

Avaliação das imagens cbers/ccd para o mapeamento de areais no sudoeste de Goiás

bers/ccd images evaluation for mapping quartzipsamment bare soils in the southwest state of goiás (brazil)

Marluce Silva Sousa - IESA/UFG
marluce.sousa@ibge.gov.br

Luciana Maria Lopes - IESA/UFG
luciana@iesa.ufg.br

Laerte Guimarães Ferreira Júnior - IESA/UFG
laerte@iesa.ufg.br

Iraci Scopel - CAJ/UFG
iraciscopel@gmail.com.br

Raphael de Oliveira Borges - IESA/UFG
raphael_lapig@yahoo.com.br

Resumo

O objetivo deste trabalho foi o de aplicar diferentes técnicas de transformação em duas imagens CBERS, dos períodos seco e chuvoso, que permitissem realçar e mapear as manchas de Neossolos Quartzarênicos, sem cobertura vegetal (areais), da bacia do Ribeirão Sujo, município de Serranópolis/GO. Revisaram-se bibliografias sobre comportamento espectral de solos arenosos e trabalhos relacionados à avaliação de áreas degradadas. Utilizaram-se três métodos de transformação de imagens para os dois períodos com a finalidade de mapear os areais: o modelo linear de mistura espectral, o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) e a análise por componentes principais. Verificou-se que as imagens do período chuvoso ressaltaram melhor os areais em relação aos vários tipos de cobertura da terra e que a técnica que apresentou o melhor resultado para o mapeamento dos areais foi a classificação supervisionada das bandas 2, 3 e 4 do sensor CDD/CBERS.

Palavras-chave: Processamento de imagens; CBERS; Areais.

Abstract

The main goal of this work was to assess the performance of different Image enhancement techniques applied to two CBERS II CCD images, acquired during the dry and rainy periods, regarding the discrimination of Quartzipsamment bare soils (sandy spots), in the Ribeirão Sujo watershed, situated in the municipality of Serranópolis/GO. In addition, a literature review, concerning the spectral behavior of sandy soils and degraded areas, was carried out. The three image processing approaches evaluated were: spectral linear mixture modelling, vegetation index (NDVI), and principal component analysis. It was verified that the images of the rainy period favored a better discrimination of the sandy soils in relation to the other land cover types and that supervised classification, based on the CBERS CCD bands 2, 3, and 4 was the best image enhancement approach.

Keywords: Picture processing; CBERS; Sandy spots.

Introdução

Na microrregião Sudoeste de Goiás, especificamente no município de Serranópolis, ocorre um intenso processo de degradação ambiental, cuja maior expressão é a presença de ravinas, voçorocas e areais que têm levado à degradação do solo, da água e ao assoreamento dos cursos d'água. Nesse município ocorre, extensa área de Neossolos Quartzarênicos, originalmente cobertos por vegetação de cerradão e de cerrado, sentido restrito (RIBEIRO; WALTER, 1998), e onde, atualmente, aparecem manchas extensas de solos descobertos sob pastagens degradadas, aqui denominados “areais”. Em função da degradação do solo, a vegetação não se desenvolve, alarmando a população do município sobre o perigo da formação de um “deserto” na referida área.

Esta situação problemática é notável na microbacia do Ribeirão Sujo, afluente da margem direita do Rio Verde, drenando uma área de 165 km² no município de Serranópolis e constituída, predominantemente, por solos arenosos¹. Esta microbacia é um exemplo da apropriação dos recursos e da transformação da paisagem natural pelo moderno processo de produção, ligado à monocultura da cana-de-açúcar e à exploração de pastagens.

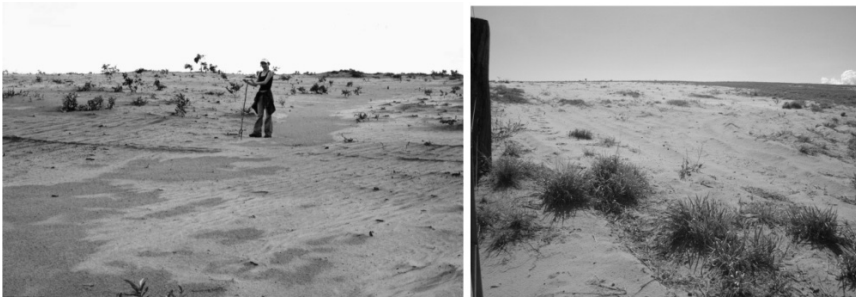
A formação de areais no Sudoeste de Goiás vem sendo pesquisada desde 2002 e, é importante destacar, como foi constatado, que esse processo não ocorre nos mesmos moldes daqueles do Rio Grande do Sul, onde foi denominado, com base em pesquisas geológico-geomorfológicas, de “arenização”².

A formação de areais é tida, conforme Scopel, Peixinho e Sousa (2005), como o processo de rarefação da vegetação em áreas arenosas, associado às ações antrópicas, como o superpastoreio e à falta de fertilização em área agrícolas que promovem a alteração das propriedades naturais do solo e sua degradação, formando manchas de areia sem cobertura vegetal. A figura 1 apresenta alguns dos areais da área de estudo.

Apesar da gravidade do problema, ainda não existem estudos técnicos e científicos em escala apropriada, no município de Serranópolis, dificultando o conhecimento detalhado dos problemas e a possibilidade de intervenção. Assim, a caracterização do meio físico, a definição de indicadores que possam auxiliar na avaliação de terras em relação à degradação, o monitoramento das mudanças de uso da terra e da qualidade ambiental, e a análise da degradação do solo poderão fornecer subsídios ao planejamento de uso da terra por parte dos administradores e proprietários de terras de Serranópolis.

Nesse sentido, a identificação das áreas de areais e seu mapeamento são de vital importância para a possibilidade de análise dos fatores condicionantes da degradação, bem como para possibilitar o monitoramento da área.

Figura 1: Areais da Bacia do Ribeirão Sujo.



Considerando a importância do Sensoriamento Remoto e dos sistemas de informações geográficas (SIGs) no monitoramento dos aspectos ambientais, possibilitando a análise multidimensional e integrada do espaço geográfico, com rapidez, eficiência e baixo custo, o objetivo deste trabalho é o de avaliar diferentes métodos de processamento digital, aplicados às imagens do Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres (CBERS), obtidas para os períodos seco e chuvoso, a fim de realçar e mapear os areais da bacia do Ribeirão Sujo, município de Serranópolis/GO.

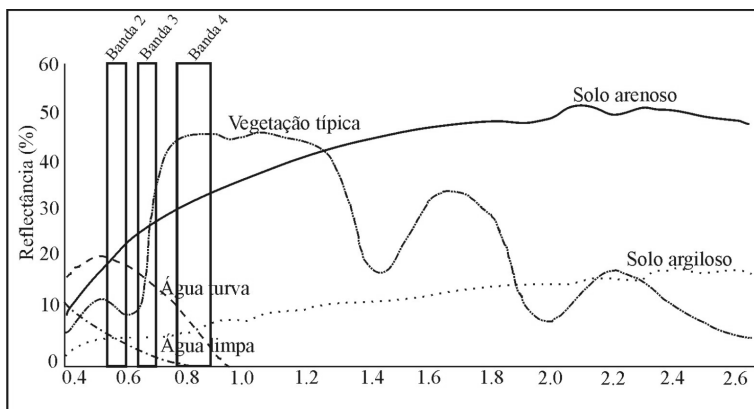
COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE SOLOS ARENOSOS

Os solos têm seu comportamento espectral influenciado por diversos fatores dentre os quais têm sido citados, como os mais importantes, sua umidade, seu teor de matéria orgânica (MOS), a textura, a capacidade de troca catiônica, o teor de óxidos de ferro e as condições de superfície (FORMAGGIO, 1989; MADEIRA NETTO, 1996; IBGE, 2001; DEMATTÊ et al., 2005). Assim:

quanto à umidade: à medida que ela aumenta ocorre uma diminuição da reflectância dos solos. A partir disso, é possível inferir que, no período chuvoso, a reflectância dos solos tende a diminuir em relação ao período seco sem, no entanto, haver modificação substantiva na forma da curva e nas feições de absorção espectral; **quanto à matéria orgânica:** em quantidades maiores do que 2%, pode causar um efeito de mascaramento na contribuição

que os outros constituintes dão às propriedades espectrais do solo na região refletiva do espectro eletromagnético (IBGE, 2001; FORMAGGIO, 1989). O aumento no teor de MOS do solo diminui a reflectância; **quanto à textura**, as partículas menores provocam aumento de reflectância, em função do maior espalhamento e menor extinção da luz. Sendo assim, a lógica é que os solos argilosos, de textura mais fina, apresentem as maiores reflectâncias. Todavia, estes solos, normalmente, apresentam-se mais escuros, porque retêm mais água e têm maior teor de MOS, além do que a estrutura dos solos de textura mais fina, em condições não-perturbadas, normalmente forma agregados de maior tamanho que a areia. Por isso, em geral, as diferenças em umidade do solo, a concentração de MOS e a estrutura mascaram as diferenças em textura do solo; **quanto à capacidade de troca catiônica (CTC)**, existe uma alta correlação negativa entre a CTC e os dados de reflectância do solo. Isto é atribuído ao alto grau de correlação entre a CTC e tipo e teor de argila e de MOS; **quanto à mineralogia do solo**: influencia a reflectância do solo de várias maneiras. Ao mesmo tempo em que os solos com mineralogia gibsítica são altamente refletivos, em função das propriedades inerentes de reflectância da gibsita, os solos montmoriloníticos, que possuem, freqüentemente, maiores teores de MOS, mostram baixa reflectância (FORMAGGIO, 1989).

Figura: 2 Curvas de reflectância espectral de alvos da superfície terrestre, na qual é possível verificar a elevada reflectância do solo arenoso em relação aos outros tipos de alvo e a posição das bandas CCD-CBERS (as curvas foram adaptadas de FORMAGGIO, 1989).



Os solos arenosos (Figura 2), em geral, possuem baixos teores de MOS, de óxidos de ferro e, por conta da elevada macroporosidade e pequena área superficial específica, têm baixa capacidade de retenção de umidade. Em virtude dessas características, tais solos tendem a apresentar maior refletância do que os solos argilosos.

Considerando-se, portanto, os fatores que influenciam o comportamento espectral dos solos arenosos, pode-se inferir sobre o comportamento desses solos, especialmente das áreas onde eles estão descobertos, nos areais, a partir das análises químicas e físicas de 12 amostras de solos, de 0 a 20 cm de profundidade, na bacia do Ribeirão Sujo e entorno, coletadas por Scopel et al. (2005). Segundo os dados dos autores, nos solos da bacia do Ribeirão Sujo, a predominância da constituição mineralógica é de quartzo, produto da meteorização dos sedimentos eólicos da Formação Botucatu, constituindo-se, pois, de solos com muito baixa atividade elétrica na superfície dos seus constituintes, confirmada pela baixa CTC, entre 0,53 e 4,83 cmol/dm^3 . Esses indicadores são ainda mais baixos na ausência da MOS, cujos valores também são muito baixos e estão entre 4,30 e 15,79g/kg no horizonte superficial. As percentagens de argila oscilam em torno de 4% e a saturação por bases, ao redor de 24%. A estrutura é de grãos simples e os autores acrescentam que tais solos apresentam uma permeabilidade à água “rápida”, indicativa, também, da sua baixa capacidade de retenção de água.

Portanto, considerando-se as características dos solos da bacia do Ribeirão Sujo, cujas análises foram corroboradas por aquelas realizadas recentemente³, deduz-se que são indicativas de baixos valores dos fatores que determinam a diminuição da refletância. Infere-se disso que, estes solos, quando expostos sob a forma de areais, apresentam alta refletância e altos valores digitais.

Sensoriamento remoto nos estudos de arenização e degradação de solos arenosos

O uso do Sensoriamento Remoto(SR) nos estudos sobre arenização ou formação de areais é recente e escasso, sendo os trabalhos sendo restritos ao sudoeste do Rio Grande do Sul e ao sudoeste de Goiás, neste último, ainda incipientes. Souza et al. (1996) realizaram o mapeamento da distribuição e quantificação dos areais do sudoeste do Rio Grande do Sul, utilizando imagens do satélite Landsat TM 5 e interpretação visual com apoio de trabalhos de campo. No artigo em questão, Souza et al. (1996) referem-se ao trabalho

de Suertegaray et al., em que os autores utilizaram a classificação digital pelo método do “paralelepípedo”, identificando areais num intervalo de níveis de cinza de 210-255, na banda 5 do Landsat TM 5.

Já no Sudoeste de Goiás, também foi realizado o mapeamento da área de areais (SOUSA et al., 2005). Para tal, foi utilizada uma imagem do satélite CCD/CBERS, (234/RGB). Foi utilizada a ampliação linear de contraste e, a partir da composição colorida, realizaram a classificação por pixel (supervisionada) com o classificador Maxver⁴ para todo o município de Serranópolis.

Com objetivo de identificar três níveis de degradação de pastagens cultivadas com braquiária, Franco (2002) utilizou dados radiométricos de campo e técnicas de SR, a partir dos quais obteve correlações entre medidas radiométricas de campo e Índice de Área Foliar, Biomassa, Percentagem de Cobertura Verde, NDVI e Números Digitais, obtidos das bandas 3 e 4 do sensor TM/Landsat 5. Já Numata et al. (2003), procuraram correlacionar medidas obtidas a partir dos dados do sensor ETM/Landsat, como o NDVI⁵ e as imagens-fração de solo e as de vegetação verde, com dados de fertilidade do solo em pastagens de diferentes idades em Rondônia. Os dados de fertilidade, como P, Ca, CTC e saturação por bases, para os três locais de estudo, diminuíram com a idade das pastagens. Os dados obtidos a partir do tratamento da imagem, como NDVI, imagem-fração de sombra, solo e vegetação verde também diminuíram. Já os valores de correlação entre as variáveis citadas não se mostraram elevados, pois a diminuição não foi linear e proporcional para as duas séries de dados.

Técnicas de transformação de imagens

- Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME)

Sendo uma importante técnica de processamento digital de imagem, o *Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME)* objetiva reduzir o volume de dados a serem utilizados em um processamento posterior e realçar os alvos de interesse. Tal modelo fundamenta-se no pressuposto de que a resposta espectral de um *pixel* é uma combinação linear dos espectros de diversos materiais contidos na superfície. Portanto, se as respostas espectrais dos alvos, a serem diferenciados, são conhecidas, as suas proporções podem ser estimadas, de forma individual, por meio da geração de imagens-fração (SHIMABUKURO; SMITH, 1995). As imagens-fração podem ser estimadas por diferentes métodos, dentre os quais, os mais conhecidos, citados por

Ferreira (2003), são o CLS (*Constrained Least Square*) e o WLS (*Weighted Least Square*).

- Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI)

Índice de vegetação é uma medida da quantidade e da condição fenológica da vegetação por meio de uma análise das bandas espectrais de sensores remotos, utilizando técnicas de processamento digital de imagens. Segundo Epiphânio e Formaggio (1990), os Índices de Vegetação (IVs) podem ser definidos como sendo transformações lineares das bandas espectrais, geralmente na faixa do vermelho e do infravermelho próximo (estas duas bandas contêm mais de 90% da variação da resposta espectral da vegetação). Estes índices realçam o comportamento espectral da vegetação, correlacionando-os com os parâmetros biofísicos desta. O mais simples índice de vegetação é $R = IVP/V$.

O NDVI, denominado, “*Normalized difference vegetation index*” ou “Índice de vegetação por diferença normalizada”, proposta por Rouse et al., em 1974, é o mais usado, sendo definido pela seguinte equação:

$NDVI = (IVP - V) / (IVP + V)$, onde IVP é a resposta espectral do pixel na banda do infravermelho próximo (CCD 4) V é a resposta espectral do pixel na banda do visível (CCD 3).

Assim, as áreas de vegetação densa terão como resultado um valor de índice muito alto⁶, as áreas com exposição de água terão um resultado negativo, uma vez que a reflectância da água é maior na faixa do visível e as áreas sem vegetação terão um índice baixo. Assim, o solo arenoso exposto (areais) tende a possuir um índice bastante baixo, em razão da alta reflectância para as bandas do vermelho e infravermelho, como já foi mostrado na Figura 2. Todavia, ressalte-se que a sazonalidade interfere nos valores, o que deve ser explicitado nos resultados deste trabalho.

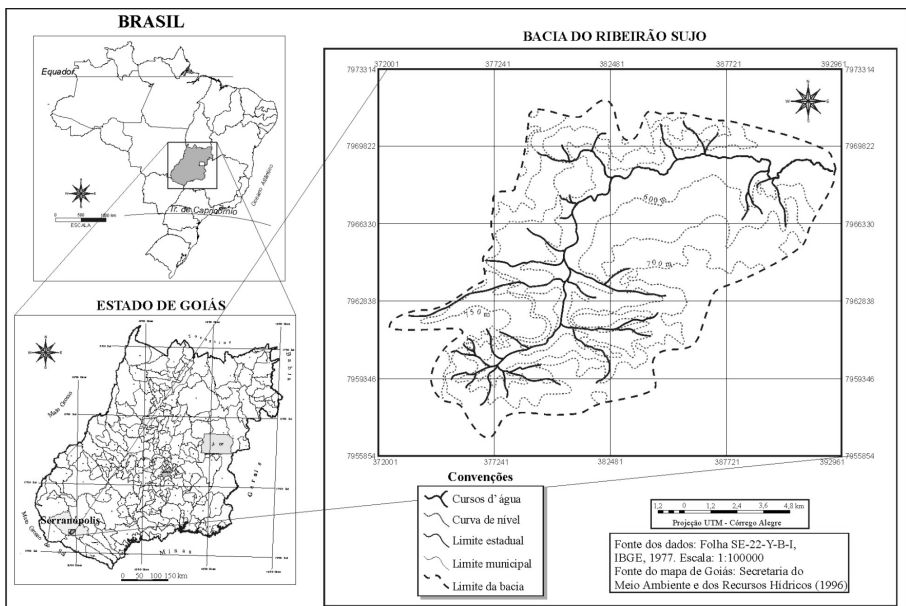
- Análise por componentes principais

A geração de componentes principais é uma técnica que reduz ou remove a redundância espectral, gerando um novo conjunto de imagens cujas bandas individuais apresentam informações não-disponíveis em outras bandas, isto é, sem correlação (ROSA, 2001). Esta transformação envolve uma

rotação e translação de eixos no espaço de atributos espectrais e é derivada da matriz de covariância entre as bandas, gerando um novo conjunto de imagens no qual cada valor de “pixel” é uma combinação linear dos valores originais. O número de componentes principais é igual ao número de bandas espectrais utilizadas e estas são ordenadas de acordo com o decréscimo da variância do nível de cinza. A primeira componente principal tem a maior variância (maior contraste) e a última, a menor variância.

Área de estudo

Figura 3: Mapa de localização da área de estudo.



A área de estudo é a microbacia do Ribeirão Sujo, afluente da margem direita do Rio Verde, município de Serranópolis, sudoeste do estado de Goiás. A microbacia apresenta um resquício de superfície de aplanamento Terciária na porção sudoeste que, delimitada por escarpa da ordem de 150 metros, dá lugar a uma superfície dissecada, com interflúvios amplos e baixa densidade de drenagem no restante da área. O substrato predominante são

os arenitos da Formação Botucatu, do Período Jurássico. Os solos dominantes são Neossolos Quartzarênicos, cobertos por vegetação nativa de cerrado e cerradão, hoje, em grande parte, substituídos por braquiária e cana-de-açúcar. A precipitação pluviométrica média da região é de 1600 mm (SCOPEL et al., 1995), concentrada nos meses de outubro a abril/maio. A figura 3 apresenta o mapa de localização da área.

Metodologia

Foram utilizadas as bandas 2 (0,52-0,59 μm – faixa verde), 3 (0,63-0,69 μm – faixa vermelha) e 4 (0,77-0,89 μm – faixa infravermelha), da órbita 161 ponto 121 do sensor CCD (Câmera de alta resolução) do satélite CBERS, com 20 m de resolução espacial, fornecidas, gratuitamente, pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, para as datas de 24 de março de 2004 (período chuvoso) e 31 de julho de 2005 (período seco).

As imagens foram registradas, utilizando-se pontos de controle e, como interpolador, um polinômio de 1º grau do Spring⁷, desenvolvido pelo INPE. As cenas, referentes ao período seco, de 31 de julho de 2005, foram registradas utilizando-se, como referência, dados vetoriais de drenagem e estradas da carta topográfica SE 22 YB I, do IBGE. A imagem do período chuvoso foi georeferenciada com base na primeira imagem, para garantir a sobreposição necessária para efeitos de comparação dos resultados.

No mês de dezembro de 2005, foi realizado trabalho de campo e obtidas, com GPS de navegação, coordenadas de 6 pontos, os quais se constituíram em pixels representativos de areais e que foram utilizados, para todos os procedimentos adotados, como pixels de base. Além disso, o trabalho foi importante para a validação dos dados obtidos até aquele momento e para coletas de solo.

Em laboratório, foram realizadas três técnicas de transformação de imagens:

- *Modelo Linear de Mistura Espectral*

Utilizando o programa ENVI, o modelo de mistura teve como alvos (*endmembers*) a vegetação, solo e sombra/água. As amostras de pixels representativos dos alvos a serem diferenciados, em função do prévio conhe-

cimento da área, foram adquiridas diretamente da imagem CCD-CBERS, na composição RGB/342. Apenas a imagem-fração solo exposto foi utilizada neste trabalho. Os valores de 0,95 a 1, entre 0 e 1 da imagem-fração, foram adotados como limiar para mapeamento dos areais para as duas datas consideradas.

A partir da imagem-fração de solo exposto do período chuvoso foi elaborado, ainda, um mapa de probabilidade da existência de areais, cuja legenda indica o seguinte:

Quadro 1: Fatiamento das classes para o mapa de Probabilidade da existência de areais.

Probabilidade da existência de areais	Valores digitais da imagem-fração solo exposto
Muito alta	0,98 a 1
Alta	0,9 a 0,98
Média	0,5 a 0,9
Baixa	0,2 a 0,5
Nula	0 a 0,2

- Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI)

No ENVI⁸, utilizando as bandas referentes à faixa do vermelho (banda 3) e infravermelho próximo (banda 4), foi aplicada a seguinte operação: $NDVI = (banda\ 4 - banda\ 3) / (banda\ 4 + banda\ 3)$. Os resultados foram fatiados de forma que as áreas de areais fossem destacadas. Para o período seco, foi fatiada como área de areais o NDVI de valor 0 e, para o período chuvoso, valores entre 0,239 e 0,45. Esses valores foram determinados com base nos pontos representativos, obtidos em campo. Uma vez que os valores de NDVI, para o período chuvoso, foram muito superiores aos do período seco, aplicou-se, às imagens resultantes dos NDVIs, uma equação para verificar a diferença sazonal dos valores de NDVI: $Diferença\ sazonal = (NDVI_{chuva} - NDVI_{seca}) / (NDVI_{chuva}) \cdot 100$

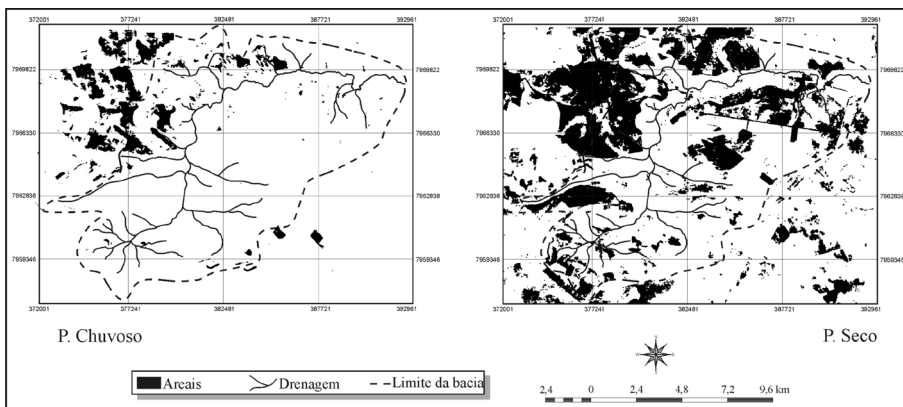
- Análise por componentes principais e classificação

Para realizar o mapeamento dos areais, foram testados quatro procedimentos para classificação, utilizando-se o Spring⁹: a) Inicialmente, as bandas originais foram submetidas à análise por componentes principais. A primeira componente foi segmentada e classificada automaticamente, utilizando-se o classificador ISOSEG¹⁰. A classe com áreas representativas de areais foi adotada para mapeamento; b) a primeira componente foi novamente classificada utilizando-se a classificação supervisionada, com o classificador Maxver¹¹ (máxima verossimilhança); c) procedimento foi semelhante ao segundo, entretanto, realizou-se a classificação supervisionada para a segunda componente principal e d) também consistiu na classificação supervisionada, utilizando-se Maxver para uma composição colorida, resultante das três bandas originais.

Resultados

Modelo linear de mistura espectral

Figura 4: Área de areais obtida pelo Modelo Linear de Mistura Espectral para os dois períodos considerados.



A imagem-fração solo, gerada a partir do MLME, foi fatiada, considerando-se os pixels com valores de 0.95 a 1, que significam pixels de 95% a

100% de proporção de solo exposto. O resultado do fatiamento, comparando os dois períodos, foi muito diferente. Enquanto, para o período chuvoso, a classe de areais somou uma área igual a 918,43 ha, para o período seco, a área foi de 7.123, 44 ha, um aumento de aproximadamente 8 vezes em área, como mostra a figura 4.

Em nossa interpretação, a diferença não significa aumento de areais. O fato é que, no período seco, nas áreas de pastagens degradadas muito comuns na área de estudo, há uma maior exposição do solo e existência de vegetação com muito baixa atividade fotossintética ou matéria seca (NUMATA et al., 2003; FRANCO, 2002). Assim, a deficiência hídrica proporciona um aumento de reflectância em áreas de solo arenoso sob pastagens. Ao contrário, no período chuvoso, a umidade afeta o comportamento espectral do solo. Além disso, no período seco, algumas áreas de solo arenoso, com cobertura de cana-de-açúcar, foram incluídas na classe de areais em razão de que o seu comportamento espectral fora semelhante às áreas de referência, ou seja, às de solo exposto.

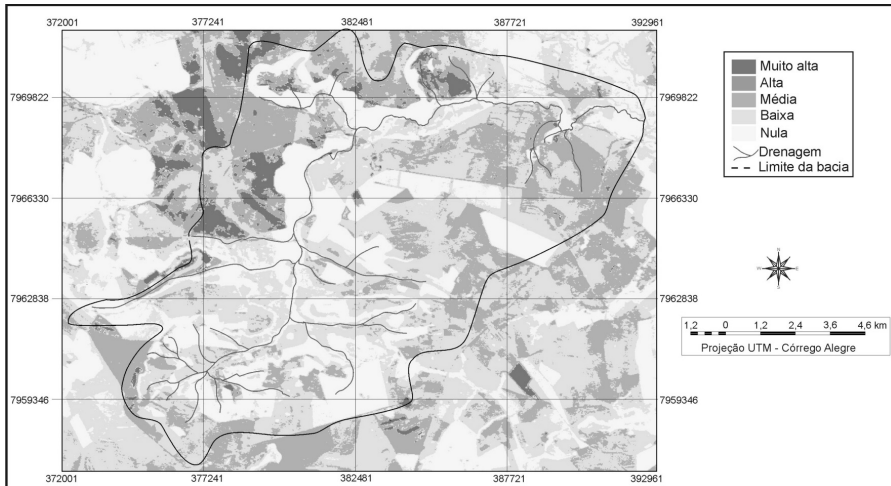
Nessa perspectiva, acredita-se que os limiares para mapeamento de areais, utilizando-se o modelo linear e mistura espectral, devem ser diferentes para ambos os períodos do ano, fato que não permite a comparação de áreas sazonalmente.

Seguindo este raciocínio, foi feito um teste para o período seco, no qual foi estabelecido o fatiamento para os areais com valores de 0,98 a 1 de valor do pixel da imagem-fração de solo exposto. Ainda assim, o mapeamento não foi satisfatório, pois incluiu, nessa classe, áreas de cana-de-açúcar como solo exposto e excluiu as bordas dos areais.

Portanto, a imagem do período chuvoso mostrou-se mais adequada para identificação de areais com a utilização do modelo linear de mistura espectral, pois, no período seco, o modelo superestima a área de areais.

Além disso, uma vez que o modelo linear de mistura espectral resulta numa imagem na qual os pixels apresentam valores de 0 a 1, como frações de cada *endmember*, infere-se que a gradação dos valores dos pixels indica a probabilidade de que os mesmos estejam em areais. Desse modo, a imagem-fração de solo exposto para o período chuvoso, considerada mais adequada para o mapeamento, foi fatiada e obteve-se um mapa de “Probabilidade de existência de areais”, como mostra a figura 5. O resultado desse mapa está de acordo com as observações realizadas em diversos trabalhos de campo.

Figura 5: Mapa da Probabilidade da existência de areais.



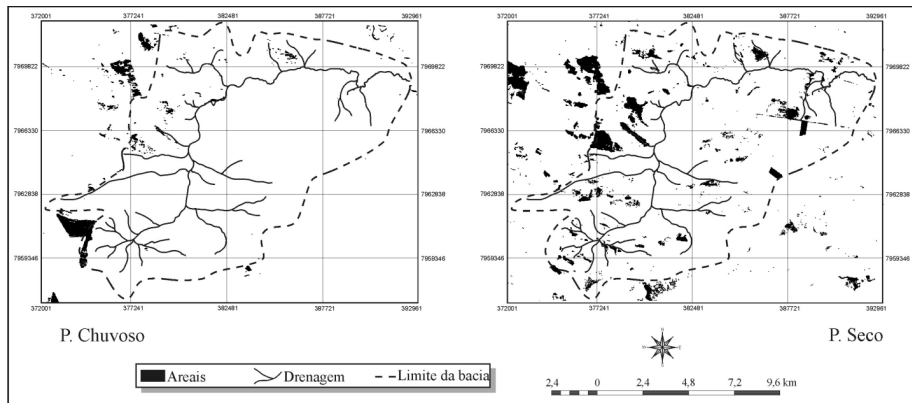
NDVI

Os valores obtidos com a aplicação do NDVI, a partir dos pixels de referência, para os areais no período seco, foi de 0 e entre -1 e 1. Esse valor demonstra que os areais não apresentam variação na reflectância para as bandas da faixa do vermelho e do infravermelho próximo, coincidindo com aquilo que pode ser visto na Figura 2, sobre a curva de comportamento espectral do solo arenoso.

Para o período chuvoso, a classe de 0 a 0,45 foi classificada como areal, indicando que, nesse período, há um acréscimo na reflectância na banda do infravermelho (banda 4), em comparação à banda 3 da CCD-CBERS. Isso, em teoria, deve-se ao aumento da atividade biofotossintética no período chuvoso pois, conforme Novo et al. (2005), os valores de NDVI tendem a aumentar no período chuvoso com o aumento da densidade e vigor da vegetação, diminuindo consideravelmente no período seco ou em anos secos. Dessa maneira, supõe-se que, no período chuvoso, mesmo as áreas de areais apresentam um acréscimo de biomassa.

A figura 6 apresenta os mapas com a classificação dos areais, utilizando-se o NDVI.

Figura 6: Área de areais obtida pelo NDVI para os dois períodos considerados.



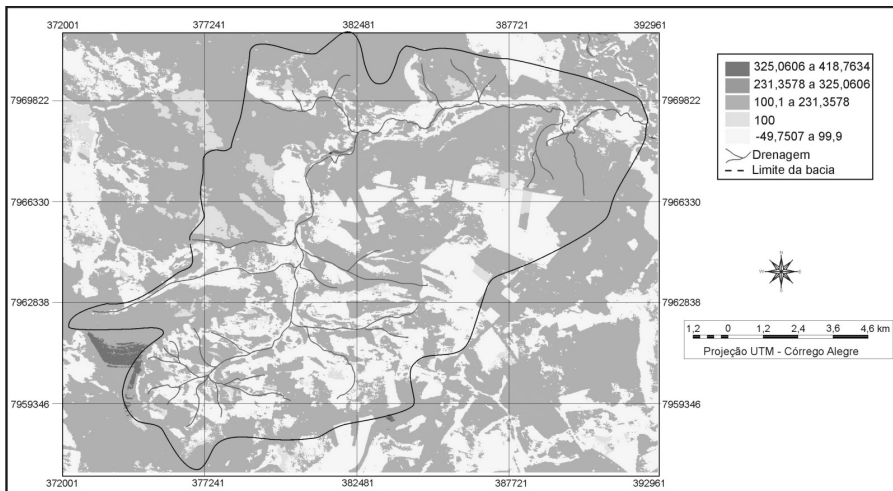
Entretanto, no trabalho de campo, realizado no período chuvoso, constatou-se a inexistência de vegetação, nos areais, que seja capaz de alterar significativamente a reflectância dos pixels de referência, o que justificaria a inexistência de alteração dos valores de NDVI para as áreas de areais.

Uma vez que os valores de NDVI para o período chuvoso foram significativamente maiores que aqueles do período seco, realizou-se uma operação para verificar a diferença sazonal dos NDVIs. O resultado, apresentado na figura 7, indicou que as menores diferenças ocorrem em áreas densamente vegetadas, ou seja, não há significativa alteração dos elementos biofísicos da vegetação para diferentes períodos do ano em áreas densamente vegetadas, como matas de galeria. As áreas de areais apresentaram, também, valores baixos de diferença em relação a outras áreas, a partir do que se conclui que, mesmo no período chuvoso, não há grande alteração de biomassa nos areais, como foi confirmado pelos trabalhos de campo. As áreas de pastagens e cerrado ralo apresentaram valores de diferença sazonal intermediária, indicando que as mudanças sazonais afetam a atividade biofotossintética dessas coberturas. Os valores altos de diferença sazonal foram encontrados em áreas de lavouras e áreas alagadas.

O valor extremo de diferença sazonal foi encontrado numa pequena área agrícola, indicando que, com certeza, trata-se de uma área que foi desmatada, pois que apresentava alto NDVI no período chuvoso em 2004 e apresentou baixo valor de NDVI para o período seco em 2005 sendo, inclusive, pertencente à área de mapeamento de areais nesse período. Corroborar

esta idéia o fato de que as outras áreas agrícolas não apresentam o mesmo comportamento desta.

Figura 7: Fatiamento da diferença sazonal dos NDVIs.



As diferenças sazonais, obtidas pelos valores de NDVI normalizados, não proporcionaram a identificação de areais mas, a partir dos dados, é possível inferir mudanças sazonais de vegetação, além de demonstrar a pouca variação sazonal na área dos areais.

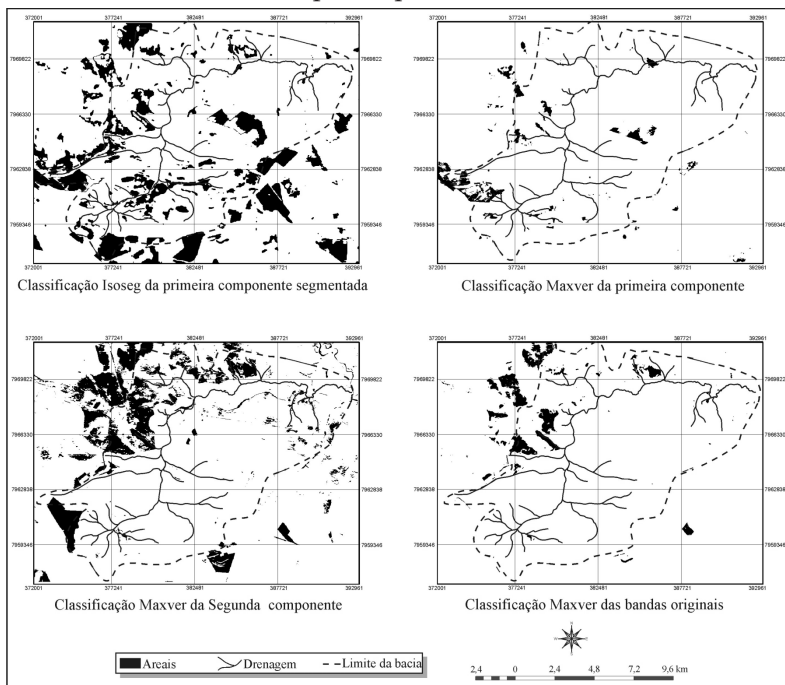
Os resultados obtidos, de maneira geral, não foram aqueles esperados pois, acreditava-se que não haveria variação dos valores de NDVI para os dois períodos em áreas de areais, já que a presença de vegetação nessas áreas é insignificante. Além disso, sabe-se, como foi colocado no início, que a umidade – do período chuvoso - interfere na quantidade de reflectância sem, entretanto, modificar a forma da curva de comportamento espectral do solo. Entretanto, os resultados demonstraram que, no período chuvoso, os areais refletem mais radiação no infravermelho próximo ou menos na faixa do vermelho do que no período seco, havendo assim alteração na forma da curva espectral. De todo modo, como se esperava, a variação sazonal nos areais foi pequena em relação às áreas de pastagens e cerrado ralo.

Análise por componentes principais (ACP) e classificação

A transformação das bandas utilizadas pela análise por componentes principais visa eliminar essa correlação e reduzir o volume de dados. Desse modo, para o período chuvoso, a primeira componente principal apresentou 97% das informações contidas nas três bandas, a segunda componente 2% e a terceira apenas 0,02%. A banda 4 (infravermelho) que, originalmente, tinha a maior variância, foi aquela que mais informações concedeu para a primeira componente, enquanto a segunda componente principal teve mais elementos da banda 3 (vermelho).

Já para o período seco, a primeira componente principal apresentou 83% do total das informações, a segunda componente 12% e a terceira componente 2%, sendo que a primeira componente recebeu mais informações da banda 2 e a segunda componente principal recebeu mais informações da banda 4.

Figura 8: Resultados obtidos com a aplicação dos quatro procedimentos descritos para o período chuvoso.



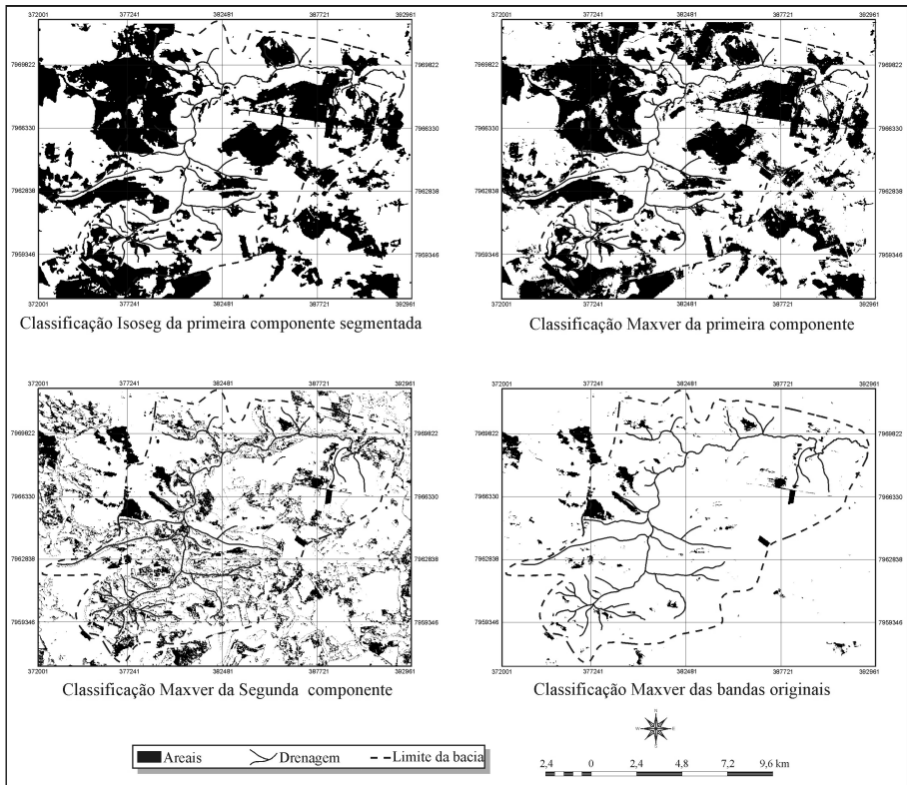
A primeira componente principal foi segmentada e classificada utilizando-se o ISOSEG. O resultado para o período chuvoso, que pode ser visto na figura 8, todavia, foi bastante confuso e várias áreas de lavoura foram incluídas na mesma classe de areais, totalizando uma área superestimada de 4.536,76 ha de areais. Por isso, optou-se pela classificação da primeira componente principal por pixel, utilizando-se o algoritmo Maxver. O resultado foi melhor do que a classificação por regiões e poucos pixels isolados apareceram. Entretanto, algumas áreas de lavouras foram confundidas com areais e, mesmo áreas onde foi confirmada em campo a existência de areais, não foram classificadas.

Realizou-se mais uma classificação supervisionada, utilizando-se a segunda componente principal e o resultado foi uma área de 3.312,80 ha de areais, sendo incluídas áreas de pastagens degradadas e com boa proporção de solo exposto.

Uma vez que não houve resultados positivos anteriores, obtidos a partir das componentes principais, optou-se por classificar por pixel uma composição colorida com bandas originais, utilizando-se o algoritmo Maxver. O resultado praticamente não apresentou praticamente confusão entre areais e áreas de lavouras ou pastagens, como aconteceu com as classificações anteriores, além de terem sido classificados poucos pixels isolados. Foi o resultado, portanto, mais próximo à realidade, totalizando uma área de 796,2 ha de areais para a faixa mapeada no período chuvoso.

Para o período seco, os quatro procedimentos também foram realizados, obtendo-se resultados semelhantes, que estão apresentados na figura 9 e quadro 3. No entanto, houve uma tendência geral de aumento da área de areais para todos os procedimentos.

Figura 9: Resultados obtidos com a aplicação dos quatro procedimentos descritos para o período seco.



A classificação por regiões da primeira componente resultou numa área superestimada de areas, tal como ocorreu no período chuvoso, englobando áreas de pastagens, cana-de-açúcar e outras. A classificação por pixels também superestimou a área de areas. É interessante ressaltar que, enquanto para o período chuvoso a classificação não supervisionada para a primeira componente principal apresentou um resultado muito superior que a classificação supervisionada, em termos de áreas, para a mesma componente, no período seco, a diferença não foi significativa.

A classificação por pixel da segunda componente principal resultou num mapeamento muito confuso, com muitos pixels isolados e distribuídos por vários tipos de cobertura.

A classificação da composição colorida das bandas originais para o período seco também foi a que melhor resultado apresentou com 1.037,96 ha de areais, pequeno número de pixels isolados e pouca confusão em relação às diferentes classes de cobertura.

O quadro 2 apresenta as áreas mapeadas como areais para as seis classificações a que as imagens dos dois períodos foram submetidas:

Quadro 2: Áreas de areais, em hectares, resultantes das técnicas utilizadas.

	MLME	NDVI	Primeira CP segmentada/ Classif. Ioseg	Primeira CP/Classif. Maxver	Segunda CP/Classif. Maxver	Bandas originais/ Clas-sif. Maxver
Período chuvoso	907,43	445,66	4536,76	642,88	3312,80	796,20
Período seco	6621,46	1170,03	10580,76	10257,88	4939,92	1037,96

Conclusões

Os resultados obtidos permitiram concluir que é possível identificar os areais, utilizando-se as imagens do sensor CCD do satélite CBERS. As bandas disponíveis e utilizadas, somadas à ótima resolução espacial e à gratuitidade das imagens da Câmara de Alta Resolução do CBERS, constituíram-se em fatores importantes e decisivos para a utilização neste trabalho e como produtos de utilização promissora.

Das técnicas utilizadas neste trabalho, aquela que mais favorece a identificação dos areais é a classificação supervisionada, utilizando o algoritmo Maxver. O MLME, para o período chuvoso, desde que testado um bom limiar para fatiamento, também se constitui num bom método. Já em relação ao NDVI, o mesmo não se constituiu num bom método para mapeamento de areais para ambos os períodos. De toda forma, é importante no monitoramento das condições de vegetação da área. A comparação de NDVIs aqui realizada foi sazonal. Entretanto, sugere-se, para trabalhos posteriores, a comparação de valores de NDVI para o mesmo período do ano, de modo a obter-se o monitoramento de tais áreas e verificar a expansão ou retração dos areais.

Quanto à ACP, bastante recomendável para eliminar a redundância de informações, a mesma não propiciou o realce desejado dos areais nas novas bandas geradas.

Em relação aos períodos do ano, considera-se o período chuvoso mais adequado para o mapeamento dos areais, dada a excessiva confusão entre areais e cobertura por pastagens degradadas e por cana-de-açúcar para o período seco. Uma vez que no período chuvoso as pastagens, assim como a cana, apresentam maior exuberância, o período chuvoso ressalta, naturalmente, as áreas de areais. Entretanto, é imprescindível considerar que a comparação entre valores digitais, seja dos níveis de cinza originais ou transformados, como no caso do MLME, para os dois períodos, deve levar em conta que, no período chuvoso, a maior umidade, mesmo em áreas de areia exposta, afeta o comportamento espectral dos areais.

Assim, por último, o contraste sazonal, apresentado pelos métodos, em geral, e pela diferença de NDVIs, em particular, demonstra que, embora as áreas de areais não apresentem significativa mudança de comportamento espectral para os dois períodos, ela existe e deve ser considerada por todo estudo que visa monitorar e mapear áreas degradadas em solos arenosos.

Notas

- 1 Segundo Resende et al. (1999). são os solos que possuem mais de 85% da fração “areia” em sua granulometria/textura.
- 2 “[...] retrabalhamento de depósitos areníticos (pouco consolidados) ou arenosos (não consolidados), que promove, nessas áreas [areais], uma dificuldade de fixação de vegetação, devido à constante movimentação de sedimentos” (SUERTEGARAY, 1996, p. 254).
- 3 Análises químicas e físicas realizadas em fevereiro de 2006 na pesquisa de mestrado, em andamento, da autora.
- 4 Máxima Verossimilhança.
- 5 Normalized Difference Vegetation Index
- 6 A reflectância da vegetação na região do vermelho (0,6 – 0,4 μm) é baixa devido à absorção pelos pigmentos das folhas, especialmente a clorofila, enquanto que, na região do infravermelho próximo (0,7 - 0,9 μm), ela apresenta alta reflectância em razão do espalhamento por parte das células das folhas.
- 7 Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas
- 8 *Environment for Visualizing Images*.
- 9 Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas.
- 10 Este é um algoritmo de agrupamento de dados, disponibilizado no Spring, que reúne um conjunto de regiões que, por sua vez, são caracterizadas por seus atributos estatísticos de média, matriz de covariância e área.
- 11 Considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos sobre amostras apontadas na imagem

REFERÊNCIAS

- DEMATTÊ, J. A. M. et al. **Uso de imagens de satélite na discriminação de solos desenvolvidos de basalto e arenito na região de Paraguaçu Paulista**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 40, n. 7, p. 697-706, jul. de 2005. Disponível em: <www.periodicos.capes.gov.br/> Acesso em 01 out. de 2005.
- EPIPHANIO, J.C.N.; FORMAGGIO, A. R. **Relações entre PVI e diferença normalizada e índice de área foliar, cobertura do solo e densidade de clorofila de trigo e de feijão**, 1990. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 6 Anais. Manaus/AM: INPE/SELPER, v.3, p.797 - 805.
- FERREIRA, M. E. et al. **Uso do modelo linear de mistura espectral para o mapeamento sistemático e operacional do bioma Cerrado: possibilidades, implicações e procedimentos metodológicos**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11, Anais, Belo Horizonte/MG, Brasil, 2003, INPE, p. 657-664 .
- FRANCO, J. B. S. **Análise da possibilidade de identificar pastagens degradadas utilizando dados de Sensoriamento Remoto**. 2002, 91 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia, 2002.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Introdução do processamento digital de imagens**. Rio de Janeiro: Primeira divisão de Geociências do Nordeste, IBGE, 2001.
- MADEIRA NETTO, J. S. **Spectral reflectance properties of soils. Photo interpretation**, v. 34, p. 59-70, 1996.
- NOVO, E. M. L. M et al. **Técnicas avançadas de sensoriamento remoto aplicadas ao estudo de mudanças climáticas e ao funcionamento dos ecossistemas amazônicos**. Acta Amazonica, v. 35, n. 2, p. 259-272, Manaus/AM, abr./jun. de 2005.
- NUMATA, I. et al. **Relationships among soil fertility dynamics and remotely sensed measures cross pasture chronosequences in Rondônia, Brazil**. Remote Sensing of Environment, v. 87 p. 446-455, nov. de 2003.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. **Fitofisionomias do bioma cerrado**. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de (Ed.). Cerrado: ambiente e flora. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1998. 556p.
- ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 4. ed. Uberlândia: UFU, 2001.
- SCOPEL, I et al. **Análise das Chuvas no Centro-Sul de Goiás**. In.: CONGR. BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2., Anais.Campina Grande/PB, 1995.
- SCOPEL, I.; PEIXINHO, D. M.; SOUSA, M. S (Coords.) **A formação de areais e seu controle na região de Jataí e Serranópolis/GO**. Relatório final do Projeto de Pesquisa/CNPq, nov.de 2005.
- SHIMABUKURO, Y.E.; SMITH, J.A. **Fraction images derived from Landsat TM and MSS data for monitoring reforested areas**. Canadian Journal of Remote Sensing, vol. 21, n. 1, p. 67-74, 1995.
- SOUSA, M. S. et al. **"GIS" as an aid to the study of Quartzipsamment soils in the Southwest Goiás state, Brazil**", International Symposium on Land Degradation and Desertification. Anais. Uberlândia/MG, maio de 2005. CD ROM.
- SOUZA, A. P. de et al. **O geoprocessamento na construção de mapas temáticos: arenização no sudoeste do estado do Rio Grande do Sul**. Sociedade Natureza, Uberlândia (MG), v. 8, n. 15, p.

323-326, 1996.

SUERTEGARAY, D.M.A. Desertificação: recuperação e desenvolvimento sustentável. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B (org.) Geomorfologia e Meio Ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996, p. 249-289.

Marluce Silva Sousa – é Mestranda em Geografia pelo IESA/UFG

Luciana Maria Lopes – é Professora Titula DO Instituto de Estudos Sócio-Ambientais da Universidade Federal de Goiás

Laerte Guimarães Ferreira Júnior – IESA/UFG laerte@iesa.ufg.br

Iraci Scopel - CAJ/UFG

Raphael de Oliveira Borges –

Recebido para publicação em janeiro de 2007

Aceito para publicação em abril de 2007

