

ANÁLISE TEMPORAL DA PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO DO ALTO RIO PARANÁ (REGIÃO DE PORTO RICO – PR) ATRAVÉS DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

Temporal analysis of Paraná River floodplain (Porto Rico - PR region) using remote sensing data

Ericson Hideki Hayakawa¹
Edivando Vitor do Couto³
Edvard Elias de Souza Filho³
Bruno Rodrigues do Prado²
Patrícia Fernandes Paula⁴

¹**Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG**

Rua Gabriel Monteiro da Silva, 700 - Instituto de Ciências da Natureza - 37130-000 - Alfenas – MG – Brasil
ericson_geo@yahoo.com.br

²**Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE**

Caixa Postal 515 – 12245-970 – São José dos Campos – São Paulo – Brasil

³**Universidade Estadual de Maringá**

Av. Colombo 5790 – 87020-900 – Maringá – Paraná – Brasil
edvardmarilia@wnet.com.br, edivandovitorh@hotmail.com

⁴**Faculdade Estadual de Campo Mourão – Fecilcam**

Caixa Postal 415 – 87303-100 – Campo Mourão – Paraná – Brasil
patyfernandes@hotmail.com

RESUMO

Este trabalho avalia a dinâmica da cobertura vegetal e da ocupação do solo da planície de inundação do rio Paraná (região de Porto Rico – PR) entre 1987 e 2007. Algoritmos de classificação MAXVER e ISOSEG foram utilizados em cenas Landsat-5/TM de três datas distintas: 14/03/1987, 09/10/1999 e 22/04/2007. Os resultados das classificações demonstram que houve aumento na área de solo exposto no período de 1987 até 1999 devido à ocupação antrópica. A área de solo exposto observada na imagem de abril de 2007 deve-se à inundação da planície ocorrida nos meses de janeiro e fevereiro desse ano. Os valores do índice *Kappa* e de acurácia global denotam que os métodos de classificação produziram resultados semelhantes para a área do estudo. A classificação MAXVER obteve maior eficiência na classificação geral e a ISOSEG foi mais eficiente na classificação de áreas úmidas.

Palavras-chave: Classificação MAXVER, classificação ISOSEG, planície de inundação, rio Paraná, cobertura do solo.

ABSTRACT

This study evaluates the dynamics of vegetation and land cover of the Upper Paraná River floodplain (region of Puerto Rico - PR) between 1987 and 2007. Classifications using MAXVER and ISOSEG algorithms were used in scenes Landsat-5/TM of three distinct dates: 14/03/1987, 09/10/1999 and 22/04/2007. The results show an increase in the area of bare soil between the period of 1987 to 1999 due to human occupation. The area of bare soil observed in the image of april of 2007 reflects the flood that occurred in january and february of that year. The Kappa index and global accuracy

denote that the both methods produced similar results to the study area. The MAXVER classification presented greater efficiency for the general classification, and ISOSEG has been more efficient for the classification of wetlands.

Keywords: MAXVER classification, ISOSEG classification, floodplain, Paraná River, land cover.

1. INTRODUÇÃO

O alto Rio Paraná possui seu segmento superior barrado pelas Usinas Hidrelétricas (UHEs) Jupiá e Engenheiro Sérgio Motta, e a parte inferior represado pela UHE de Itaipu. O segmento entre a UHE Engenheiro Sérgio Motta (conhecido também como Porto Primavera) e o remanso de Itaipu é o único trecho em que o rio ainda possui curso livre. Isto possibilita a observação de extensos depósitos sob a forma de ilhas, barras, planície de inundação e terraços que não foram perdidos com as barragens (SOUZA FILHO, 1993).

Com largura de até 20 km e extensão original de aproximadamente 480 km, a planície de inundação do alto rio Paraná, atualmente, resume-se a um segmento de menos de 230 km. Compreende a porção a jusante da barragem de Porto Primavera (Usina Hidrelétrica Engenheiro Sérgio Motta) até o remanso do reservatório da UHE de Itaipu. Ambiente único referente aos seus processos e estruturas, a planície e adjacências é um meio complexo dotado de uma série de ecossistemas cujos protagonistas (canais principais e secundários, vegetação, lagoas, ilhas, alagados, áreas de transição terrestre aquático, dentre outros) são essenciais ao processo sucessional e a perpetuação da biota existente (COMUNELLO, 2001).

Com a construção do reservatório de Porto Primavera houve significativas alterações no âmbito físico-biológico e socioeconômico, os quais segundo Brandt (2000) são inevitáveis e diretamente proporcionais ao tamanho do empreendimento e à dimensão do canal, que ao longo do tempo buscará novas condições de equilíbrio. Algumas dessas alterações são exemplificadas por trabalhos que relatam mudanças hidrológicas (ROCHA, 2002), na carga sedimentar suspensa (CRISPIM, 2001; SOUZA FILHO et al., 2004), na carga sedimentar de leito (MARTINS; STEVAUX,

2005), na taxa de erosão marginal (BORGES, 2004; SOUZA FILHO et al., 2001), dentre outros mencionados por Souza Filho (1999), Crispim (2001) e Stevaux e Takeda (2002). Efetuando-se comumente de montante para jusante (STEVAUX; SOUZA, 2004), muitos desses impactos ainda são desconhecidos em sua plenitude.

No caso da vegetação, a configuração atual reflete não só as alterações promovidas pela construção da barragem, mas também inclui todas aquelas promovidas pelo processo de ocupação e uso do solo da região de Porto Rico - PR. O desmatamento da vegetação remete-se ao início da colonização da área, a qual foi estimulada primeiramente pela expansão da cafeicultura na região norte do Paraná, e posteriormente por pastagens e culturas temporárias. Já no lado sul matogrossense a substituição das florestas foi acionada pela implantação de projetos agropecuários (soja e bovinocultura) (CAMPOS & SOUZA, 1997). Nas ilhas do rio Paraná próximo a área do estudo, o desmatamento intensificou-se ao final da década de 1940, decorrente da expansão da cafeicultura, a qual posteriormente foi substituída por pastagens e lavouras de subsistência. Em 1953 a cafeicultura já ocupava 7% da área insular das ilhas Mutum e Porto Rico (CORRÊA, 1998). Devido às cheias periódicas do rio Paraná, a ocupação das ilhas e da planície aluvial para o plantio do café não prosperou, porém, essas áreas continuaram a ser desmatadas nos anos seguintes para a implantação de pastagens. Em 1996 essas ilhas possuíam apenas 15% de sua vegetação original. No final da década de 1990, houve a criação de duas unidades de conservação: a Área de Proteção Ambiental (APA) Ilhas e Várzeas do rio Paraná (30/09/1997) e o Parque Estadual do Ivinhema (17/12/1998). Atualmente, a vegetação restringe-se a pequenos fragmentos de floresta nas áreas próximas ao leito do canal e no conjunto de ilhas (CAMPOS; SOUZA, 1997),

principalmente nas áreas mais altas formadas pelos diques marginais. Nas áreas mais baixas é possível encontrar grandes áreas de vegetação herbácea e de vegetação higrófila.

Embora o grande número de alterações na planície de inundação decorrente da construção da barragem e do processo de colonização, nota-se que os estudos realizados na área não abordaram elementos como a evolução da cobertura vegetal e a ocupação do solo. Com isso, uma das formas de analisar possíveis alterações na dinâmica e nos processos que ocorreram e ocorrem na planície de inundação do alto Rio Paraná é a realização de processamentos e análises de dados temporais que se tem disponível para essa região. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é avaliar a dinâmica da cobertura vegetal e da ocupação do solo da planície aluvial do rio Paraná a partir da década de 1980, baseando-se em técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto.

1.1. Área do estudo

A área do estudo compreende o segmento da planície não inundado pela barragem de Porto Primavera, desde as proximidades do rio Ivinhema até a barragem da UHE de Porto Primavera. Perfaz a parte Sudeste do Estado do Mato Grosso do Sul e próximo da porção Noroeste do Estado do Paraná (Figura 1).

Neste segmento, o rio Paraná apresenta substrato do canal formado por arenitos da Formação Caiuá e por depósitos antigos do próprio rio, parcialmente cimentados por hidróxido de ferro (SOUZA FILHO, 1993). A planície é formada por uma sucessão de depósitos originados por diferentes estilos fluviais, que deixaram um registro de cascalho e areia na base (entrelaçado seixoso), areia na parte média (entrelaçado arenoso) e extensas camadas argilosas intercaladas por lentes de areia no topo (anastomosado).

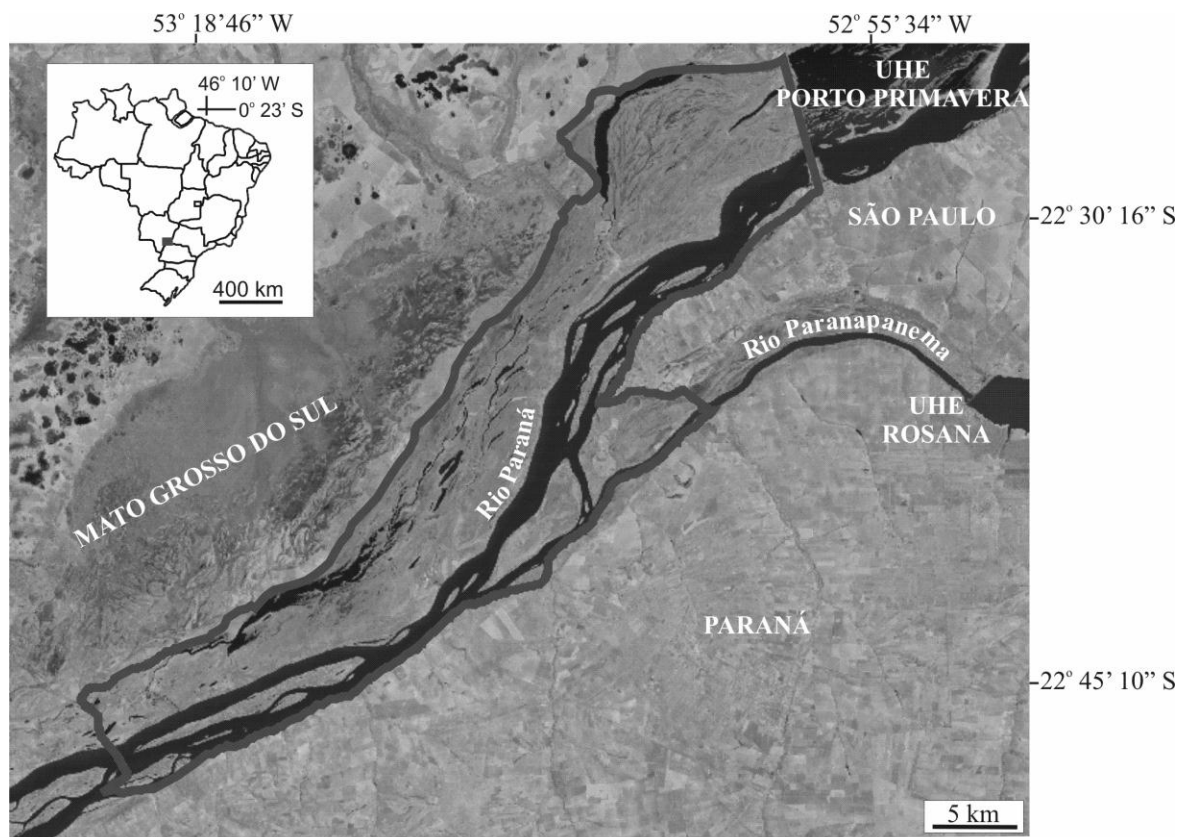


Figura 1: Localização da área do estudo. Em destaque, a planície de inundação do Alto Rio Paraná. (Cena Landsat-5/TM de 14/03/1987).

As feições superficiais ainda registram formas do antigo sistema anastomosado (SOUZA FILHO, 1994) tais como canais ativos, subativos e abandonados ladeados por diques marginais contínuos, e separados por extensas áreas de bacias de inundação, além de resquícios de leques de rompimento de dique marginal. Em meio a essas feições, podem ocorrer formas relíctas das antigas barras fluviais do sistema entrelaçado arenoso anteriormente atuante (zona de paleobarras).

A vegetação da área do estudo restringe-se aos fragmentos que restaram do processo de ocupação da área. Quando presente está fortemente condicionada às formas geomorfológicas (CORRADINI; STEVAUX; FACHINI, 2008; SOUZA FILHO, 1993). As formas arbóreas estão presentes nas áreas mais altas (diques marginais). As formas arbustivas estão nas áreas de altitude média na planície, que permanecem secas a maior parte do ano. As formas higrófilas, por sua vez, dominam as áreas úmidas e mais baixas (bacias de inundação). Como a dinâmica fluvial do rio Paraná modifica as áreas de ocorrência das formas geomorfológicas, as áreas de domínio dos tipos de cobertura vegetal também se modificam. Regionalmente, a área do estudo insere-se na zona de transição entre a Floresta Estacional Semidecidual Submontana presente no Estado do Paraná e o “cerrado” característicos do Estado do Mato Grosso do Sul e do Sudoeste do Estado de São Paulo (SOUZA, 1998; SOUZA; ROMAGNOLO; KITA, 2004). Trata-se de uma área de rica diversidade vegetal e alta Tensão Ecológica definido pelo contato entre espécies da Floresta Estacional e de cerrado diretamente influenciadas pelos períodos de inundação e estiagem (COMUNELLO, 2001).

Por fim, o clima subquente da área varia entre Tropical Úmido com um a dois meses secos (rio Paraná, baixo Ivaí e Paranapanema) e Tropical Super Úmido com subseca (baixo Piquiri, médio Ivaí e Paranapanema). Apresenta temperatura média anual superior a 20° e precipitações maiores que 1.500 mm/ano. De acordo com a classificação de Köppen, o clima local é

definido por CfA e CWA (pluvial temperado sempre úmido e com mês seco), respectivamente (SOUZA FILHO, 1993).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho utilizou imagens Landsat-5/TM de 14/03/1987, 09/10/1999 e 22/04/2007 (órbita/ponto 223/76). A primeira foi obtida da Universidade de Maryland (disponível no site: <http://glcf.umiacs.umd.edu/index.shtml>) e as duas últimas obtidas no catálogo de imagens do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Os softwares utilizados para o processamento das imagens foram SPRING 4.3.3 e ENVI 4.2. Para a análise estatística das classificações geradas, utilizou-se o Microsoft Excel.

2.1. Procedimentos metodológicos

O trabalho contou com o cumprimento das seguintes etapas: a) registro das imagens com base na imagem de 1987, a qual é ortoretificada, b) segmentação das imagens, c) classificação supervisionada e não-supervisionada das imagens de cada data, d) avaliação da acurácia das classificações pelo índice *Kappa* e acurácia global, e) elaboração e edição dos mapas temáticos.

O registro das imagens consistiu na obtenção de pontos de controle baseando-se na imagem do ano de 1987. A etapa de segmentação pautou-se na utilização do método de crescimento de regiões. Por meio do método exploratório definiu-se os limiares de similaridade e área (*pixels*) os quais correspondem aos valores 6 e 11 respectivamente. O valor da similaridade espectral corresponde a variação máxima que pode ocorrer no nível de cinza de um pixel para que este seja declarado como pertencente a um segmento de *pixels* conexos vizinho. Esse segmento é declarado como pertinente, se ao final do crescimento de região a sua área (quantidade de *pixels*) for igual ou superior ao valor de limiar de área estabelecido. Neste trabalho, o valor de limiar de área foi de 11 *pixels*, o que equivale aproximadamente a 1

hectare em imagem Landsat-5/TM. O baixo valor da similaridade espectral (6) resultou em um grande número de segmentos, os quais auxiliaram na identificação das diferentes alvos que compõem a região.

O procedimento de classificação pautou-se na utilização dos seguintes algoritmos: ISOSEG e MAXVER (Máxima Verossimilhança). O primeiro refere-se a um algoritmo de agrupamento de dados não-supervisionados aplicado sobre o conjunto de regiões, que por sua vez, foram caracterizadas por atributos estatísticos de média, matriz de covariância e também pela área na fase de extração de regiões (MOREIRA, 2003). O MAXVER é um método de classificação supervisionado que estima o vetor médio da matriz de variância e covariância de cada classe, assumindo-se que a frequência de distribuição dos *pixels* de cada classe possui probabilidade de distribuição normal

(MATHER, 1999). Nesse método, a fase de treinamento é essencial para fornecer um conjunto de *pixels* representativos de cada alvo na imagem. Os *pixels* escolhidos devem representar fielmente suas respectivas classes (MOREIRA, 2003).

Com a definição dos algoritmos de classificação e limiar de aceitação de 99,9%, definiram-se as classes temáticas para iniciar o mapeamento temático da planície de inundação (Quadro 1).

Para melhorar a acurácia do classificador MAXVER, na fase de treinamento, foram criadas subclasses de uma mesma classe para facilitar a identificação e a distinção de um mesmo alvo que possui variações espectrais. Por exemplo, a classe solo foi dividida em três subclasses (solo 1, solo 2, solo 3) para facilitar o agrupamento dos solos da área de estudo que apresentavam variações espectrais entre si.

Unidades Mapeadas	CARACTERÍSTICAS	
	Da Vegetação	Da imagem
Vegetação Arbórea	Vegetação exuberante dominada por árvores; estratificação com dois andares: arbóreo e arbustivo; altura média das árvores – 20 m; dossel fechado, com alguns indivíduos emergentes e de copas frondosas.	Caráter contínuo, uniforme; expressão de contorno irregular; dossel fechado e ondulado, com individualização das copas mais altas.
Vegetação arbustiva e gramíneas	Vegetação dominada por arbustos e arvoretas, de 1 a 5 m de altura aproximadamente; com algumas espécies com apresentação de ramificações laterais, com muitos galhos apresenta copas pouco frondosas. Vegetação rasteira ou herbácea; predomínio de gramíneas; poucas árvores ou arbustos, geralmente, muito espaçados.	Caráter contínuo, não-uniforme; expressão de contorno irregular; dossel em degraus; estrutura não-organizada. Caráter contínuo, expressão de contorno irregular, estrutura não-aparente (aspecto maciço); extrato dominante rasteiro ou herbáceo; densidade de cobertura do solo muito alta.
Ressacos e Lagoas	Área contínua por água, apresentando vegetação aquática ou não.	Área contínua que, geralmente, apresenta-se escura nas imagens pela alta absorção.
Solo Exposto	Área desprovida de qualquer revestimento vegetal.	Área desprovida de qualquer revestimento vegetal, com formatos (linear, retangular, quadrado e etc) aparentes.

Quadro 1: Tabela das geoclasses para identificação dos extratos de vegetação para planície de inundação do alto rio Paraná.

Os resultados produzidos pelos algoritmos ISOSEG e MAXVER foram editados na forma de mapas temáticos. A avaliação das classificações pautou-se na utilização do Índice *Kappa* (Eq. 1) e demais parâmetros como: desempenho da classificação para cada uma das classes (Eq. 2), medidas de erros de omissão e inclusão (Eq. 3 e 4 respectivamente) e acurácia global da classificação (Eq. 5). Dessa forma, selecionou-se aleatoriamente 50 pontos de amostra os quais foram considerados como verdade de campo. Estes pontos foram dispostos em uma matriz de erros e confrontados com a classificação obtida.

$$\hat{K} = \frac{N \sum_{i=1}^k x_{ii} - \sum_{i=1}^k (x_{i+} \cdot x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^k (x_{i+} \cdot x_{+i})} \quad (Eq. 1)$$

$$Precisão_{classe_x} = \left(\frac{x_{ii}}{x_{+i}} \right) \quad (Eq. 2)$$

$$Erros_{omissão} = 1 - \left(\frac{x_{ii}}{x_{+i}} \right) \quad (Eq. 3)$$

$$Erros_{inclusão} = 1 - \left(\frac{x_{ii}}{x_{i+}} \right) \quad (Eq. 4)$$

$$Acurácia_{global} = \left(\frac{\sum_{i=1}^k x_{ii}}{N} \right) \quad (Eq. 5)$$

em que: \hat{K} : valor estimado *Kappa*;

k : número de linhas;

x_{ii} : número de observações na linha i e coluna i ;

$\sum_{i=1}^k x_{ii}$: soma dos elementos da matriz em sua diagonal principal;

x_{i+} : soma total das observações para as linhas;

x_{+i} : soma total das observações para as colunas;

N : número de observações total.

Para auxiliar na análise das classificações, os valores do índice *Kappa* foram interpretados conforme os limiares estabelecidos por Landis e Koch (1977), conforme Tabela 1.

Tabela 1: Limiares do índice *Kappa*.

Índice <i>Kappa</i>	Concordância
0,00	Péssima
0,01 a 0,20	Ruim
0,21 a 0,40	Razoável
0,41 a 0,60	Boa
0,61 a 0,80	Muito Boa
0,81 a 1,00	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1977, p. 165).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos resultados enfoca as alterações temporais da planície de inundação e o desempenho entre os classificadores ISOSEG e MAXVER. A análise temporal demonstra significativa alteração na configuração da planície de inundação do rio Paraná, embora o intervalo de tempo seja de apenas 20 anos. Nota-se pela Figura 2 o aumento significativo de áreas com solo exposto na área do estudo. A análise da figura supracitada demonstra que no ano de 1987 a planície de inundação já apresentava ausência de vegetação, e que a área de solo exposto tornou-se maior ao longo do tempo. Comparando-se as classificações, nota-se que a maior distinção é observada quando se avalia a cena de 2007 em relação às cenas de 1987 e 1999, onde a primeira apresenta maior área de solo exposto. A vegetação arbórea localiza-se principalmente nas áreas de diques marginais, inclusive em pequenos canais. Esta configuração é semelhante para as três datas. A vegetação de áreas úmidas localiza-se em áreas próximas a ambientes que estão continuamente alagados ou são constantemente inundados. A sua disposição está diretamente ligada a dinâmica pluvial e a dinâmica fluvial do canal. Por fim, a vegetação arbustiva e de gramíneas é a predominante em toda a planície de inundação, porém, para o ano de 2007, encontra-se reduzida e disposta em alguns fragmentos.

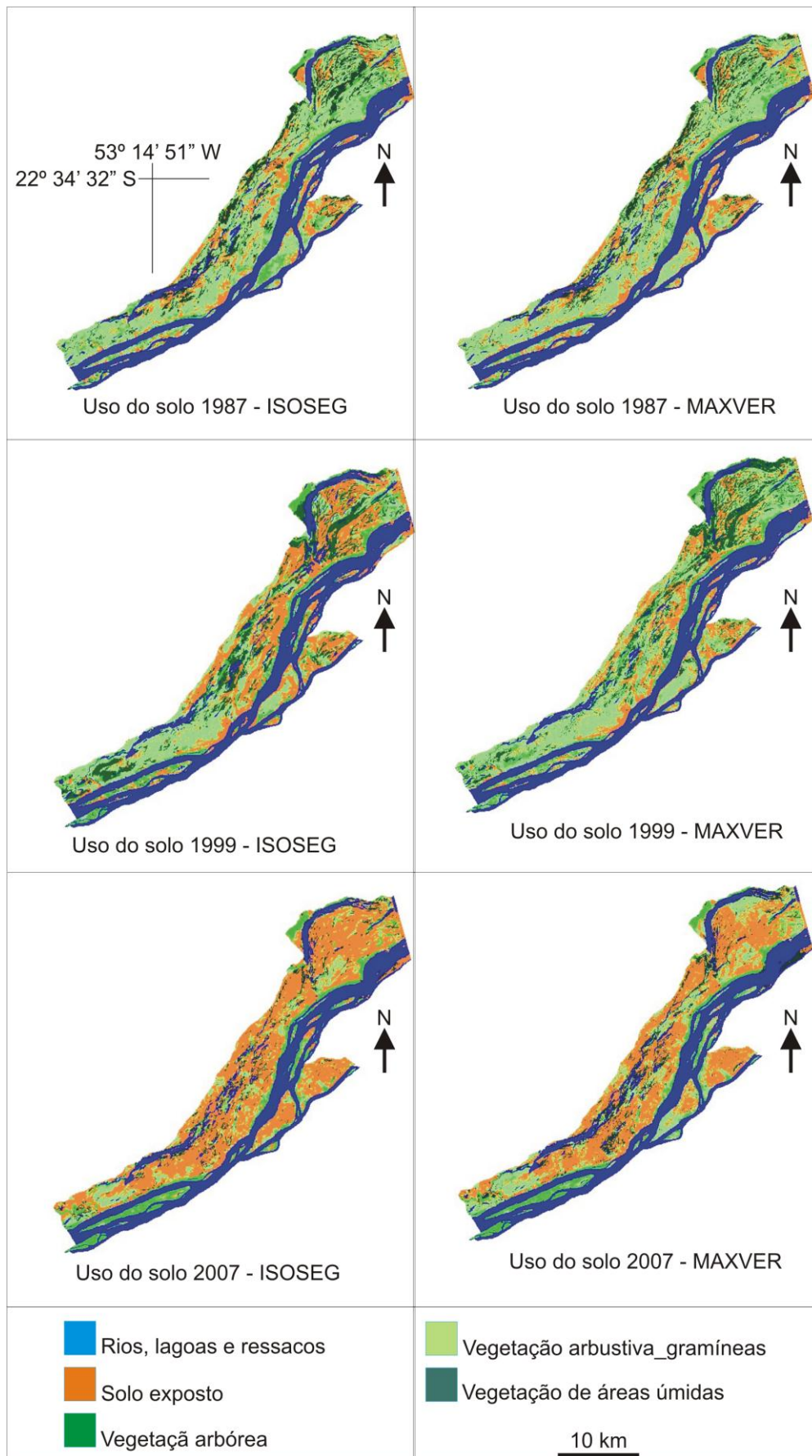


Figura 2: Resultados da classificação segundo algoritmo ISOSEG e MAXVER.

Confrontando com dados bibliográficos, tem-se que a ocupação da planície foi iniciada em meados da década de 1950 e que a retirada da vegetação aumentou até pelo menos 1996 (SOUZA FILHO; CORRÊA, 1999). Mesmo com intervalo de tempo menor, tal fato também é verificado pela figura acima. Este cenário em sua grande parte resulta do processo de colonização da área. Os elementos observados atualmente representam apenas pequenos vestígios da vegetação pretérita que sobreviveu a fatores como incêndios, coleta de espécies para comercialização, corte de madeira, construção de residências, impacto pela construção de barragens, agropecuária dentre outros (CAMPOS; SOUZA, 1997).

Fato relevante deve-se à inclusão da área do estudo na década de 1990 ao Parque Nacional do Ivinhema, o que deveria ter cessado a retirada da vegetação. Assim, a imagem de 2007 deveria expor menor área de solo exposto, fato que não ocorre. Entretanto, nesse caso, a maior área de solo exposto não representa a ocupação da planície, mas sim, a ação de uma cheia induzida pela operação do reservatório de Porto Primavera. Os meses de janeiro e fevereiro de 2007 foram marcados pela maior e mais prolongada cheia registrada desde a década de 1980, já relatada por Meurer (2004) e Couto, Hayakawa e Souza Filho (2009).

A cheia de 2007 atingiu a descarga de 18 800 m³/s na Estação Fluviométrica de Porto São José (situada próxima à foz do rio Paranapanema). Em 16 de janeiro daquele ano, o nível do rio subiu acima de 3,5 m acima do valor médio e assim permaneceu até o dia 5 de março, mantendo toda a planície abaixo d'água por um longo período. Ao que parece, a vegetação arbustiva, as gramíneas e a vegetação higrófila foram afetadas por esse evento, permanecendo inundadas por aproximadamente dois meses, o que possivelmente desencadeou a morte de grande parte da vegetação por estresse hídrico. A hipótese de que o alagamento da planície seja a causa de morte da vegetação e consequente exposição do solo é alicerçada também pelo fato de que as áreas com solo exposto

coincidem com as áreas mais baixas da planície, naturalmente, as mais afetadas com qualquer alteração de suprimento hídrico.

Dessa forma, a área de solo exposto da imagem de 2007 representa a área afetada pela cheia, e não pode ser interpretada como áreas de ocupação antrópica. A abrangência da cheia de janeiro e fevereiro pode ser visualizada na Figura 3, que mostra a composição colorida da imagem CBERS-2/CCD obtida em 23 de fevereiro de 2007. Como pode ser observado, a área inundada e a área de encharcamento são consideráveis, e possivelmente grandes parte da área de vegetação oculta a presença de solo encharcado. O teste dessa situação não foi realizado porque não era o objetivo desse trabalho.

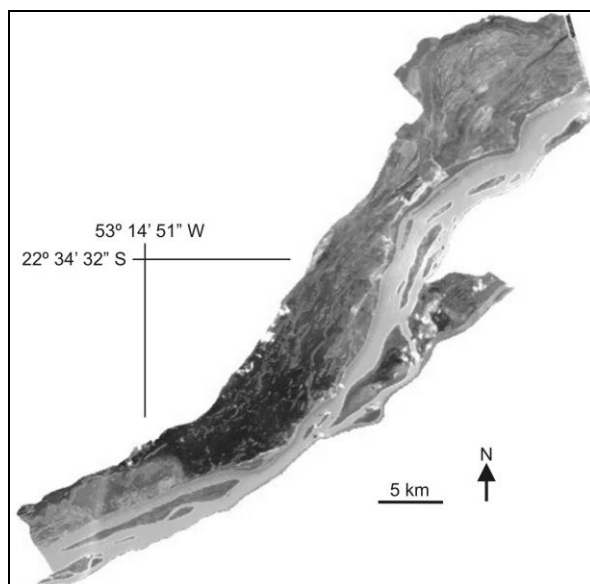


Figura 3: Planície de inundação do rio Paraná em 23/02/2007. Áreas em tons mais escuros evidenciam a saturação de água na planície decorrente da cheia induzida pela operação da barragem de Porto Primavera. Cena CBERS-2/CCD.

Com a redução das águas na planície, proporcionaram-se condições de recuperação da vegetação. Tal fato foi observado por Couto (2008), o qual verificou que em julho de 2007 houve a redução da área de solo exposto e o aumento das diversas formas de cobertura vegetal, quando comparada com cenas de meses anteriores, como as de março e abril daquele ano. Observa-se que mesmo após a construção da barragem de Porto Primavera, a

planície de inundação ainda é submetida a períodos de inundação que favorecem a manutenção de um complexo ecossistema com dinâmica adaptada e tolerante a solos inundados, ou que periodicamente sejam inundados. Isto permite a manutenção do conceito de *pulso* (JUNK; BAYLEY; SPARKS, 1989), em que a ocorrência de cheia é a principal força indutora responsável pela existência, produtividade e interação da biota maior de um sistema rio-planície. Entretanto, pela variação hidrológica anual, a morfologia da planície encontra-se em transformação, representando a transição entre ambiente terrestre e aquático, como já observado por Comunello (2001).

Quanto à avaliação dos classificadores, nota-se que ambos apresentaram desempenho semelhante, verificados tanto pelo índice *Kappa* como pela acurácia global. Pautando-se nos critérios de Landis e Koch (1977), observou-se que os algoritmos MAXVER e ISOSEG geraram classificações que variaram de ‘Muito Boa’ a ‘Excelente’. O desempenho semelhante entre os classificadores deve-se, principalmente, à definição dos limiares estabelecidos para o algoritmo ISOSEG, gerando assim segmentações precisas dos alvos, o que facilita a posterior classificação.

Tal procedimento funciona como uma seleção de inúmeras amostras de treinamento em que o usuário vai definindo a qual classe pertence. No caso do algoritmo MAXVER, a boa acurácia pode estar relacionada ao número de amostras de treinamento (neste o mínimo era de 30 amostras) para cada classe (e subclasses), minimizando assim os erros e conseqüentemente, gerando melhor representação da realidade. Os parâmetros de acurácia da classificação, de erros de inclusão, de erros de omissão, e de acurácia geral encontram-se na Tabela 2.

Os parâmetros apresentados na referida tabela indicam que:

1) para a classificação da vegetação arbórea, ambos os classificadores possuem acurácia e erros de inclusão semelhantes (excelente), mas o ISOSEG apresentou menores erros de omissão;

2) para a classificação da vegetação arbustiva, o classificador MAXVER apresentou melhores resultados, com acurácia muito boa;

3) para a classificação da vegetação de áreas úmidas, o classificador ISOSEG apresentou os melhores resultados, também com acurácia muito boa;

Tabela 2: Parâmetros estatísticos obtidos a partir das classificações ISOSEG e MAXVER (EI=erros de inclusão; E.O.= erros de omissão).

Classes	ISOSEG 1987			ISOSEG 1999			ISOSEG 2007		
	Acurácia	E.I.	E.O.	Acurácia	E.I.	E.O.	Acurácia	E.I.	E.O.
Veg_arbórea	1	0	0,25	1	0	0,66	0,47	0,5	0
Veg_arbust	0,58	0,26	0,22	0,39	0,45	0,15	0,47	0,45	0,14
Veg_área_úmida	0,43	0,5	0,16	0,87	0,1	0	0,81	0,16	0,16
Solo nu	1	0	0,33	0,85	0,1	0,43	1	0	0,24
Rios_lagoas	0,87	0,1	0,1	1	0	0	1	0	0
Kappa e Acurácia global	0,71 e 0,78			0,71 e 0,78			0,78 e 0,84		
Classes	MAXVER 1987			MAXVER 1999			MAXVER 2007		
	Acurácia	E.I.	E.O.	Acurácia	E.I.	E.O.	Acurácia	E.I.	E.O.
Veg_arbórea	1	0	0,75	0,46	0,5	0,33	1	0	0,5
Veg_arbust	0,62	0,23	0,11	0,5	0,36	0,07	0,74	0,22	0
Veg_área_úmida	0,43	0,5	0,16	0,51	0,4	0,33	1	0	0,33
Solo nu	1	0	0,33	1	0	0,43	0,77	0,11	0,04
Rios_lagoas	0,87	0,1	0,1	1	0	0,11	1	0,1	0,1
Kappa e Acurácia global	0,70 e 0,78			0,66 e 0,74			0,87 e 0,90		

4) para a classificação de solo exposto, o classificador ISOSEG apresentou melhor acurácia (excelente), mas o MAXVER obteve menor índice de erros de omissão;

5) para a classificação de corpos de água, ambos os classificadores apresentaram acurácia semelhante (excelente), mas o ISOSEG obteve menores índices de erros de inclusão e de omissão.

6) para o conjunto, o classificador MAXVER obteve maior acurácia (muito boa) e menor índice de erro de inclusão, mas o ISOSEG obteve menor índice de erro de omissão.

Os valores obtidos mostram que os resultados de ambos os classificadores são muito semelhantes, mas que o MAXVER é o mais indicado para o estudo do uso e ocupação da planície fluvial do rio Paraná, em especial para a classificação da vegetação arbustiva. Contudo, se o trabalho a ser desenvolvido tiver como alvo a cartografia de vegetação de áreas úmidas, o ISOSEG é o algoritmo a ser utilizado.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados demonstraram que no intervalo temporal de 20 anos houve o aumento significativo das áreas de solo exposto, como já observado por Souza Filho e Corrêa (1999). Embora há a inclusão da área do estudo ao Parque Nacional do Ivinhema, nota-se que a cena de 2007 possui um incremento de áreas de solo exposto. Tal fato não reflete a retirada da vegetação por fatores antrópicos, mas decorrentes da cheia prolongada que ocorreu nos primeiros três meses do ano de 2007. Esta cheia afetou profundamente a vegetação da planície de inundação, especialmente a vegetação de menor porte. À medida que a planície retornava a sua condição normal, as áreas de solo exposto predominavam na área. A partir de junho e julho de 2007, observa-se o início do processo de recuperação da vegetação. Quanto aos classificadores, nota-se que ambos possuem desempenho semelhante para a classificação de todas as datas (14/03/1987, 09/10/1999 e 22/04/2007). Contudo, o

MAXVER é um pouco mais eficiente para os estudos de uso e ocupação da planície do rio Paraná, enquanto o ISOSEG mostrou-se mais indicado para os estudos específicos de áreas úmidas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de Mestrado e Doutorado, respectivamente, a Edivando Vitor do Couto e Ericson Hideki Hayakawa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORGES, C. Z. Erosão marginal no rio Paraná após a conclusão do reservatório da Usina Hidrelétrica Engenheiro Sérgio Motta (Porto Primavera) a jusante da barragem. 2004. 50f. Dissertação (Mestrado em Geografia)-Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2004.

BRANDT, S. A. Classification of geomorphological effects downstream of dams. *Catena*, New York, v. 40. n. 4, p. 375-401, 2000.

CAMPOS, J. B.; SOUZA, M. C. Vegetação. In: VAZZOLER, A. E. A. de M; AGOSTINHO, A. A; HAHN, N. S. (Org.). **A planície de inundação do alto rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos**. Maringá: Eduem, 1997. p. 331-342.

COMUNELLO, E. **Dinâmica de inundação de áreas sazonalmente alagáveis na planície aluvial do alto Rio Paraná**. 2001. 40f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Ambientais Aquáticos Continentais)-Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2001.

CORRADINI, F. A.; STEVAUX, J. C.; FACHINI, M. P. Geomorfologia e distribuição da vegetação ripária na Ilha Mutum, Rio Paraná – PR/MS. *Geociências*, Rio Claro, v. 27, n. 3, p. 345-354, 2008.

- CORREA, G. T. **O uso do solo no Arquipélago Mutum-Porto Rico – Alto Rio Paraná, (PR/MS)**. 1998. 27f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais)-Departamento de Biologia, Universidade Estadual de Maringá, 1998.
- COUTO, E. V. Análise multitemporal da cobertura vegetal da planície aluvial do Alto rio Paraná (PR-MS). **Relatório de Iniciação Científica**, Maringá: UEM, 2008. 22p.
- COUTO, Edivando Vitor do ; HAYAKAWA, E. H. ; SOUZA FILHO, E. E. Efeitos da Cheia de 1982/1983 Sobre a Planície do Rio Paraná (PR-MS). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13., 2009, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2009. p. 1-12.
- CRISPIM, J. Q. **Alterações na hidrologia do canal após a construção do reservatório a montante: o caso da Usina Hidrelétrica Engenheiro Sérgio Motta (Represa de Porto Primavera), rio Paraná**. 2001. 22f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais), Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2001.
- JUNK, J. W.; BAYLEY, P. B.; SPARKS, R. E. The flood pulse concept in river-floodplain systems. In: DODGE, D. P. (Ed.). Proceedings of the international large rivers symposium. **Canadian Special Publications Fish and Aquatic Science**, Ottawa, n. 106, p. 110-127, 1989.
- LANDIS, J. R.; KOCK, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977.
- MARTINS, D. P.; STEVAUX, J. C. Formas de leito e transporte de carga de fundo do Alto rio Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Goiânia, ano 6, n. 2, p. 45-50, 2005.
- MATHER, P. M. **Computer processing of remotely-sensed images**. 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 1999.
- MEURER, M. Análise dos regimes de cheias dos rios Paraná e Ivinhema, na região de Porto Rico, PR. **Geografia**, Rio Claro, v. 28, n. 2, p. 185-195, 2004.
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2003.
- ROCHA, P. C. Dinâmica dos canais no sistema rio-planície fluvial do Alto rio Paraná, nas proximidades de Porto Rico (PR). 2002. 169f. Tese (Doutorado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2002.
- SOUZA FILHO, E. E. de. **Aspectos da geologia e estratigrafia dos depósitos sedimentares do rio Paraná entre Porto Primavera (MS) e Guaíra (PR)**. 1993. 214f. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar)-Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.
- SOUZA FILHO, E. E. Feições do sistema anastomosado pré atual do rio Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., 1994, Camboriú, **Anais...** Camboriú: Sociedade Brasileira de Geologia, 1994. v. 2. p. 407-409.
- SOUZA FILHO, E. E. de. Diagnóstico do meio físico e condições emergentes da planície do rio Paraná em Porto Rico. **Geonotas**, Maringá, v. 3, n. 3, p. 1-10, 1999.
- SOUZA FILHO, E. E.; CORRÊA, G. T. Comparação entre as variações de área de dois arquipélagos do rio Paraná nas proximidades de Porto Rico (PR). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 8., 1999, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 1999. v. 1. p. 159-160.
- SOUZA FILHO, E. E. de; ROCHA, P. C.; CORREA, G. T.; COMUNELLO, E. O ajuste fluvial e a erosão das margens do rio Paraná em Porto Rico (Brasil). In: V REQUI/ICQPLI, 2001, Lisboa. Actas do V REQUI/ICQPLI. Lisboa: 2001. v. 1, p. 37-40.
- SOUZA FILHO, E. E. de; ROCHA, P. C.; COMUNELLO, E.; STEVAUX, J. C. Effects of the Porto Primavera dam on physical environment of the downstream floodplain. In:

THOMAZ, S. M.; AGOSTINHO, A. A.; HAHN, S. S. (Org.). **The upper Paraná River and its floodplain: physical aspects, ecology and conservation.** Leiden: Backhuys Publishers, 2004. p. 55-76.

SOUZA, M. C. **Estrutura e composição florística da vegetação de um remanescente florestal da margem esquerda do rio Paraná (Mata do Araldo, município de Porto Rico, PR).** 1998. 172f. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal)- Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1998.

SOUZA, M. C., ROMAGNOLO, M. B.; KITA, K. K. Riparian vegetation: ecotones and plant communities. In: THOMAZ, S.M.; AGOSTINHO, A. A.; HAHN, S. S. (Org.).

The upper Paraná River and its floodplain: physical aspects, ecology and conservation. Leiden: Backhuys Publishers, 2004. p. 353-368.

STEVAUX, J. C.; SOUZA, I. A. Floodplain construction in an anastomosed river. **Quaternary International**, Amsterdam, v. 14, p. 55-66, 2004.

STEVAUX, J. C.; TAKEDA, A. M. Geomorphological processes related to density and variety of zoobenthic community of the upper Paraná River, Brazil. **Zeitschrift Fuer Geomorphologie**, Berlin-Stuttgart, v. 129, p. 143-158.

Data de recebimento: 28.08.2009

Data de aceite: 09.10.2009