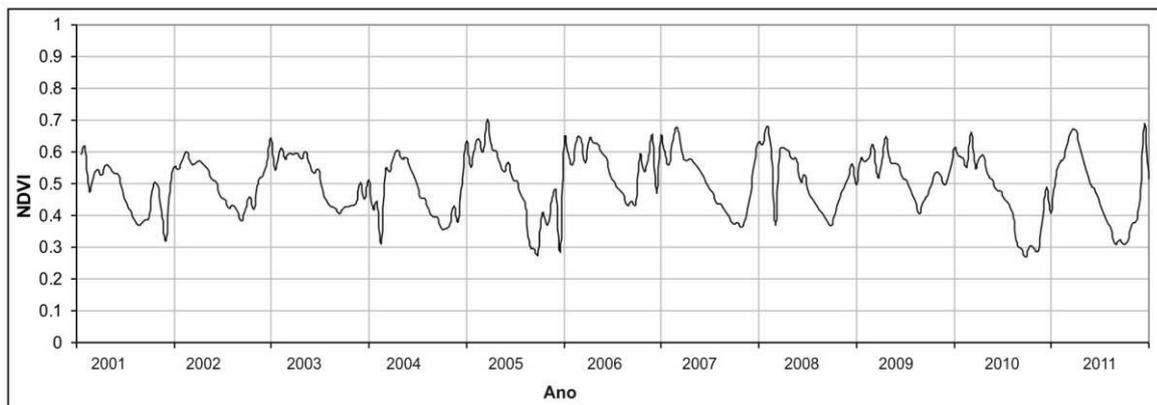
**Figura 3** - Gráfico da série temporal NDVI para a classe de cobertura da terra agricultura na bacia hidrográfica do rio São Marcos.

Em relação à série temporal NDVI para a pecuária, o gráfico (Figura 4) apresenta o mesmo padrão para todos os anos, semelhante ao encontrado para a agricultura, com máximo NDVI no verão e mínimo no inverno. No entanto, quando comparados os valores de toda a série são encontrados dois padrões delimitados pelos anos 2004/2005. Até o ano de 2004 os valores mínimos e principalmente os valores máximos de NDVI são menores quando comparados aos valores identificados a partir de 2005. Este comportamento pode estar relacionado com a implantação de pastagem plantada sobre a vegetação nativa, que elevaria o NDVI, como demonstrado no trabalho de (Ferreira e Huete, 2004).

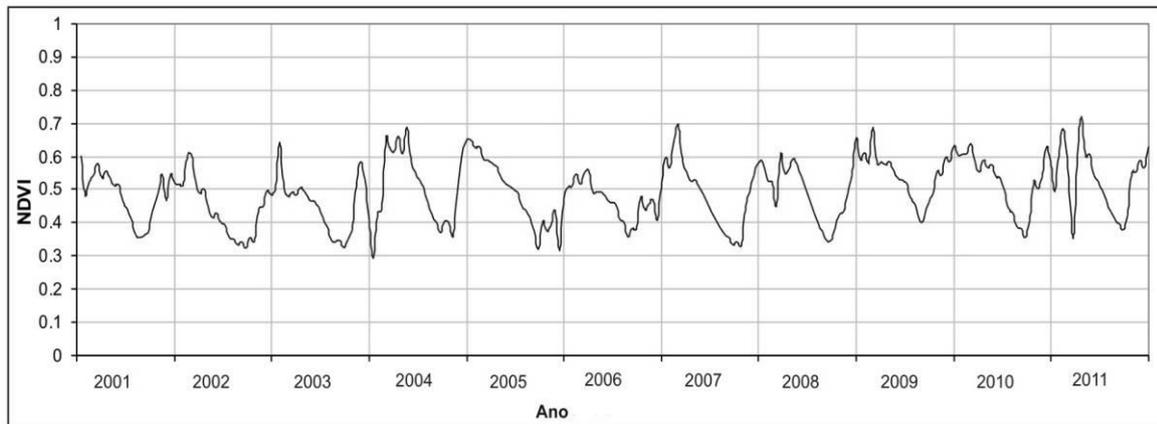


**Figura 4** - Gráfico da série temporal NDVI para a classe de cobertura da terra pecuária na bacia hidrográfica do rio São Marcos.

O comportamento temporal do NDVI para as áreas de savana gramíneo-lenhosa (Figura 5) e savana parque (Figura 6) foi semelhante, apresentando valores menores do que as classes de cobertura da terra agricultura e pecuária. Quando comparadas as quatro fitofisionomias, as savanas apontaram menor variação entre os valores mínimos e máximos de NDVI. Provavelmente, esta característica se manifesta por se tratar de áreas com vegetação nativa, que apresentam uma dinâmica de resposta do NDVI mais lenta, com menor oscilação da média anual em relação às áreas antropizadas (Carvalho Jr. et al, 2008).



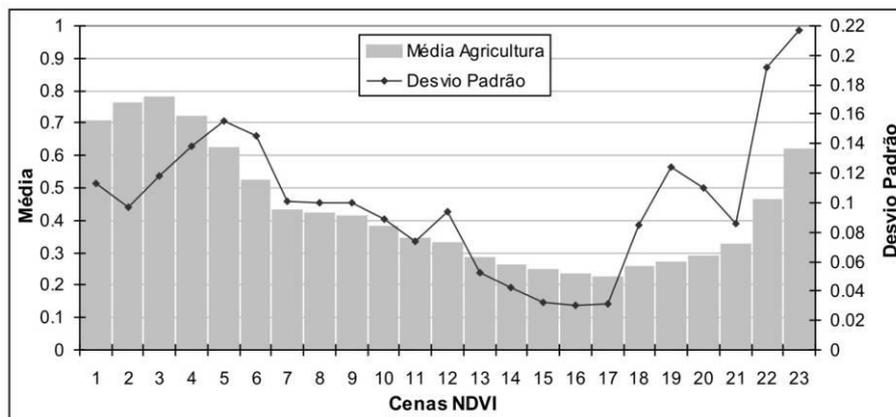
**Figura 5** - Gráfico da série temporal NDVI para a fitofisionomia de savana gramíneo-lenhosa na bacia hidrográfica do rio São Marcos.



**Figura 6** - Gráfico da série temporal NDVI para a fitofisionomia de savana parque na bacia hidrográfica do rio São Marcos.

Os resultados do NDVI para as fitofisionomias da área de estudo demonstraram similaridade com o trabalho desenvolvido por Ratana et al. (2005), que encontrou sazonalidade bem pronunciada nos perfis temporais de índice de vegetação (NDVI e EVI), com valores altos na estação chuvosa e menores na estação seca. Como evidenciado por Ferreira e Huete (2004) analisando o NDVI, essa diferença sazonal é indicativa da alta atividade fotossintética e acumulação de biomassa em meses chuvosos e de déficit hídrico com baixa biomassa verde no período de estiagem.

No gráfico de média e desvio padrão referente à agricultura (Figura 7), pode ser observada a grande diferença entre os primeiros meses do ano (valores altos) e os meses de inverno (valores baixos). Este rápido decréscimo nos valores do NDVI pode ser atribuído ao pico de desenvolvimento das culturas de verão em fevereiro, e após a colheita, preparação do solo no inverno (Ferreira e Huete, 2004). O desvio padrão responde justamente com maior oscilação nas épocas de colheita (março/abril) e plantio (outubro/novembro).

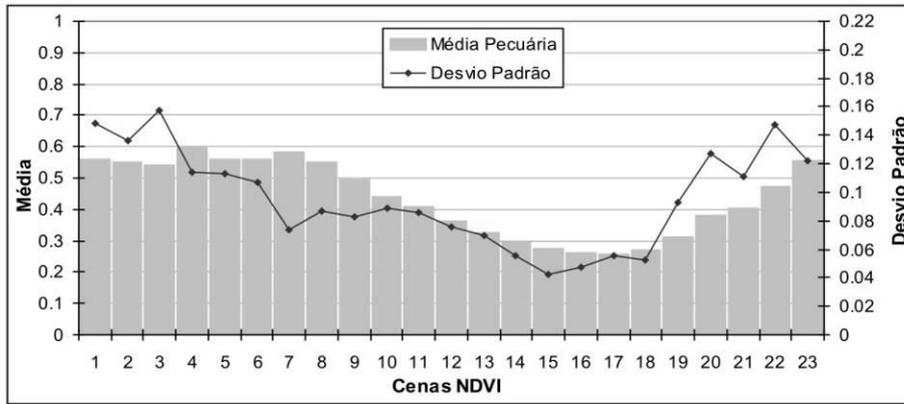


**Figura 7** - Média simples e desvio padrão da série temporal NDVI (intervalo de 16 dias) para a classe de cobertura da terra agricultura.

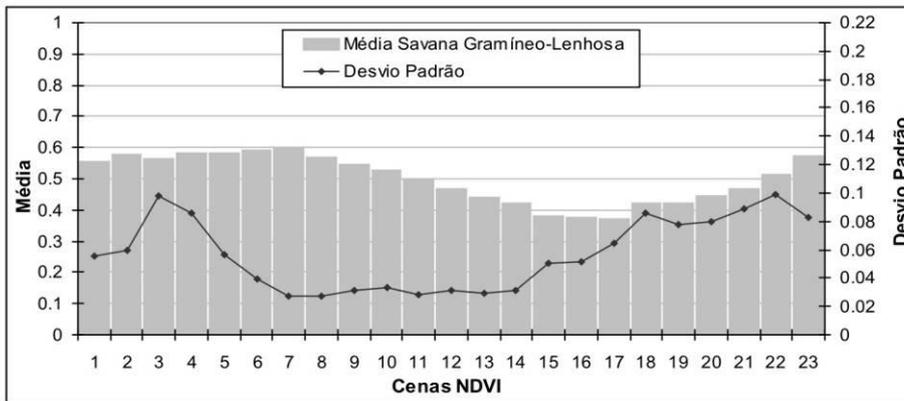
Para os gráficos da área correspondente a atividade de pecuária (Figura 8) e das áreas remanescentes de cerrado, savana gramíneo-lenhosa e parque (Figura 9 e 10, respectivamente), apresentaram médias de NDVI semelhantes e valores máximos menores do que a agricultura. Em relação aos valores mínimos, a área de pecuária mostrou valores semelhantes à agricultura, enquanto nas áreas de savana os valores mínimos foram mais elevados. Este resultado se assemelha ao exposto por Canavesi et al. (2005), mostrando a menor oscilação do NDVI em áreas nativas, com resposta mais lenta associada às condições sazonais de déficit hídrico, e não pela implantação e retirada da vegetação, como no caso da agricultura ou pastagem plantada.

Este contraste entre classes de cobertura da terra e a vegetação nativa também pode ser observado no

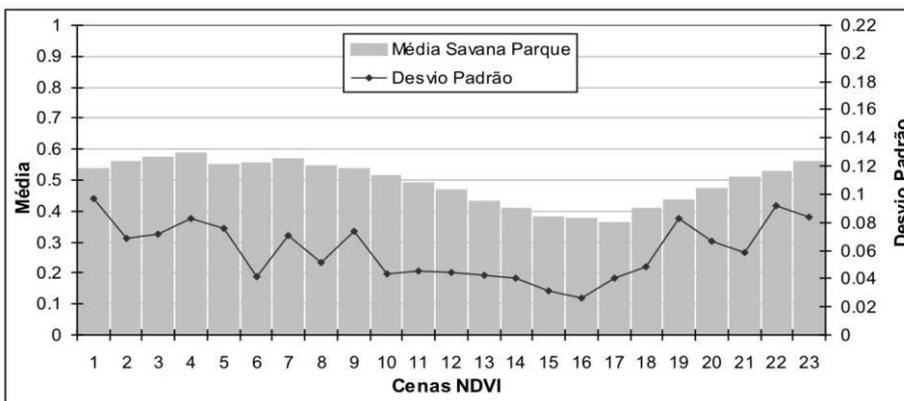
comportamento do desvio padrão, onde os dados estão dispostos em dois grupos, um correspondente a agricultura e pecuária, e outro às classes de vegetação nativa, que apresentam menores variações.



**Figura 8** - Média simples e desvio padrão da série temporal NDVI (intervalo de 16 dias) para a classe de cobertura da terra pecuária.



**Figura 9** - Média simples e desvio padrão da série temporal NDVI (intervalo de 16 dias) para a fitofisionomia de savana gramíneo-lenhosa.



**Figura 10** - Média simples e desvio padrão da série temporal NDVI (intervalo de 16 dias) para a fitofisionomia de savana parque.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com o objetivo proposto, a avaliação das médias de NDVI, obtido do sensor MODIS, ao longo de uma série temporal de 10 anos permitiu diferenciar a sazonalidade da vegetação. Os resultados permitiram comparações entre as fitofisionomias do cerrado e as atividades de pecuária e agricultura. Destacaram-se as variações sazonais interanuais e ao longo da série temporal, bem como a interferência nos valores de NDVI com a implantação e retirada da vegetação (no caso de culturas e pastagem).

A metodologia utilizada para este trabalho demonstrou o potencial dos dados do sensor MODIS, mesmo apresentando média resolução espacial, pois fornece dados para estudos de dinâmica temporal e espacial da cobertura da terra e vegetação. Para estudos futuros a utilização de dados de sensores de maior resolução espacial e a realização de trabalhos de campo vão possibilitar o aprofundamento das questões apresentadas aqui.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, D. S. et al. 1997. Biomass of primary and secondary vegetation in Rondônia, Western Brazilian Amazon. *Global Change Biology*, v. 3, n. 5, p. 451-461.
- Anderson, L. O.; Shimabukuro, Y. E. 2007. Monitoramento da cobertura terrestre: fenologia e alterações antrópicas. In: *Sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil*. B. F. T. Rudorff; Y. E. Shimabukuro; J. C. Ceballos. (Org.). Editora Parêntese, São José dos Campos, p. 185-206.
- Brizuela, A. B.; Milera, S. G.. 2003. Actualización de la superficie forestada en cuatro Departamentos de la Provincia de Entre Ríos. *Revista Científica Agropecuaria*, v. 7, n. 1, p. 45-50.
- Canavesi, V., et al.. 2005. Dinâmica espectro-temporal MODIS em região de Cerrados e intenso uso agropecuário. *Anais... XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto ó Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Goiânia*, p. 1435-1442.
- Carvalho JR. et al.. 2008. Classificação de padrões de savana usando assinaturas temporais NDVI do sensor MODIS no Parque Nacional Chapada dos Veadeiros. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 26, n. 4, p. 505-517.
- Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. 2006. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 2 ed. EMBRAPA Solos, Rio de Janeiro, 306 p.
- Fearnside, P. M.; Guimarães, W. M. 1996. Carbon uptake by secondary forests in Brazilian Amazônia. *Forest Ecology and Management*, v. 80, n. 1-3, p. 35-46.
- Ferreira, L. G.; Huete, A. R. 2004. Assessing the seasonal dynamics of the Brazilian Cerrado vegetation through the use of spectral vegetation indices. *International Journal of Remote Sensing*, v. 25, n. 10, p. 1837-1860.
- Ferreira, M. E., et al.. 2006. Análise comparativa dos produtos MODIS Ecologia para o monitoramento biofísico ambiental do Bioma Cerrado. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 24, n. 2, p. 251-260.
- Greenpeace. 2006. *Mudanças do Clima, Mudanças de Vidas: Como o aquecimento global já afeta o Brasil*. Greenpeace Brasil. São Paulo. 35 p.
- Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. 2006. *Manual Técnico de Uso da Terra*. 2 ed. IBGE, Rio de Janeiro. 91 p.
- Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. 2007. *Manual Técnico de Pedologia*. 2 ed. IBGE, Rio de Janeiro. 316 p.
- Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. 2010. *Censo Demográfico 2010: Resultados Preliminares do Universo*. IBGE, Rio de Janeiro. Disponível em <[sidra.ibge.gov.br/cd/cd2010rpu.asp?o=4&i=P](http://sidra.ibge.gov.br/cd/cd2010rpu.asp?o=4&i=P)>. Acesso em 24/04/2012.
- IPCC ó Painel Intergovernamental Sobre Mudanças do Clima. 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Third Assessment*



Report. Disponível em <[grida.no/publications/other/ipcc\\_tar/](http://grida.no/publications/other/ipcc_tar/)>.

IPCC ó Painel Intergovernamental Sobre Mudanças do Clima. 2007. Mudança do Clima 2007: A Base das Ciências Físicas ó Sumário Para os Formuladores de Políticas.

Jensen, J. R. 2009. Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução: Epiphânio, J. C. N. et al. Parêntese, São José dos Campos. 598p.

Korn, H. et al. 2007. Opções de mitigação e de adaptação a mudança climática: conexões com a biodiversidade e impactos sobre a biodiversidade. In: Inter-relações entre biodiversidade e mudanças climáticas. Tradução: Ana Lúcia Lemos de Sá. MMA, Brasília. p. 79-137.

Lambin, E. F. et al. 2001. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, v. 11, n. 4, p. 261-269.

Latorre, M. L., et al. 2007. Produtos para ecossistemas terrestres ó MOD-LAND. In: Sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil. Rudorff B. F. T.; Shimabukuro Y. E.; Ceballos J. C. (Org.). Editora Parêntese, São José dos Campos. p. 23-35.

Latrubesse, E.M.; Carvalho, T.M. 2006. Geomorfologia do Estado de Goiás e Distrito Federal. Superintendência de Geologia e Mineração do Estado de Goiás, Goiânia. 132 p.

Liang L.; Schwartz M.D. 2009. Landscape phenology: an integrative approach to seasonal vegetation dynamics. *Landscape Ecology*, v. 24, n. 4, p. 465-472.

Matos, P. F.; Pessôa, V. L. S.. 2012. O agronegócio no cerrado do Sudeste Goiano: uma leitura sobre Campo Alegre de Goiás, Catalão e Ipameri. *Sociedade & Natureza*, ano 24, n. 1, p.37-50.

Ministério Do Meio Ambiente. 2007. Projeto de Conservação e Uso Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira (PROBIO) ó Mapeamento de Cobertura Vegetal do Bioma Cerrado. MMA, Brasília.

Ministério Do Meio Ambiente; Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. 2001. Mapa de solos do Brasil 1:5.000.000. MMA/IBGE, Brasília. Disponível em <[mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm](http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm)>. Acessado em 23/04/2012.

Ministério Do Meio Ambiente; Instituto Brasileiro Do Meio Ambiente E Dos Recursos Naturais Renováveis. 2011. Monitoramento do Bioma Cerrado 2009-2010. MMA/IBAMA, Brasília. 65 p.

Paruelo J.M., Jobbágy E.G.; Sala O.E. 2001. Current distribution of ecosystem functional types in temperate South America. *Ecosystems*, v. 4, n. 7, p. 683-698.

Pereira, M. D. B.; Gontijo, A. H. F. 1993. Utilização de índice de vegetação calculado com dados do Landsat 5 na separação de unidades fitofisiográficas na Serra do Cipó-MG. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 7. Anais... São José dos Campos: INPE.

Ponzoni, F. J.; Shimabukuro, Y. E. 2009. Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação. Parêntese, São José dos Campos. 136p.

Ramankutty, N. et al. 2007. Challenges to estimating carbon emissions from tropical deforestation. *Global Change Biology*, v. 13, n. 1, p. 51-66.

Ratana, P.; Huete, A. R.; Ferreira, L. 2005. Analysis of Cerrado Physiognomies and Conversion in the MODIS Seasonal-Temporal Domain. *Earth Interactions*, v. 9, n. 3, p. 1-22.

Sano, E. E.; Ferreira, L. G. 2005. Monitoramento semidetalhado (escala de 1:250.000) de ocupação de solos do Cerrado: considerações e proposta metodológica. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12, Goiânia. Anais... São José dos Campos: INPE. Artigos, p. 3309-3316. CD-ROM, On-line. Disponível em: <[marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.09.12.11/doc/3309.pdf](http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.09.12.11/doc/3309.pdf)>. Acessado em 30/03/2012.

Silva, S. C. da, et al.. 2006. Caracterização Climática do Estado de Goiás. Secretaria de Indústria e Comércio, Superintendência de geologia e Mineração ó Goiás, Goiânia. 133 p.



Soares, J. V., et al.. 2007. Histórico e Descrição. In: Sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil. Rudorff B. F. T.; Shimabukuro Y. E.; Ceballos J. C. (Org.). Editora Parêntese, São José dos Campos. p. 3-21.

Sun W., Liang S., XU G., Fang H.; Dickinson R. 2008. Mapping plant functional types from MODIS data using multisource evidential reasoning. Remote Sensing of Environment, v. 112, n. 3, p. 1010-1024.

Topodata: Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. Disponível em <[webmapit.com.br/inpe/topodata](http://webmapit.com.br/inpe/topodata)>. Acessado em 26/03/2012.



## USO DO SENSOR TM NA ESTIMATIVA DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE E MUDANÇA NO USO DO SOLO EM VIÇOSA, MG, BRASIL

### USING TM SENSOR TO ESTIMATE THE SURFACE TEMPERATURE AND CHANGE IN THE USE OF SOIL IN VIÇOSA, MG

Rafael Coll Delgado

Professor Doutor da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Departamento de Ciências Ambientais, Seropédica/RJ  
rafaelcolldelgado32@gmail.com

Rafael de Ávila Rodrigues

Pós-Doutorando no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG  
rafaelvo@hotmail.com

José Francisco de Oliveira Júnior

Professor Doutor da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Departamento de Ciências Ambientais, Seropédica/RJ  
joliveirajunior@gmail.com

Givanildo de Gois

Doutorando da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais,  
Seropédica/RJ  
givanildogois@gmail.com

#### RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a dinâmica no uso e cobertura da terra em área de abrangência de Viçosa, Minas Gerais. Para tanto, utilizou-se o algoritmo SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*) e o método de classificação não supervisionada por meio do algoritmo ISODATA. Foi utilizada uma série histórica de temperatura do ar (°C), da Estação Meteorológica Convencional (EMC) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e imagens do sensor TM Landsat 5 do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), no período que compreendeu 16 anos (1994-2010). Os resultados mostraram que nos anos de 1999, 2000, 2003, 2006, 2009 e 2010 mais de 20 mil hectares foram antropizadas, porém, a partir de 1999 inicia-se um acentuado crescimento das áreas classificadas como mata. Os valores demonstraram avanço das áreas antropizadas (58,92% em 1994 para 71,90% em 2010) e uma redução das áreas de pastagens (27,04% em 1994 para 5,90% em 2010). A temperatura da superfície estimada pelo algoritmo SEBAL para os anos de 1994 e 2010, apresentaram valores máximos de 38°C em áreas antropizadas e valores mínimos de 18°C em áreas de vegetação. Com base no cálculo do viés médio (VM), o presente estudo mostrou que os dados estimados da temperatura da superfície apresentaram boa correlação de 0,67 com os dados do INMET, já que as temperaturas foram subestimadas e superestimadas com valores mínimos e máximos de -3,83°C e 2,65°C em 1994 e 2003. Os resultados obtidos, ainda que em caráter preliminar, indicam a eficiência do Sensoriamento Remoto (SR) por meio da análise das bandas refletivas e termal do satélite Landsat 5 como ferramenta de análise na identificação da dinâmica do uso do solo, mostrando-se eficaz quanto à espacialização dessas anomalias no espaço e no tempo.

**Palavras-chave:** Sensoriamento remoto, sistema de informação geográfica, temperatura da superfície, classificação não supervisionada.

**ABSTRACT**

The paper analyses the dynamics of soil usage and coverage in Viçosa, Minas Gerais, Brazil. It uses the SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*) algorithm and the ISODATA non-supervised algorithmic method of classification to analyse an air temperature (°C) time series recorded over a period of sixteen years (1994-2010) by the (a?) conventional meteorology station (estação meteorológica convencional ó EMC) run by the National Institute of Meteorology (Instituto Nacional de Meteorologia ó INMET), and images provided by the TM Landsat 5 sensor from the National Institute for Space Research (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais -INPE). The results show that during the years of 1999, 2000, 2003, 2006, 2009 and 2010, more than twenty thousand hectares were anthropised. However, there has also been a sharp growth in the number of areas classified as forest since 1999. The values demonstrate an expansion in the anthropised areas (from 58.92% in 1994 to 71.90% in 2010) coupled with a reduction in the areas for pasture (from 27,04% to 5,90% in 2010). The surface temperature estimated using the SEBAL algorithm for 1994 and 2010 showed a maximum value of 38°C in anthropised areas and a minimum value of 18°C in areas covered by vegetation. Based on the mean-bias (MB) calculation, the estimated data of surface temperature showed a good correlation of 0.67 with the data provided by INMET, as the temperatures were underestimated and overestimated with minimum and maximum values between -3.83°C and 2.65°C in 1994 and 2003. Even though results are preliminary, through the analysis of the reflective and thermal bands of the Landsat 5 satellite, they nevertheless demonstrate the efficiency of Remote Sensing (RS) as a tool of analysis in the identification of the dynamics of soil usage, showing it to be particularly useful in terms of the spatialisation of these anomalies in space and time.

**Keywords:** remote sensing, geographic information system, surface temperature and non-supervised classification.

## 1. INTRODUÇÃO

A fundação de Viçosa-MG está diretamente associada com o drástico declínio da exploração do ouro em Mariana, Ouro Preto e demais cidades mineradoras de Minas Gerais. O depauperamento das jazidas e a escassez de alimentos na região do ouro fomentaram a busca por locais mais adequados com solos férteis para o desenvolvimento da agricultura (Neto, 2010). No que diz respeito ao crescimento da cidade de Viçosa entre as décadas de 1930 e 1960 não houve grandes intervenções urbanas, provavelmente por causa da estagnação econômica em que se encontrava a região.

Com a ampliação das atividades da Universidade Federal de Viçosa, sobretudo, a partir de sua federalização implementada em 1969, ocorreu na cidade à chegada de um número significativo de pessoas (estudantes, professores, técnicos, funcionários, dentre outros) que somados ao contingente de mão-de-obra em busca de oportunidades de trabalho, influenciaram na constituição de um espaço urbano desordenado e cada vez mais desigual.

Assim como no Brasil, até a década de 1960, a população do município era predominantemente rural. O censo demográfico de 1970 contabiliza uma população total de 25.784 habitantes, sendo destes, 17.000 residentes em área urbana e somente 8.784 moradores da zona rural. Já em 1980, o processo de urbanização segue em expansão, uma vez que a população urbana em Viçosa passa para 31.179 habitantes. Na década de 1990, a população urbana aparece representada com 49.320 habitantes, saltando em 2000 para 59.792 habitantes. Comprova-se assim, um vultoso crescimento populacional acompanhado de um amplo processo de urbanização. Atualmente, Viçosa conta com uma população estimada de 74.171 habitantes de acordo com dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) em 2009, sendo que destes, 68.534 encontram-se residindo em área urbana, o que representa 92,4% da população total do município.

O crescimento urbano em todo o mundo tem sido visto como uma das causas do aquecimento global, pois esse fator leva a mudança da paisagem de cada região ao longo do tempo. Mudanças na superfície terrestre, como a urbanização, que tem como efeito a substituição de superfícies naturais por edificações, ruas e avenidas, têm aumentado significativamente a impermeabilização dos solos e a irradiação de calor para a atmosfera. As longas séries temporais reconstruídas a partir de dados geológicos indicam que variações climáticas intensas já ocorreram no passado. Essas mudanças ocorreram, em sua grande parte, na ausência dos seres humanos, podendo ser chamadas de mudanças climáticas naturais. A compreensão das mudanças naturais é um desafio e um problema importante que auxilia a previsão das mudanças climáticas naturais e daquelas provocadas pela ação do homem. Como o processo de urbanização global acelerou tanto em intensidade como em área física, existe um interesse crescente no entendimento de suas implicações na saúde humana, no funcionamento de ecossistemas, no tempo e, possivelmente, no clima como um contribuinte para o aquecimento global (Imhoff *et al.*, 2010).

Dados pontuais possuem a vantagem de alta resolução temporal, mas por outro lado têm pobre resolução espacial. Nas últimas décadas, o sensoriamento remoto aplicado em estudos de clima urbano vem destacando-se, pois além de possuir alta resolução espacial e oferecer visões de diferentes escalas, permite a utilização de dados espectrais localizados na região do infravermelho termal dentro da janela atmosférica. Isto faz como que os sensores que operem nesta região possam ter seus dados convertidos, após sofrerem correção dos efeitos atmosféricos e da superfície (emissividade), em temperatura da superfície continental (Dash *et al.*, 2002; Weng e Yang, 2004;), a qual é um parâmetro de importância fundamental para o estudo da climatologia urbana.

Estudos acerca do fenômeno ilha de calor, utilizando estimativas de temperatura da superfície continental, com base em dados de satélites, foram conduzidos originalmente empregando-se dados do sensor AVHRR a bordo dos satélites polares da série NOAA (Gallo *et al.*, 1993; Roth *et al.*, 1989; Streutker, 2002). A resolução espacial de 1,1 km destes dados é adequada somente para o mapeamento da temperatura urbana em escala regional. Recentemente, foram utilizados dados térmicos dos satélites da série LANDSAT, tendo-se destacado por muitos anos o LANDSAT-5, com resolução espacial de 120 m, para estudos de ilha de calor de

escala local (Weng, 2003). Como a temperatura da superfície continental é mais facilmente relacionada com as condições da própria superfície, uma das principais aplicações do sensoriamento remoto térmico no estudo de climas urbanos consiste em examinar relações entre a estrutura espacial dos padrões térmicos urbanos e as características da superfície urbana, o que pode ajudar posteriormente no planejamento do uso da terra (Chen *et al.*, 2006; Delgado *et al.* 2012).

Desse modo, o presente trabalho tem como objetivos principais: analisar espacialmente as áreas antropizadas, mata e pastagem através do classificador ISODATA. Calcular e comparar a temperatura da superfície através do algoritmo SEBAL com dados do INMET no município de Viçosa, MG entre os anos de 1994 e 2010.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo selecionada para este trabalho corresponde ao município de Viçosa, o qual possui área total de 29.888 hectares e está localizada na Zona UTM 23S, no Estado de Minas Gerais (Figura 1). Foram utilizadas imagens TM Landsat 5 compostas por sete bandas espectrais, sendo seis bandas refletivas e uma banda termal. As imagens (anos de 1994 a 2010) foram adquiridas no catálogo eletrônico de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) por meio de acesso ao link <[www.dgi.inpe.br/CDSR/](http://www.dgi.inpe.br/CDSR/)> (CDSR, 2012).

A classificação digital das imagens foi efetuada utilizando um algoritmo de classificação não supervisionada, denominado ISODATA. Na classificação não supervisionada, os pixels da imagem são examinados e divididos em agrupamentos espectrais naturais predominantes presentes na imagem. O agrupamento é realizado através de algoritmos de agrupamentos (cluster) que separa os pixels em grupos homogêneos cujos padrões de refletâncias são similares, ou seja, tem a finalidade de determinar as relações naturais ou inerentes a um conjunto de observações (Schowengerdt, 1997).

Os algoritmos de clustering não assumem qualquer conhecimento prévio da distribuição de densidade de probabilidade dos temas, como ocorre no algoritmo de máxima verossimilhança. O analista identifica esses agrupamentos como classes de cobertura do solo da melhor forma possível, através de uma combinação de sua familiaridade com a região estudada e visitas para levantamentos de verdade de campo.

Neste processo foi necessário especificar o número de classes pretendido e quantos processos iterativos (repetitivos) pixel a pixel foram realizados. Para o processo de classificação foram definidas três classes (áreas antropizadas, pastagem e mata) e 25 interações. Posteriormente, foi feita a edição da classificação e o agrupamento das classes que se constituíam (áreas antropizadas, pastagem e mata), através de interpretação visual de acordo com o comportamento espectral de cada pixel.

Posteriormente converteu-se os pixels de mesma semelhança para área em hectares utilizando o software ArcGIS versão 9.3. Para isso utilizou-se as seis bandas espectrais 1, 2, 3, 4, 5, e 7 que tem máxima resolução de 30m, sendo que um pixel corresponde a 0,09 hectares.

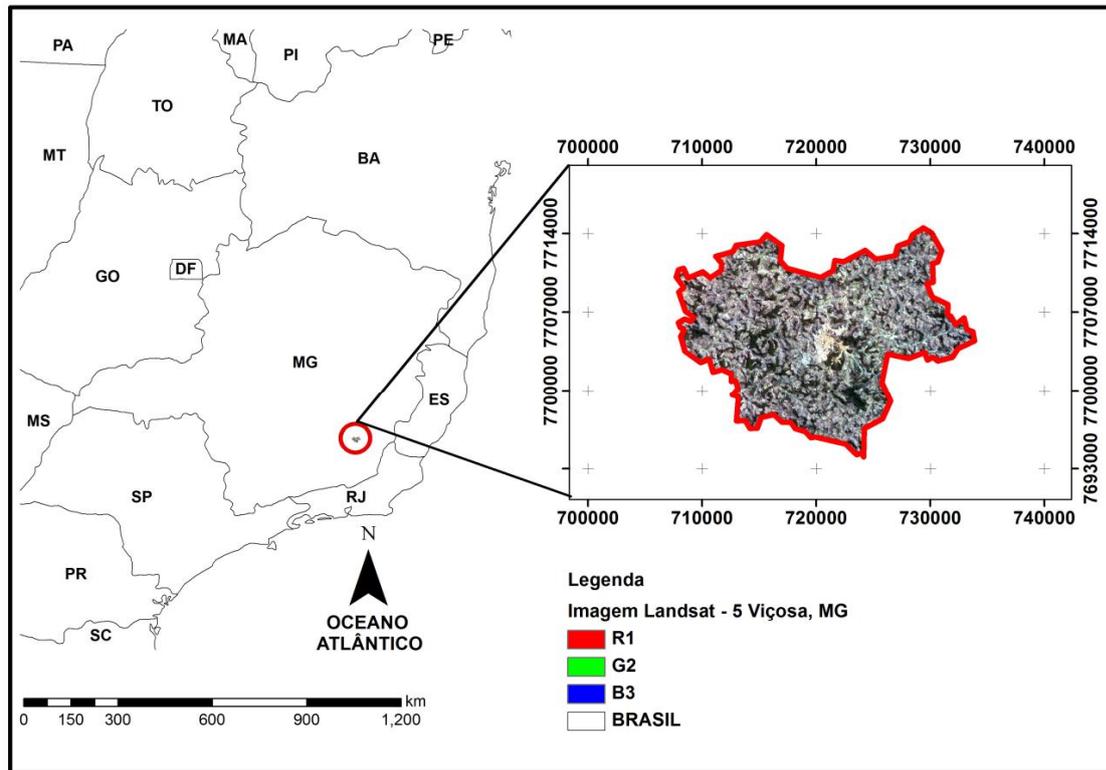
Para obtenção e comparação da temperatura da superfície ( $T_s$ ) foi utilizado o algoritmo SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*) conforme proposto por Bastiaanssen *et al.* (1998), utilizando-se como ferramenta a função *Model Maker* do ERDAS IMAGINE 10. Foi utilizada uma série histórica diária de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), de um período que compreendeu 16 anos (1994-2010), da Estação Meteorológica Convencional do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

Nesse processo, uma série de sequências foi efetuada. Por meio da equação 1 proposta por Markham e Baker (1987), foi calculado a radiância espectral de cada banda ( $L_i$ ), dada por:

$$L_{\lambda_i} = L_{\min} + \frac{L_{\max} - L_{\min}}{255} \times 255 \quad (1)$$

em que, ND é o número digital de cada pixel. Já, os coeficientes  $L_{max}$  e  $L_{min}$  são as radiâncias espectrais máximas e mínimas ( $Wm^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$ ).

Tratando-se de dados TM, as imagens, cujas datas de aquisição estão compreendidas de 1 de março de 1984 a 4 de maio de 2003, foram utilizados os valores de  $L_{min}$  e  $L_{max}$  propostos por Chander e Markhan (2009).



**Figura 1** - Localização geográfica da área de estudo e recorte do município de Viçosa-MG com a composição RGB (3, 2 e 1).

Posteriormente, calculou-se a refletância de cada banda ( $\rho_{\lambda_i}$ ), segundo a equação 2 (Allen *et al.*, 2002):

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi L_{\lambda_i}}{E_{\lambda_i} \cos \theta_z d_r} \quad (2)$$

em que,  $L_{\lambda_i}$  é a radiância espectral de cada banda,  $E_{\lambda_i}$  é a radiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ( $W m^{-2} \mu m^{-1}$ ),  $\theta_z$  é o ângulo zenital solar retirado da informação do cabeçalho das imagens do sensor TM e  $d_r$  é a distância relativa terra-sol (em unidade astronômica - UA) (equação 3).

A distância relativa terra-sol foi calculada por meio da equação sugerida por Allen *et al.* (2007a):

$$d_r = 1 + 0,033 \cos \left( DJ \times \frac{2\pi}{365} \right) \quad (3)$$

em que, DJ representa o dia do ano.

Com a refletância de cada banda foi possível obter o albedo no topo da atmosfera ( $\rho_{toa}$ ) e, por sua vez, o albedo considerando os efeitos atmosféricos ou albedo da superfície ( $\rho_s$ ):

$$\alpha_{toa} = 0,293\rho_1 + 0,274\rho_2 + 0,233\rho_3 + 0,154\rho_4 + 0,033\rho_5 + 0,011\rho_6 \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_p}{\tau_{sw}} \quad (5)$$

em que,  $\rho_p$  é o albedo da radiação solar refletida pela atmosfera, que varia entre 0,025 e 0,04, foi utilizado o valor de 0,03;  $\tau_{sw}$  é a transmissividade atmosférica que para condições de céu claro, pode ser obtida por (Allen *et al.*, 2002):

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2.10^{-3} Z_a \quad (6)$$

em que,  $Z_a$  é a altitude.

Para o cálculo do Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo (*Soil Adjusted Vegetation Index* ó SAVI), pode ser obtido por:

$$SAVI = \frac{(1+\lambda)(\rho_2 - \rho_1)}{(\lambda + \rho_2 + \rho_1)} \quad (7)$$

O SAVI é um índice que busca diminuir a influência da resposta espectral do solo, mediante a inclusão de um fator de ajuste ( $\lambda$ ) que é variável com o grau de fechamento do dossel, permitindo melhoria na interpretação das variáveis da vegetação. Neste estudo foi utilizado o valor de  $\lambda$  igual a 0,1, em virtude de se verificar que esse valor proporciona um Índice de Área Foliar (*Leaf Area Index* ó LAI) mais compatível com valores em superfície (Huete, 1988; Boegh *et al.*, 2002).

Na estimativa do LAI, definido pela razão da área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação, adotou-se a equação empírica sugerida por Allen *et al.* (2002).

$$LAI = - \frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (8)$$

Para obtenção da temperatura da superfície ( $T_s$ , em kelvin), foi utilizada a equação de Plank invertida, válida para um corpo negro:

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\epsilon_{NB} K_1}{L_{\lambda,6}} + 1\right)} \quad (9)$$

em que,  $K_1$  ( $607,76 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ ) e  $K_2$  ( $1260,56 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ ) são constantes de calibração da banda termal do sensor TM e  $L_{\lambda,6}$  é a radiância espectral da banda termal. Como cada superfície não emite radiação eletromagnética como se fosse um corpo negro, há a necessidade de introduzir a emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal ( $\epsilon_{NB}$ ). Assim, quando for calculada a radiação de onda longa emitida da superfície, deverá ser considerada a emissividade da banda larga ( $\epsilon_0$ ) (6 ó 14  $\mu\text{m}$ ). Segundo Allen *et al.*

(2002), as emissividades  $\epsilon_{NB}$  e  $\epsilon_0$  podem ser obtidas, para o Índice da Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI)  $NDVI > 0$  e  $LAI < 3$ , pelas expressões:

$$\epsilon_{NB} = 0,97 + 0,00331 LAI \quad (10)$$

$$\epsilon_0 = 0,95 + 0,01 LAI \quad (11)$$

Sendo adotado o valor de  $\epsilon_{NB} = \epsilon_0 = 0,98$ , para pixels com  $LAI < 3$ . E, conforme Allen *et al.* (2002) utilizou-se para corpos d' água ( $NDVI < 0$  e  $LAI < 0,47$ ) os valores de  $\epsilon_{NB} = 0,99$  e  $\epsilon_0 = 0,985$ .

Para a avaliação espectral da imagem para os anos de 1994 a 2010 em relação aos dados efetivamente medidos de temperatura do ar do INMET, utilizou-se o erro estatístico Viés Médio (VM) proposto por Willmott e Matsuura (2005) e o coeficiente de determinação e correlação ( $r^2$  e  $r$ ) (Equações 12 e 13).

$$r^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (12)$$

$$VM = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{N} \quad (13)$$

em que,  $P_i$  é o  $i^{\text{ésimo}}$  valor estimado de temperatura da superfície ( $^{\circ}C$ ),  $O_i$  é o  $i^{\text{ésimo}}$  valor observado de temperatura da superfície ( $^{\circ}C$ ),  $\bar{O}$  é o valor médio observado de temperatura da superfície ( $^{\circ}C$ ),  $N$  é o número de dados analisados.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A cidade de Viçosa, MG, assim como diversas cidades do Brasil, tem crescido de forma rápida e desordenada nas últimas décadas, sem o devido planejamento. As áreas densamente urbanizadas em Viçosa-MG, combinadas com a falta de vegetação, podem resultar em baixos valores de calor latente, umidade específica e evapotranspiração, mas, por outro lado, aumenta significativamente os fluxos de calor sensível que modificam a camada limite urbana.

Na Figura 2a-n são apresentadas as relações temporais e espaciais entre a temperatura da superfície estimada a partir do sensor TM do Landsat 5. Analisando as imagens classificadas da temperatura da superfície estimada pelo sensor TM (Figura 2a-n) observa-se que ocorreu uma expressiva variação espacial da temperatura da superfície para as classes classificadas neste estudo.

Foi constatado que as áreas antropizadas dentro da área de estudo apresentaram elevação significativa para os anos de 1999, 2003 e 2010 mais de 20 mil hectares foram destinados a áreas antropizadas (Figura 3a-n e Tabela 1). A Figura 3a-n e Tabela 1 indica também que nestes anos para classe área antropizada, constatou-se que 82%, 75,4% e 72% da área apresenta temperaturas máximas compreendidas entre  $37^{\circ}C$ ,  $28^{\circ}C$  e  $38^{\circ}C$ .

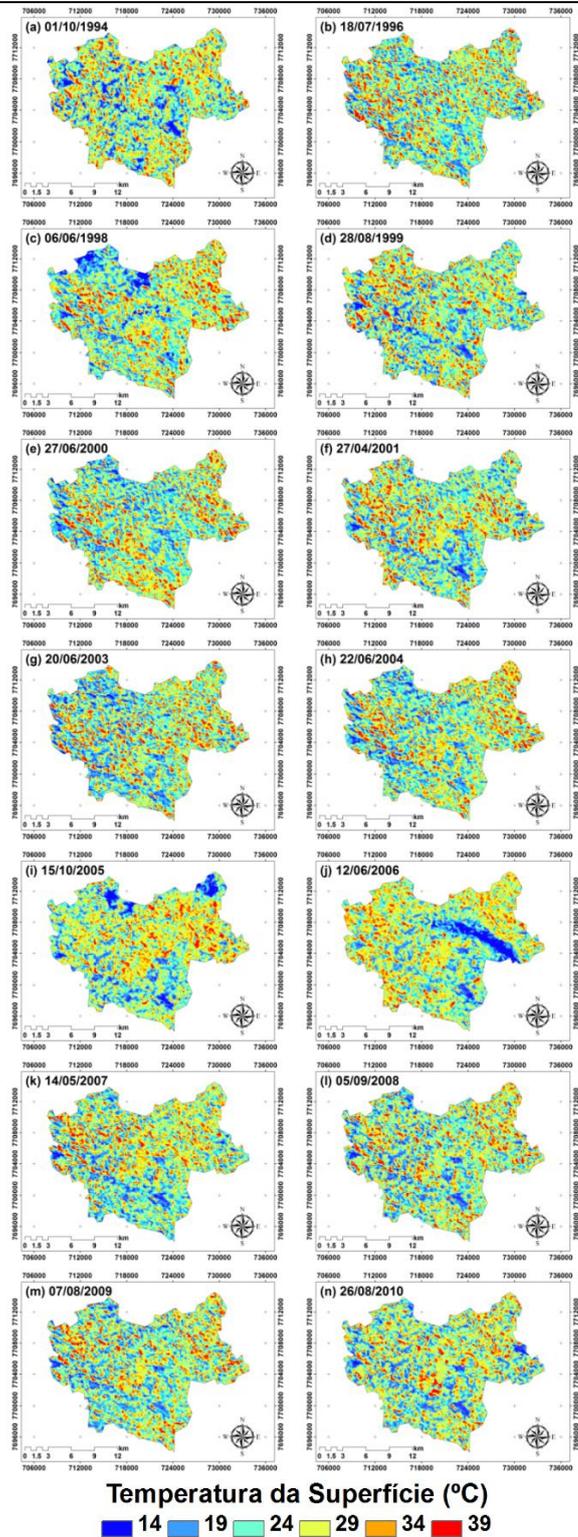


Figura 2a-n. -Temperatura da superfície estimada pelo algoritmo SEBAL para o município de Viçosa, MG.

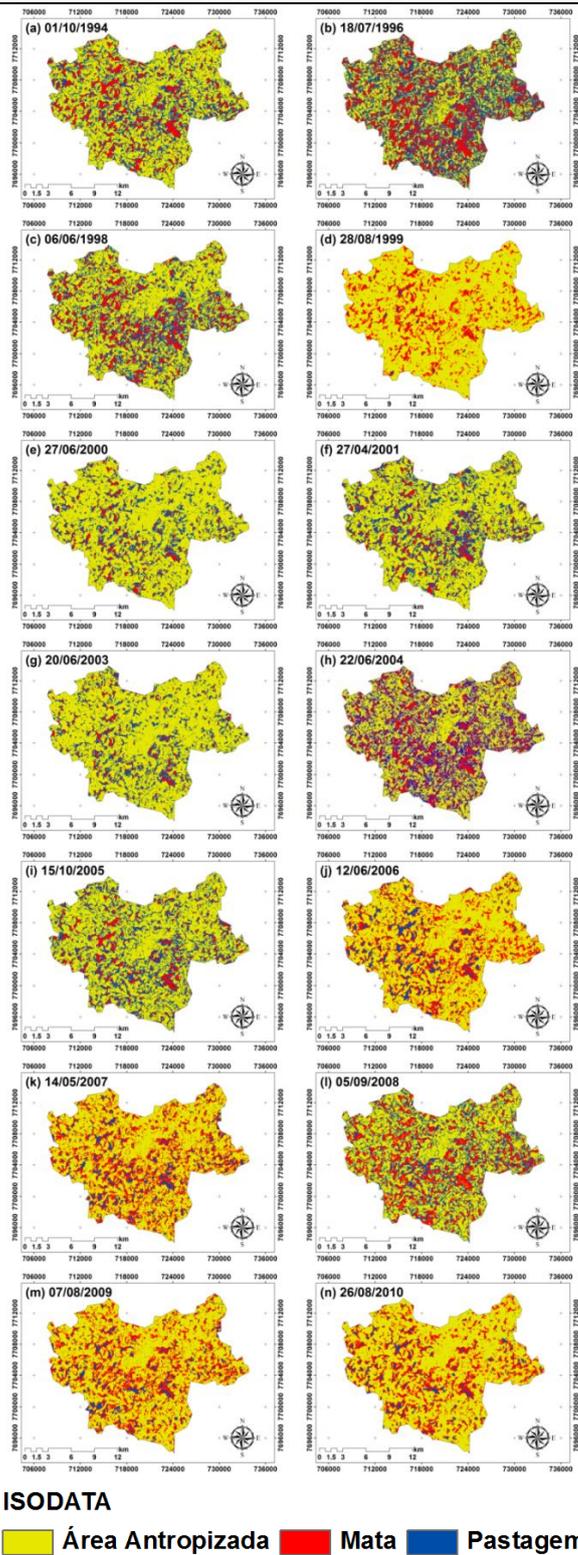


Figura 3a-n - Classificação não-supervisionada utilizando o ISODATA para o município de Viçosa, MG.

**Tabela 1** - Transformação espectral de pixel para área em hectares (ha) e em porcentagem (%) para os anos de 1994 a 2010 no município de Viçosa, MG.

Ano / hectares	1994 (ha)	1996 (ha)	1998 (ha)	1999 (ha)	2000 (ha)	2001 (ha)	2003 (ha)	2004 (ha)	2005 (ha)	2006 (ha)	2007 (ha)	2008 (ha)	2009 (ha)	2010 (ha)
Área Antropizada	17.609	11.300	16.976	24.394	22.273	19.482	22.542	15.838	18.947	20.838	19.470	16.297	20.227	21.489
Pastagem	8.082	11.546	8.438	5.180	5.728	7.567	5.595	8.956	7.974	2.315	2.734	7.492	2.198	1.763
Mata	4.197	7.041	4.474	314	1.886	2.838	1.750	5.094	2.967	6.735	7.685	6.099	7.459	6.635
Total	29.887	29.887	29.888	29.888	29.888	29.888	29.888	29.888	29.888	29.888	29.888	29.888	29.884	29.888
Ano / (%)	1994 (%)	1996 (%)	1998 (%)	1999 (%)	2000 (%)	2001 (%)	2003 (%)	2004 (%)	2005 (%)	2006 (%)	2007 (%)	2008 (%)	2009 (%)	2010 (%)
Área Antropizada	58,92	37,81	56,80	81,62	74,52	65,18	75,42	52,99	63,39	69,72	65,14	54,53	67,69	71,90
Pastagem	27,04	38,63	28,23	17,33	19,17	25,32	18,72	29,97	26,68	7,75	9,15	25,07	7,36	5,90
Mata	14,04	23,56	14,97	1,05	6,31	9,50	5,86	17,04	9,93	22,53	25,71	20,41	24,96	22,20
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Ao estudar a influência da mudança da paisagem em Cruzeiro do Sul, AC, Delgado *et al.* (2012) constataram o crescimento médio de mais de 54 mil hectares das áreas antropizadas entre os anos de 2005 a 2010. Outro resultado importante encontrado por estes pesquisadores foi o aumento da temperatura da superfície em áreas antropizadas com valores máximos de 42°C.

A mudança da paisagem e o aumento das áreas antropizadas em Viçosa, MG substituindo as áreas verdes, resultou no aumento da temperatura da superfície, causadas pela modificação no balanço de radiação e, conseqüentemente as ilhas de calor. Fato que pode ser comprovado pela Figura 4. De acordo com Costa *et al.* (2010) as propriedades radiativas e térmicas dos materiais urbanos, em particular, albedo, emissividade e capacidade, e condutividade térmica, também apresentaram forte influência no desenvolvimento do fenômeno ilha de calor, visto que elas determinam como a radiação de ondas curta e longa é refletida, absorvida, emitida e armazenada.

A Figura 4 permite a constatação de que, entre as classes de uso e ocupação do solo, existe uma variação térmica característica e que, portanto, é possível classificar cada tipo de cobertura de acordo com o comportamento térmico. Verifica-se, em geral, que a classe mais quente é formada por áreas antropizadas, seguida da classe pastagem.

De acordo com a Figura 4, onde ocorre uma mais densa cobertura vegetal, ocorre a diminuição da temperatura a superfície com valores entre 14°C e 26°C.

Resultados semelhantes foram encontrados por Costa *et al.* (2010), onde na região de Ilha Solteira-SP, a classe vegetação apresentou três grupos com menores valores de temperatura: 20-23°C, 23-26°C e 26-29°C.

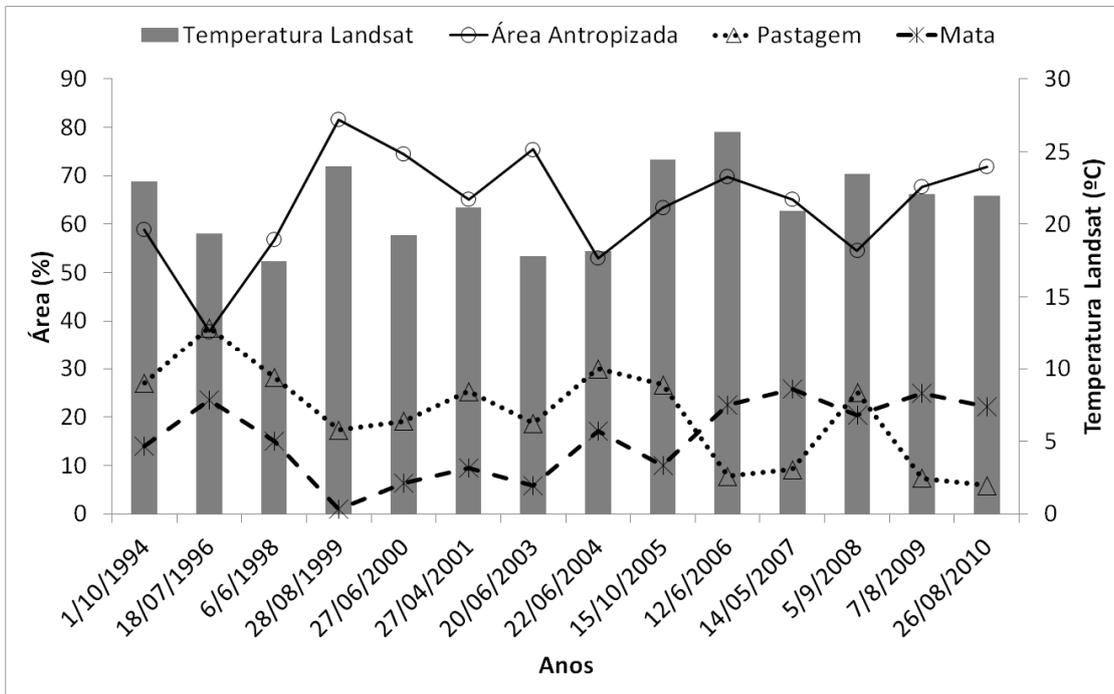
Para a classe de mata (Tabela 1) o valor mínimo de área foi de 314 ha em 1999, enquanto que no ano de 2007, a mesma classe espectral passou a ser de 7.685 ha, e assim ocorreu aumento em área de 7.371 ha.

Para o ano de 1996 (Tabela 1) esta área foi classificada com o valor máximo de 11.546 ha de pastagem. Para pastagem no ano de 2010 (Tabela 1) o valor mínimo de área foi de 1.763 ha. Ocorreu em 14 anos uma queda acentuada de aproximadamente 33% de área ocupada por pasto, seja ele implantado ou espontâneo (forma natural).

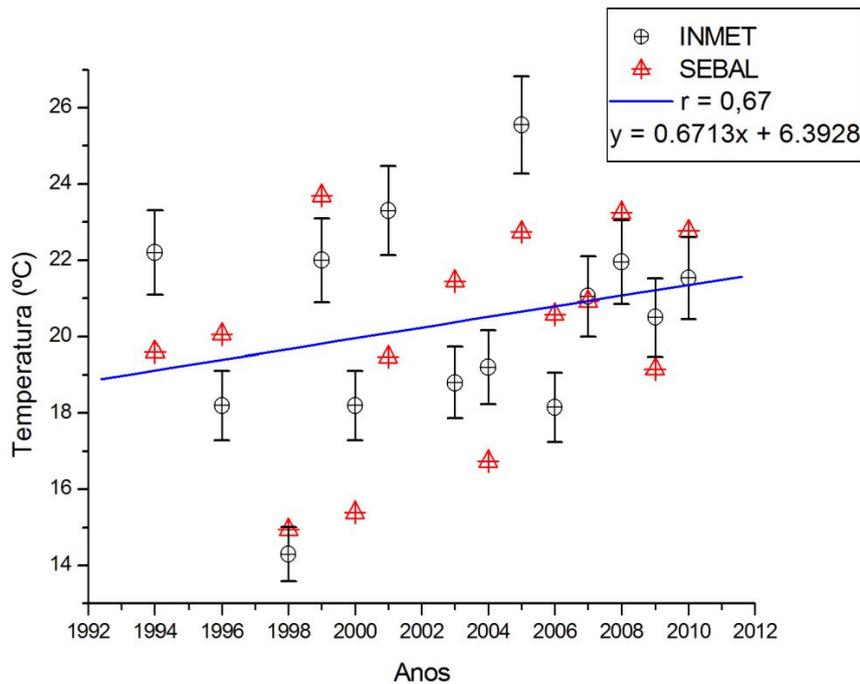
Delgado *et al.* (2012) avaliaram a informação espectral contida em imagens TM na classificação para Cruzeiro do Sul, Acre (AC) e constataram aumento das áreas de vegetação no ano de 2007 (40 mil hectares), o que indicou que algumas áreas de pastagens passaram por processos de regeneração de floresta.

Na Figura 5, verificou-se que a aplicação do algoritmo para determinar a temperatura da superfície

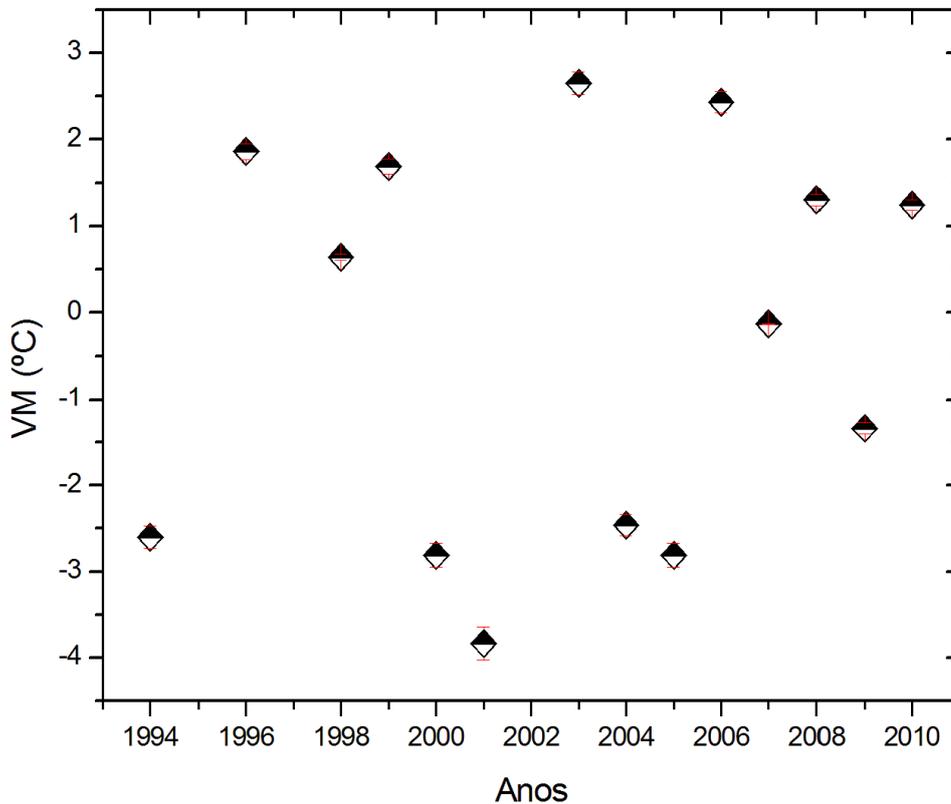
através de imagens TM do satélite Landsat 5, apresentou coeficiente de correlação ( $r$ ) de 0,67 quando comparado com os dados da estação de Viçosa-MG (Figura 5). Os valores do viés médio variaram de um mínimo de  $-3,83^{\circ}\text{C}$  a um máximo de  $2,65^{\circ}\text{C}$  respectivamente para as cenas estudadas (Figura 6).



**Figura 4** - Porcentagem das áreas classificadas pelo ISODATA e temperatura da superfície estimada pelo algoritmo SEBAL para Viçosa, MG.



**Figura 5** - Análise de correlação ( $r$ ) estimadas pelo algoritmo SEBAL versus a temperatura da estação do INMET em Viçosa, MG.



**Figura 6** - Viés médio das temperaturas estimadas pelo algoritmo SEBAL versus a temperatura da estação do INMET em Viçosa, MG.

Os valores estimados em relação aos medidos do INMET diferenciaram ao longo de 16 anos de estudo na faixa média de  $0,30^{\circ}\text{C}$  mostrando que a metodologia do SEBAL para estimar a  $T_s$  é viável para áreas onde não se possui estações meteorológicas.

A partir das análises realizadas nas figuras anteriores, observa-se segundo Leitão *et al.* (2002), que as alterações no uso e cobertura do solo podem influenciar significativamente nas variações climáticas em escala regional e global. O aumento do albedo causado pelas mudanças quanto ao uso e cobertura do solo tem contribuído para as mudanças ambientais globais. O albedo de uma superfície coberta por vegetação varia com o ângulo de inclinação do Sol, tipo de vegetação, condições de umidade do ar e da superfície, umidade e tipo de solo, além da quantidade e tipo de nuvens.

Ao estudar as oscilações climáticas em Minas Gerais em uma escala maior, Minuzzi *et al.* (2010) constataram o crescimento entre 1961 a 2004, com destaque para o município de Viçosa, aumento de  $0,86^{\circ}\text{C}$  a  $3,4^{\circ}\text{C}$  em sete dos nove meses analisados. Outro resultado importante encontrado por estes pesquisadores foi o aumento na pressão de vapor d'água entre  $0,35\text{ mb/década}$  a  $0,6\text{ mb/década}$ , de janeiro a junho para Viçosa, MG.

As áreas densamente urbanizadas em Viçosa-MG, combinadas com a falta de vegetação, podem resultar em baixos valores de calor latente, umidade específica e evapotranspiração, mas, por outro lado, aumenta significativamente os fluxos de calor sensível que modificam a camada limite urbana.

#### 4. CONCLUSÕES

A evolução histórica das temperaturas de Viçosa, MG pode ser analisada de acordo com as imagens analisadas, nas quais notou-se que o aquecimento tem-se concentrado a cada ano que passa sobre o perímetro urbano, pois as transformações na paisagem natural têm ocorrido de maneira muito mais devastadora, onde não há preocupação com os agravantes ambientais.

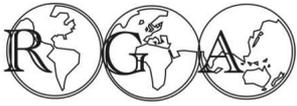
Na comparação entre as imagens de temperatura da superfície, foi possível notar que as áreas classificadas como antropizadas sempre se mantêm mais aquecidas que as áreas de pastagem e mata.

Os resultados obtidos neste estudo, ainda que em caráter preliminar, indicam relevante alteração da paisagem ao longo dos 16 anos analisados. Os valores demonstraram avanço das áreas antropizadas (58,92% em 1994 para 71,90% em 2010) e uma redução das áreas de pastagens (27,04% em 1994 para 5,90% em 2010). A temperatura da superfície estimada pelo algoritmo SEBAL para os anos de 1994 e 2010, apresentaram valores máximos de 38°C em áreas antropizadas e valores mínimos de 18°C em áreas de vegetação. O presente estudo mostrou que os dados estimados da temperatura da superfície apresentaram boa correlação de 0,67 com os dados do INMET, já que as temperaturas foram subestimadas e superestimadas com valores mínimos e máximos de -3,83°C e 2,65°C em 1994 e 2003.

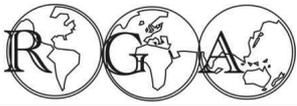
Possibilidades de trabalhos futuros que contemplem tal investigação para outras áreas com a utilização de uma série histórica como foi utilizada neste trabalho seria bastante oportuno, haja vista, que o fenômeno poderia ser compreendido em uma escala maior e ajudaria ainda mais os pesquisadores para entender as variações climáticas no meio urbano.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, R.G.; Tasumi, M.; Trezza, R. 2007a. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) ó Model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Reston, v.133, n.395, p.380-394.
- Allen, R.G.; Tasumi, M.; Trezza, R. 2002. SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land). *Advance Training and Users Manual ó Idaho Implementation, version 1.0.*
- Bastiaanssen, W.G.M.; Menenti, M.; Feddes, R.A.A.M. 1998. A remote sensing surfasse energy balance algorithm for land (SEBAL) 1. Formulation. *Journal of Hydrology*, v. 212-213, n. 220, p. 198-212.
- CENTRO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO ó CDSR. <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acessado em: 15 de abril de 2010.
- Chander. G.; Markham, B.; Helder, D. 2009. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+ and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, v. 113, n.5, p. 893-903.
- Chen, X.L.; Zhao, H.M.; Li, P.X.; Yin, Z.Y. 2006. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote Sensing of Environment*, New York, v.104, p.133-146.
- Costa, D.F.; Silva, H.R.; Peres, L.F. 2010. Identificação de ilhas de calor na área urbana de Ilha Solteira - SP através da utilização de geotecnologias. *Revista Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, p.974-985.
- Dash, P.; Gottsche, F.S.; Olesem, F.S.H.; Fischer, H. 2002. Land surface temperature and emissivity estimation from passive sensor data: theory and practice-current trends. *International Journal of Remote Sensing*, Bethesda, v.23, n.13, p.2.563-2.594.
- Delgado, R.C.; Souza, L.P.; Silva, I.W.R.; Pessoa, C.S.; Gomes, F.A. 2012. Influência da mudança da paisagem amazônica no aumento da precipitação em Cruzeiro do Sul, AC. *Enciclopédia Biosfera*, v.8, n.14; p. 665-674.
- Delgado, R.C.; Rodrigues, R. A.; Faria, A.L.L.; Pessoa, C.S.; Daher, M. 2012. Uso do sensoriamento remoto na estimativa dos efeitos de ilhas de calor. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)*, v.25. p. 69-80.



- Gallo, K.P.; McNab, A.L.; Karl, T.R.; Brown, J.F.; Hood, J.J.; Tarpley, J.D. 1993. The use of NOAA AVHRR data for assessment of the urban heat island effect. *Journal of Applied Meteorology*, Boston, v.32, n.5, p.899-908.
- Huete, A.R. 1988. Adjusting vegetation indices for soil influences. *International Agrophysics*, v.4, n.4, p.367-376.
- Imhoff, M.L.; Zhang, P.; Wolfe, R.E.; Bounoua, L. 2010. Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA. *Remote Sensing of Environment*, New York, v.114, p.504-513.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>>. Acessado em: 15 de abril de 2010.
- Markham, B.L.; Barker, J.L. 1987. Thematic mapper band pass solar exoatmospherical irradiances. *International Journal of Remote Sensing*, v. 8, n. 3, p. 517-523.
- Minuzzi, R.B.; Vianello, R.L.; Sedyama, G.C. 2010. Oscilações climáticas em Minas Gerais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.25, n.2, p.227-236.
- Neto, N.M.P. 2010. Urbanização e distribuição territorial do setor de serviços no município de Viçosa-MG. Monografia. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 67p.
- Roth, M.; Oke, T.R.; Emery, W.J. 1989. Satellite-derived urban heat islands from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology. *International Journal of Remote Sensing*, Bethesda, v.10, p.1.699-1.720.
- Schowengerdt, R.A. 1997. *Remote sensing, models and methods for image processing*, 2ed. San Diego, USA: Academic Press, 522p.
- Streutker, D.R. 2002. A remote sensing study of the urban heat island of Houston, Texas. *International Journal of Remote Sensing*, Basingstoke, v.23, n.13, p.2.595-2.608.
- Willmott, C.J.; Matsuura, K. 2005. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Climate Research*, v. 30, n.1, p. 79-82.
- Weng, Q.; Yang, S. 2004. Managing the adverse thermal effects of urban development in a densely populated Chinese city. *Journal of Environmental Management*, Oxford, v.70, n.2, p.145-156.
- Weng, Q. 2003. Fractal analysis of satellite-detected urban heat island effect. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Bethesda, v.69, n.5, p.555-566.



## **TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE CELSIUS DO SENSOR TIRS/LANDSAT-8: METODOLOGIA E APLICAÇÕES**

### **SURFACE TEMPERATURE SENSOR TIRS/LANDSAT-8: METHODOLOGY AND APPLICATIONS**

André Luiz Nascentes Coelho  
Professor do Depto. de Geografia da Universidade Federal do Espírito Santo  
Coordenador do Laboratório de Cartografia Geográfica e Geotecnologias  
alnc.ufes@gmail.com

Wesley de Souza Campos Correa  
Discente do programa de Pós Graduação em Geografia UFES  
wesley.campos.correa@gmail.com

#### **RESUMO**

Este trabalho tem como objetivo, contribuir na difusão e operacionalização das geotecnologias, apresentando os algoritmos para obtenção de temperatura da superfície horizontal Celsius na faixa infravermelho termal do sensor TIRS/Landsat-8, banda 10. A aplicação das equações proporcionou não só identificar os maiores percentuais de temperatura de superfície, em diferentes escalas espaciais, como também, definir o perfil do campo térmico em distintas texturas. Além disso, foi possível comparar, em imagens, a melhoria da resolução espacial do canal infravermelho termal Landsat-8 em relação ao Landsat-5. Tal metodologia possibilita a aplicação em outros intervalos de datas e locais distintos, contribuindo nas pesquisas e no auxílio de tomadas de decisões.

**Palavras-chave:** sensoriamento remoto, infravermelho termal, correção atmosférica.

#### **ABSTRACT**

This study aims to contribute to the dissemination and operationalization of geotechnologies presenting a formula for obtaining horizontal surface temperature Celsius of the thermal infrared sensor TIRS/Landsat-8 band 10. The application of the algorithm provided not only identify the highest percentages of surface temperature at different spatial scales, staffing the thermal field in distinct textures and to compare images in improving the spatial resolution of the thermal infrared channel sensor Landsat-8 compared the Landsat-5. This methodology enables the application to other date ranges and different places, contributing to the understanding of the problems and aid decision making.

**Keywords:** remote sensing, thermal infrared, atmospheric correction.

## 1. INTRODUÇÃO

As geotecnologias com destaque para o sensoriamento remoto (SR) integrado com o sistema de informações geográficas (SIG) possuem grande relevância no auxílio à pesquisa em seus diversos âmbitos (Coelho, 2010; Fitz, 2008; Lo e Yeung, 2008). Particularmente, o sensoriamento remoto, vem adquirindo nas últimas décadas grande aceitação no meio acadêmico em função do acesso a hardwares, softwares e produtos gratuitos como as imagens de satélites, dados interferométricos, entre outros, complementando as análises e aplicações, a exemplo das pesquisas geográficas.

Estudos expressivos que utilizam dados e técnicas de sensoriamento remoto orbital e suborbital são encontrados em trabalhos como Coelho (2010, 2009), Ponzoni e Shimabukuro (2010), Jensen (2009), Florenzano (2008, 2007 e 2005), Liu (2006), Vieira (1993), na identificação de áreas de riscos, estudos geológicos, geomorfológicos, crescimento urbano, conforto térmico, uso e cobertura da terra, entre outros.

Já as pesquisas que fazem o uso da imagem termal são diversas merecendo destaque para Rao (1972), que foi o primeiro a demonstrar que as áreas urbanas poderiam ser identificadas por meio de análises de dados na faixa do infravermelho termal adquiridos por um satélite. Pesquisadores como Fialho (2012), Souza e Ferreira Júnior (2012), Nascimento (2011), Weng (2010 e 2003), Jensen (2009), Liu (2006), Weng *et al.* (2004), Oke (2003 e 1978), Streutker (2002), Mendonça (1995 e 2003), Lombardo (1985), entre outros, também usaram sistemas de sensoriamento remoto infravermelhos termais para documentar o efeito de ilha de calor urbana, assim como extrair informação de temperatura da superfície de distintos materiais.

Contribuição de destaque foi a publicada por Chander *et al.* (2009) que discutiram e aplicaram fórmulas de coeficientes de calibração radiométrica e obtenção de temperaturas Kelvin, para imagens de satélite Earth Observer-1(EO-1) e da série Landsat 1 a 7.

Nesse contexto, o presente artigo tem por objetivo contribuir na difusão e operacionalização das geotecnologias apresentando a fórmula de obtenção de temperatura da superfície Celsius do Thermal Infrared Sensor TIRS/Landsat-8, banda 10 em ambiente SIG. Como objetivos específicos: apresentar, em detalhe, as fórmulas de coeficientes de calibração radiométrica para obtenção de temperaturas Celsius, da faixa do infravermelho termal, do satélite Landsat-8 com resolução espacial de 30 metros; contribuir nas pesquisas geográficas relacionadas com o clima regional/urbano, como também na produção de material de apoio para elaboração de diretrizes/planos municipais.

## 2. LANDSAT-8: CARACTERÍSTICAS GERAIS

O satélite Landsat-8 é o mais recente de sua série. Foi lançado no dia 11 de fevereiro de 2013 pela NASA na base aérea de Vandenberg no estado da Califórnia (EUA), operando a uma altitude de 705 km, numa órbita heliosíncrona com inclinação de 98,2° (ligeiramente retrógrada), semelhante às órbitas das séries Landsat 5 e 7. A sua passagem na linha do equador ocorre às 10:00 horas, com diferença de 15 minutos para mais ou para menos (USGS, 2013).

A cobertura das imagens desse satélite é de praticamente todo o globo, com exceção para as mais altas latitudes polares, ocorrendo a revista a cada 16 dias. Ou seja, uma resolução temporal de 16 dias. O tamanho aproximado da cena é de 170 km ao norte-sul por 183 km a leste-oeste.

A plataforma Landsat-8 opera com dois instrumentos imageadores, sendo o primeiro, *Operational Land Imager (OLI)*, com nove bandas espectrais incluindo a banda pancromática, apresentando as seguintes características:

- Banda 1 - Visível Ultra-Azul (0.43 - 0.45  $\mu\text{m}$ ) 30 m - ideal para estudos costeiros e aerossol.
- Banda 2 - Visível Azul (0.450 - 0.51  $\mu\text{m}$ ) 30 m

- Banda 3 - Visível Verde (0.53 - 0.59  $\mu\text{m}$ ) 30 m
- Banda 4 - Visível Vermelho (0.64 - 0.67  $\mu\text{m}$ ) 30 m
- Banda 5 - Infravermelho Próximo (0.85 - 0.88  $\mu\text{m}$ ) 30 m
- Banda 6 - Infravermelho Médio/SWIR 1 (1.57 - 1.65  $\mu\text{m}$ ) 30 m
- Banda 7 - Infravermelho Médio/SWIR 2 (2.11 - 2.29  $\mu\text{m}$ ) 30 m
- Banda 8 - Pancromática (PAN) (0.50 - 0.68  $\mu\text{m}$ ) 15 m
- Banda 9 - Cirrus (1.36 - 1.38  $\mu\text{m}$ ) 30 m – útil para detecção de nuvens

O outro sistema imageador é o *Thermal Infrared Sensor (TIRS)* com duas bandas de pixel de 100 metros, processadas e disponibilizadas em 30 metros, para coincidir com a maioria das bandas multiespectrais do sistema imageador OLI (USGS, 2013).

- Banda 10 - Infravermelho Termal/TIRS 1 (10.6 - 11.19  $\mu\text{m}$ ) 100 m - tratada e disponibilizada com pixel de 30 metros.
- Banda 11 - Infravermelho Termal/TIRS 2 (11.5 - 12.51  $\mu\text{m}$ ) 100 m - tratada e disponibilizada com pixel de 30 metros.

As características dos produtos/imagens são consistentes com o padrão de Nível 1 (ortorretificadas) semelhantes aos da série Landsat 1 ao 7. O formato dos dados disponibilizados - de forma gratuita, baixado via internet - é um TXT (metadados) e GeoTIFFs em arquivo compactado com cerca de 1 GB (comprimido) a cerca de 2 GB (descompactado). A resolução radiométrica é de 16 Bits, Datum WGS 1984, projeção UTM (polar estereográfica para a Antártida), sendo necessário reprojeta-las para sul.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para que os objetivos propostos desse estudo fossem alcançados, o mesmo foi dividido em duas principais etapas, sendo a primeira: aquisição de referencial bibliográfico selecionado abordando a temática, informações de temperatura do ar, direção e velocidade dos ventos, na data de passagem do satélite provenientes do Instituto Nacional de Meteorologia, estação meteorológica convencional de Vitória (INMET/BDMEP, 2013), que serviram de parametrização / comparação com a temperatura de superfície registrada pelo sensor, além da consulta das condições de tempo no CPTEC(2013) e em jornal do Estado (A Tribuna, 2013).

Segunda: aquisição de imagem orbital digital gratuita, banda 10, correspondente a faixa do infravermelho termal (10.6 - 11.19  $\mu\text{m}$  - micrômetro), com resolução espacial de 30 metros do satélite Landsat-8 no Serviço de Levantamento Geológico Americano (USGS, 2013), sensor TIRS (Thermal Infrared Sensor), órbita 215, ponto 74, com data de passagem 04/08/2013 e horário central 9:45 h.

Já a organização e tratamento do dado raster iniciou-se com o recorte da imagem infravermelha termal (banda 10) na área desejada (Figura 1) seguido do uso dos parâmetros fixos de conversão de níveis de cinza da imagem (NC) para radiância, depois para temperatura Kelvin, fundamentado nas equações 1 e 2 disponibilizadas no Serviço Geológico Americano e Tabelas 1 e 2.

$$L\lambda = ML * Q_{cal} + AL \quad (1)$$

**Tabela 1** - Elementos e valores da fórmula de conversão para radiância extraídos do metadados da imagem do Landsat-8, banda 10.

$L_{\lambda}$	Radiância Espectral do sensor de abertura em Watts/( m <sup>2</sup> sr μm)
$M_L$	Fator multiplicativo de redimensionamento da banda 10 = 3.3420E-04
$A_L$	Fator de redimensionamento aditivo específico da banda 10 = 0.10000
$Q_{cal}$	Valor quantizado calibrado pelo pixel em DN = Imagem banda 10

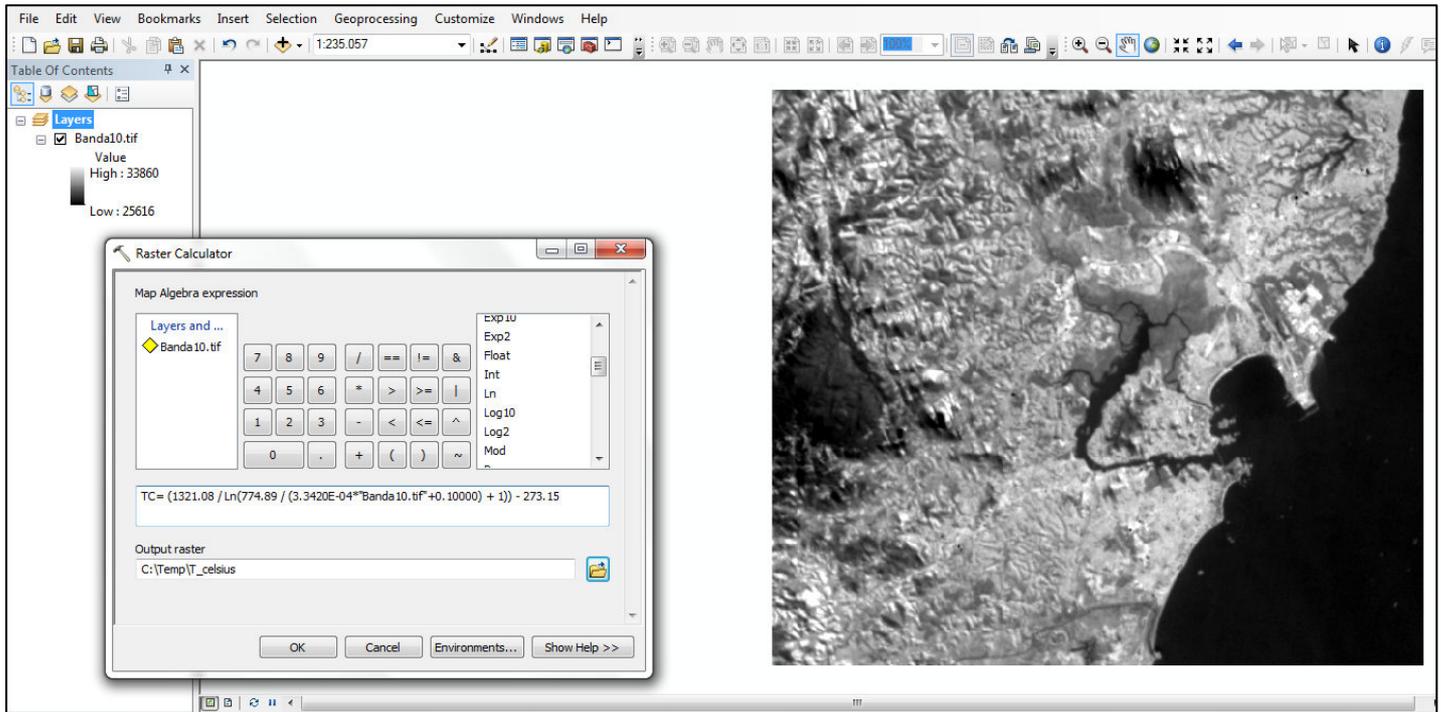
Conforme exposto, após a transformação dos valores em radiância aplicou-se a equação 2 com a finalidade de transformar os valores obtidos na primeira, em temperatura de valor em Kelvin:

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \quad (2)$$

**Tabela 2** - Elementos e valores da constante de calibração extraídos do metadados da imagem Landsat-8, banda10.

$T$	Temperatura efetiva no satélite em Kelvin (K)
$K2$	Constante de calibração 2 = 1.321.08 (K)
$K1$	Constante de calibração 1 = 774.89 (K)
$L_{\lambda}$	Radiância espectral em Watts/( m <sup>2</sup> sr μm)

Após este procedimento, os valores de temperatura Kelvin foram subtraídos pelo seu valor absoluto (273,15), gerando o raster de temperatura de superfície em graus Celsius (°C), que foi posteriormente validado com o registro de temperatura do ar da estação meteorológica de Vitória, seguido do recorte da imagem com base no limite do objeto de estudo. Na Figura 1, é mostrada a captura da tela do SIG com a imagem termal extraída/cortada para a área de estudo e adjacências - salva como "banda10.tif"- e a inclusão dos algoritmos (equação 1 e 2) na calculadora raster do ArcGIS 10.1.



**Figura 1** – Captura da tela do ArcGIS 10.1 com a banda 10 cortada, sem cobertura de nuvens. Na janela da calculadora raster, a inserção conjunta das equações 1, 2 e a subtração de 273,15 para obtenção da temperatura Celsius.

Fórmula completa:  $TC = (1321.08 / \ln(774.89 / (3.3420E-04 * \text{“banda10.tif”} + 0.10000) + 1)) - 273.15$

### 3.1. Validação do produto

As condições de tempo às 10:00 h da manhã, registrados pela estação meteorológica convencional do INMET de Vitória foram de temperatura média do ar 21 °C, direção predominante do vento norte-nordeste com média de 1,4m/s (INMET, 2013). Já o jornal (A Tribuna, 2013), noticiou temperaturas entre 18 e 31 °C, com probabilidade de chuva igual a zero, valores próximos aos detectados pelo sensor.

Nesse dia, boa parte da região Sudeste, inclusive a área de estudo, estava sob a influência da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), fato que favoreceu o bloqueio da Frente Fria (FF) que estava estacionada sobre a região Sul do Brasil, resultando na diminuição de nuvens no céu e, conseqüentemente, no aquecimento da superfície proporcionada pela incidência de radiação solar sobre Vitória e adjacências (CPTEC, 2013). Segundo o Incaper (2013), no Estado do Espírito Santo o respectivo mês compreende um dos períodos de inverno mais intensos e secos pela atuação frequente das frentes frias, acompanhadas de massas de ar polar, que provocam com a sua passagem, a diminuição nas temperaturas com as máximas médias em torno de 27,0 °C. Já Correa (2011), em pesquisa realizada sobre o comportamento dos elementos climáticos do Município de Vitória (ES) entre 1978 e 2007, identificou que a temperatura média para o mês de agosto é de 26,4 °C e a precipitação média para o respectivo mês é de 62,01mm.

Ao realizar a parametrização da temperatura média do ar ( $T_a$ ) registrada pela estação meteorológica convencional no Município de Vitória de 21 °C, com o pixel de temperatura média de superfície ( $T_s$ ) registrada pelo sensor na localização da respectiva estação (22,5 °C) foi observado um gradiente térmico ( $T_s - T_a$ ) de 1,5 °C. Weng (2003), salienta que a temperatura média de superfície ( $T_s$ ) apresenta, normalmente, valores mais elevados em relação a temperatura média do ar ( $T_a$ ) o que já era esperado. Na prática essa diferença não infere nos resultados, uma vez que a temperatura quantificada pelo satélite é a temperatura radiante da superfície.

## 4. APLICAÇÕES

Os Mapas a seguir apresentam as classes de temperaturas de superfície derivadas do satélite Landsat-8 em 04/08/2013 e horário central 9:45 h, com temperatura mínima de 20,4 °C, temperatura máxima 32,8 °C, média de 20,4 °C e amplitude de 12,4 °C em relação aos valores dos pixels. Esta amplitude elevada está relacionada diretamente a resposta da radiação dos materiais/cobertura do solo e dos diversos usos que são realizados no território, a exemplo no parque industrial da Vale e da Arcelor, situados no extremo norte de Vitória, registrando valores máximos e mínimos.

Com base nesses dados foi realizado, em ambiente SIG, a reclassificação com os intervalos de temperaturas em:  $\leq 23$  °C; 23,1 a 25 °C; 25,1 a 27 °C; 27,1 a 29 °C; e  $> 29$  °C.

### 4.1. Espacialização dos Principais Usos e Intervalos de Temperaturas de Superfície

O procedimento de elaboração do mapa de uso e cobertura da terra teve início com a aquisição de imagens orbitais digitais gratuitas do satélite Landsat-8 no Serviço de Levantamento Geológico Americano (USGS), - <http://landsat.usgs.gov/> - sensor OLI (Operational Land Imager) órbita 215, ponto 74, com data de passagem 04/08/2013 e horário central 9:45 horas, bandas: 2, 3 e 4 com resolução espacial de 30 metros e banda 8 pancromática com resolução de 15 metros.

Bases cartográficas no formato shapefile: Limite Municipal e Bairros adquiridas no IBGE (2013) - <http://mapas.ibge.gov.br/interativos/ferramentas/galeria-arcgis-online> - e na Geoweb da prefeitura de Vitória - <http://geoweb.vitoria.es.gov.br>. Os mapeamentos e processamento de todos os dados vetoriais e matriciais foram realizados no SIG ArcGIS 10.1, iniciando com a adição dos Planos de Informações do Município e adjacências que foram ajustados, quando necessário, no sistema de projeção UTM, Datum SIRGAS-2000 Zona 24 sul, com todo o mapeamento produzido seguindo a padronização cartográfica segundo propostas de Lo e Yeung (2008) e Fitz (2008).

A imagem utilizada para classificação do uso e cobertura da terra do Município foi derivada de técnicas variadas partindo do processo de composição, cor natural, da banda 4 associada ao filtro vermelho, banda 3 ao filtro verde e a banda 2 associada ao filtro azul (4R; 3G; 2B), correspondendo, respectivamente, aos comprimentos de ondas vermelho, verde e azul. Após a criação da imagem multiespectral recorreu-se a técnica de fusão de imagem - *Pan Sharpening* - da banda 8, que consiste basicamente, em integrar a melhor resolução espacial da banda pancromática preservando o conteúdo / cor da imagem composta.

O método de classificação do uso e cobertura da terra empregado foi o híbrido iniciando-se pela classificação Supervisionada Máxima Verossimilhança (MAX-VER), seguido da conversão em vetor e correção de polígonos com base na imagem composta/fusionada, na imagem da DigitalGlobe / ArcGIS online, com resolução de 0,5 metros de 04/06/2012 e, em campanhas de campo. As classes de uso e cobertura da terra foram definidas com base no *Manual Técnico de Uso da Terra* (IBGE, 2006), adaptadas ao objeto de estudo, sendo: 1) *Afloramento de rochas*; 2) *Corpo D'água*; 3) *Floresta / Manguezal / Restinga*; 4) *Praia*; 5) *Silvicultura*; 6) *Solo Exposto / Matacão*; e 7) *Urbano / Industrial*.

No que se refere às classes de uso e cobertura da terra, há o predomínio do *Urbano / Industrial* seguido da *Floresta / Mangue / Restinga* que ocupam, respectivamente, 44,8 km<sup>2</sup> e 24,8 km<sup>2</sup> abrangendo, ambas as classes, mais de 80% da área de estudo.

A classe *Floresta / Mangue / Restinga* ocorre, sobretudo na porção noroeste e centro sul como o Parque Estadual da Fonte Grande e a Estação Ecológica Ilha do Lameirão, um dos maiores manguezais urbanos do mundo (Figura 2).

Os intervalos de temperaturas de superfície que mais predominaram no território, no momento da passagem do satélite, foram de 23,1 a 25 °C e 27,1 a 29 °C abrangendo 33,4 km<sup>2</sup> e 21,2 km<sup>2</sup> respectivamente, cobrindo ambos, mais de 63 % do território.

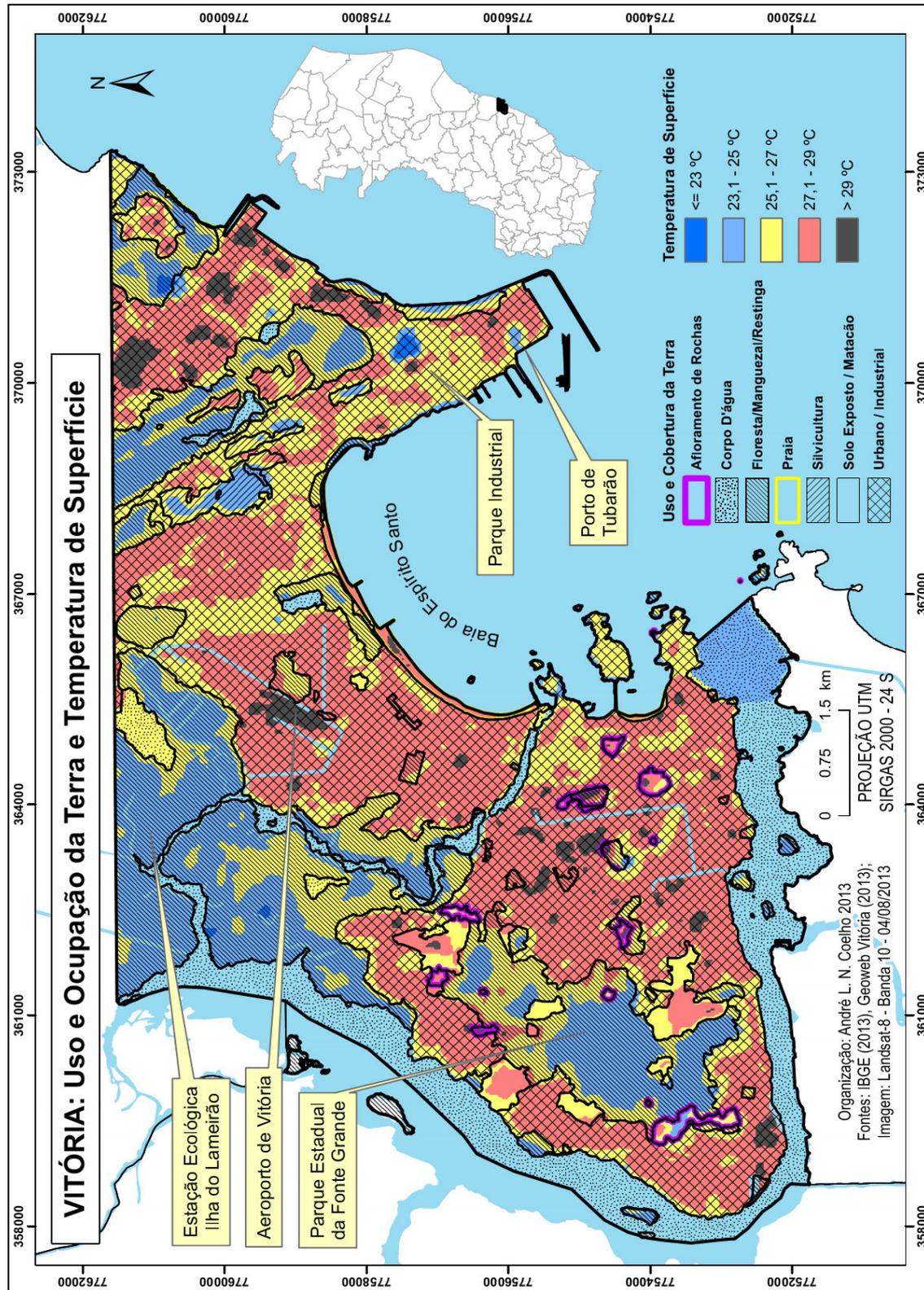


Figura 2 - Mapa da relação do uso e cobertura da terra e temperatura de superfície

### 4.2. Perfil do Campo Térmico de Superfície

As Figuras 3 e 4 têm por objetivo revelar, em escala de detalhe, o comportamento da temperatura de superfície do traçado do perfil “A-B” de 3,9 km com base nos distintos usos e coberturas como construções, pavimentos, água e vegetação.

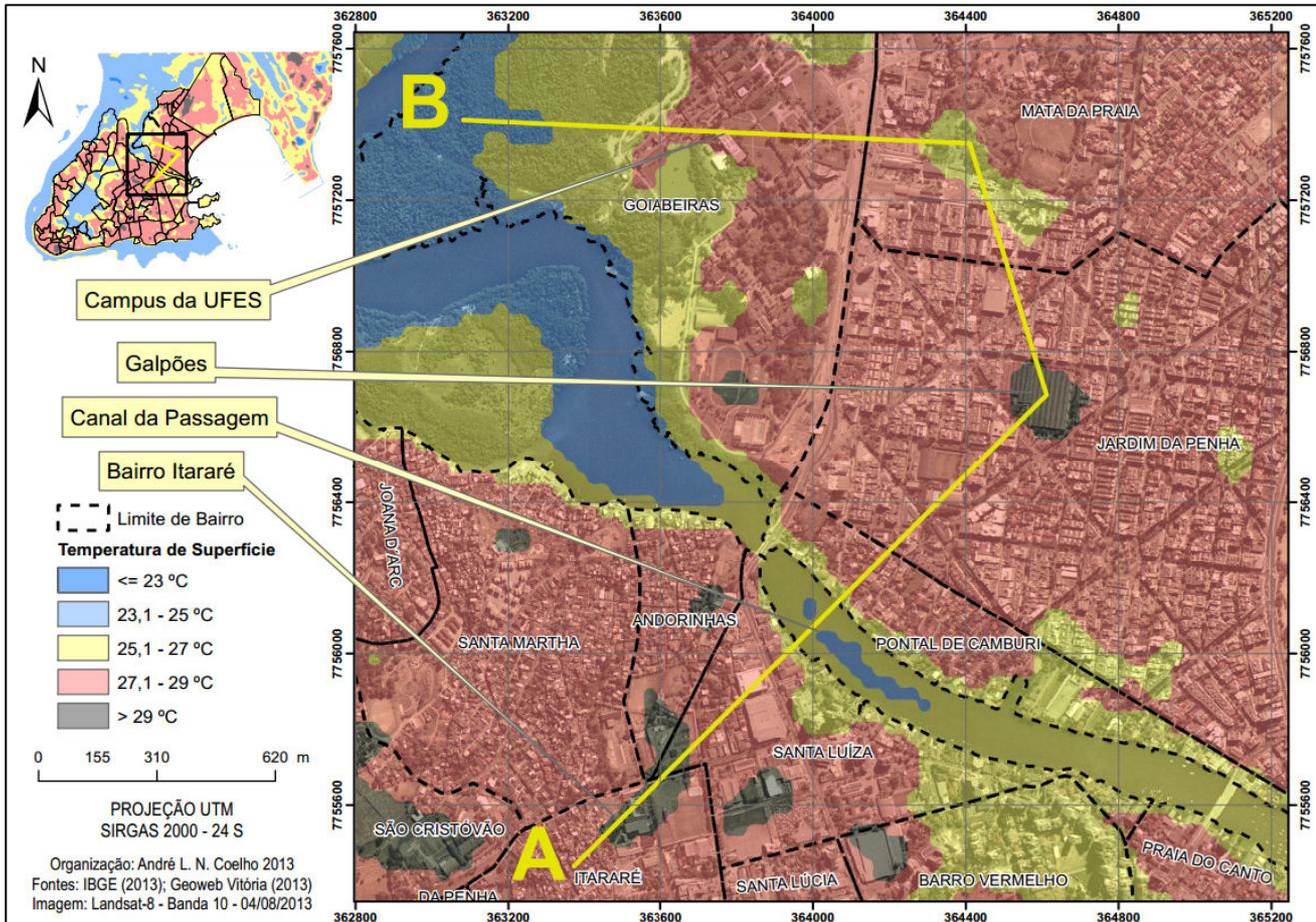


Figura 3 - Mapa do traçado Perfil “A–B” com objetivo de registrar temperaturas de superfície com base nos usos e coberturas.

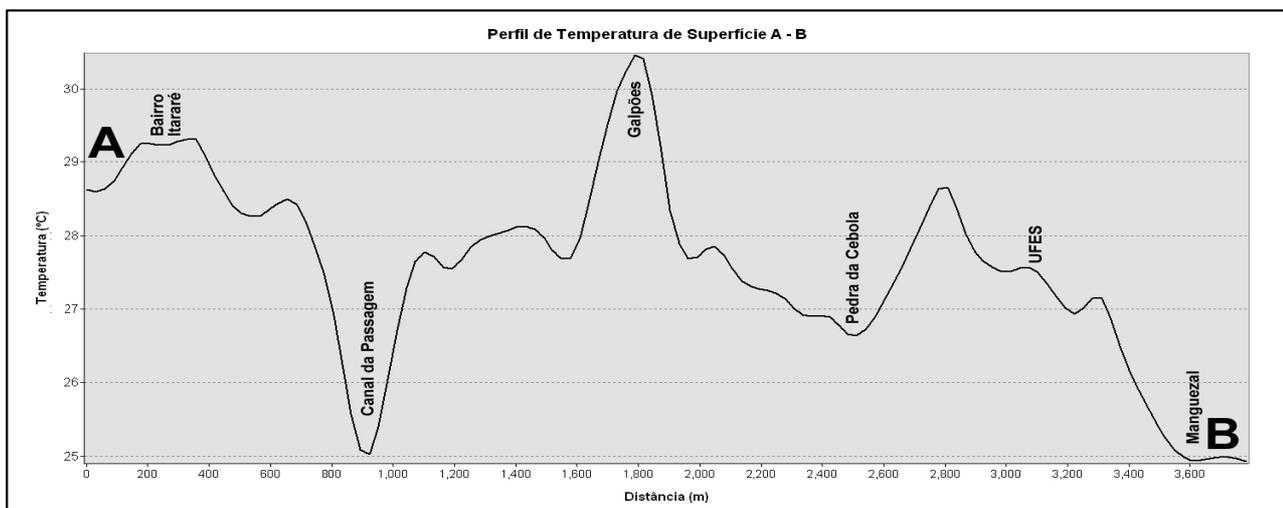


Figura 4 - Gráfico do perfil “A-B” do campo térmico de superfície (°C) da imagem termal TIRS/Landsat-8, em 04/08/2013 e o horário central 9:45 h, registrando variações conforme usos e coberturas da terra.

A amplitude registrada nesse perfil no momento da passagem do satélite foi de 6 °C, considerada elevada, com os menores valores de 24,7 °C detectados na superfície da água (Canal da Passagem) e manguezal do Campus da UFES, enquanto os maiores foram identificados nas áreas construídas com intensa existência termal, a exemplo das telhas dos galpões da Conab no Bairro Jardim da Penha (ver Figuras 3 e 5) registrando valores superiores a 30,6 °C.



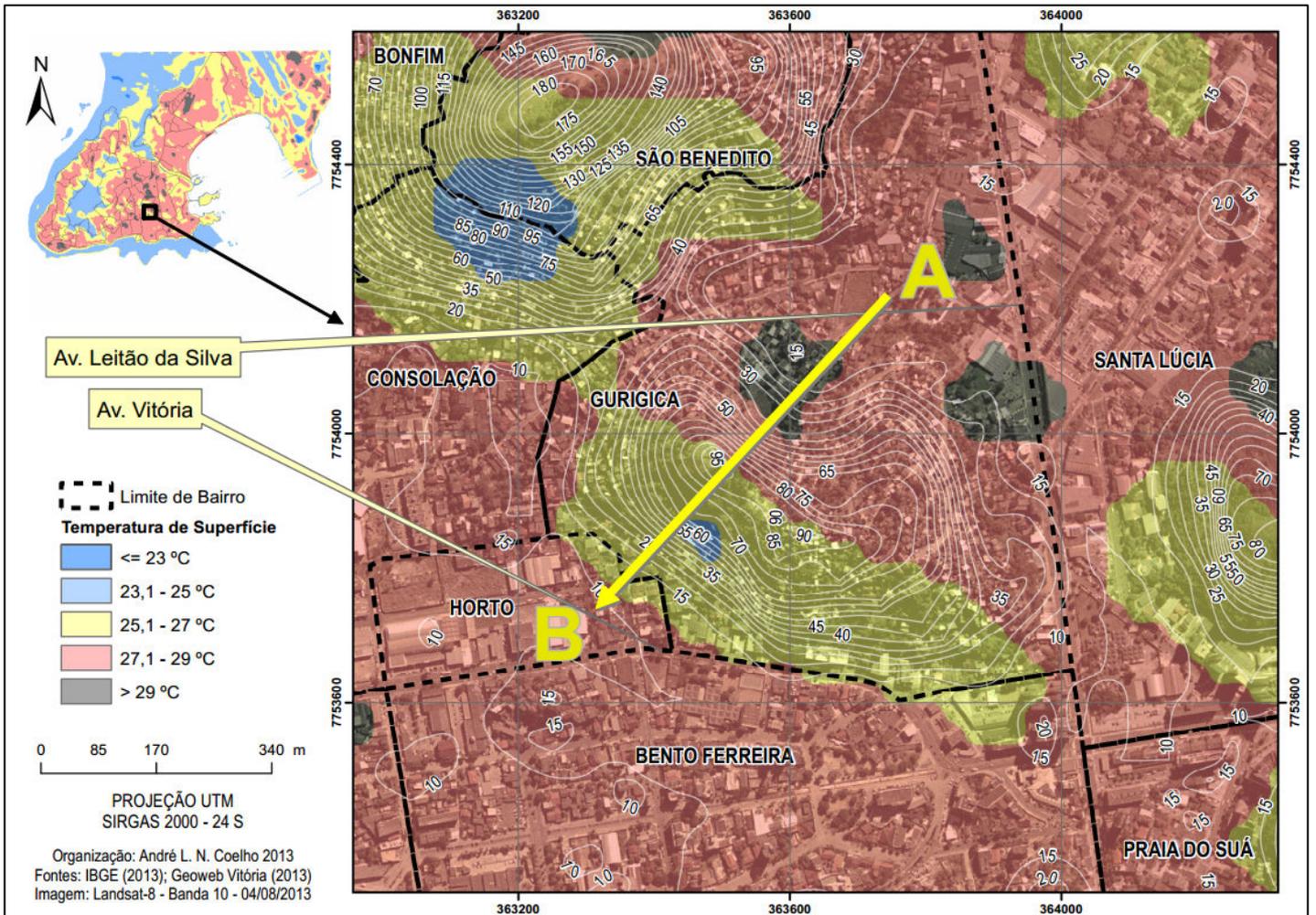
**Figura 5** - Foto aérea do bairro Jardim da Penha, tendo ao centro da imagem, as telhas dos galpões da Conab com registro de temperatura superior a 30,6 °C, no momento da passagem do satélite TIRS/Landsat-8 canal 10. Foto do Autor: Outubro/2012.

#### 4.3. Perfil do Campo Térmico de Superfície e Topografia

O conhecimento das feições topográficas de um determinado recorte espacial de detalhe é de extrema importância nos estudos climáticos, pois neles podem apresentar diferenças de microclimas oriundas da morfologia da superfície. Nesse sentido, aspectos relacionados à orientação, inclinação das vertentes e a posição geográfica, conjugados com a trajetória aparente do sol, podem promover uma diferenciação no balanço de energia, por meio do sombreamento das encostas, modificando os padrões espaciais e temporais dos elementos do clima (Fialho, 2009 e 2012).

Na área de estudo foram identificados, em diversos pontos, diferenças de temperaturas de superfície, a exemplo da Figura 6, com o mesmo padrão de rugosidade no sentido “A-B” havendo o predomínio de equipamentos residenciais e baixa concentração de áreas verdes, inclusive no reverso, revelando que o fator topográfico interferiu no balanço de energia, por meio do sombreamento da encosta.

Essa constatação, como já mencionado, evidencia a formação do fenômeno ilha de frescor que fornece subsídio para a uma melhor compreensão do clima urbano do Município (Assis, 2010; Brandão, 2011 e Jensen, 2009).



**Figura 6** - Mapa da equidistância da curva de nível e temperatura da superfície no sentido “A-B”. Em “A” há o predomínio da temperatura alta até a cota máxima de elevação do bairro Gurigica (95 metros), enquanto no reverso, observa-se a queda da temperatura proporcionada pela baixa incidência da radiação solar ocasionado pelo fator topográfico/inclinação da vertente, em direção ao bairro Horto, no momento da passagem do satélite.

#### 4.4. Dados Estatísticos do Uso e Cobertura da Terra nos Intervalos de Temperatura

Na Figura 7, é apresentado o resultado da estatística por região do uso e cobertura da terra em relação aos intervalos de temperaturas (°C) expressos em percentuais, obtendo uma média dos valores máximos superiores a 60%.

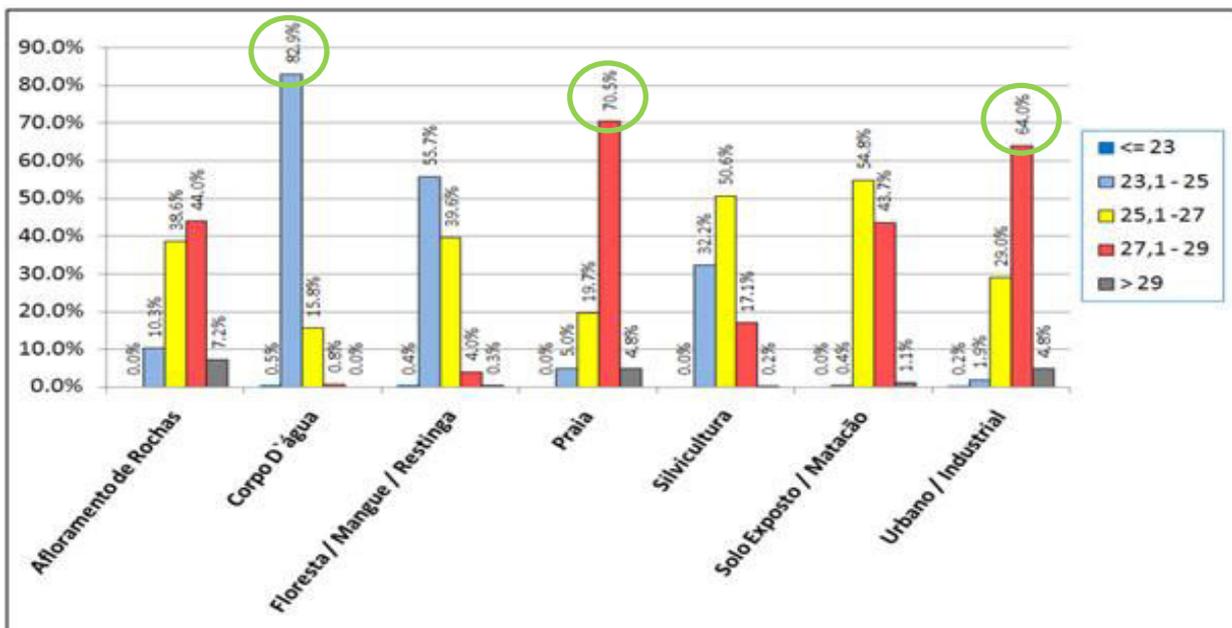


Figura 7 - Gráfico com os percentuais para cada tipologia de Uso e Cobertura da Terra.

Há o destaque para a classe *Corpo D'água* apresentando um percentual de 82,9% no intervalo de temperaturas entre 23,1 - 25 °C, seguido da *Praia* e *Urbano / Industrial*. Estes valores elevados ocorrem em função dos usos e coberturas que predominam nesses ambientes como asfalto, concreto, areia e telhas de amianto, fato também observado por Jensen (2009).

#### 4.5. Outras Considerações

Foram identificados no momento da passagem do satélite efeitos característicos de ilhas de calor, canyons e ilhas de frescor (sombreamento). As ilhas de calor, identificadas na Figura 2, ocorrem praticamente em todos os setores da classe de cobertura da terra denominada *Urbano / Industrial* com temperaturas superiores a 29 °C. Porém, as manchas maiores, correspondem às regiões como o parque industrial e o aeroporto situados na porção centro-norte.

Em relação ao parque industrial, o elevado valor de temperatura de superfície observado, está associado ao calor originado pelos processos industriais de siderurgia e mineração, mesmo que situados próximo a linha de costa recebendo o efeito direto da brisa marítima, as temperaturas permaneceram elevadas. No aeroporto foi observada uma grande área de solo exposto e asfalto associadas ao baixo calor específico e a pouca eficiência em seu mecanismo de dissipação, fato que contribuiu para as temperaturas elevadas obtidas no momento da passagem do satélite (Figura 2).

Já o efeito ilha de frescor decorrente das áreas verdes, corpos d'água e inclinação das vertentes, estão situados na porção sudeste do território, na ilha do Boi, ilha do Frade, como também, na porção sudoeste, no entorno da baía de Vitória e adjacências do canal da Passagem. Os canyons identificados estão localizados a leste do Município na região da Praia do Canto onde foram registrados valores de temperatura de superfície menores do que no entorno. Esta diferença térmica é causada pelo efeito de sobreamento proporcionado pela geometria dos prédios impedindo que a radiação atinja a superfície, conseqüentemente, em um aquecimento mais lento da área (Figuras 2 e 3).

O efeito semelhante ao tampão foi identificado no setor norte da Avenida Leitão da Silva, no reverso do maciço destituído de vegetação e densamente coberto por construções no entorno. Tal efeito, inicia-se com entrada do ar quente proveniente do corpo d'água adjacente, formando um tampão, impedindo a ascensão do ar mais frio que está próximo do solo, causando uma inversão térmica natural.

## 5. CONCLUSÕES

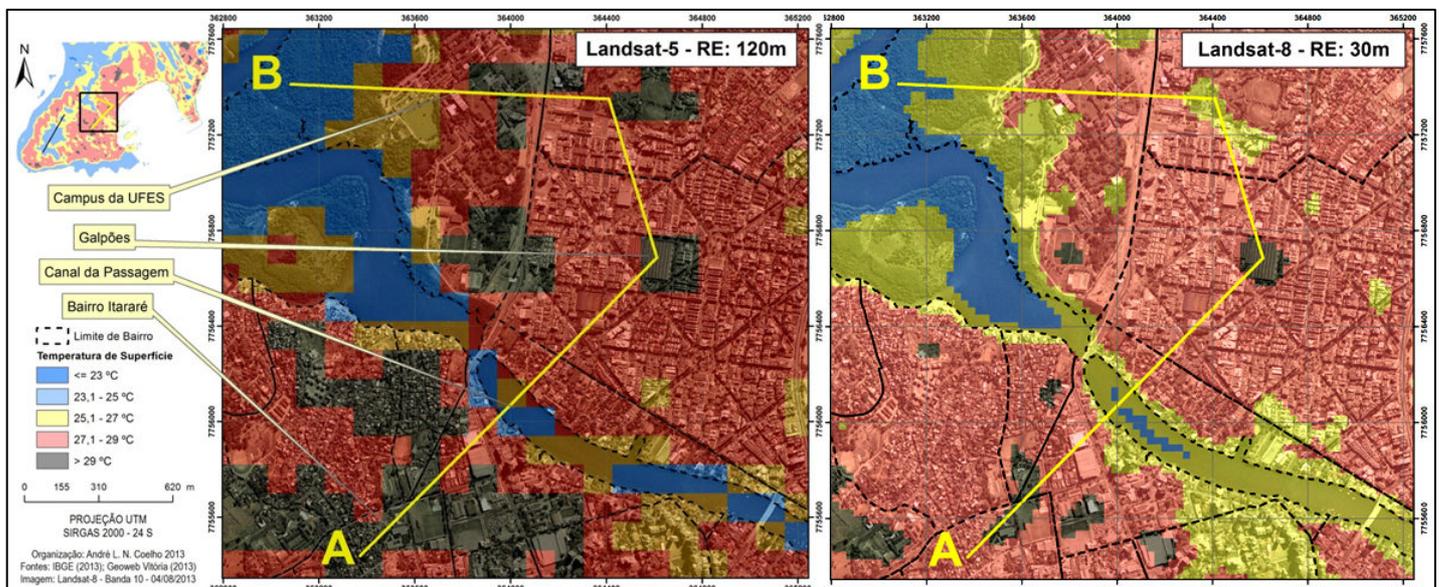
Os resultados extraídos durante a passagem do satélite evidenciaram áreas no Município de Vitória com intensa emitância termal como prédios, pavimentos, telhados e outras superfícies típicas da paisagem urbana, bem como a distribuição heterogênea dessas respostas, resultando em temperaturas da superfície com amplitudes elevadas superiores a 12 °C. Constatou-se, também, a influência e a importância da cobertura vegetal na amenização da temperatura, a exemplo do Parque Estadual da Fonte Grande.

Como diretrizes sugere-se a elaboração de um plano de (re)arborização dos locais onde foram detectadas as ilhas de calor, com a finalidade de amenizar as condições de temperatura. Outra medida mais complexa é aplicar uma legislação que defina uma relação adequada entre espaço construído e área verde.

A partir desse levantamento de temperatura da superfície, permite outros estudos / pesquisas como análise do conforto térmico e suporte para elaboração e ou revisão dos Planos Diretores.

É importante ressaltar também, que o sensoriamento remoto e ou sistema de informações geográficas seja de uso comercial, livre ou gratuito quando dominado e, de preferência, operado por especialistas (ex.: geógrafos, arquitetos, entre outros), possibilita um maior aproveitamento dos recursos oferecidos pelo software, conseqüentemente, uma análise espacial mais aprofundada, integrada e coerente com o território analisado.

Enfim, as informações de temperatura da superfície do canal infravermelho termal do sensor TIRS/Landsat-8, banda 10 - com o destaque para melhoria da resolução espacial de 30 metros (Figura 8) - sob o aspecto da utilização de geotecnologias em ambientes urbanos, contribuem na identificação, espacialização e na compreensão da dinâmica climática operante de microclimas locais e, conseqüentemente, na adoção de diretrizes como planos de arborização no sentido de amenizar as temperaturas nesses ambientes, podendo ser aplicada em outros intervalos de datas e locais distintos.



**Figura 8** - Comparação da resolução 120 metros do Landsat-5 (a esquerda) e a melhora da resolução espacial do Landsat-8 com pixel de 30 metros.

A utilização dessa técnica também permite o conhecimento espacial e temporal da expansão urbana e dos problemas delas oriundos.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A Tribuna (2013). Caderno Cidades Tempo e Temperatura, pg. 10, Vitória, ES, Domingo, 04 de Agosto de 2013.
- Assis, W. L. (2010). O sistema clima urbano do município de Belo Horizonte na perspectiva têmporo-espacial. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 299f.
- Brandão, A. M. P. M. (2011). O Clima Urbano da Cidade do Rio de Janeiro, in: Monteiro, C. A. F.; Mendonça, F. Clima Urbano. 2ª Edição. São Paulo: Contexto. p. 121-154.
- Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC (2013). Boletim Técnico do dia 04/08/2013. Acesso em 29 de setembro. 2013. Disponível em: <[http://tempo.cptec.inpe.br/bol\\_tecnico.shtml](http://tempo.cptec.inpe.br/bol_tecnico.shtml)>.
- Chander, G.; Markham, B. L.; Helder, D. L. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, 113, p. 893-903.
- Coelho, A. L. N. (2009). Sistema de Informações Geográficas (SIG) como Suporte na Elaboração de Planos Diretores Municipais. *Caminhos de Geografia (UFU)*, v. 10, p. 93-110.
- Coelho, A. L. N. (2010). Uso de Produtos de Sensoriamento Remoto para Delimitação de Área Efetivamente Inundável: estudo de caso do baixo curso do rio Benevente Anchieta - ES. *Revista Geográfica Acadêmica*, v. 4, p. 53-63.
- Correa, W. S. C. (2011). Comportamento dos elementos climáticos, temperatura e precipitação, no Município de Vitória (ES) no período de 1978 a 2007. Monografia (Bacharelado em Geografia). Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória – ES.
- Fialho, E. S. (2009). Ilha de calor em cidade de pequeno porte: Caso de Viçosa, na Zona da Mata Mineira. Tese (Doutorado em Geografia Física), Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Programa de Pós-graduação em Geografia Física, USP, 248f.
- Fialho, E. S. (2012). Estudos Climáticos em Sítios Urbanos e Rurais, (Orgs.) SILVA, Charlei Aparecido da e FIALHO Edson Soares, Concepções e Ensaios da Climatologia Geográfica e-book. ED. UFGD, PP-83-112.
- Fitz, Paulo R. (2008). Geografia Tecnológica. In: Geoprocessamento sem complicação, Ed. Oficina de Textos. São Paulo. p 19-29.
- Florenzano T. G. (2008). Geomorfologia Conceitos e Tecnologias Atuais, Oficina de Textos, São Paulo – SP.
- Florenzano, T. G. (2007). Iniciação em Sensoriamento Remoto: Imagens de satélites para estudos ambientais. 2ª Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 97 p.
- Florenzano, T. G. (2005). Geotecnologias na Geografia Aplicada: difusão e acesso, *Revista do Departamento de Geografia, USP* nº 17, ISSN 0102-4582, p. 24 – 29.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2013). Mapas Interativos. acesso em 12 setembro 2013. Disponível em <<http://mapas.ibge.gov.br/interativos/ferramentas/galeria-arcgis-online>>.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, (2006). Manuais Técnicos em Geociências, nº 7, Manual Técnico de Uso da Terra. 2ª Ed. Rio de Janeiro, RJ.

- Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural – INCAPER (2013). Estações no Espírito Santo: Inverno. Acesso em 15 de setembro. 2013. Disponível em: <<http://hidrometeorologia.incaper.es.gov.br/?pagina=estacinverno>>.
- Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2013). Banco de Dados Meteorológico para Ensino e Pesquisa - BDMEP. Brasília. acesso em 16 abril 2013. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>
- Jensen, J. R. (2009). Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres, Editora Parêntese, São José dos Campos, SP, 598p.
- Liu, W. T. H. (2006). Aplicações de Sensoriamento Remoto. Editora Uniderp, Campo Grande – MS.
- Lo, Chor Pang, Yeung, Albert K.W. (2008). Concepts and Techniques of Geographic Information Systems, 2nd Edition, Ph. Series in Geographic Information Science, Prentice-Hall.
- Lombardo, M. A. (1985). Ilha de Calor nas Metrôpoles: o exemplo de São Paulo. São Paulo: Hucitec, 244p.
- Mendonça, F. A. (1995). O clima e o planejamento urbano de cidades de porte médio e pequeno. Proposição metodológica para estudo e sua aplicação à cidade de Londrina / PR São Paulo, Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- Mendonça, F. de A. (2003). Clima e Planejamento Urbano em Londrina. Proposição metodológica e de intervenção urbana a partir do estudo do campo termo-higrométrico. In: Monteiro, C. A. de F; Mendonça, F. (Org.). Clima urbano. São Paulo: Contexto, p. 9-67.
- Nascimento, D. T. F. (2011). Emprego de técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento na análise multitemporal do fenômeno de ilhas de calor no município de Goiânia-GO (1986/2010). Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Estudos Sociais - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 96f.
- Oke, T. R. (1978). Boundary Layer Climate, London, Methuen e Ltd. A. Halsted Press Book, Jhon Wiley e Sons, 372 pp., New York.
- Oke, T. R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. Remote sensing of environment, New York. 86, n. 3, p. 371–384.
- Ponzoni, F. J.; Shimabukuro, Y. E. (2010). Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação. São José Dos Campos - SP: Parêntese.
- Rao, P. K. (1972). Remote sensing of urban "heat islands" from an environmental satellite. Bulletin of the American Meteorological Society, Boston, v. 53, p.647-648.
- Souza, S. B. de; Ferreira Júnior, L. G. (2012), Relação entre temperatura de superfície terrestre, índices espectrais e classes de cobertura da terra no município de Goiânia (GO). Revista Espaço Geográfico em Análise. Vol. 26. Paraná, p. 75 – 99.
- Streutker, D. R. (2002). A remote sensing study of the urban heat island of Houston, Texas. International Journal of Remote Sensing, Basingstoke, v.23, n.13, p.2.595-2.608.
- USGS - Geological Survey / Serviço de Levantamento Geológico Americano (2013). Aquisição de imagens orbitais digitais gratuitas do satélite Landsat-8: data de passagem 04/08/2013 EUA. Acesso em 22 agosto 2013. Disponível em <<http://landsat.usgs.gov>>.



Vieira, I. M. (1993). Técnicas de Sensoriamento Remoto aplicadas ao estudo e análise da expansão urbana em ambientes litorâneos. 1993. 142 f. Dissertação de Mestrado - INPE, São José Dos Campos.

Weng, Q. (2010). Remote sensing and GIS integration: theories, methods, and applications, New York : McGraw-Hill.

Weng, Q. (2003). Fractal analysis of satellite-detected urban heat island effect. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Bethesda, v.69.

Weng, Q.; LU, D.; Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature - vegetation abundance relationship for urban heat island studies. Remote Sensing of Environment, Oxford, v.89. p.467-483



## COBERTURA DA TERRA E PARÂMETROS DA PAISAGEM NO MUNICÍPIO DE CARACARAÍ - RORAIMA

## LAND COVER AND LANDSCAPE PARAMETERS IN MUNICIPALITY OF CARACARAÍ - RORAIMA

Roseane Pereira Moraes  
Graduação em Geografia da Universidade Federal de Roraima  
moraistroseane@ymail.com

Thiago Morato de Carvalho  
Lab. de Métricas da Paisagem (MEPA), Departamento de Geografia, UFRR.  
thiago.morato@ufr.br

**Resumo:** A paisagem simboliza uma área importante para os estudos do uso e cobertura da terra e vice-versa, pois trata-se do reconhecimento dos elementos que estruturam a paisagem de determinado lugar de ordem natural e antrópica, ambos em constante dinâmica. O foco deste estudo foi identificar os tipos de uso e cobertura da terra no município de Caracarái e sua relevância nos estudos da paisagem através de técnicas de Geoprocessamento. Foram aplicados índices de fragmentação, conectividade e densidade dos elementos que compõe a paisagem de Caracarái (métricas da paisagem). Os resultados mostram a importância a relação entre os aspectos de uso e cobertura da terra com parâmetros conceituais de paisagem, cujo foco pode estar direcionado para o conjunto de medidas que norteiam a apropriação do espaço geográfico com base na gestão territorial e ambiental deste município.

**Palavras-chave:** Uso e Cobertura da Terra, Métricas da Paisagem, Geoprocessamento, Caracarái.

**Abstract:** The landscape symbolizes an important area for research of the land use and land cover, because it is the recognition of the elements that shape the landscape of a particular place of natural and anthropogenic order, both constantly dynamic. The focus of this study was to identify the types of land cover and land use in the municipality of Caracarái, and its relevance in studies of landscape through Geoprocessing techniques. Was used indexes of fragmentation, connectivity and density of the elements that shape the landscape of Caracarái (landscape metrics). The results show the importance of the relationship between aspects of land use and cover with conceptual parameters of landscape, whose focus may be directed to the set of measures that guide the appropriation of geographical space based on spatial and environmental management of this municipality.

**Keywords:** Land Use and Land Cover , Landscape Metrics, Geoprocessing, Caracarái.

## 1. INTRODUÇÃO

O acelerado crescimento populacional gera diversas demandas por recursos, como água e alimentos, visando conseqüentemente terras produtivas. Esta necessidade acarreta na antropomorfização das áreas naturais, modificando e reestruturando a paisagem a sua volta ó paisagens artificiais (antropomórficas). Por esta razão, tem crescido a pressão sobre o espaço a ser produzido, havendo a necessidade de investimento em políticas públicas, que garantam não somente a sustentação do sistema econômico de seus territórios, mas também forneçam medidas que mitiguem os impactos ambientais causados pelo crescimento do consumo em massa, alterando a capacidade de suporte.

Conhecer como estão relacionados e estruturados os elementos da paisagem (função, estrutura e dinâmica), é ferramenta crucial para a caracterização da cobertura do solo, bem como, os tipos de usos antrópicos que interferem nesses sistemas, identificar e interpretar os diferentes usos e tipos de cobertura de uma região, além de contribuir para os estudos da paisagem que o cerca, é o meio pelo qual podemos compreender sua dinâmica espaço-temporal.

Segundo Schlindwein et. al. (2007) a expressão Uso e Cobertura do Solo é um conceito híbrido, pois é formado por outros três conceitos: uso, cobertura e solo. Onde o primeiro termo alocado na expressão está relacionado às atividades inseridas ou construídas na superfície terrestre e/ou, aos tipos de manejos do solo para agricultura, pastagens, cidades, dentre outras. Cobertura refere-se aos atributos físicos e bióticos, como as florestas, arbustivo, gramíneas, água. Quanto ao solo, é a camada superficial da crosta terrestre oriundo da decomposição da rocha-matriz, sob influência do clima e de processos intempéricos (Flores et al., 1999). Couto (2004) identifica padrões espaciais, e sua comparação podem melhorar as simulações de fenômenos em grande escala, além de gerir recursos naturais ao nível de paisagem, é neste ponto que entra o uso e cobertura da terra como categoria de estudo para análise da paisagem, definida neste caso como uma área formada por elementos integradores, tanto naturais quanto socioeconômicos.

Entendemos e definimos neste artigo que, uso e cobertura da terra, expressa um conjunto de elementos naturais e antrópicos, articulados com funções específicas, e dinâmicos na escala espacial e temporal, dispostos na paisagem de acordo com o processo evolutivo natural e de reprodução espacial de acordo com o modelo socioeconômico regional. Neste exemplo, o município de Caracaraí, Roraima, é a área em evidência neste estudo e, portanto, um lugar que apresenta uma paisagem diferenciada tanto pela forma como foi desenvolvido seu espaço urbano, quanto pelas características naturais que o cerca.

## 2. PAISAGEM

Existem muitas interpretações para o termo Paisagem, embora cada uma delas se refira a uma área com elementos que se relacionam entre si, de tamanhos variados e com determinada função, conformando um mosaico heterogêneo das homogeneidades, fonte de informações relevantes para diversas áreas de estudo. A paisagem abrange setores que estão além de uma definição universal, pois está presente em todos os lugares possíveis e sua estrutura está em constante transformação, seja no âmbito social, cultural, econômico ou natural.

A paisagem é um conceito amplo que atravessa fronteiras infindáveis e está presente até mesmo na história das artes visuais. Esta conta com uma valorização nos aspectos naturais no final do século XVIII, onde as pinturas mais exuberantes tentavam aproximar o ser humano da natureza pura e primordial, de que havia se separado de maneira trágica (Siewerdt, 2007). A paisagem surgida na pintura artística é resultado da ruptura com a visão teológica medieval para ocupar lugar primordial no campo da Geografia. Esse é um ponto importante para posicionar a concepção do homem perante o ambiente que o cerca. O aparecimento do conceito de paisagem foi acompanhado de uma revolução técnica e científica que libertou a natureza da ideologia divina tornando-a objeto de conhecimento e abrindo caminho à sua manipulação e transformação

com diversos fins (Salgueiro, 2001).

Em escalas temporais distintas, enxergamos na paisagem aparentemente estática o dinamismo, seja das forças naturais que atuaram/atual no modelado do relevo, hidrografia etc.; sejam das ações humanas manifestas em distintos modos de produção e formações sociais que evoluem ao longo das gerações. Não se pode falar de paisagem sem compreender a que processos (interação entre os elementos) ela está inserida, ou do que ela é formada (sua estrutura). É preciso entender como ela está estruturada, suas funcionalidades e a que mudanças ela está passível de sofrer ao longo do tempo. Neste último caso, a temporalidade faz muita diferença para que haja modificações no comportamento natural ou antrópico dos padrões do sistema. Deixamos claro que a paisagem é dinâmica, este é o ponto de partida para se explorar seus elementos funcionais, compreender sua evolução.

Segundo Crepani et al (INPE, 1996) as unidades da paisagem natural podem ser analisadas a partir de sua gênese, constituição física, forma e estágio de evolução, além do tipo de cobertura vegetal que se desenvolve sobre ela. Essas informações são fornecidas por vários campos da Ciência em si, o que torna o estudo da paisagem uma área multidisciplinar e complementar. Couto (2004) mostra que a paisagem mesmo interpretada sobre diversos ângulos, sempre está inserida dentro do contexto descrito como mosaico de manchas ou elementos que estão em constante interação. Esse mosaico está relacionado a extensão, que é a área sujeita a investigação, e grão (unidade), que é o tamanho das unidades de observação. A forma de pensar (noosfera) evolui conforme a ciência e o meio cultural permeia numa sociedade, neste aspectos podemos categorizar o estudo da paisagem em alguns temas, por exemplo a Ecologia da Paisagem. Este termo (tema) foi introduzido, em 1939, pelo geógrafo Carl Troll, servindo de ponte entre geógrafos e ecólogos. Esta ponte possibilitou uma integração de diversos conceitos, possibilitando compreender numa visão física e biótica a paisagem. Segundo Troll (1971) uma entidade total e espacial, integrando a geosfera, biosfera e a noosfera (esfera da consciência e mente humana).

Segundo Bunce e Jongman (1993) o conceito evoluiu na direção de um estudo integrado dos padrões texturais da paisagem e os processos de que resultaram. A partir dessa linha de pesquisa, a Ecologia da Paisagem surgiu como uma importante disciplina nos estudos da estrutura, função e das mudanças da paisagem. Portanto, para o estudo da ecologia da paisagem o que se torna relevante são aspectos como: a interação entre essas manchas, padrões das unidades da paisagem e as formas como esses dois fatores mudam com o tempo. Assim, de acordo com Forman e Godron (1986) as características essenciais para o estudo da ecologia da paisagem são três: a *estrutura*, que está relacionada com as interações entre os elementos da paisagem em si e diferentes ecossistemas. *Função* que são interações entre os elementos da paisagem e sua dinâmica constante de troca de energia, materiais e indivíduos entre os ecossistemas; e, as *mudanças*, ocasionadas pelas alterações na estrutura e função do sistema ecológico da paisagem através da escala temporal.

Turner (1989) destaca que a Ecologia da Paisagem enfatiza mudanças de grande escala e com grandes reflexos ecológicos no padrão espacial de ecossistemas distintos. É importante ressaltar que essa disciplina não somente se concentra em fatores biológicos, físicos e químicos em mudanças de comportamento espacial dos elementos da paisagem, mas também considera o homem como um dos principais atores desse processo, por isso, ela busca compreender também dentro dessa cadeia de envolvimento, fatores históricos, culturais e socioeconômicos da Ecologia Humana que se encontram conectados a diferentes usos do solo.

Segundo Dolffus (1978) a paisagem de uma dada superfície terrestre pode ser classificada de acordo com o grau de intervenção humana: paisagem natural, paisagem humana e organizada. A primeira seria aquela que não foi submetida à ação do homem, a segunda foi modificada pelo homem até certa extensão consistindo em uma espécie de transição para a terceira que pode ser chamada de paisagem cultural, pois é resultado da contínua ação humana combinada e meditada.

De acordo com Soares Filho (1998) existem vários significados e metodologias para diferenciar os termos: elementos da paisagem e unidades da paisagem. Portanto, o que se propõe é que o primeiro seja utilizado no sentido de referenciar os tipos de uso e cobertura do solo, enquanto que o segundo passa a ser

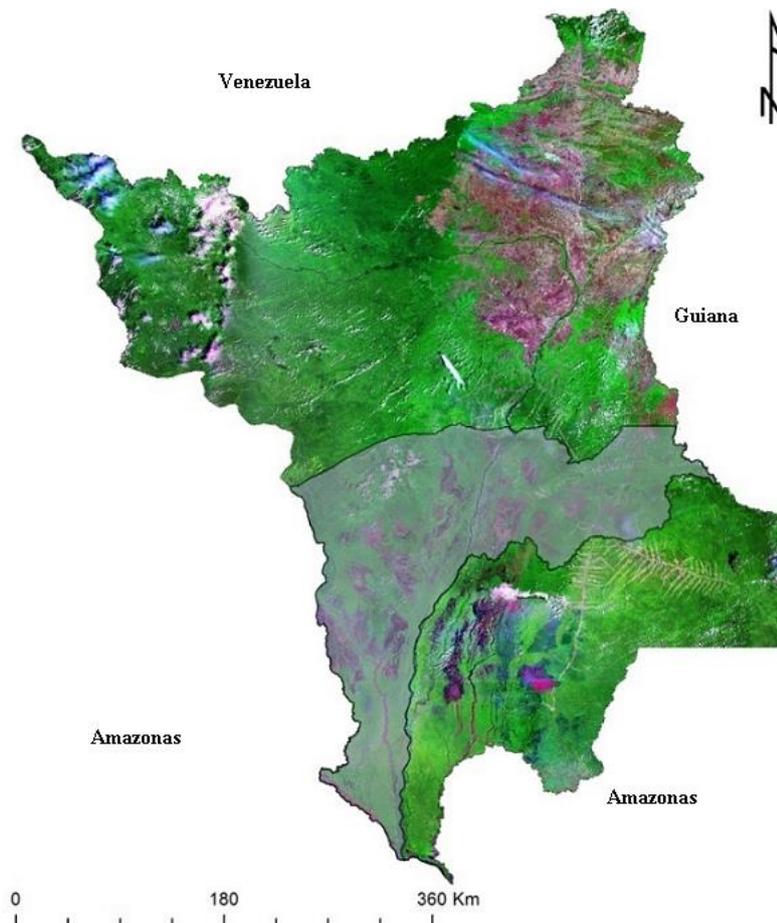
indicado para implicar regiões representativas de sistemas ambientais formados por um conjunto único de vegetação, solo, relevo e clima.

Para exemplificar uma forma de analisar a paisagem, usou-se como área de estudo o município de Caracaraí. Utilizou-se o uso e cobertura do solo como principal foco de interesse, pois além de se obter dados dos elementos naturais que fragmentam a paisagem dessa localidade (graus de fragmentação), podemos destacar também o interesse sobre o seu desenvolvimento socioeconômico, considerando o uso de forma planejada para minimizar possível degradação ao meio ambiente. O estudo do uso e cobertura do solo consiste em caracterizar a vegetação e demais elementos naturais que revestem o solo, e identificar de que forma o homem esta utilizando a área por ele ocupada.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. ÁREA DE ESTUDO

O Município de Caracaraí está localizado na região sudoeste do Estado de Roraima (Figura 1). Limita-se ao norte com os Municípios de Cantá e Iracema; ao sul com o Município de Rorainópolis, São João da Baliza e São Luiz; a leste com Caroebe, contato coma Guiana; e oeste com o Estado do Amazonas.



**Figura 1** - Localização do Município de Caracaraí (destaque cinza), Estado de Roraima.

Caracarái apresenta uma diversidade de feições morfológicas do relevo, que contribuíram no estabelecimento de uma paisagem distinta e peculiar no domínio amazônico, formado por extensas planícies aluvionares, morfológicamente formada por paleocanais, planícies ativas meandriformes. O relevo possui baixo gradiente, cotas entre 40 a 150 metros em 90% de sua área, com decaimento para o sistema fluvial do rio Negro, ao norte apresenta um relevo estruturado (forte controle estrutural) formando a Serra da Mocidade, complexo serrano (com estruturas isoladas) entre 250 a 1980 metros. Portanto, o município é formado por uma extensa superfície de aplainamento, consequência do alto estágio de erosão de rochas pré-cambrianas do embasamento cristalino. Motivo de ser fonte de extensos pacotes arenosos (solo quartzarênico), retrabalhado continuamente por um sistema de drenagem arreico, com feições de dunas inativas ao sul da Serra da Mocidade, de possível origem fluvial e do manto de intemperismo, o qual foi retrabalhado pela ação do vento em períodos climáticos passados mais secos (Carvalho, 2012).

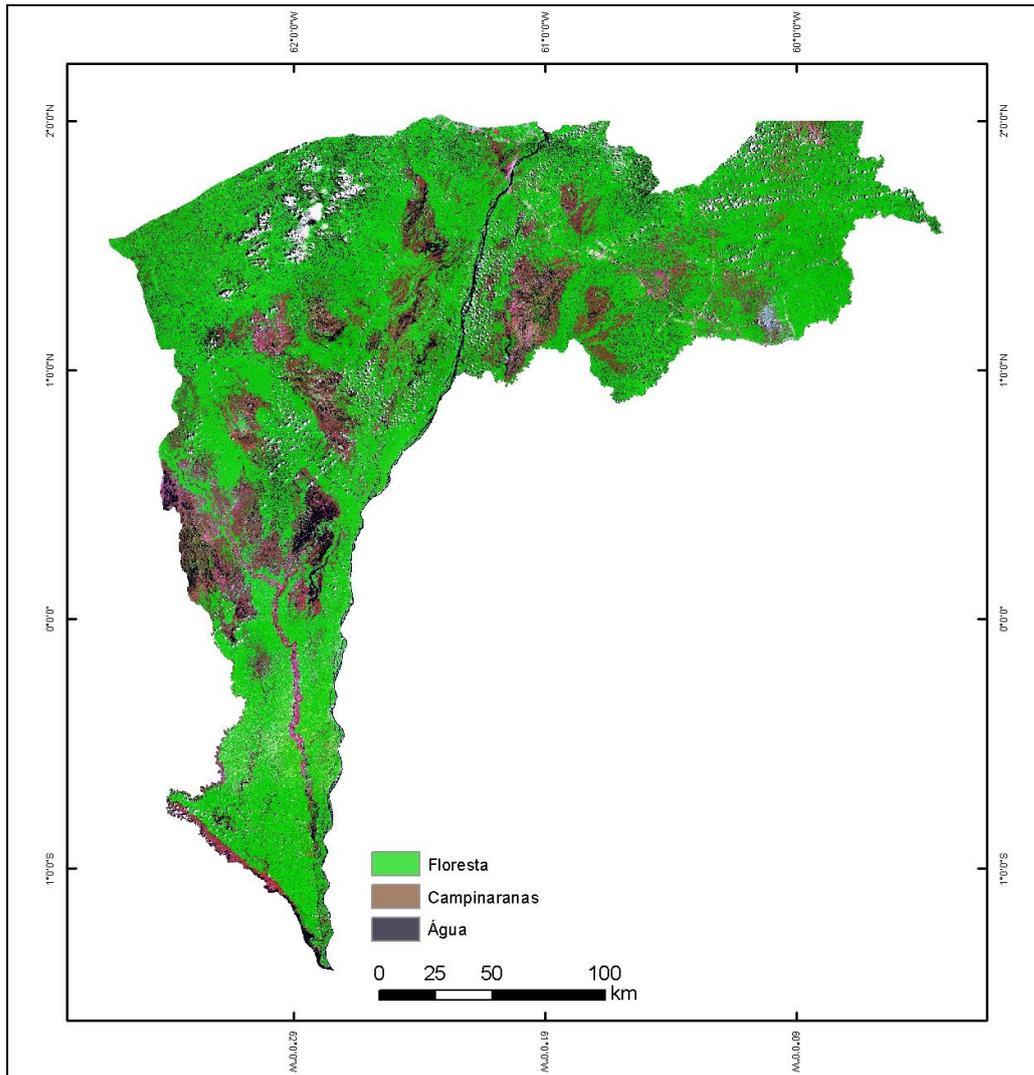
A cobertura vegetal é do tipo ombrófila densa e formações de campinaranas, áreas abertas em contato com sistema florestal, periodicamente encharcadas, sobre solo arenoso, entre meio a terraços aluvionares, com vegetação arbustivas e herbácea, onde estão inseridas grandes campos de dunas inativas, do tipo parabólicas (ver acima), os mais significativos do Estado de Roraima. Ver Carvalho e Carvalho 2012a.

### 3.2. COBERTURA DA TERRA E ÍNDICES DA PAISAGEM

Para classificar o uso e cobertura da terra do Município de Caracarái, foi utilizada imagem Landsat 5 (TM) do ano de 2012, em que através do método de classificação supervisionado, foram amostradas regiões de quatro tipologias da paisagem (vegetação, campinaranas, massa de água e solo exposto), através do classificador de máxima verossimilhança. Para maiores detalhes do uso de imagens para estudos da paisagem ver Carvalho e Carvalho (2012b). O produto obtido, imagem classificada, foi utilizada para processar o grau de fragmentação entre as classes, conectividade e densidade, métricas da paisagem (Figuras 2; 4; 5 e 6). Estes índices foram processados no Sistema de Análise Geoambiental - SAGA vs. 2.1.0, no Laboratório de Métricas da Paisagem do Dep. de Geografia/UFRR (MEPA). Para uma discussão futura, foram comparadas imagens de setores em crescimento (redes de conectividades) de Caracarái (Landsat de 1975; 1990 e 2012), cuja finalidade foi levantar uma discussão para os graus de hemerobia segundo Blume e Sukopp (1976), ver Quadro 1, figuras 9 e 10.

### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

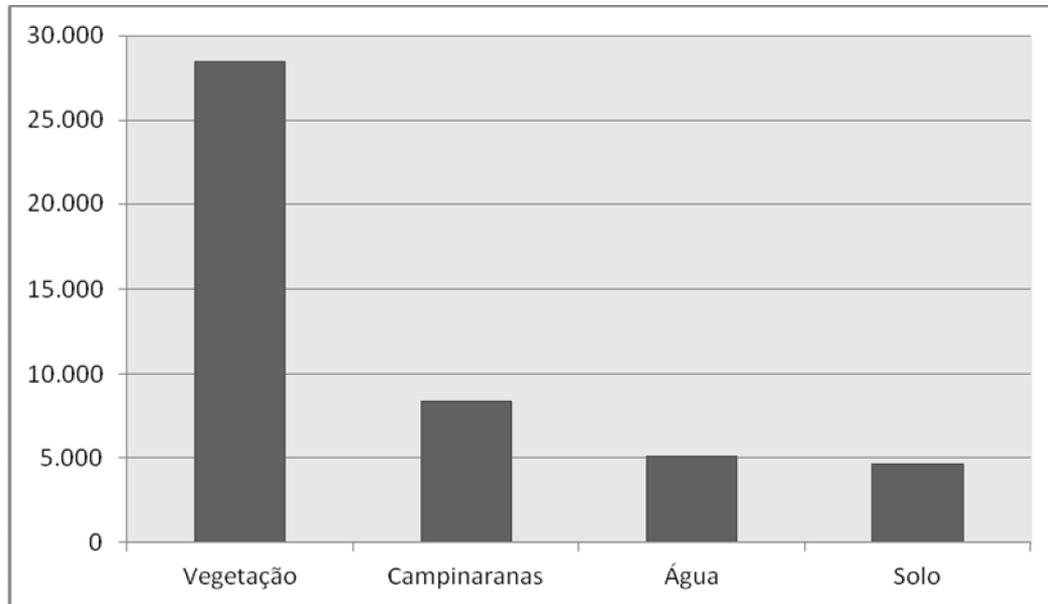
A necessidade de conhecer o uso e cobertura da terra de determinado lugar como Caracarái, surge da preocupação em se garantir aspectos sustentáveis de expansão da economia local e também da minimização de impactos causados pelo homem, sobre os elementos que compõe a paisagem natural. Segundo Carvalho e Carvalho (2012b) todo o conhecimento relacionado à paisagem de uma região, requer a caracterização do relevo, vegetação, hidrografia, solo e clima. A figura 2 mostra três grandes classes que predominam no município, tais como: Tipologias vegetacionais de terra firme, matas de várzea e igapó; e campinaranas, identificadas como tipologias (elementos) que mais se destacam na paisagem de Caracarái; e massas d'água, representadas pelos sistemas fluviais meandriformes, sistemas arreicos formando campos encharcados oriundos de paleocanais, leques aluvionares isolados, cujo o sistema de drenagem é formado principalmente pelos rios Catrimani (água clara), Água Boa do Univini (água preta), ambos afluentes do rio Branco; e os rios Xeruni e Jufari, com amplos terraços, meandriformes, drenando para o rio Negro.



**Figura 2** - Classes de cobertura da terra no Município de Caracará, Roraima, em ordem de relevância.

Caracará possui uma área extensa de cobertura vegetal, predominada pela mata de terra firme e áreas sazonalmente inundáveis como as várzeas na planície do baixo rio Branco, igapós dos rios Catrimani, Água Boa do Univini, Xeruni e Jufari; e as campinaranas isoladas entre meio a mata de terra firme. Segundo Carvalho (2012) esse tipo de vegetação, incluindo outras tipologias existentes em áreas de ambientes úmidos na Amazônia, possuem duas fases, uma terrestre e outra aquática. A distribuição da vegetação irá depender de alguns fatores como: duração das fases terrestre e aquática (sazonalidade climática); a estabilidade física do ambiente, por exemplo, o gradiente do relevo, influenciando a sedimentação, os processos erosivos, e fluxo dos sistemas fluviais; bem como a influência dos impactos humanos.

A figura 3 ilustra a distribuição das classes supracitadas, além de demonstrar a quantidade de solo exposto, produto do desmatamento, resultado das ações antrópicas o município em detrimento do desenvolvimento econômico.

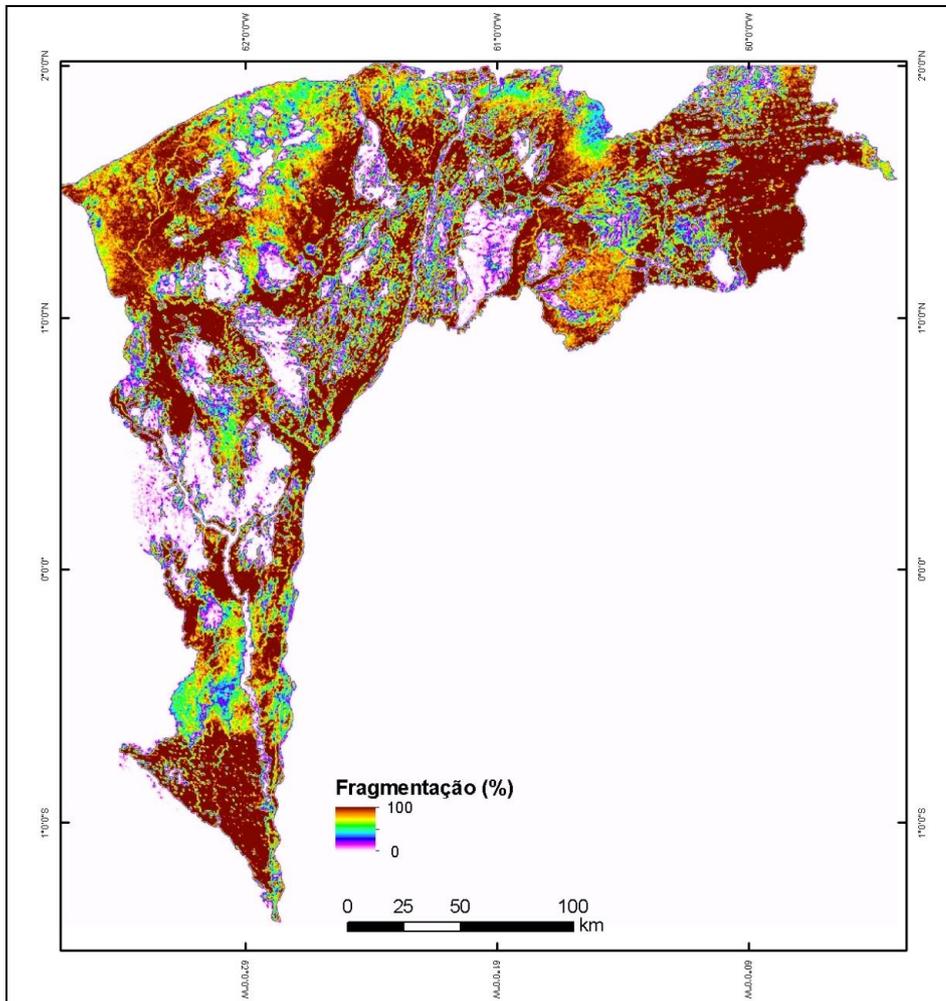


**Figura 3** - Comparativo das classes do uso e cobertura da terra (km<sup>2</sup>) em Caracaraí, Roraima.

A figura 4 mostra a aplicação do índice de graus de fragmentação da paisagem no município de Caracaraí, importante para compreender de que forma o uso e cobertura do solo influencia na estrutura da paisagem, como estes elementos estão organizados? Os resultados mostraram que as tipologias vegetacionais, classe dominante dessa paisagem, é que determinaram a dimensão fractal da região. A partir da divisão das classes de uso e cobertura do solo (produto base), a classe mais fragmentada são as áreas de floresta e a menos fragmentada são as áreas de campinaranas. Isso se explica da seguinte forma: as florestas são as áreas mais extensas de todo o município, e, portanto, mais suscetível a fragmentação, pois se trata da classe dominante da paisagem de Caracaraí, e, são nelas que ocorrem todos os processos que modificam a estrutura dessa paisagem.

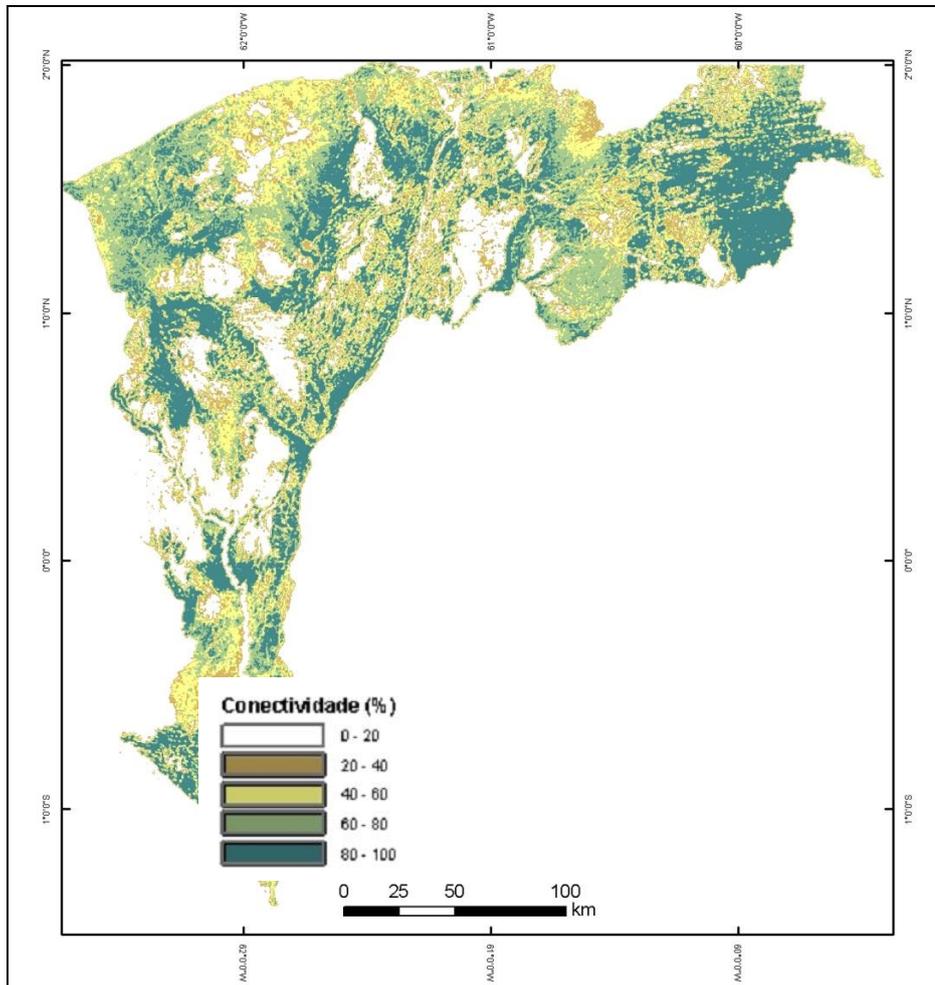
A tipologia vegetacional das campinaranas, que possuem grau zero de fragmentação, são manchas abertas dentro do domínio florestal, pois são classes isoladas dentro da vegetação que a cerca, elas não representam a característica dominante do território, embora seja a mais importante dentro dos elementos que diferenciam a paisagem do município de outros locais. Neste caso, as florestas tendem a ter formas mais complexas e conseqüentemente maior grau de fragmentação. Krumell et al. (1987) mostraram que as mudanças nesse índice estão relacionadas as diferenças de escalas de atuação de processos humanos em relação aos naturais, apresentando uma área dominada por dois tamanhos de manchas diferentes, no entanto, em Caracaraí, embora as ações antrópicas contribuam para o processo de fragmentação dessa paisagem, a mancha fragmentada (floresta) e a mancha que mais fragmenta (campinaranas) são produtos de ordem natural.

Em síntese, o índice de fragmentação mede o quanto um elemento da paisagem dominante é isolado (fragmentado) por demais elementos. No exemplo da figura 4, o elemento dominante floresta é fragmentado pelas campinaranas, ou seja, é o quanto de área da classe dominante floresta foi isolada, formando manchas desagrupadas. Este produto evidencia a extensão de habitats de uma região, e o quanto é fragmentada, indicando graus de fragilidade dessa classe dominante a uma força externa, como por exemplo, quanto maior é a fragmentação da área de floresta, mais ela está sujeita a perturbações externas, por exemplo a antrópica.



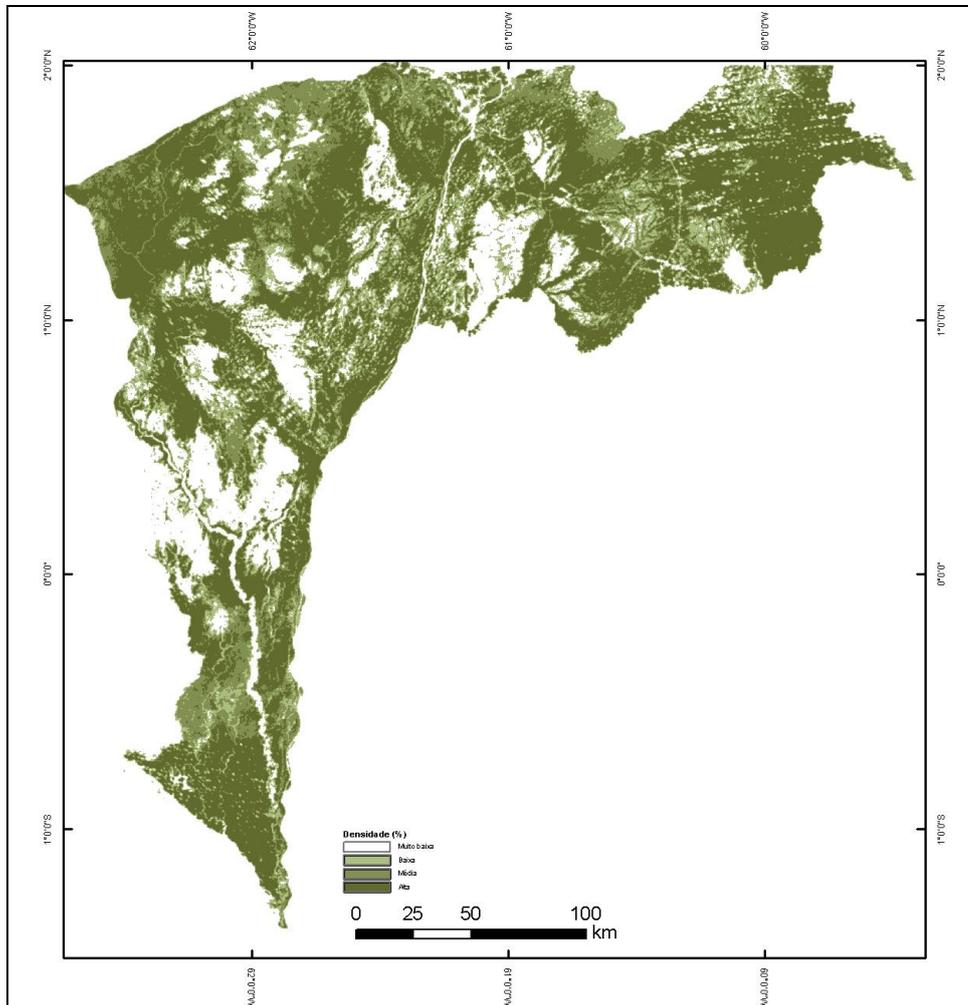
**Figura 4** - Porcentagem (0-100%) de fragmentação da paisagem no Município de Caracará, Roraima.

Outro índice importante para mensurar a estrutura de uma dada paisagem é o que representa os graus de conectividade desta (Figura 5). Ele é estabelecido através do índice de fragmentação da paisagem (Figura 4), no entanto, destaca a conectividade entre os habitats, podendo auxiliar de modelo para a mobilidade da fauna e flora através da paisagem (integração entre habitats). Em Caracará a formação florestal é a mancha da paisagem que se conecta por todo o município, e portanto, possui o maior grau de conectividade. Esse índice pode ser explicado a partir das três características principais que definem a paisagem: estrutura, função e mudanças. A estrutura é o produto da relação entre os diferentes ecossistemas de uma paisagem, pois ela comporta todos os elementos que formam a paisagem, e determina como eles estão distribuídos, sua forma, tamanho e quantidade num arranjo espacial. A função da paisagem é a lei que governa a entrada e saída de fluxos de energia e seres vivos desta paisagem. Portanto, o reconhecimento dos graus de conectividade de uma paisagem, não somente demonstra como ela está estruturada, mas também define os constantes processos, interações (troca) que nela ocorrem. A mudança (escala temporal) dessa estrutura é um processo que ocorre com o tempo, e que vai determinar o rearranjo dessa paisagem, modificações estruturais e funcionais, podem ser por processos naturais quanto antrópicos.



**Figura 5:** Porcentagem de conectividade da paisagem do Município Caracaraí, Roraima.

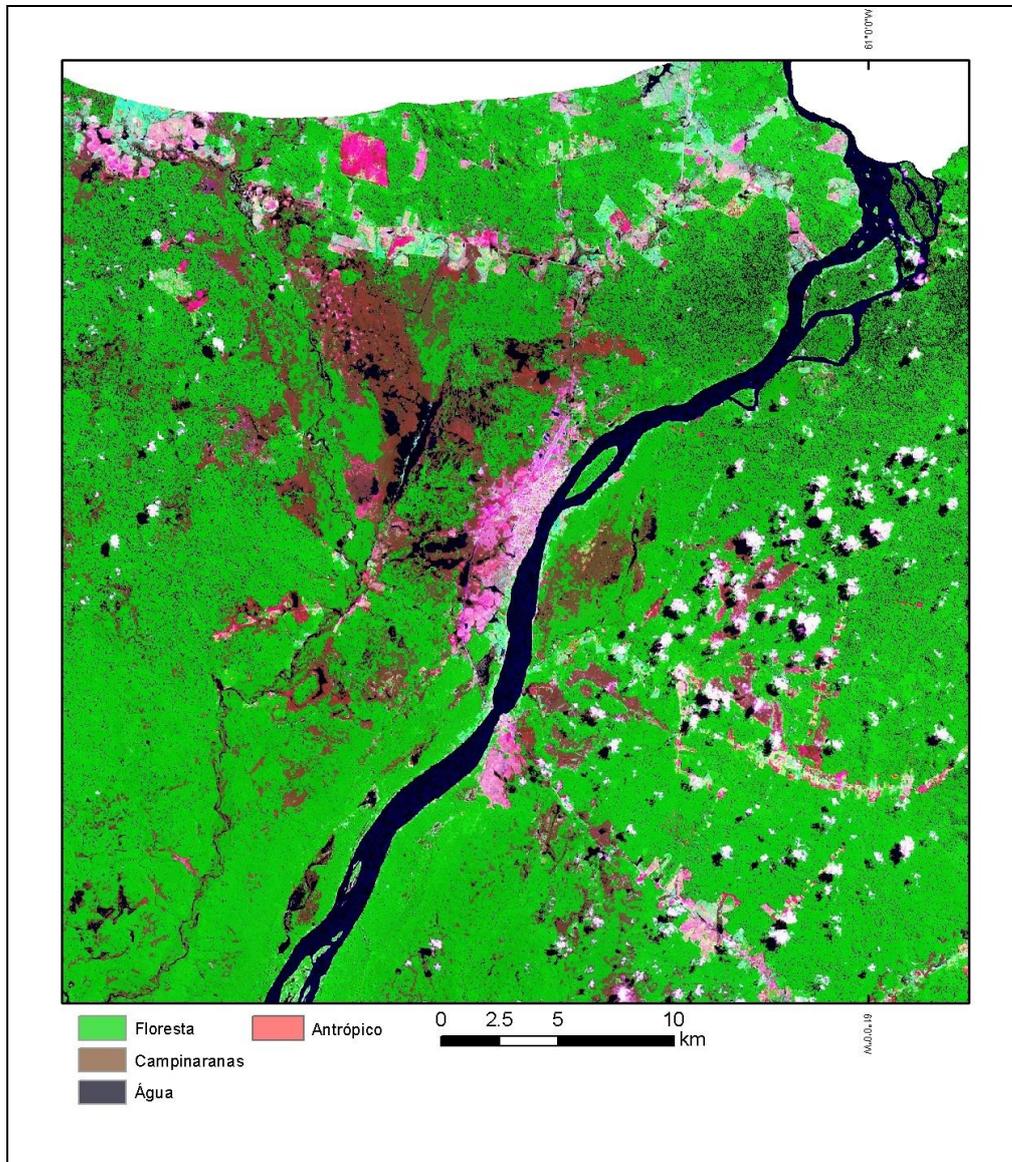
A paisagem de Caracaraí poderia ser monótona como alguns outros municípios do Estado de Roraima localizados na região sul, caracterizados apenas pela predominância de grandes áreas de florestas amazônicas, formando um extenso tapete verde entrecortado por polígonos de desmatamento, do tipo espinha de peixe, porém a sua diferença está na presença de áreas abertas permanentemente alagadas, denominadas de campinaranas, estas são resultados de processos naturais (Figura 6).



**Figura 6** - Graus de núcleos de densidade de elementos da paisagem do Município de Caracaraí, Roraima.

Com relação a questão do desmatamento no município, o que podemos destacar é a ação antrópica influenciando continuamente nos graus de fragmentação da paisagem. Estas ocorrem com maior intensidade nas áreas do entorno da cidade, região norte e na região nordeste.

Portanto, o uso e cobertura do solo nessas áreas, além de comportar as outras três classes já citadas anteriormente, tem o desmatamento como principal agente modificador da paisagem (Figura 7).



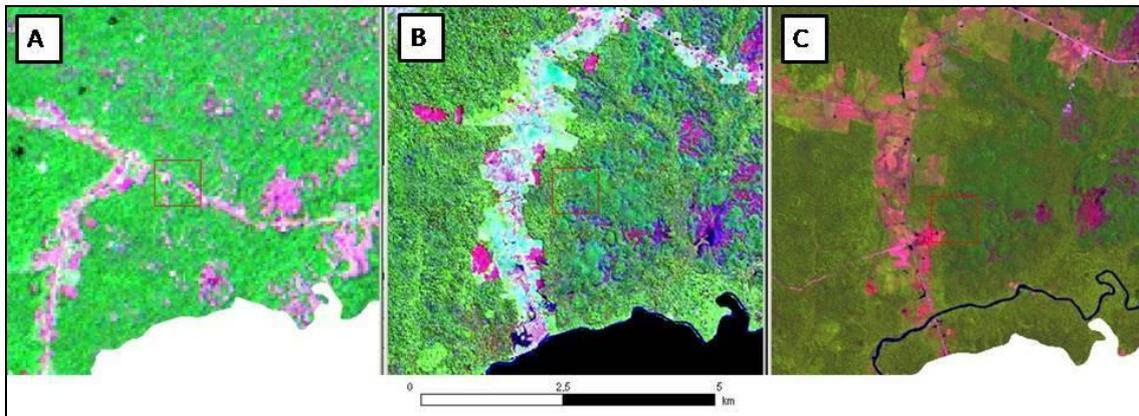
**Figura 7** - Classes de uso e cobertura da terra em torno da cidade de Caracarái.

As transformações da natureza em função da satisfação de necessidades é um processo contínuo e inevitável na história da humanidade. No entanto, quando esses processos se tornam excessivos e de maneira acelerada podem trazer consequências impactantes para os sistemas naturais. A paisagem vai perdendo suas características essenciais, em troca da presença de novos padrões de comportamento trazidos pelas alterações humanas. Essas alterações ou a totalidade dos efeitos das ações do ser humano sobre os ecossistemas, segundo Blume e Sukopp (1976) *apud* Lang e Blaschke (2009) é o significado do conceito de *hemerobia*. Este conceito pode ser utilizado para classificar as paisagens urbanizadas ou alteradas em relação aos seus graus de naturalidade, o que forneceria base para a formulação de princípios para o planejamento e gestão urbana, ambientalmente sustentável. De maneira mais simples, a *Hemerobia* expressa o grau da influência humana sobre um ecossistema. O quadro 1 mostra os níveis de *hemerobia*.

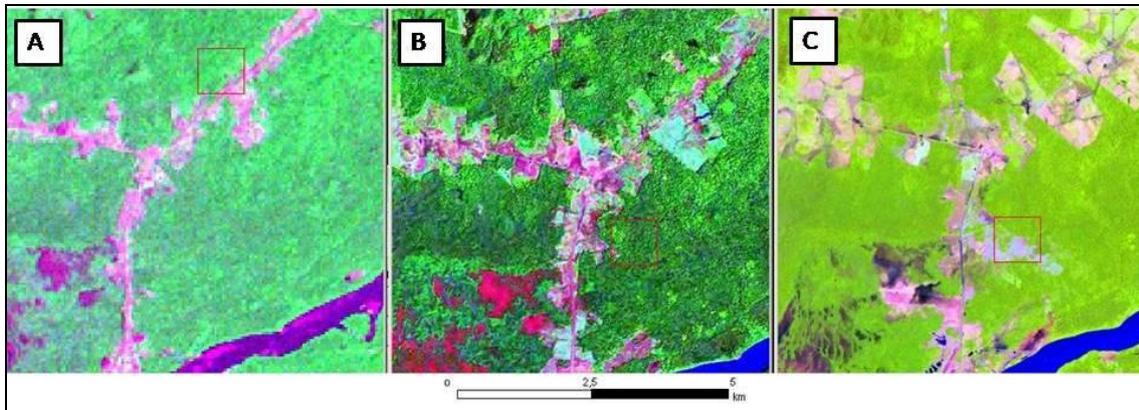
**Quadro 1** - Níveis de hemerobia. Fonte: Blume e Sukopp (1976) *apud* Lang e Blaschke (2009).

Nível de Hemerobia	Categoria de influência	Influência cultural
<b>Não hemeróbico</b>	Acentuadamente natural	Inexistente; vegetação original ou natural
<b>Oligo-hemeróbico</b>		Fraca; características originais da vegetação ainda ocorrem nitidamente
<b>Meso-hemeróbico</b>	Acentuadamente cultural	Fraca ou periódica
<b>b-eu-hemeróbico</b>		Forte no passado; atualmente ou no futuro, mais fraca
<b>a-eu-hemeróbico</b>		Mantém-se forte; solo e água (regime hídrico) foram totalmente alterados pelo homem
<b>Poli-hemeróbico</b>	Totalmente alterado	Manifesta na aniquilação de locais em curto prazo e em tempos não periódicos
<b>Meta-hemeróbico</b>		Fortemente unidirecional, de modo que seres vivos são eliminados

Dentro desse contexto, as figuras 9 e 10 exemplificam diferentes graus de hemerobia ao longo das últimas décadas. O entorno da cidade de Caracará, vilas e vias de acesso são áreas de contínuas mudanças devido a ação humana, fragmentando constantemente a paisagem da região, são regiões em constante crescimento, formando as redes de integração (conexão), interligando e servindo de escoamento de diversas fontes econômicas em nível local e regional. Com relação à evolução do desmatamento foi constatado um aumento significativo no período entre os anos de 1975 a 1990 na região sudeste Caracará (vicinais Rorainópolis e S. J. da Baliza) se comparados com o ano de 2012, onde é possível notar certa estabilidade por parte dessa evolução (Figura 9). Na região norte do Município, trecho entre Iracema e Caracará, as taxas de desmatamento entre esses respectivos anos são maiores, havendo uma alteração significativa na paisagem, onde os polígonos apresentam uma crescente alteração de tamanho.



**Figura 9** - Evolução do desmatamento entre as décadas de 1975 (A), 1990 (B) e 2012 (C) na região sudeste do Município de Caracará (vicinais Rorainópolis e S. J. da Baliza).



**Figura 10** - Evolução do desmatamento entre as décadas de 1975 (A), 1990 (B) e 2012 (C) na região norte do Município de Caracará, trecho entre Iracema e Caracará.

A paisagem simboliza uma área importante para os estudos do uso e cobertura da terra e vice-versa, pois trata-se do reconhecimento dos elementos que estruturam a paisagem de determinado lugar, seja de ordem natural e/ou antrópica, ambos em constante dinâmica. Estudos aplicados à questão de métricas da paisagem são importantes ferramentas, com base em técnicas da Geoinformação, contribuindo para o campo do uso e cobertura da terra, assim como para o entendimento dos parâmetros estruturais, funcionais e dinâmicos da paisagem (parametrização da paisagem), cujo foco pode estar direcionado para o conjunto de medidas que norteiam a apropriação do espaço geográfico com base na gestão territorial.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Briassoulis, H. 1999. Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modeling Approaches, Livro on-line disponível em: (<http://www.rri.wvu.edu/WebBook/Briassoulis/contents.htm>) Regional Research Institute, West Virginia University.
- Bunce, R. G. H.; Jongman, R. H. G. 1993. An introduction to Landscape Ecology. In: Bunce, R. G. H.; Paoletti, R. M. G. Landscape Ecology and Agroecosystems. Boca Raton, Lewis Publishers, London, Cap. 3-10.
- Carvalho, T. M. 2012. Síntese dos aspectos Hidrogeomorfológico do Estado de Roraima. Zoneamento Ecológico Econômico do Estado de Roraima. Geomorfologia. Governo do Estado de Roraima / IACTI/ZEE.
- Carvalho, T. M. de. et. al. 2008. Análise integrada do uso da terra e geomorfologia do bioma cerrado: um estudo de caso para Goiás. Revista Brasileira de Geografia Física Recife. V. 01 n. 01, p. 62-72.
- Carvalho, T.M.; Carvalho, C.M. 2012a. Interrelation of geomorphology and fauna of Lavrado region in Roraima, Brazil suggestions for future studies Thiago Morato. Quaternary Science Journal, v. 61, p. 146-155.
- Carvalho, T. M; Carvalho. C. M. 2012b. Sistemas de informações geográficas aplicadas à descrição de habitats . ACTA Scientiarum. Roraima, 2012. ISSN printed: 2178-5198 ISSN on-line: 2178-5201 Doi: 10.4025/actaschumansoc. v3 4i1.14489
- Couto, P. 2004. Análise factorial aplicada a métricas da paisagem definidas em FRAGSTATS. Associação Portuguesa de Investigação Operacional, p.109-137.
- CPRM, Estudos Hidrológicos no Estado de Roraima. 2002. ZEE - Roraima.



- Crepani, E.; Medeiros, J. S.; Azevedo, L. G.; Hernandez Filho, P.; Florenzano, T. G.; Duarte, V. 1996. Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/INPE-6145-PUD/82. São José dos Campos.
- Dolffus, O. 1978. O espaço geográfico. 3.ed. São Paulo, Difel.
- Forman, R. T. T.; Godron, M. Landscape Ecology. New York, John Wiley & Sons, 1986, 619p.
- Flores, C.A.; Fasolo, P.J. e Potter, R.O. 1999. Solos: levantamento semidetalhado. In: Falcade, I. e Mandelli, F. Vale dos Vinhedos: caracterização geográfica de região. Caxias do Sul: EDUCS.
- Krummel, J. R. et al. 1987. Landscape patterns in a disturbed environment. *Oikos*, v.48, n.3, p. 321-324.
- Lang, S; Blaschke, T. 2009. Cap. 3. Reflexões iniciais sobre a teoria da paisagem. In: *Análise da Paisagem com SIG*. Ed. Oficina de Textos, São Paulo, 424 p.
- Manuais Técnicos em Geociências. número 7. Manual Técnico de Uso da Terra 2ª edição. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística ó IBGE - Diretoria de Geociências - Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais.
- Salgueiro, T. B. 2001. Paisagem e geografia. *Finisterra*, XXXVI, 72, 2001, pp. 37-53.
- Secretaria de Estado do Planejamento e Desenvolvimento de Roraima - SEPLAN. Informações Socioeconômicas do Município de Caracará ó RR 2012/ [Elaboração: Divisão de Estudos e Pesquisas] 2ª Edição. Boa Vista: CGEES/SEPLAN - RR, 2012.68p.
- Schindwein1, J. R.; Duranti, R. R.; Cemin, G.; Falcade, I.; Ahlert, S. 2007. Mapeamento do uso e cobertura do solo do município de Caxias do Sul (RS) através de imagens do satélite CBERS. Universidade de Caxias do Sul ó UCS. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 1103-1107.
- Siewerdt, T. 2007. A paisagem em Ana Mendieta: distância, fissura e vestígio. Florianópolis Trabalho de Conclusão do Curso de Bacharelado em Artes Plásticas/UDESC.
- Soares Filho, B. S. 1998. Análise de paisagem: fragmentação e mudança. Belo Horizonte.
- Troll, C. 1971. *Geoforum*, V. 8. p. 43-46.
- Turner, M. G. 1989. Landscape Ecology: The effect of patten on process. *Annual Revision Ecological System*, v. 20, p. 171-179.

## **BREVE SÍNTESE DA DINÂMICA FLUVIAL DO RIO BRANCO, NAS ADJACÊNCIAS DA CIDADE DE BOA VISTA, RORAIMA.**

### **BRIEF SYNTHESIS OF FLUVIAL DYNAMIC IN BRANCO RIVER, NEARBY OF BOA VISTA CITY, RORAIMA.**

Carlos Sander

Departamento de Geografia, UFRR.

Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Geografia/UEM. sandergeo@yahoo.com.br

Thiago Morato de Carvalho

Lab. de Métricas da Paisagem (MEPA), Departamento de Geografia, UFRR.

thiago.morato@ufr.br

Nelson Vicente Lovatto Gasparetto

Departamento de Geografia, UEM.

nvlgasparetto@uem.br

#### **Resumo**

Este estudo apresenta uma breve discussão inicial sobre a dinâmica do alto rio Branco em seu trecho superior, nas adjacências da cidade de Boa Vista, Roraima. A metodologia envolveu a interpretação de imagens de satélite e fotografias aéreas, levantamentos batimétricos, monitoramento da erosão nas margens através da instalação de pinos de vergalhão e amostragem de sedimentos de fundo. Os breves resultados evidenciam aumento progressivo de erosão dos depósitos aluviais da margem direita, e considerável evolução de ilhas aluviais por acreção lateral (margem esquerda), apresentando um processo de entalhamento do canal principal próximo a Boa Vista, e desativação do canal secundário, por colmatagem na margem direita. Os sedimentos de fundo apresentaram variação ao longo da seção transversal, com texturas de maior calibre nas zonas de maior velocidade, e deposição de finos na zona de colmatagem.

**Palavras-chave:** Dinâmica fluvial, alto rio Branco, Boa vista.

#### **Abstract**

This study presents a brief initial discussion of the dynamics of upper Branco river, in its upper reaches, adjacent to the city of Boa Vista, Roraima. The methodology involved the interpretation of satellite images and aerial photographs, bathymetric surveys, monitoring of erosion on the banks by installing rebar pins and sampling of bottom sediments. The brief results show a progressive increase in erosion of alluvial deposits on the right bank, and considerable evolution of alluvial accretion (left bank) islands, presenting a process of carving the near Boa Vista main channel and secondary channel deactivation by sealing on the right bank. The bottom sediments showed variation along the cross section, with textures larger caliber in areas of high velocity and deposition of fines in the sealing zone.

**Keywords:** Fluvial dynamic, upper Branco river, Boa Vista.

## 1. INTRODUÇÃO

Estudos sobre dinâmica fluvial, classificação de canais e rede de drenagem vem sendo desenvolvidos desde a metade do século passado. Dentre estes estudos, destacam-se alguns como as obras de Strahler (1952) e Leopold et al. (1964), Schumm (1977), Knighton (1998), que estabeleceram uma base hierarquizada para os canais de drenagem e modelos teóricos. Contudo, os estudos sobre os sistemas fluviais tropicais são bastante recentes, com poucos estudos que antecedem a década de 1990 (Phillip et al., 1989; Pickup e Warner, 1984). Mesmo assim, tais estudos promoveram um grande avanço da Geomorfologia Fluvial. Latrubesse et al. (2005) destacam que os trabalhos tem apresentado temas voltados à processos morfogenéticos, processos sedimentológicos e hidrossedimentológicos, a hidrologia de inundação, e a relação entre o tectonismo e os processos fluviais. Sendo também importantes estudos relacionados aos processos ecológicos e morfométricos com aplicações, por exemplo, de técnicas de sensoriamento remoto (Junk, 1997; Junk et al., 2000; Wittmann et al., 2004; Carvalho e Latrubesse, 2004; Carvalho e Zucchi, 2009) .

No Brasil, alguns dos principais estudos dentro da temática de dinâmica morfogenética em grandes sistemas fluviais, estão voltados para as bacias dos rios Paraná, Araguaia, Paraguai, assim como nos sistemas fluviais Amazônicos, porém, mais limitados, principalmente nos rios Amazonas e Negro (Mertes, 1990; Stevaux e Santos, 1998; Filizola, 1999; Bayer, 2002; Latrubesse e Stevaux, 2002; Morais et al., 2005; Latrubesse e Franzinelli, 2005; Alves e Carvalho, 2007; Bayer e Carvalho, 2008; Carvalho, 2009). Embora importantes trabalhos tenham sido desenvolvidos na região em estudo, estes abordam poucos sistemas fluviais do ponto de vista morfodinâmico, dado o limitado volume de dados da região, acesso e equipamentos, assim como recursos humanos.

Com relação ao tipo de ambiente pelos quais drenam os canais fluviais, estes podem ser classificados como rochoso (bedrock channels), em que fluem em rochas do embasamento, trecho o qual está comumente ligado às cabeceiras do sistema fluvial (nascentes), e possuem uma lenta dinâmica de processos geomorfológicos; canais aluviais (alluvial channels), sua característica principal é de possuir um leito arenoso, com barras e bancos arenosos formados por material sedimentar transportado pelo sistema fluvial, possuem uma grande variedade de formas (channels patterns), as quais respondem de formas diferentes às variáveis hidrológicas, climáticas, geológicas, e sedimentares; e por último os canais do tipo semi-controlados (semi-controlled channels), estes apresentam em certos trechos leitos rochosos ou aluvião resistente (Bridge, 2003). Dentre os tipos de canais citados acima, os do tipo aluviais são os mais comuns nos grandes rios, e possuem maior campo para estudos, por apresentarem uma dinâmica de processos geomorfológicos mais intensa, podendo ser analisado processos migratórios do canal (avulsão), estudos da formação de barras e ilhas, processos de erosão e sedimentação, transporte de carga sedimentar, dentre outros. Segundo Schumm (1977) rios aluviais possuem uma grande dinâmica, devido a fácil erodibilidade de bancos e de seu leito, tornando este ambiente uma das paisagens que mais ocorrem mudanças, logo facilmente afetada por atividades humanas. Por exemplo o rio Araguaia enquadra-se neste tipo de canal.

O rio Branco, um dos principais afluentes do rio Negro, também não foge a essa regra. Neste sentido, o presente trabalho busca fazer uma breve discussão sobre a dinâmica do alto rio Branco, em seu trecho superior, servindo de subsídios para estudos futuros sobre a evolução deste sistema fluvial, os quais estão sendo coordenados no Laboratório de Métricas da Paisagem (MEPA-UFRR) em parceria com o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia e CPRM-Roraima.

Trata-se de uma região ainda insuficientemente descrita, em termos de processos hidrogeomorfológicos e biológicos, é necessário um melhor entendimento de como as florestas e as áreas abertas alagadas nesta região, juntamente com processos geomorfológicos funcionam. Neste aspecto pesquisas voltadas para a questão do meio físico-biótico são chaves para a compressão destes ambientes. Na região onde esta inserida este estudo, ocorrem compartimentos, dominados por feições agradacionais, constituído por sistemas lacustres nas áreas abertas no nordeste e centro sul do Estado com extensos depósitos aluvionares, planícies fluviais desenvolvidas as quais atuam em cotas inferiores a 200 metros (~80 a 200 metros); região

estável com dissecação fraca, caracterizada por uma superfície aplainada pela rede de drenagem dos rios Uraricoera, Tacutu e Branco (Carvalho, 2013).

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Área de estudo

O estudo foi desenvolvido em um trecho de canal do alto rio Branco, com extensão aproximada de 11 km, nas adjacências da cidade de Boa Vista (Figura 1); localizada entre as coordenadas 2° 46' ó 2° 52' N e 60° 36' ó 60° 48' W. A área de captação deste trecho do rio é de aproximadamente 95.000 km<sup>2</sup>, estando 11,5 % posicionado em território da Guiana.

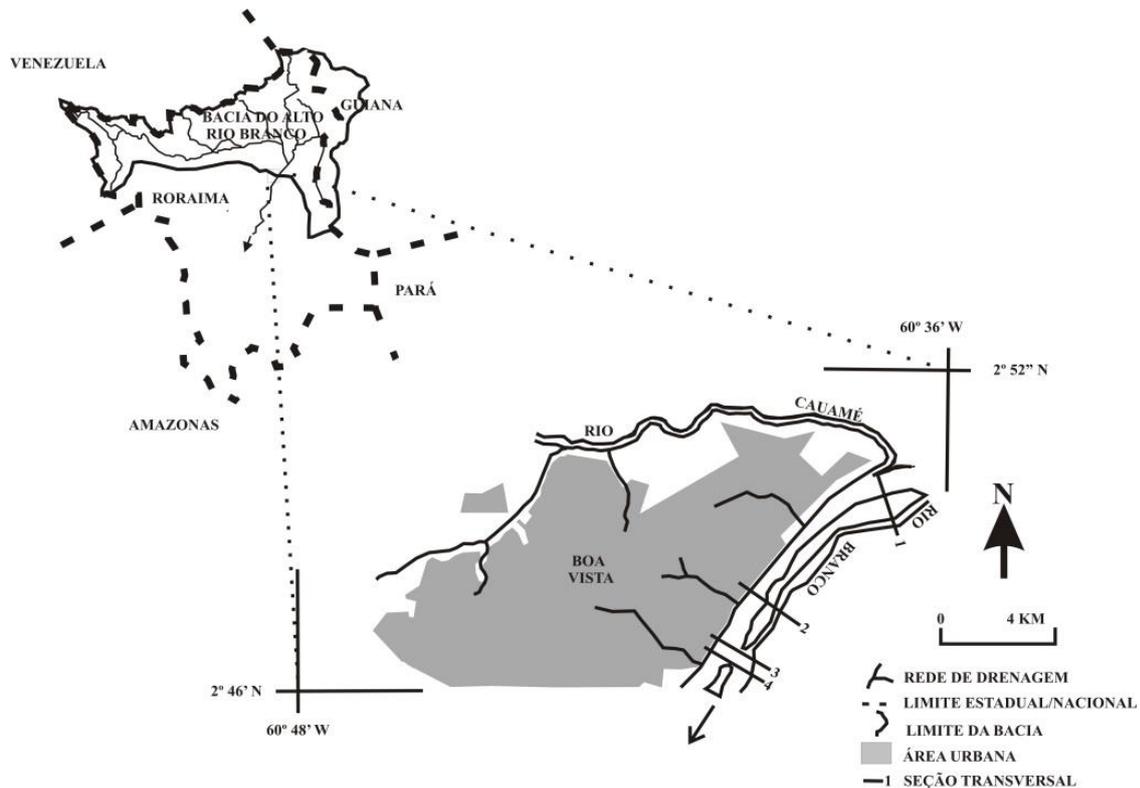
O trecho do alto rio Branco está inserido estruturalmente no Grabén do Tacutu. Esta estrutura é responsável pelo confinamento em seu interior do sistema fluvial do alto Branco e a parte inferior do sistema do rio Tacutu (IBGE, 2004; Costa e Falcão, 2011). A planície aluvial do alto rio Branco é classificada como aluviões Holocênicos, caracterizado por depósitos de areias grossas e conglomeráticas, representando residuais de canal: arenosos relativo a barra de pontal; pelíticos quando relativos à transbordamento e flúvio-lacustres; e eólicos quando retrabalhados pelo vento. A planície aluvial, na área em estudo, é limitada por terraços com altura média de 10 m, tendo sua gênese ligada a Formação Boa Vista. Esta última formação distingue-se pela ocorrência de sedimentos arenosos inconsolidados, com intercalações de níveis conglomeráticos e concreções lateríticas (com ocorrência de diatomito) de idade Pleistocênica (IBGE, 2004).

Do ponto de vista fito-ecológico, a área de estudo desenvolve-se na região do lavrado, vegetação com características fito-fisionômicas parecidas com a do cerrado (Brasil central), com vegetação arbustiva, herbácea e presença de veredas (buritizais) situado na porção norte e central do Pediplano Rio Branco-Rio Negro, na unidade denominada por Franco et al., (1975) de Campos do Rio Branco. Os principais rios desta porção são o Uraricoera e o Tacutu, formadores do rio Branco (descrição do lavrado em Carvalho, 2009; Ab'Saber, 1997; Vanzolini e Carvalho, 1989). Este sistema está situado em aproximadamente 65.000 km<sup>2</sup> de áreas abertas ao norte da Amazônia, englobando a Venezuela e a Guiana, sendo aproximadamente 40.000 km<sup>2</sup> em Roraima (lavrado), ver Carvalho e Carvalho (2012).

O relevo do lavrado de Roraima é suave, com cotas entorno de 80-200 metros, formadas por colinas dissecadas, localmente conhecidas como tesos, formas originadas pela dissecação da drenagem entorno dos sistemas lacustres interconectados por igarapés. Ocorrem também serras isoladas, com altitudes entorno de 300-800 metros. A declividade na região do lavrado varia entre 0°-5°, relevo plano, com baixa energia. É uma região de aporte de material sedimentar, basicamente arenosos, provenientes das áreas adjacentes elevadas do escudo das Guianas. A baixa energia do relevo na região central do lavrado favorece a formação de um interessante sistema de lagos de formato circular, não fluviais. A formação destes lagos está associada às águas pluviais e ao lençol freático. São lagos sazonais, rasos (0,8 a 2,5 metros no período chuvoso), sendo que na estiagem metade destes secam (Meneses et al., 2007). No período chuvoso formam uma grande extensão de áreas alagadas interconectadas (Carvalho e Carvalho, 2012).

Considera-se o rio Branco a partir da confluência dos rios Uraricoera e Tacutu, cerca de 30 km a montante da cidade de Boa Vista. No entanto do ponto de vista geomorfológico, o rio Branco é a extensão do rio Uraricoera, tendo como afluente na margem esquerda o Tacutu. Os principais afluentes do Uraricoera são Paricarana, Amajari e Parimé; os do Tacutu são o Surumu e Cotingo. Os principais afluentes do rio Branco na margem esquerda são Quitauaú e Anauá, no alto rio Branco, cuja planície fluvial é pouco desenvolvida, com largura média de 4 km, canal retilíneo (sinuosidade < 1.5) e significativo potencial energético, por exemplo, na região do Bem Querer com afloramentos rochosos onde há uma quebra do gradiente longitudinal; (Carvalho, 2013).

O clima da região (classificação de Köppen) abrange os tipos  $\ddot{A}f\ddot{o}$  (oeste da bacia),  $\ddot{A}m\ddot{o}$  (centro e norte da bacia) e  $\ddot{A}w\ddot{o}$  (leste da bacia). O volume anual de chuvas na bacia varia entre 2400 mm na parte oeste da bacia e decresce em direção a leste apresentando chuvas perto de 1100 mm na fronteira entre Roraima e Guiana.



**Figura 1** - Localização da área de estudo, trecho do alto rio Branco, Boa Vista, Roraima.

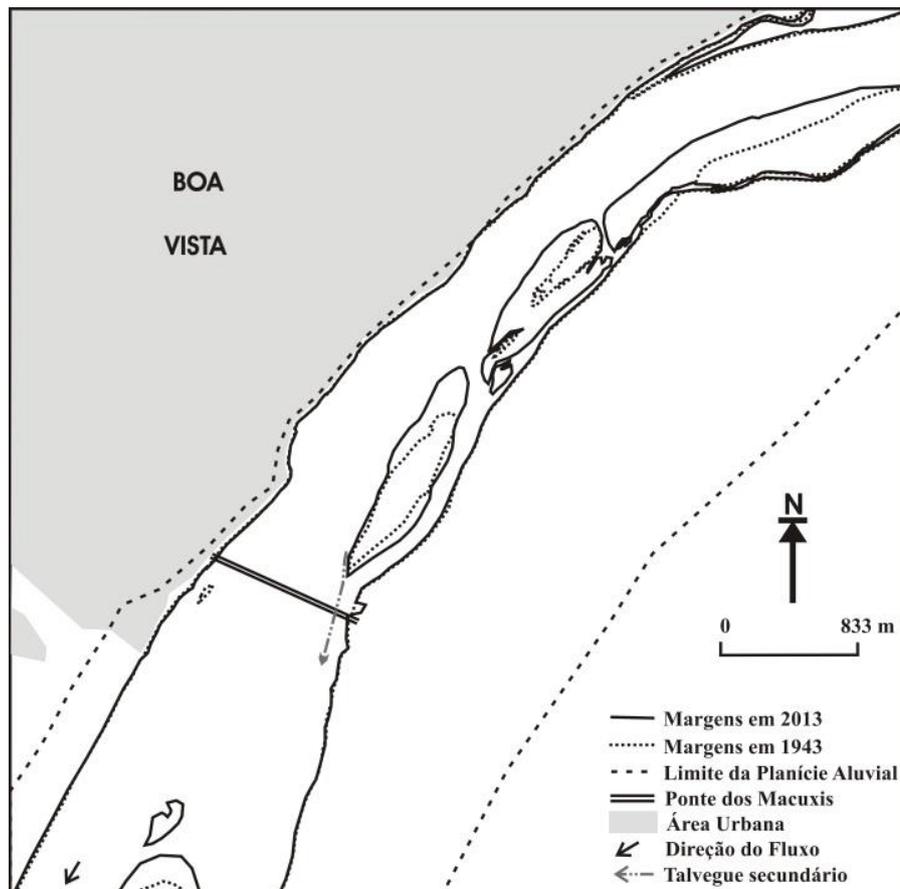
A metodologia envolveu o levantamento e interpretação de imagens de satélite GeoEye de 2013 (1 metro de resolução espacial) e fotografias aéreas das décadas de 1943 e 1960 (USAF) utilizadas para definição dos limites do canal e das ilhas. Os perfis topográficos transversais da planície aluvial foram obtidos a partir de imagens da SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), seguindo a metodologia de Carvalho (2009), e os dados de batimetria do canal foram mensurados com ADCP modelo M9 (Carvalho, 2008). Os dados da seção transversal foram posteriormente integrados (batimetria do canal e topografia da planície aluvial) no programa Corel Draw 11. Para definição da velocidade de erosão do trecho foi instalado sistemas de pinos de vergalhão junto à margem dos canais. A partir desses dados foram avaliadas mudanças na morfologia do canal e ilhas, assim como suas respectivas seções transversais.

Foram amostrados sedimentos de fundo junto às seções transversais, para avaliar a distribuição do calibre dos sedimentos ao longo do ano (estações chuvosa e estiagem). O sedimento de fundo foi amostrado com um tubo metálico de 200 mm de abertura e 60 cm de fundo que é lançado ao canal. Após foi realizada a secagem do material em laboratório e classificado por peneiramento. Posteriormente, as amostras foram classificadas com o auxílio do programa Grânulo.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O alto rio Branco caracteriza-se por um canal de baixa sinuosidade e no trecho de estudo apresenta-se em forma de arco com sua concavidade voltada para a margem direita, fazendo limite com o terraço onde a cidade de Boa Vista está localizada. A Figura 2 apresenta o trecho do canal do rio Branco em estudo, mostrando a evolução espaço-temporal do canal para o período entre 1943 a 2013 (Figura 3). Nota-se o desenvolvimento natural da zona de agradação, composta por ilhas e barras arenosas, junto à margem convexa. Tal sistema de ilhas, posicionadas a montante da ponte dos Macuxis (Figuras 2 e 3), possui atualmente uma extensão de aproximadamente 15 km, tendo um canal secundário de largura entre 60 e 200 m, em fase de eminente abandono.

Observando fotografia aérea obtida em 1943 (USAF) foi verificado que a área de estudo apresentava um formato de ilhas posicionadas junto à margem esquerda do canal, seguindo naturalmente um processo de estabelecimento de ilhas pela convexidade deste trecho do canal, que favorece o processo de agradação do canal (Figura 3). Formaram assim ilhas isoladas e provavelmente ligadas em alguns trechos por barras arenosas, durante as vazantes máximas. O intervalo de espaçamento entre as ilhas variava entre algumas dezenas de metros a 1 km de distanciamento. O fato interessante é que as ilhas intermediárias se posicionavam mais centralizadas ao canal, enquanto as ilhas posicionadas a montante e a jusante eram laterais (Figuras 2 e 3).



**Figura 2** - Evolução espaço-temporal da planície aluvial do alto rio Branco, nas adjacências de Boa Vista, Roraima. Ponto central - 2°49'N e 60°38'W.

As fotografias aéreas dos períodos de 1943 e 1965 mostram que os sistemas de ilhas passaram a apresentar uma ampliação de suas áreas por meio de acreção lateral e por desenvolvimento longitudinal (soldamento), seguindo a zona de agradação pré-existente, formadas provavelmente pela presença constante de barras arenosas durante o período de vigência da estação de vazante (Figuras 2 e 3). Em 2013, as ilhas superiores foram acopladas além de apresentarem ampliação de suas larguras. As ilhas intermediárias sofreram também desenvolvimento latitudinal e longitudinal e somente ficam separadas por pequenas faixas longitudinais de barras arenosas, onde o canal secundário passou a apresentar pequenos pontos de ligação entre as ilhas inferiores durante as cheias.

Observações junto as seções transversais mostram o maior grau de entalhamento do canal principal, que tem seu talvegue posicionado próximo à margem direita do canal do rio Branco. As seções transversais 1 e 2 (Figura 4 A e B) mostram que o talvegue do canal principal do rio Branco se apresenta 4,39 a 4,76 m mais profundo que o canal secundário. Tal condição mostra a maior erosão no canal principal e a desativação do canal secundário, seja pelo volume do fluxo drenado ou pela sua condição de colmatação. Essa condição também é favorecida pela agradação da área de captação do canal secundário no contato montante deste sistema o que tem repercutido na redução de seu poder de entalhamento, tendo como consequência o acúmulo de sedimento neste canal e seu consequente estreitamento, assim como a ampliação de seu desnível em relação ao canal principal.

Enquanto nos trechos superiores e inferiores a erosão da margem direita junto a antigos depósitos aluviais é eminente, a condição de assoreamento progressivo da margem convexa do rio Branco pode estar sendo acelerada pela construção da ponte dos Macuxis (1975). O represamento da planície de inundação, desenvolvida na parte oriental da área estudada, provavelmente tem acelerado a deposição do sedimento junto à margem esquerda do rio Branco.



**Figura 3** - Processo de soldamento a montante, e acreção lateral a planície de inundação (estabilização de barra arenosa - ilha do Surrão - 2°49'N e 60°38'W). A) USAF-1943; B) GeoEye 2013 (Fonte: Acervo de imagens Thiago M. Carvalho, UFRR-INPA).

Os perfis 3 e 4 mostram uma modificação do formato da seção transversal (Figura 4). O perfil 3 posicionado a montante da ponte dos Macuxis, evidencia uma situação peculiar. Apresenta um talvegue com fluxos de maior velocidade (como nos perfis 1 e 2) posicionado próximo a margem direita. Contudo, próximo à margem esquerda do canal, há a presença de um talvegue, com condições de fluxo reduzido, mas com profundidade superior a 2,4 m que o talvegue oposto. Esse talvegue tem origem na margem esquerda do canal principal (parte ocidental das ilhas), á aproximadamente 700 metros a montante da ponte dos Macuxis, sendo limitado a norte por uma barra lateral. É provável que tal talvegue seja remanescente de um posicionamento mais oriental do canal do rio Branco. Apesar disso, imagens de satélites recentes mostram uma redução significativa da extensão deste talvegue. Comparando imagens do Landsat 5 (TM) de dezembro de 2002 a janeiro de 2013 (GeoEye), relativas à estação seca, foi observada uma redução de um antigo talvegue em quase 700 metros devido ao avanço a jusante de uma barra arenosa a jusante dessa estrutura. A manutenção deste antigo talvegue ainda não é compreendida. Uma das possibilidades é que durante o período de cheias o deslocamento do fluxo da planície de inundação para o canal do rio Branco, é alterado devido à construção do aterro da ponte dos Macuxis, que acabam por alimentar o fluxo neste local. Outro fator é a ocorrência de fluxos diagonais durante a estação seca, que se deslocam da posição côncava do rio Branco (margem direita) em direção à margem esquerda, favorecidos por uma barra central que impede o fluxo a jusante em períodos de vazante.

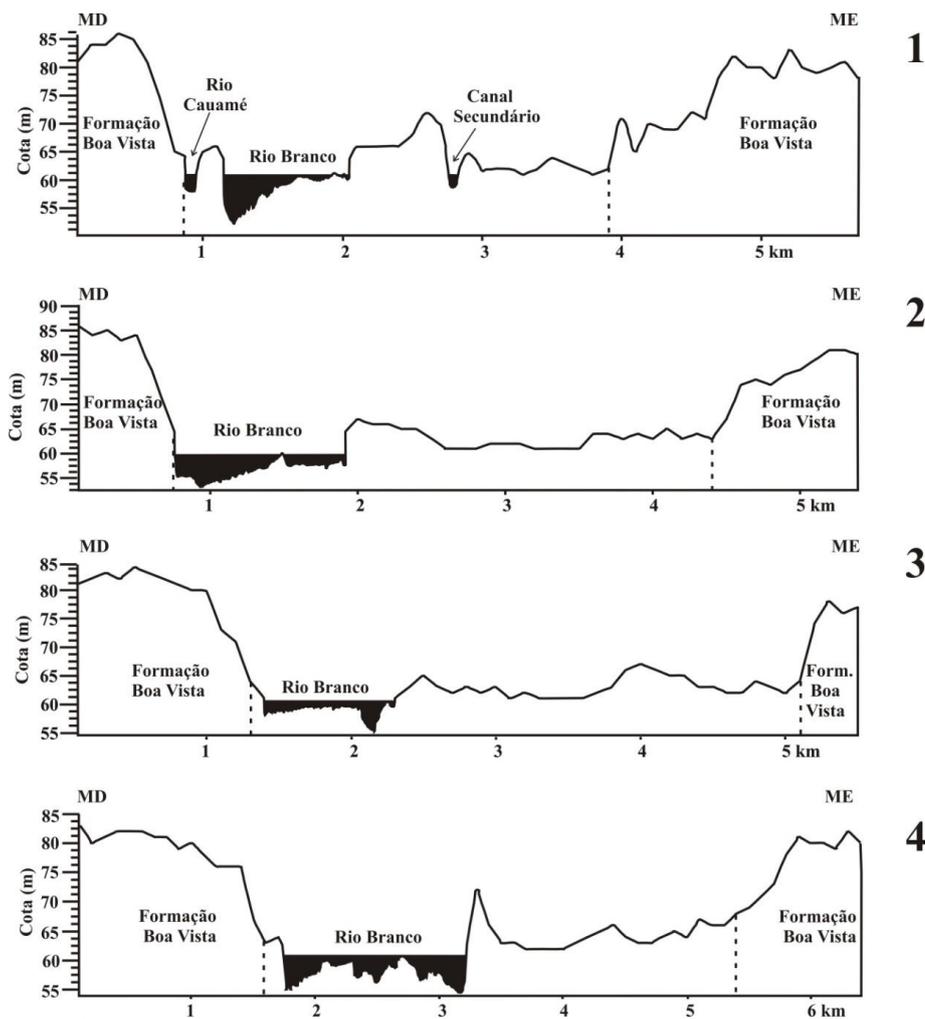


Figura 4 ó Integração dos perfis topográficos e batimétricos, alto rio Branco, adjacências da cidade de Boa Vista, Roraima.

O perfil 4 mostra a divisão do sistema do rio Branco em dois canais, limitados a uma barra central que se inicia a jusante da ponte e a ilhas centrais posicionadas na sequência dessa barra. O desnível entre os talvegues é praticamente nulo, sendo inferior a 0,4 m. A montante desse ponto é visível uma incipiente estabilização das barras arenosas pela fixação de vegetação, mostrando uma tendência de evolução de ilhas centrais a montante deste perfil. Tal evolução possivelmente está relacionado a influência das ilhas a jusante deste perfil, assim como pela influência da ponte na deposição de sedimentos a jusante.

Quanto à distribuição dos sedimentos de fundo a granulometria varia do tamanho seixo, posicionados nas proximidades da margem direita do rio Branco na área de influência da zona de maior velocidade, à areia média na margem convexa, relacionado às zonas de menor velocidade do canal. Contudo, durante a estação chuvosa há um leve aumento do calibre dos materiais junto à margem convexa do canal devido a maior fluidez do fluxo durante o período de águas profundas. Em relação a erosão de margens foi observado um forte processo erosivo no canal do rio Branco no setor a montante da foz do rio Cauamé (Figuras 1 e 4A), onde a erosão tem apresentado taxas acima de 0,85 metros/ano. Em outros setores da margem direita a erosão do canal é quase nula, com exceção do limite inferior da área de estudo, com uma média anual de perda de margem em torno de 19,3 cm. Na margem esquerda, não houve erosão e na maior parte dos pinos instalados foi apresentado um acréscimo nas margens do canal. Quanto à variação da seção transversal é verificado que durante a estação chuvosa há um acúmulo de sedimentos remanejados pela subida do nível do rio. Durante a estação seca, parte do material acaba por ser remobilizado de forma lenta pelo fluxo por arraste e por atividade eólica sobre as barras emersas durante a temporada dos ventos alísios na região (período de novembro e abril). No perfil B, na Praia Grande (Figura 4B), há também uma remobilização importante de materiais devido ao trânsito de pessoas no local para atividades de lazer, fator que desacelera a propagação da vegetação no local.

#### 4. CONCLUSÕES

Os processos de dinâmica das morfologias fluviais, como estabilização de barras de areia formando ilhas, é comum em rios aluviais, caso do rio Branco, onde pode ser observado há décadas tais mudanças, não em detrimento de ação antrópica, o que não significa que nos dias atuais ocorra (Carvalho, 2013; Carvalho, 2009). Esta breve discussão sobre a dinâmica do rio Branco, constatou-se que:

- Processo erosivo significativo na margem direita, a montante do rio Cauamé, em trechos formados por antigos depósitos aluviais;
- Processo evolutivo de agradaciação na margem esquerda do sistema do rio Branco, com acreção de ilhas e iminente desativação do canal secundário;
- Evidência da presença de um talvegue remanescente que possivelmente mostra uma posição mais oriental do sistema do alto rio Branco;
- A provável interferência da ponte do rio Branco e de seu aterro na alteração da morfologia do canal, como evolução das ilhas;
- O sedimento apresenta redução de calibre no sentido da margem côncava para a margem convexa, seguindo um decréscimo natural da velocidade do fluxo e um aumento da granulometria média do canal durante o aumento do nível da água.
- Durante as cheias é observada uma acumulação de materiais nas seções transversais, devido a maior remobilização de materiais ao longo de todo o perfil. Durante a vazante o material é erodido de forma lenta e nos trechos emersos o material é remobilizado pela atividade eólica.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, TM.; Carvalho, T.M. 2007. Técnicas de Sensoriamento Remoto para Classificação e Quantificação do Sistema Lacustre do rio Araguaia entre Barra do Garças e foz do rio Cristalino. *Revista Geográfica Acadêmica*, v.1, n.1, p.79-94, 2007.
- Bayer, M. 2002. Diagnóstico dos processos de erosão/assoreamento na planície aluvial do rio Araguaia: entre Barra do Garças e Cocalinho. P.138. Dissertação (Mestrado em Geografia) Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.
- Bayer, M. Carvalho, T.M. Processos morfológicos e sedimentos no canal do rio Araguaia. *REA*. Vol.10,n2. pg.24-31.
- Carvalho, T.M.; Latrubesse, E. 2004. Aplicação de Modelos Digitais do Terreno (MDT) em Análises Macrogeomorfológicas: o Caso da Bacia Hidrográfica do rio Araguaia. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, N1, 85-93p.
- Carvalho, T. M. 2013. Síntese dos Aspectos Hidrogeomorfológicos do Estado de Roraima. Zoneamento Ecológico Econômico do Estado de Roraima. Governo de Roraima ó SEPLAN/IACI.
- Carvalho, T.M. . Técnicas de medição de vazão por meio convencionais e não convencionais. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 1, p. 73-85, 2008.
- Carvalho, T.M. 2009. Avaliação do transporte de carga sedimentar no médio rio Araguaia. *Geosul*, v. 24, n. 47, p 147-160.
- Carvalho, T.M. e Zuchi, M.R. 2009. Morfometria e caracterização do meio físico de ambientes lacustres no vão do Paranã-Goiás, Brasil. Uma primeira aproximação. *Terra*, 25(38):111-140p.
- Costa, J. A. V; Falcão, M. T. 2011. Compartimentação morfotectônica e implicações de evolução do relevo do hemigráben do Tacutu no estado de Roraima. *Revista Brasileira de Geomorfologia* - v. 12, nº 1, 29.
- Filizola N. P.; Guyot J.L.; 1996. Medição do fluxo de sedimentos com correntômetro por efeito Doppler (ADCP) na bacia amazônica. In: 2º Encontro Nacional de engenharia de Sedimentos, ABRH, Rio de Janeiro. 149-157p.
- Filizola N.P. 1999. O fluxo de sedimentos em suspensão nos rios da bacia Amazônica Brasileira. ANEEL, Brasília. 63 pp.
- Gregory, K.J. (Eds.), *Palaeohydrology and Environmental Change*. John Wiley and Sons, pp. 273-285.
- IBGE ó Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapa de Geomorfologia do Estado de Roraima. Rio de Janeiro, 1ª Ed, 2005a. 1 mapa. 89 X 79 cm, escala 1:1.000.000.
- Junk, W.J. 1997. General aspects of floodplain ecology with special reference to amazonian floodplains. In: *The Central Amazon Floodplains. Ecology of a Pulsing System* (Junk, W.J. Ed.). Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. p.3-17.
- Junk, W.J., Ohly, J., Piedade, M.T.F., Soares, M.G.M. 2000. Actual use and options for the sustainable management of the central Amazon floodplain: discussion and conclusions. In: *The Central Amazonian Floodplain: Actual Use and Options for Sustainable Management* (Junk, W.J, Ohly,J.J. Piedade, M.T.F.and Soares, M.G.M. (Eds.). Backhuys Publishers, Leiden, the Netherlands. pp.536-579.
- Latrubesse E.M., Stevaux, J. C. 2002. Geomorphology and Enviromental Aspects of Araguaia Fluvial Basin, Brazil. *Z. fur Geomorphology*, 129: 109-127.
- Latrubesse E.M., Stevaux, J. C.; Sinha. R. 2005. Grandes Sistemas Fluviais Tropicais: uma visão geral. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 6 (1), 1-18.
- Latrubesse E.M.; Franzinelli E. 2005. The late Quaternary evolution of the Negro River, Amazon, Brazil: implications for island and floodplain formation in large anabranching tropical systems. *Geomorphology*, 70(3-4):372-397.
- Mertes, L.A.K. 1990. Rates of flood-plain sedimentation on the Central Amazon River. *Geology*. v.22 171-174p.
- Morais, R.P.; Oliveira, L.G.; Latrubesse, E.M.;Pinheiro, R.C. 2005. Morfometria de sistemas lacustres da planície aluvial do médio rio Araguaia. *Acta Sci. Biol., Sci.* V.27, 203-213p.



- Philip, G.; Gupta, R. P.; Bhattacharya, A. B. 1989. Channel Migration Studies in the middle Gange Basin, India using remote sensing. *International Journal of Remote Sensing* 10(6): 1141- 1149.
- Pickup, G.; Warner, R. F. 1984. Geomorphology of tropical rivers, I: channel adjustment to sediment load and discharge in the Fly and lower Puraru, Papua New Guinea. In: Schick, A. (Ed.) *Catena Supplement* 5: 1-18.
- Stevaux J.C., Santos M.L., 1998. Palaeohydrological changes in the upper Parana river, Brazil, during the Late Quaternary: a facies approach. In: Benito, G., Baker, V.R.,
- Wittmann, F., Junk, W. J., Piedade, M. T. F. 2004. The várzea forests in Amazonia: flooding and the highly dynamic geomorphology interact with natural forest succession. *Forest Ecology and Management* 196, 199 ó 212.

## EFEITOS ANTRÓPICOS E SUAS IMPLICAÇÕES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CARAPÁ, COLÍDER Ó MATO GROSSO/BRASIL

### ANTHROPOGENICALLY EFFECTS IN CARAPÁ RIVER CATCHMENT, COLÍDER, MATO GROSSO, BRAZIL

Norma Aparecida de Oliveira Nobre  
Bióloga - Mestre em Ciências Ambientais/Secretária Adjunta de Meio Ambiente  
Prefeitura Municipal de Colíder ó Mato Grosso  
normabio@gmail.com

Cassiano Garcia Roque  
Engenheiro Agrônomo - Doutor em Produção Vegetal/Professor do Departamento de Agronomia Universidade Federal de Mato  
Grosso do Sul ó Campus de Chapadão do Sul  
cassiano.roque@ufms.br

Aumeri Carlos Bampi  
Professor Dr. do Programa de Mestrado em Ciências Ambientais - UNEMAT.  
aumeribampi@gmail.com

#### RESUMO

O trabalho objetivou conhecer o perfil socioeconômico, as principais formas de uso do solo e as alterações no ambiente natural observadas na bacia hidrográfica do Rio Carapá, no município de Colider, Mato Grosso. Realizaram-se visitas in loco e aplicação de questionário composto por nove questões abertas. Foram entrevistados 30 camponeses em 16 diferentes comunidades rurais. Para a delimitação da área de estudo foram utilizadas informações de bases cartográficas com imagens de satélites LandSat (TM5), que refletem a situação da cobertura do solo e a interferência antrópica sobre o sistema natural. Os resultados mostram que a região da bacia hidrográfica e entorno encontra-se com desflorestada e, que para ampliar as áreas de pastagens as Áreas de Preservação Permanente ó APP foram suprimidas. Aliados ao problema da ausência da vegetação ciliar e das áreas que seriam reserva legal, o solo e os recursos hídricos estão exposto a diferentes tipos de agentes de degradação. A rede de drenagem possui 234.849 km, sendo a densidade de drenagem considerada baixa com 6,9 m.ha<sup>-1</sup>. O estudo evidenciou que a região foi colonizada na década de 70 por migrantes vindos da região sul do país, pois há um percentual expressivo de famílias oriundas do Estado do Paraná, que trouxeram em sua bagagem o modelo de produção de uso e ocupação do solo de suas localidades de origem.

**Palavras-chave:** uso do solo; degradação dos recursos hídricos; bacia hidrográfica do Rio Carapá; atividade agropastoril; densidade de drenagem.

#### ABSTRACT

The study aimed to know the socioeconomic profile, the main forms of land use and changes in the natural environment observed in Carapá River Watershed in the city of Colider, Mato Grosso. There were visits on the spot and there was conducting interviews with a questionnaire composed of nine open-ended questions. We interviewed 30 farmers in 16 different rural communities. For the delimitation of the study area were used cartographic information with Landsat satellite images ( TM5 ), that reflect the situation of the ground cover, as well as human interference on the natural system. The results show that the region of the watershed and its surrounding areas is deforested and, and to extend the grazing areas, the Permanent Preservation Areas (APP) were suppressed . Allied to the problem of lack of riparian vegetation and areas that would be legal reserves, soil and local water resources are exposed to different types of degradation agents. The drainage network has 234,849 km, and the drainage density is considered low with 6.9 m.ha<sup>-1</sup>. The region was colonized in the 70's by migrants from the southern region of the country , as there are a significant percentage of families from the state Paraná , who brought in his luggage the production model of use , which occupy their places of origin. The study showed that the region was settled in the 70's by migrants from the southern region of the country, in view there is a significant percentage of families from the state of Paraná, who brought in their carry the production model of use, which occupy their places of origin.

**Keywords:** Land use; agropastoral activity; environmental degradation; drainage density.

## 1. INTRODUÇÃO

Os problemas oriundos da forma como o ser humano vem utilizando os recursos naturais com um modelo concentrador de riquezas ilustram situações como fome, miséria e catástrofes naturais (Pruski, 2006).

No Brasil, a colonização iniciou o processo de exploração dos recursos naturais na região litorânea, avançando para o interior, à medida que os bens naturais iam se tornando escassos (Bertoni e Lombardi Neto, 2005).

Com o propósito de povoar todas as regiões do país, principalmente a Amazônia, pelo fato da mesma ser cobiçada por países estrangeiros, esta região continha um estoque energético com recursos naturais infinitos, com solos férteis e duradouros. A ocupação e colonização do domínio amazônico brasileiro começaram com um modelo de exploração intensivo e predatório, sendo no início, estimulado pelo governo brasileiro (Picoli, 2004). A ocupação das terras de domínio amazônico foi feita diante do desconhecimento da importância da rica biodiversidade para o planeta, das condições necessárias para a manutenção dos recursos hídricos abundantes nesta região (Zart, 1998).

O modelo de produção e exploração intensivo empregado no uso do solo no domínio da Amazônia brasileira teve início com a abertura da Rodovia Transamazônica em 1970. Na região norte mato-grossense, a colonização se intensificou com a abertura da BR 163 conhecida também como rodovia Cuiabá-Santarém, em 1973. De acordo com Ribas (2006), a rodovia representava para o governo militar da época o milagre econômico, uma oportunidade de integração nacional e expansão das atividades econômicas para uma região até então desabitada. Junto à abertura da BR 163, instalaram-se frentes de colonização e de ocupação econômica que promoveram migrações desordenadas, desflorestamento e exploração predatória de recursos naturais.

Dos estados que constitui a Amazônia brasileira, a intensificação do uso do solo em Mato Grosso coloca o estado como líder entre os que mais desmatam (Ribas, 2006). De acordo com estimativas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE foram desmatadas 26.130 km<sup>2</sup> de florestas na Amazônia brasileira entre agosto de 2003 e agosto de 2004 (Fearnside e Leal Filho, 2005). No entanto, os solos cobertos por uma vegetação exuberante, típica, não apresentaram a fertilidade que se esperava. Logo os produtores perceberam a necessidade de expandir suas áreas para o cultivo de grãos, ou para atender a pecuária extensiva (Zart, 1998).

Considerando a fragilidade dos solos de domínios amazônicos, estudos constataram que há uma queda da fertilidade agrícola poucos anos após o desmatamento, pois os solos amazônicos apresentam baixas reservas de nutrientes e, são propensos à redução da porosidade total e da infiltração de água em um prazo muito curto, além de ter sua estrutura degradada em um espaço de tempo muito rápido (Muller, et al., 2001).

Neste contexto, o presente estudo objetivou realizar uma avaliação dos efeitos antrópicos e suas implicações para a conservação do solo e dos recursos hídricos a partir de informações sobre o perfil socioeconômico e ambiental da bacia hidrográfica do Rio Carapá, em Colider/MT.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Área de estudo

A área de estudo compreende toda a extensão da bacia hidrográfica do Rio Carapá, no município de Colider, localizado no extremo norte de Mato Grosso, a cerca de 617 km de Cuiabá, capital do estado (Ferreira, 2001). A bacia hidrográfica do Rio Carapá possui uma área de 34.060 km<sup>2</sup>, ocupando cerca de 8,5% da área do município.

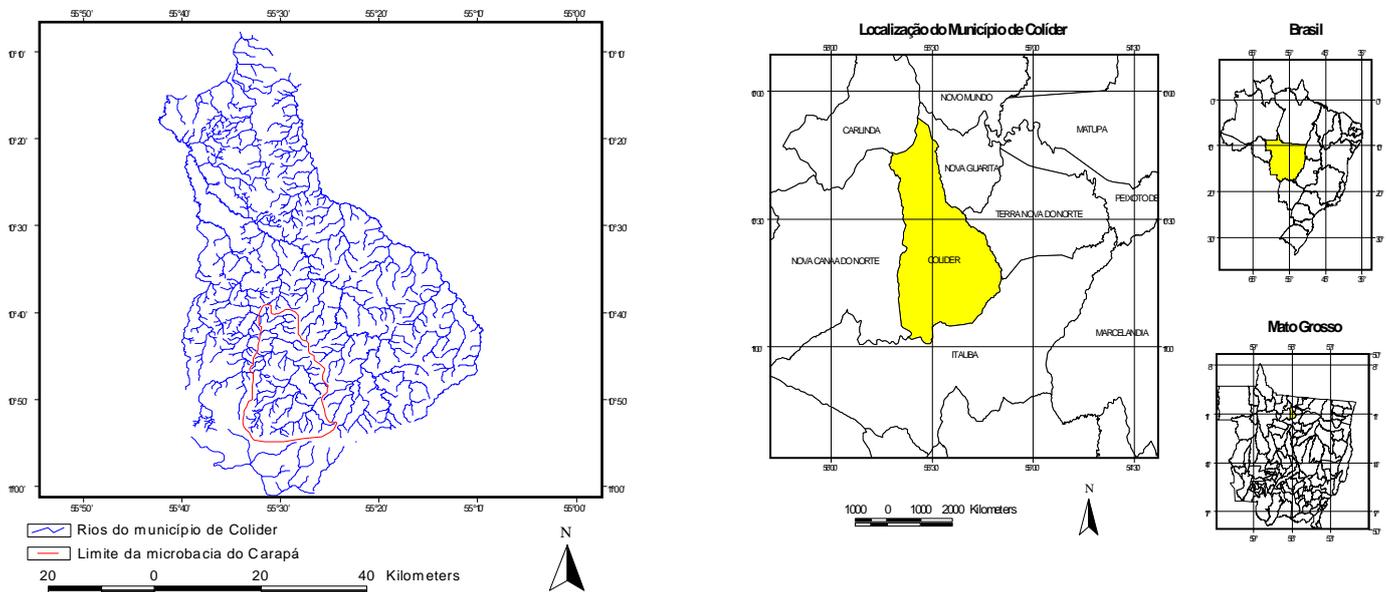
O clima da região é o equatorial quente e úmido com três meses de estiagem/seca que vai de junho a agosto (Ferreira, 2001). A ordem de precipitação total anual nos meses mais chuvosos é de 2.200 a 2.700 mm, sendo mais intenso nos meses de janeiro a março. A temperatura média anual é de 24,3°C, a 27,3° C,

resultando num balanço hídrico com excedente de 1.000 a 1.400 mm (Moreira e Vasconcelos, 2007).

A vegetação predominante do município de Colider, assim como da região é formada pela Floresta Ombrófila Aberta que é um tipo de vegetação, considerado durante anos uma transição entre a floresta Amazônica e Cerrado. Esta vegetação apresenta quatro faciações florísticas que alteram a fisionomia ecológica da Floresta Ombrófila. As florestas ombrófilas abertas são também adaptáveis às condições climáticas, apresentam considerável estoque madeireiro e potencial para extrativismo (Moreira e Vasconcelos, 2007).

## 2.2. Delimitação da bacia hidrográfica do Rio Carapá

Para a delimitação da bacia hidrográfica do Rio Carapá, foram utilizadas informações envolvendo o uso de bases cartográficas com imagens de satélites (Figura 1).



**Figura 1-** Mapa da rede hidrográfica do município de Colider - MT, destacando a bacia hidrográfica do Rio Carapá.

As imagens de satélite utilizadas foram adquiridas no site da Secretaria Estadual de Meio Ambiente do Estado de Mato Grosso. As imagens utilizadas foram do LandSat, TM 5, adquiridas no mês de julho de 2005, na composição de bandas 2, 3 e 4, composição esta que reflete o uso e utilização do solo, bem como a interferência antrópica sobre o ecossistema. Após a aquisição das imagens, georreferenciadas em SAD 69, as mesmas foram importadas no programa ArcView, versão 3.2.

## 2.3. Parâmetros de drenagem da bacia hidrográfica do Rio Carapá

Após a elaboração dos mapas, foi calculado o comprimento dos rios a fim de verificar a densidade de drenagem da bacia hidrográfica, proposta pelo DNAEE ó EESC, e expressa pela equação  $DDt = \hat{U}Li/A$ , que representa o grau de desenvolvimento de um sistema de drenagem. A densidade de drenagem total foi estimada pela equação entre o comprimento total ( $Li$ ) dos cursos d'água perenes da bacia hidrográfica e sua respectiva área de drenagem ( $A$ ) (DNAEE-EESC, 1980). As redes de drenagens foram obtidas por vetorização das imagens LANDSAT e, foram consideradas como referência para comparação com as redes obtidas das imagens SRTM em diferentes resoluções espaciais.

## 2.4. Caracterização do perfil socioeconômico da população rural inserida na bacia hidrográfica do Rio Carapá - Colíder/Mato Grosso

Para obter as informações sobre o perfil socioeconômico dos proprietários rurais da bacia hidrográfica do Rio Carapá, em relação às mudanças observadas pelos mesmos no solo com reflexos nos recursos hídricos e no potencial econômico das propriedades, bem como, a concepção destes sobre a dinâmica do desmatamento na área de estudo com interferências sobre a qualidade e suporte de uso do solo, fez-se necessárias visitas locais, conversações e, em seguida a aplicação de um questionário de caráter semiestruturado contendo nove questões abertas.

Foram entrevistadas 30 famílias do meio rural, considerando os moradores mais antigos e, de uma amostragem populacional das pequenas propriedades (até 100 ha). Das 26 comunidades rurais existentes na área de estudo foram feitas entrevistas em 16 comunidades, sendo elas: Altônia, Santos Reis, Santa Inês, Nossa Senhora de Lourdes, Santo Antônio, Sagrada Família, São Sebastião, Genezaré, Areia, São Paulo, Santa Luzia, Campo Belo, São Mateus, Nazaré, Nossa Senhora de Fátima e Boa Sorte.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. Caracterização física da rede hidrográfica da bacia do Rio Carapá

O comprimento da rede hidrográfica e a densidade de drenagem (Tabela 1) da bacia hidrográfica do Rio Carapá é considerada pobre pelo DNAEE-EESC (1980), definição dada quando a densidade de drenagem é menor que  $7,5 \text{ m.ha}^{-1}$ ; mediana quando entre  $7,5 \text{ m.ha}^{-1}$  a  $15 \text{ m.ha}^{-1}$  e rica quando maior que  $15 \text{ m.ha}^{-1}$ .

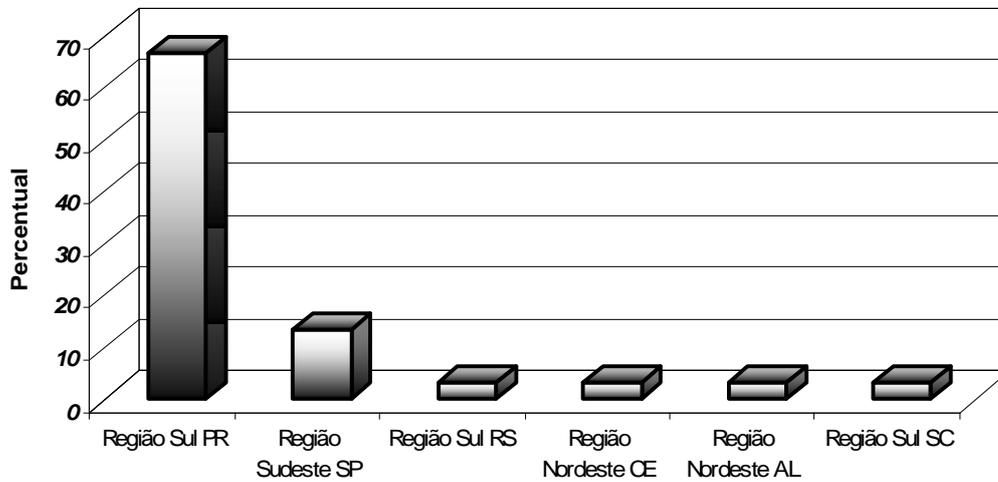
**Tabela 1** - Densidade de drenagem da rede hidrográfica da bacia do Rio Carapá ó Colíder/MT.

Bacia hidrográfica	Área (ha)	Comprimento da rede hidrográfica (m)	Densidade de drenagem ( $\text{m.ha}^{-1}$ )	Padrão de drenagem
Bacia hidrográfica do Rio Carapá	34.060	234.849	6,9	Pobre

De maneira geral, os cursos d'água existentes na bacia hidrográfica do Rio Carapá possuem até 10 metros de largura, trata-se de uma bacia constituída por cursos d'águas de primeira, segunda e terceira ordens, totalizando 234.849 km de extensão. O rio em questão é de terceira ordem e tributário importante do Rio Parado, afluente do Rio Teles Pires, o qual contribui com a bacia hidrográfica amazônica.

### 3.2. Aspectos sociais: perfil dos proprietários moradores na bacia hidrográfica do Rio Carapá

Os resultados do estudo mostram que a maioria da população que ocupa a bacia hidrográfica do Rio Carapá é oriunda do processo de colonização concomitante com o da Amazônia na década de 70. São migrantes, em sua maioria vindos dos estados da região sul e sudeste do país, principalmente do Estado do Paraná. Nota-se também uma contribuição de estados da região nordeste (Figura 2).



**Figura 2** - Regiões de origem dos moradores da bacia hidrográfica do Rio Carapá - Colíder/Mato Grosso.

Nota-se que as concentrações populacionais que estão distribuídas na bacia hidrográfica em estudo e de maneira geral nos municípios situados no norte do Estado evidenciam origem de localidades específicas (estados brasileiros). Esse fator pode ser explicado pela presença de colonizadoras privadas sustentadas por programas governamentais que, na época centralizaram-se em determinadas regiões, incentivando a migração de famílias pelo governo brasileiro.

Os moradores do âmbito da bacia, em busca de novos horizontes econômicos visaram o desenvolvimento da região através da implantação da atividade agropastoril. Sem conhecimento da realidade local e sem liberdade para implantar outros processos produtivos, foram moldados por estratégias governamentais preocupadas em produzir para atender o comércio de exportação e sendo incentivados, desta forma, a desenvolverem a atividades voltadas à pecuária por acreditarem ser a atividade mais adequada para a região (Nobre, 1998).

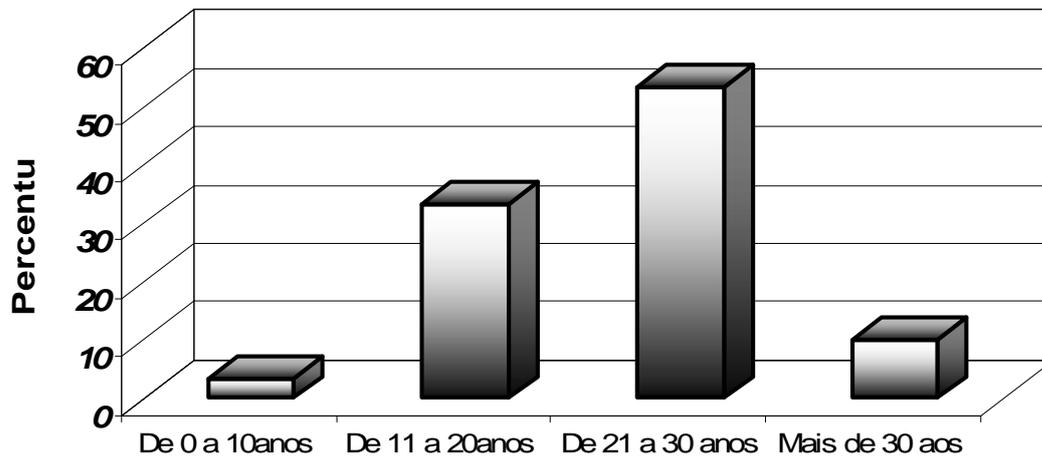
Os moradores do meio rural, inseridos na bacia hidrográfica, são famílias de pequenos agricultores que vieram em busca de solos produtivos e, almejavam adquirir o tão sonhado pedaço de chão, considerando que o processo de exclusão socioeconômico já não os proporcionaria em suas localidades originais.

De maneira geral, constatou-se que a área de abrangência da bacia hidrográfica atualmente encontra-se pouco povoada. Durante as visitas a campo, e diante do relato de moradores entrevistados, foi possível verificar que a maioria dos proprietários dos lotes residem no meio urbano, visando melhorias na qualidade de vida, acesso à saúde, educação, facilidade ao mercado de trabalho, aumento da renda, entre outros objetivos.

Esse resultado reforça que o processo de colonização do bioma amazônico no norte de Mato Grosso tinha como principal objetivo, aliado ao estado e ao capital, instalar projetos econômicos para a concentração de terras e renda. Neste sentido é evidente que os projetos oferecem aos marginalizados e despossuídos do país apenas a alternativa de servirem de força de trabalho aos empreendimentos econômicos de caráter capitalista (Picoli, 2004).

Neste sentido, 53,33% das famílias no meio rural da área de estudo, ocupa a região entre duas a três décadas (Figura 3), porém observa-se que tais famílias são constituídas por casais, aposentados, mas que culturalmente resistem à prática de cultivo da terra em pequenas proporções, produzindo alimentos para o autoconsumo e, tem na atividade pecuária bovina a principal renda. São agricultores tradicionais, que ao seguir o mesmo modelo de produção (cultivar a terra e dela tirar seu sustento) empregado em suas regiões de

origem, consolidaram o modelo produtivo como opção única de uso do solo na bacia hidrográfica do Rio Carapá-Colider/MT. Assim, ao perceberem o fracasso da agricultura substituíram-na pela pecuária. As informações obtidas a partir das visitas evidenciam que os jovens envolvidos no público estudado seguem outros caminhos, sejam para as cidades em busca de emprego formal ou qualquer outra ocupação que gere trabalho e renda.



**Figura 3** - Tempo de residência dos agricultores na propriedade rural, bacia hidrográfica do Rio Carapá ó Colider/Mato Grosso.

O fluxo migratório de pessoas se intensificou também nos anos de 1980 e 1990, pois os resultados mostram que 33,33% das famílias vieram para a região neste período. Nota-se que nos últimos 10 anos a região recebeu um percentual baixo de migrantes, evidenciando as poucas oportunidades para o setor produtivo rural na atualidade.

O modelo utilizado para o uso do solo na bacia hidrográfica do Rio Carapá, permitiu que o processo de produção rural da região de origem da população se repetisse. Assim, o proprietário detentor de melhor poder aquisitivo acaba por comprar lotes próximos, constituindo pequenas fazendas ao aproveitar-se da situação de insatisfação dos menos favorecidos economicamente. Tais famílias são iludidas ao abrir novas frentes agrícolas ou migrar para a cidade. Nas cidades, as pessoas vindas do campo, são submetidas em sua maioria as periferia, enfrentando diversos problemas sociais e econômicos relacionados à oferta de educação, saúde, lazer e saneamento básico, além de se confrontarem também com a marginalidade que gera a violência, o alcoolismo, uso de drogas, prostituição e outros problemas sociais.

### 3.3. Aspectos ambientais: cenário atual na utilização do solo da bacia hidrográfica do Rio Carapá decorrente da ocupação antrópica

A ocupação antrópica sobre o ambiente natural ao longo do processo histórico de colonização na região alterou a paisagem da área de estudo. Na imagem de satélite geoprocessada da bacia hidrográfica do Rio Carapá verifica-se no cenário terrestre as alterações antropizados, onde os principais usos do solo são: a água (representada pelos canais hídricos), predomínio do monocultivo de pastagem artificial com o cultivo de *Brachiaria brizantha*, seguida da pastagem provavelmente em estado de degradação em virtude da exposição do solo e, poucos fragmentos florestais caracterizados pela regeneração da vegetação natural e em formas de capoeiras deixados ao acaso.

Ao analisar a imagem de satélite, observa-se que os maiores impactos foram sobre a vegetação natural, destruída quase em sua totalidade pela prática do desmatamento, com posterior monocultivo de pastagem artificial.

Neste sentido, estudos realizados pelo Instituto Centro de Vida ó ICV no ano de 2008 mostrou resultados preocupantes, considerando que a área total do município de Colíder é de 304 mil hectares, 87 mil hectares (29%) permanecem com cobertura florestal. O restante, 216 mil hectares (71%), foi desmatado e está dividido hoje em 74 mil hectares (25%) de pastagem ou agricultura, 35 mil hectares (12%) de solo exposto, 48 mil hectares (16%) de área degradada com árvores, 50 mil hectares (17%) de área degradada.

A exposição do solo e dos cursos d'água, visível na bacia hidrográfica é resultado do desmatamento indiscriminado, seguido do manejo inadequado de uso do solo no âmbito de toda extensão da área de estudo. Observa-se que as Áreas de Preservação Permanente - APP, tanto em margens dos córregos e em outras áreas determinadas pelo Código Florestal Brasileiro foram ignoradas. O desmatamento visando aperfeiçoar o uso das terras chegou ao extremo, deixando as margens dos canais hídricos desprovidos de vegetação ciliar e, conseqüentemente expostos a diversos tipos de agentes físicos agressores e a contínuos processos erosivos do solo.

A antropização sem limites, aliada a pouca informação durante o período de ocupação da região degradou os recursos hídricos da bacia hidrográfica em estudo, remetendo a leitura de que houve negligência por parte do estado e transgressão da lei ambiental pelos proprietários rurais.

A pesquisa evidencia que na década de 70, as propriedades rurais foram adquiridas com cobertura florestal, porém com a perspectiva de maior lucratividade, as áreas que deveriam ser destinadas a reserva legal e APP não foram consideradas. (Figura 4).



**Figura 4** - Nascentes degradadas, situadas em meio à pastagem, destacando a ausência da vegetação ciliar; Rio Carapá sem vegetação ciliar e, local de bebedouro para o gado - bacia hidrográfica do Rio Carapá ó Colíder/ Mato Grosso.

Observou-se que o conceito para a existência de APP, é considerado ao referendar õbosquesõ e árvores isoladas nas margens dos canais hídricos, acreditando assim estar em conformidade com as determinações da Legislação Ambiental Brasileira.

No entanto, ao comparar resultados da pesquisa com a paisagem natural alterada e visualizada durante a visita in loco (verdade terrestre), leituras da imagem de satélite gerada da região compradas com os resultados da análise dos atributos físicos do solo indicadores de degradação ambiental, observa-se que a realidade é contraditória, pois o município em sua totalidade apresenta somente 74,266 ha de floresta (IBGE, 2007).

As áreas onde o solo é ocupado por gramíneas não recebe manejo adequado, pois as pastagens visivelmente estão no limite de sua capacidade de suporte, deixando o solo exposto. Neste sentido, os solos quando expostos sofrem alterações em seu estado de equilíbrio físico, químico e biológico (Fearnside et al., 2002). Estudos realizados na Amazônia demonstraram que as ilhas vegetativas e os fragmentos florestais em solos nesse domínio de bioma submetem as árvores em estado de estresse quando isoladas, além disso, reduz o potencial de variabilidade em escala fina, afetando o sucesso de empreendimentos agrícolas (Fearnside et al., 2002).

O desmatamento desordenado da área em estudo tem contribuído com a devastação do meio ambiente natural, com reflexos em todo o domínio do Bioma Amazônico. De acordo com pesquisas realizadas por Fearnside et al. (2002) estudos apontam que cerca de 75% das áreas desmatadas na Amazônia tem seus solos ocupados pelo cultivo de pastagem artificial e destinados à criação de gado o qual durante os 20 anos de regime militar, foi financiado pelo governo federal através da SUDAM (Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia), resultando na derrubada de milhares de hectares de florestas transformando-as em monocultivo de pastagem.

Apesar da redução de estímulos governamentais, o processo de ocupação tornou-se autônomo sob a lógica privada, pois os empreendedores perceberam sob o ponto de vista tecnológico-econômico, que a região propicia condições geológicas que resultam no aumento da produtividade da atividade de pecuária (Picoli, 2006).

Teixeira (2003) relata que outra situação de uso do solo no bioma amazônico é observada para os pequenos agricultores que não têm condições de repor os nutrientes do solo em atividades específicas de agricultura. O desmatamento da área e a substituição da mata por pastagem se tornam a alternativa mais rápida para valorizar suas terras.

Na bacia hidrográfica do Rio Carapá, o desmatamento feito por agricultores familiares forçados a migrarem de suas regiões de origem pela dinâmica do modelo econômico de exploração, reforça a somatória divulgada em 2006 pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que, ao analisar as fotografias de satélite LANDSAT com mapas da área, informa que a maior parte do desmatamento aconteceu em áreas pequenas, com menos de 500 ha.

Philippi e Pelicioni (2005) salientam que no Brasil, as atividades de uso do solo agricultura e pecuária, são as principais responsáveis pela perda de nutrientes do solo, pois a remoção da cobertura vegetal natural altera significativamente a estrutura física do solo, o impacto das gotas de chuva sobre ele é bem maior e, fendas se abrem fazendo com que a água que se infiltra escorra superficialmente, carregando nutrientes dissolvidos, sem ser reabsorvida pela planta. Os mesmos autores ainda ressaltaram que os solos se degradam em virtude da falta de controle de erosão, pelo excessivo pastoreio que leva a compactação e desestruturação, sem contar a poluição do solo e da água.

### **3.4. Aspectos econômicos: dinâmica de uso do solo na bacia hidrográfica do Rio Carapá**

A pecuária extensiva de corte apresenta-se como matriz econômica de uso da terra nas propriedades acima de 50 ha na área em estudo. O segundo maior tipo de uso do solo corresponde à atividade agricultura e horta comercial, visando o abastecimento da feira livre local, além de mercados do município e região. Tal atividade é representada basicamente por agricultores camponeses que ocupam os estabelecimento rurais de até 50 hectares e, com uma característica peculiar, tais estabelecimentos estão situados próximos à sede do município, em específico a parte média da bacia hidrográfica. A lavoura com cultivo convencional de milho e arroz, atividade que no momento é voltada à agricultura empresarial, começa a ocupar espaço no município de Colider a partir de 2000, com a dinâmica inicial de arrendamento das terras dos pequenos proprietários (IBGE, 2007). Outras atividades como a apicultura e avicultura são ainda pouco expressivas.

A atividade de uso do solo, com destaque para a pecuária na área em estudo, soma a informação de que o Brasil possui um dos maiores rebanhos bovino do mundo. Neste sentido o município de Colider possui

o 3º maior plantel em relação aos municípios que compõem a região do extremo norte de Mato Grosso com um rebanho de 345.081 cabeças (IBGE, 2007). No estado a pecuária bovina teve um aumento de 195% no período de 1990 a 2007, conforme dados do Instituto Nacional de Defesa Animal - INDEA/MT (2007).

A atividade agropastoril na bacia hidrográfica do Rio Carapá vem sendo manejada como se os solos fossem estáveis, similares ao solo dos estados da região sudeste e sul brasileiro. No entanto, apesar da Amazônia representar uma riqueza fantástica em recursos hídricos, minerais, fauna e flora apenas 3,63% de seus solos são férteis (Kowarick, 1995 citado por Picoli, 2004). Além disso, o Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia afirma que 83% de suas áreas são imprestáveis para a agricultura e pecuária (Schwartz, 2001).

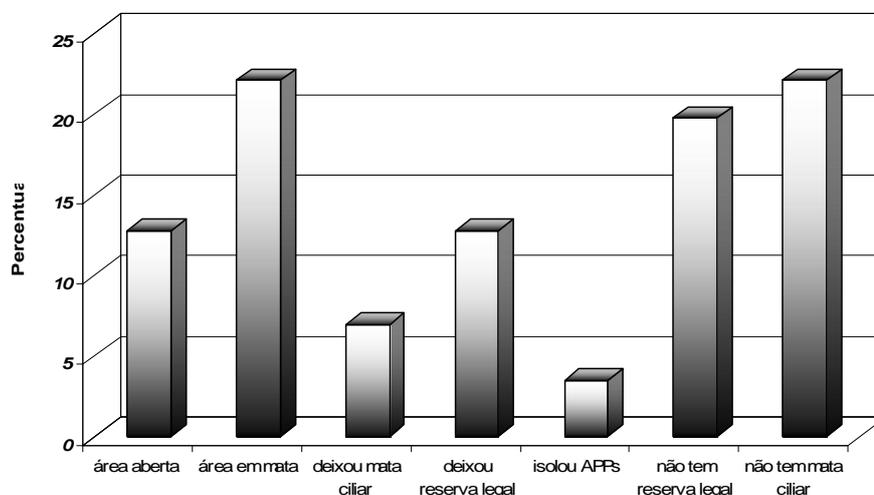
Com o emprego da atividade agropastoril na bacia hidrográfica do Rio Carapá, e por práticas de uso incorreto do solo, os impactos visíveis sobre os ecossistemas. Os processos erosivos avançados e em diferentes estágios evolutivos são bastante expressivos. A exposição direta do solo a diferentes fatores, além da degradação, afeta diretamente os mananciais que constituem a rede hidrográfica da bacia. A atividade agropastoril da forma como vem sendo manejada traz consequências diretas e indiretas ao solo com reflexos negativos em todo o ambiente. Os problemas ocasionados, como a compactação do solo, proporcionam a redução da produtividade e a perda da sustentabilidade do mesmo (Muller et al., 2001).

### 3.5. Uso do solo: alterações antrópicas sobre o sistema natural na bacia hidrográfica do Rio Carapá.

Os efeitos antrópicos sobre o sistema de manejo utilizado na bacia hidrográfica em estudo baseado na atividade agropastoril, pecuária e agricultura para a o autoconsumo, submetem o solo a um novo estado de equilíbrio, refletido em diferentes manifestações de seus atributos físicos, os quais poderão ser desfavoráveis à conservação do mesmo.

Assim como em toda a Amazônia brasileira, os solos predominantes na região apresentam deficiências de fertilidade e limitações ao uso agrícola, por toxidez de alumínio e predisposição a erosão (Moreira e Vasconcelos, 2007). Desta forma os solos oferecem limitações ao tipo de cultura e manejo empregado. Tais limitações contribuem para a abertura e a expansão de novas áreas.

A pecuária extensiva, bastante utilizada no município e toda a região, além de causar grandes danos ambientais aos recursos hídricos é a vilã do desmatamento, pois os pecuarista visando o aumento do rebanho necessitam a qualquer custo ampliar a área de monocultivo de pastagem, sacrificando até mesmo as APP, principalmente de mata ciliar (Figura 5).



**Figura 5** - Situação da cobertura vegetal, na aquisição da área e atualmente, das propriedades inseridas na bacia hidrográfica do Rio Carapá ó Colíder/Mato Grosso.

Para Zart (1998), o modelo de produção, baseado na atividade agropastoril, onde a pecuária extensiva, denominada também de pastoreio esgotante, que ainda continua avançando na Amazônia, aumentando nas áreas consideradas fronteira agrícola, levou a decadência de inúmeras propriedades.

Neste sentido, Alvarenga *et al.* (1998) enfatizam que o solo com ausência quase completa de cobertura vegetal está exposto à erosão de forma acelerada. Tal processo contribui para a degradação das áreas, além de efeitos catastróficos para o ambiente como a redução da recarga de aquíferos, o assoreamento dos cursos d'água e, conseqüentemente a ausência de água corrente no período de estiagem.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A atividade de uso do solo predominante na bacia hidrográfica do Rio Carapá, é o monocultivo de pastagem artificial com o cultivo da gramínea *Brachiaria brizantha*, sendo a pecuária extensiva a principal matriz econômica do município.

A ausência de planejamento adequado e o conhecimento da dinâmica ambiental do solo, clima, floresta e recursos hídricos na região permitiu o aceleração do processo de antropização, resultando no rápido esgotamento dos recursos naturais.

O modelo de pecuária, atividade econômica extensiva, difundido na região é considerando degradante, pois o pisoteio animal além de compactar o solo, levou os recursos hídricos a exaustão, considerando que as áreas protegidas por lei, a exemplo as Áreas de Preservação Permanente ó APP, fossem ocupadas por pastagens.

O modelo de produção empregado na região continua a reproduzir a lógica de sobrevivência para a qual não tem importância à preservação ambiental, pois a vegetação natural existente é expressa apenas em fragmentos ao longo das margens dos cursos hídricos. E, mais recentemente com o avanço da agricultura mecanizada para o extremo norte do estado, as áreas de pastagens já degradadas estão cedendo lugar às culturas de grãos. As poucas árvores isoladas e dispostas ao acaso em meio as pastagens estão desaparecendo em ritmo acelerado.

A ação antrópica ao converter áreas de florestas em áreas de cultivo, seja agrícola ou pecuária, altera o equilíbrio natural existente.

Nesse sentido, é necessário reestruturar os modelos culturais de produção predatórios de resultados imediatos para construir modalidades produtivas coerentes com as possibilidades e potencialidades do solo e dos recursos hídricos da bacia hidrográfica.

É necessário, a partir de políticas públicas, promover educação e gestão ambiental que envolva o agricultor, o pecuarista, os produtores, o gestor público e a sociedade local.

Somente através de uma análise conjuntural e ampla junto à observação dos participantes situados na bacia hidrográfica será possível construir alternativas em modalidades de produção sustentável, que respeite o meio ambiente.

Com apenas 29% de cobertura florestal no município, e 60% de degradação das Áreas de Preservação Permanente o município apresenta uma situação ambiental que está longe dos padrões da legislação e também está longe do necessário para a conservação dos recursos naturais, como a água. Portanto é necessária uma intervenção local para que o município recupere suas áreas degradadas, se adéque à legislação e conserve seus recursos naturais para garantir sua disponibilidade.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarenga, M. I. N.; Silveira, D. A. 1998. Manejo visando à conservação e recuperação de solos altamente susceptíveis a erosão sob os aspectos físicos, químicos e biológicos. *Boletim Técnico Agropecuário*, v. 19, nº 191, p. 52.
- Bernasconi, P. A., Micol, L.. 2008. Diagnóstico da Cobertura e Uso do Solo e das Áreas de Preservação Permanente Município de Colíder ó MT. Instituto Centro de Vida ó ICV.
- Bertoni, J.; Lombardi N. F. 2005. 5 ed. Conservação do Solo. São Paulo - SP: Ed. Ícone, 358 p.
- Brasil. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAM Brasil. 1980. Levantamentos dos Recursos Naturais, Folha SC-21. Rio de Janeiro: Secretaria Geral.
- DNAEE-EESC. 1980. Bacia experimental do rio Jacaré-Guaçu. São Carlos: EESC-USP, 114 p.
- FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia Brasileira: história, índices e consequências. *Megadiversidade*. v. 1, n. 1. 2005.
- Fearnside, P. M.; Leal Filho, N. 2002. Solo e Desenvolvimento na Amazônia - Lições do Projeto Dinâmica Biológica de Fragmentos Florestais. C.P. 478. Anais... INPA ó Instituto de Pesquisas Ambientais. Manaus.
- Ferreira, J. C. V. 2001. Mato Grosso e Seus Municípios. 19 ed. Cuiabá: Secretaria de Estado da Educação. Ed. Buriti, 660 p.
- IBGE ó Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades. 2007. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 09 mar. 2008.
- INDEA/MT ó Instituto de Defesa Agropecuária do Estado de Mato Grosso. Pesquisa Pecuária Municipal. 2007. Disponível em: <<http://www.indea.mt.gov.br>>. Acesso em: 14 jan. 2008.
- Moreira, M. L. C.; Vasconcelos, T. N. N. (Orgs.). 2007. Mato Grosso: solos e paisagens. Cuiabá - MT: Entrelinhas, 272 p.
- Muller, M. M. L.; Guimarães, M. F.; Desjardins, T., Martins, P. F. S. 2001. Degradação de Pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento das raízes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília - DF, v. 36. n. 11, p. 1409-1418.
- Nobre, N. 1998. O Desmatamento na Comunidade Santo Antonio, Gleba Jabuti ó Colider/MT. In: III ENCONTRO DE JOVENS PESQUISADORES VALE DO TELES PIRES. Resumos... Unemat, p.16.
- Philippi Júnior, A.; Pelicioni, M. C. F. 2005. Educação Ambiental e Sustentabilidade. Barueri, SP: Manole, 1045 p.
- Picoli, F. 2004. Amazônia: a ilusão da terra prometida. Ed. Fiorelo. Sinop, 119 p.
- Picoli, F. 2006. O capital e a devastação da Amazônia. São Paulo: Expressão Popular, 256 p.
- Pruski, F. F. 2006. Conservação do solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. Viçosa: Ed. UFV, 240 p.
- Ribas, E. 2006. BR 163: muitos personagens e a mesma história. FORMAD ó Fórum Mato-grossense de Meio Ambiente e Desenvolvimento. Cuiabá.
- Schwartz, C. 2000. Até onde a Amazônia pode resistir? *Revista Veja*. Abril. Ed. 1676, nº. 47, ano 33.
- Teixeira, L. 2003. O sentido da colonização na Amazônia Mato-grossense. Dissertação (Mestrado em Geografia). Faculdade de Ciência e Tecnologia. FCT/UNESP - Campus de Presidente Pudente. Disponível em: [http://www2.prudente.unesp.br/eventos/semana\\_geo/lucianateixeira.pdf](http://www2.prudente.unesp.br/eventos/semana_geo/lucianateixeira.pdf) . Acesso em: 21 fev. 2007.
- Zart, L. L. 1998. Desencanto na Nova Terra: assentamento no município de Lucas do Rio Verde ó MT na década de 80. (mimeo). Florianópolis: UFSC, 182 p.