

MAPEAMENTO DE ÁREAS DE EROSÃO E ACREÇÃO NO RIO TOCANTINS: TRECHO COMPREENDIDO ENTRE SUA FOZ E A LOCALIDADE DE CAMETÁ/PA¹.

Denise Marini Pereira
Universidade Federal Do Pará
de.marini@yahoo.com.br

EIXO TEMÁTICO: GEOGRAFIA FÍSICA E GEOTECNOLOGIAS

RESUMO

A intervenção direta em canais fluviais, como a construção de hidrovias e/ou execução de projetos de ocupação e conservação de áreas, exige a realização de estudos que abordem a cartografia geomorfológica em função da intensa dinâmica dos sistemas fluviais. Visando ao melhor ordenamento e planejamento territorial, os mapeamentos de processos de erosão e de acreção verificam-se importantes para avaliar as transformações geomorfológicas de ambientes fluviais. Dessa forma, este trabalho objetivou o mapeamento de tais processos no trecho compreendido entre a foz do rio Tocantins e a localidade de Cametá/PA, a partir do processamento e interpretação de imagens orbitais. Com os resultados obtidos, foi possível identificar alterações das margens fluviais.

PALAVRAS-CHAVE: Cartografia Geomorfológica; Sensoriamento Remoto; Rio Tocantins.

ABSTRACT

Staight intervention in flow flumes, such as construction of watwe ways and/or execution of projects for occupation and conservation of areas, requires studies involving geomorphic cartography according according to the river system's intense dynamics. Aiming to provide some better regional Planning, the mapping of erosion and accretion processes play important roles in order to assess geomorphic transformations in river environments. Therefore, this paper aims at mapping the mentioned processes by analyzing and interpreting satellite images from the area within the mouth of Tocantins river and the location Cametá/PA. As a result, changes on the river shores were identified.

KEY-WORDS: Geomorphic Cartography; Remote Sensing; Tocantins River.

JUSTIFICATIVA E PROBLEMÁTICA

Diante do crescente aumento nas produções agrícolas e mineradoras, capitais públicos e particulares tem se mobilizado para diversificar o sistema de transportes brasileiro. Apesar da modalidade aquaviária ainda ser a de menor utilização em âmbito nacional, grandes investimentos estão ocorrendo para que esta realidade seja alterada em função das demandas emergentes (RODRIGUES, 2009). À exemplo, têm-se a recente conclusão das obras de construção das eclusas na usina hidrelétrica de Tucuruí/PA, obra esperada há cerca de 30 anos (PORTAL BRASIL, 2010).

Para a intervenção direta em canais fluviais como a construção de hidrovias e/ou execução de projetos de ocupação e conservação de áreas, é indispensável a realização de estudos que abordem a cartografia geomorfológica em função da intensa dinâmica dos sistemas fluviais (SILVA et al., 2007).

¹Este trabalho é fruto das atividades realizadas na disciplina de Sensoriamento Remoto e Processamento Digital de Imagens oferecida pelo Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará.

A identificação de processos físicos como a perda (erosão) e ganho (acrecção) de sedimentos, são variáveis capazes de alterar os leitos dos rios e, conseqüentemente, as vias navegáveis.

Neste contexto, o presente estudo se propõe a identificar a ocorrência de áreas de erosão e de acreção no trecho compreendido entre a foz do Rio Tocantins e a localidade de Cametá/PA (Figura 1), a partir do processamento e interpretação de imagens orbitais no intuito de gerar subsídios para avaliação de transformações geomorfológicas do ambiente fluvial.

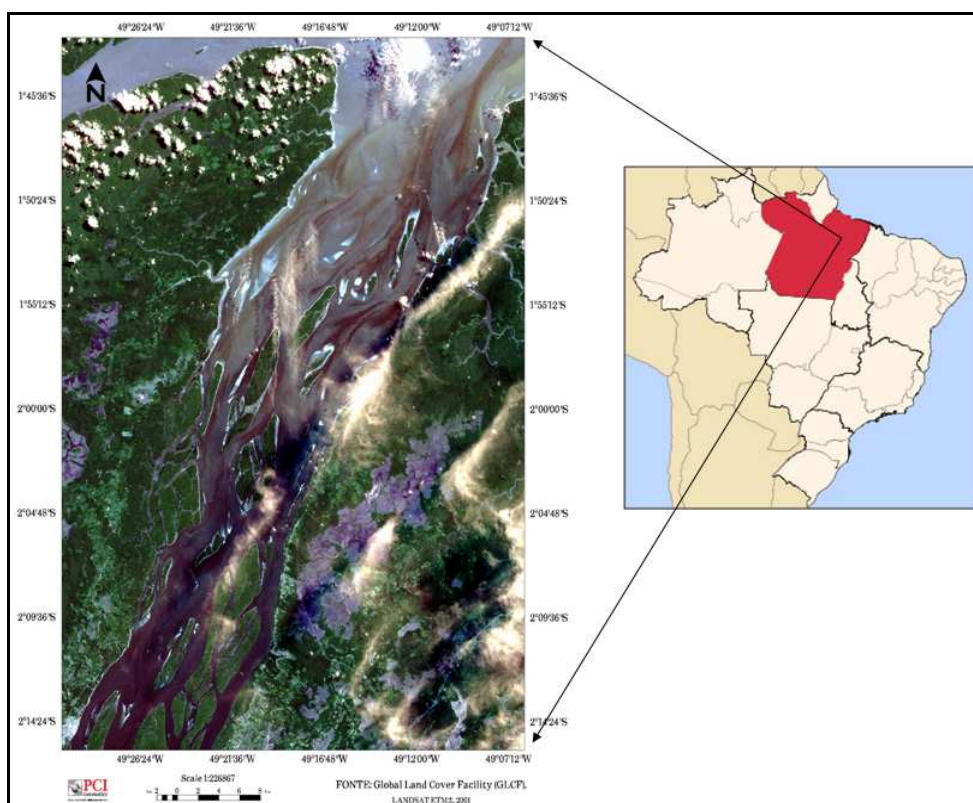


Figura 1: Localização da Área de Estudo – Trecho compreendido entre a foz do Rio Tocantins e a localidade de Cametá/PA.

Elaboração: Denise Marini Pereira, 2011.

REFERENCIAL TEÓRICO E CONCEITUAL

Historicamente, o estudo de sistemas fluviais é de grande importância na história das geociências e ciências afins pelo objeto de pesquisa ser essencial à manutenção da vida como fonte de suprimento de água para consumo e variados usos (doméstico, agrícola, energético, etc), e como caminho natural de deslocamento - navegação (SUGUIO; BIGARELLA, 1990).

Responsáveis pelos processos morfogenéticos mais ativos na esculturação do relevo, os sistemas fluviais podem refletir o clima e a geologia local, de modo a apresentar parâmetros para diagnósticos do meio físico e subsídios para o planejamento de uso e ocupação do território. Portanto, um sistema fluvial se constitui por um conjunto de elementos e relações interconectados entre si e entre seus atributos (CHRISTOFOLETTI, 1974).

No intuito de simplificar os processos atuantes em um sistema fluvial, Schumm (1977) o dividiu em três zonas, sendo estas de erosão, transporte e deposição de sedimentos. A divisão foi realizada com base nas áreas de predomínio destes processos, pois os três ocorrem de forma simultânea, sendo cada zona um sistema aberto. Por tanto, os mesmos são interdependentes, não podendo ser avaliados separadamente, já que a intensidade de atuação de erosão, transporte e deposição de sedimentos está intrinsecamente associada a fatores de natureza interna e externa do sistema.

A identificação de tais processos fluviais possibilita a compreensão de propriedades dos canais como a morfologia, o padrão de drenagem e as características dos depósitos sedimentares resultantes. Estas informações são cruciais para o planejamento de projetos de ocupação, manejo e usos potenciais, principalmente no que se refere à navegação.

Atualmente, uma das formas mais efetivas de se realizar mapeamentos e mensurações de fenômenos geomorfológicos e ambientais é através do uso de dados obtidos por sensores remotos e de ambientes computacionais de sistemas de informações geográficas (SIG).

Conforme Florenzano (p. 25, 2005):

Os avanços obtidos com os novos sensores remotos, produzindo dados com melhores resoluções espacial, espectral, radiométrica e temporal, permitem mapear, medir e estudar uma variedade de fenômenos geomorfológicos e ambientais, (...), com uma rapidez e precisão nunca obtidas anteriormente.

O uso de ambientes computacionais de SIG facilita a integração de dados de sensores remotos com aqueles provenientes de outras fontes, bem como a análise espacial e a modelagem dos ambientes permitindo realizar a projeção de cenários futuros.

Identificar as condições geomorfológicas dos ambientes fluviais por meio do uso de Sensoriamento Remoto pode corroborar para a compreensão dos processos físicos de erosão e sedimentação associados à dinâmica dos sistemas fluviais. Por tanto, estas tecnologias são fundamentais para se conhecer as potencialidades e os limites naturais de diversos ambientes do território, de modo a servir como um instrumento imprescindível na gestão do poder público (municipal, estadual e federal).

Área de Estudo

O rio Tocantins tem suas nascentes localizadas no planalto central na serra do Paraná, a cerca de 60 km ao norte de Brasília, e sua foz situa-se próxima ao estuário do rio Amazonas.

Por ser um rio de planície com declividade de 2 cm/km e com ligação natural de todas as áreas centrais com o norte do país, este rio se apresenta como uma potencial via de navegação, apesar da grande quantidade de ilhas e das periódicas movimentações de bancos de areia.

Sua extensão é de 1.352 km e juntamente com o rio Araguaia constitui uma bacia hidrográfica de 407.750 km² (TRISCIUZZI NETO, 2001).

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho consiste em identificar processos erosivos e de acreção no trecho compreendido entre a foz do rio Tocantins e a localidade de Cametá/PA contemplando a realização de correção atmosférica, correção geométrica, aplicação de realce espectral, classificação das imagens, mensuração da exatidão das classificações, quantificação e interpretação das classificações.

MATERIAIS

Os materiais utilizados para o desenvolvimento deste trabalho foram dados de sensores remotos passivos e ativos correspondentes, respectivamente, à duas imagens orbitais de anos distintos, sendo uma ortorretificada e outra não, e dados de elevação da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) de resolução espacial de 90 metros.

A imagem ortorretificada, obtida junto ao site do *Global Land Cover Facility* (GLCF), foi tomada pelo sensor ETM+ do satélite LANDSAT 7 em 09/07/2001. Das oito bandas espectrais que possui, utilizou-se apenas seis (1,2,3,4,5 e 7) neste trabalho. A imagem não ortorretificada foi obtida no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Esta foi tomada em 26/07/2010 pelo sensor TM do satélite LANDSAT 5. De suas sete bandas espectrais, seis (1,2,3,4,5 e 7) foram utilizadas. Ambas as imagens são relativas à órbita 224, ponto 61 e possuem resolução espacial de 30 metros.

Para a interpretação do processamento das imagens, utilizou-se bibliografias referentes ao rio Tocantins e dados de posicionamento de marcos testemunho padrão DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação), obtido junto ao SSN-04 (Serviço de Sinalização Náutica do Norte) da Marinha do Brasil.

O processamento das imagens foi realizado nos softwares licenciados PCI *Geomatics* V10.3, Global Mapper V.11 e ArcMap V.10 no Laboratório de Análise de Imagens do Trópico Úmido (LAIT) do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará (UFPA).

MÉTODOS

Inicialmente, as imagens tiveram o efeito atmosférico corrigido pelo algoritmo ATCOR2 do software PCI *Geomatics* V10.3 por sua alta capacidade de refinamento atmosférico ao utilizar variáveis específicas como dados de calibração do sensor do satélite da imagem, dado médio de elevação da área desejada na imagem e ângulo zenital solar.

Em seguida, foi executado o processo de correção geométrica pelo aplicativo *OrthoEngenie* do PCI V10.3 da imagem LANDSAT 5 de 2010 com o auxílio dos dados SRTM, que foram previamente reamostrados para 30 metros no software Global Mapper V.11, e pela coleta de 20 pontos de controle da imagem LANDSAT 7 referente à 2001.

A verificação de erro no procedimento de ortorretificação foi realizada utilizando dados de Marcos Testemunho Padrão DHN obtidos junto à Divisão de Hidrografia do Serviço de Sinalização

Náutica (SSN-4) da Marinha do Brasil (MB) em Belém (PA), devido a ausência de pontos de Referência de Nível do IBGE na área de estudo.

Anterior a etapa de classificação, foram aplicadas nas duas imagens três técnicas de realce para verificar quais apresentariam melhores resultados. Os realces aplicados foram realce ou esticamento de contraste, transformação por principal componente (PCA) e transformação por principal componente seletiva (SPCA).

Posteriormente, realizou-se a classificação supervisionada com agrupamento “pixel-a-pixel” utilizando o algoritmo de máxima verossimilhança pelo principal objetivo deste trabalho ser a identificação de áreas de erosão e de acreção no canal principal do rio Tocantins (trecho compreendido entre sua foz e Cametá), tendo como referência a vegetação. Sendo assim, a escolha do tipo de classificação e do algoritmo se justifica por serem poucas as classes a serem mapeadas.

As classes mapeadas foram vegetação, água e barra arenosa. Vale ressaltar que a classe vegetação engloba as ilhas vegetadas e a vegetação do continente, a classe água abrange as águas com e sem sedimentos em suspensão e a classe barra refere-se às barras arenosas e áreas que sofreram erosão, podendo estas ser fluvial ou pluvial. Não houve discriminação de outros alvos dentro do continente pelo trabalho ser focado em erosão e acreção.

Foram realizadas três classificações supervisionadas para cada imagem: uma com as bandas realçadas por contraste de histograma resultantes do cálculo OIF - 3(R) 4(G) 7(B)); outra com a composição RGB nas três principais componentes - 1^aPC (R) 2^a PC (G) 3^a (B); e outra com as primeiras principais componentes seletivas e a banda 4 realçada linearmente – 1^aSPC 123(R) B4 REALCE LINEAR (G) 1^aSPC 5 e 7 (B). No entanto apenas uma classificação de cada imagem foi utilizada para a verificação das áreas de erosão e de acreção. A escolha foi feita de acordo com a melhor visualização e análise da matriz de erro de confusão que é gerada a partir da coleta e verificação de pontos na imagem correspondentes aos pixels já classificados.

Para a verificação das áreas de ocorrência de erosão e acreção calculou-se a área total da imagem em Km² e realizou-se a operação de subtração das informações da imagem de 2010 pela imagem de 2001 através do algoritmo ARI do *PCI Geomatics*. Em seguida, no software ARC MAP (versão 10), foi realizado o cálculo percentual das classes para enfim verificar os resultados correspondentes às áreas de erosão e acreção.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao realizar o procedimento de verificação do erro médio quadrático total (RMS) do processo de ortorretificação a partir dos dados de Marco Testemunho Padrão DHN chegou-se ao erro de 0.69 metros, sendo em X e Y, ambos, 0.49 metros.

Na etapa de aplicação de realce os resultados de melhor visualização foram diferentes nas duas imagens devido a grande quantidade de nuvens existentes na imagem de 2001. Esta apresentou melhores resultados com a aplicação do realce por contraste linear, pois os realces que utilizam

principais componentes, por serem técnicas estatísticas, acabam por confundir os valores espectrais das nuvens com os valores de outra classe. Vale ressaltar que a escolha da composição colorida da imagem de 2001 teve como base o cálculo do OIF (*Optimum Index Factor*- índice estatístico que informa a composição colorida de menor repetição de dados), que coincidentemente resultou nas três bandas (3, 4 e 7) que melhor distinguem água de vegetação.

Já a imagem de 2010, apresentou melhores resultados de realce pela técnica de transformação por principal componente seletiva (SPCA) com a composição colorida da 1ª PC das bandas 1, 2 e 3 no canal R, a banda 4 que sofreu realce linear no canal G e a 1ª PC das bandas 5 e 7 no canal B.

A classificação supervisionada gerada pelo agrupamento “pixel-a-pixel” utilizando o algoritmo de máxima verossimilhança e a partir das técnicas de realce já mencionadas, resultou nos produtos apresentados pelas figuras 2 e 3:

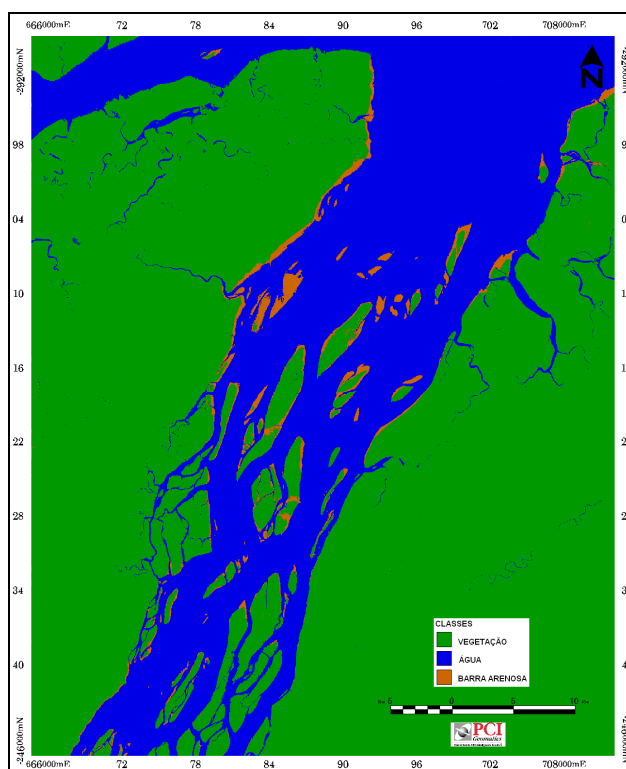


Figura 2 – Classificação supervisionada da Imagem de 2001.
Elaboração: Denise Marini Pereira, 2011.

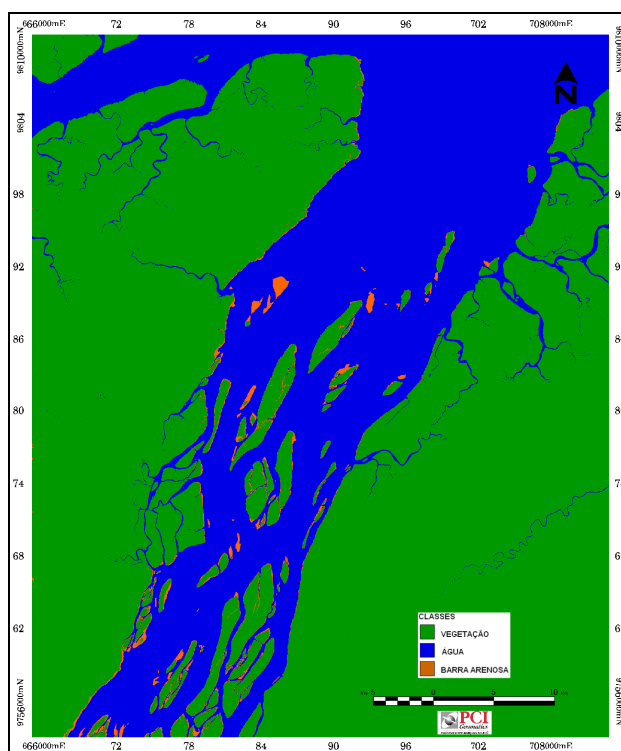


Figura 3 – Classificação supervisionada da Imagem de 2010.
Elaboração: Denise Marini Pereira, 2011.

Ao considerar que cada método objetiva simplificar a complexidade da imagem, é possível afirmar que qualquer tipo de classificação esta sujeita a erros. Por tanto, a qualidade de um produto classificado deve ser avaliada principalmente pelo desempenho do algoritmo de sua classificação através da matriz de erro de confusão (Tabela 1). Esta apresenta os pixels que foram corretamente classificados, os erros de omissão e comissão que irão indicar a acurácia do produtor e do usuário e o índice Kappa, uma medida de concordância que apresenta o quanto os dados gerados pela classificação computacional se afastam do resultado esperado, indicando assim a legitimidade das interpretações.

Tabela 1 – Matriz de Erro (Confusão) elaborada para comparação dos resultados da classificação com os dados de referência

MAPEAMENTO DE ÁREAS DE EROÇÃO E ACREÇÃO NO RIO TOCANTINS: TRECHO COMPREENDIDO ENTRE SUA FOZ E A LOCALIDADE DE CAMETÁ/PA¹.

Classe	Vegetação	Água	Barra	Soma da Linha	Erro de Comissão (%)	Acurácia do Usuário (%)	Kappa Por Classe
OIF (2001)							
Vegetação	201	0	1	202	0,5	99	0,98
Água	1	90	2	93	3,2	98,77	0,95
Barra	0	0	5	5	0	100	1
Soma da Coluna	202	90	8	300			
Erro de Omissão (%)	0,5	0	37,5				
Acurácia do Produtor (%)	100	99,5	82,6				
Índice Kappa Geral	0,97						
Acurácia Geral (%)	98,66						
OIF (2010)							
Vegetação	204	2	2	208	0	98,07	0,93
Água	0	90	1	91	1,1	99,90	0,99
Barra	0	0	1	1	0	100	1
Soma da Coluna	204	92	4	300			
Erro de Omissão (%)	0	2,174	75				
Acurácia do Produtor (%)	100	97,82	25				
Índice Kappa Geral	0,98						
Acurácia Geral (%)	98,33						
PCA (2010)							
Vegetação	209	3	2	214	2,3	97,66	0,92
Água	1	90	2	93	3,8	99,36	0,95
Barra	0	0	3	3	0	100	1
Soma da Coluna	210	93	7	300			
Erro de Omissão (%)	0,5	3,6	57,14				
Acurácia do Produtor (%)	99,52	98,38	42,85				
Índice Kappa Geral	0,93						
Acurácia Geral (%)	97,33						
SPCA (2010)							
Vegetação	207	0	0	207	0	100	1
Água	0	90	0	90	0	100	1
Barra	0	0	3	3	0	100	1
Soma da Coluna	207	90	3	300			
Erro de Omissão (%)	0	0	0				
Acurácia do Produtor (%)	100	100	100	100			
Índice Kappa Geral	1						
Acurácia Geral (%)	100						

Por tanto, ao avaliar visual e estatisticamente as classificações pode-se constatar uma boa acurácia na distinção das classes a partir dos produtos gerados pelo realce linear (OIF) com a imagem de 2001 e SPCA com a imagem de 2010 verificando que o índice Kappa geral e a acurácia geral do produto OIF de 2001 ($K= 0.97$; Acurácia= 98.66%) e do produto SPCA de 2010 ($K= 1$; Acurácia= 100%) são maiores que os produtos OIF ($K= 0.96$; Acurácia= 98.33%) e PCA ($K= 0.93$; Acurácia= 97.33) de 2010.

A quantificação das áreas de erosão e acreção foi executada a partir da operação de subtração das informações dos dois produtos classificados pelo algoritmo ARI do PCI *Geomatics*, sendo possível identificar: as barras arenosas (praias e bancos de areia) de 2001 que foram tomadas pela classe água em 2010; a substituição da classe vegetação pela classe barra arenosa, correspondendo às erosões; e a classe barra substituída pela vegetação em 2010, sendo por tanto a representação da consolidação da vegetação.

Sabendo-se que a área total das imagens classificadas correspondem a cerca de 3.000 km² foi possível concluir que de 2001 a 2010 pelas classificações realizadas é possível identificar 10.5 km² de áreas erodidas e 4.2 Km² de áreas que tiveram a vegetação consolidada. Tal fato não implicou, necessariamente, num acréscimo de barras arenosas na forma do surgimento de ilhas ou de bancos de areia, pois as mesmas não mudaram de tamanho significativamente.

Além disso, numa análise comparativa entre duas imagens é importante considerar o período do registro das cenas, pois estes podem apresentar diferenças em relação ao regime do rio, época do ano, influência de nuvens, etc. No caso das imagens em questão, ambas foram tomadas no mês de

julho, sendo a de 2001 do dia 09/07 e a de 2010 de 26/07. Este mês, de acordo com o ábaco de redução de sondagens do Rio Tocantins² e Trisciuzzi Neto (2001), apresenta a condição de vazante do rio. Por tanto, se julgar pelo regime das águas entre a tomada das cenas em questão o fato da classificação da imagem de 2001 apresentar maior quantidade de barras arenosas que a imagem de 2010, pode ser entendido como resultante das diferenças fluviométricas da época de vazão do rio. Ou seja, as regiões arenosas observadas na cena de 2001 podem ter sido apenas submersas pelas águas quando observadas na cena de 2010, não sendo possível afirmar somente com essas duas imagens que houve significativa alteração geomorfológica neste trecho do Rio Tocantins.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho mostraram ser possível a identificação e mensuração de alterações das margens fluviais, atinentes à região de estudo, a partir do uso de imagens orbitais em ambientes computacionais dotados de sistemas de informação geográfica. No entanto, para o mapeamento de transformações geomorfológicas observa-se a necessidade de uma avaliação sobre um número maior de imagens tomadas em diferentes períodos e, se possível, de maior resolução espacial; além de considerar as múltiplas variáveis condicionantes à geomorfologia do ambiente fluvial e realizar idas a campo para averiguar os resultados apresentados pelos os algoritmos de classificação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1974.

DHN - **Diretoria de Hidrografia e Navegação. Croquis de Navegação: Rio Tocantins** – Da foz a Tucuruí. Levantamento efetuado pela Marinha do Brasil em 1985.

FLORENZANO, Teresa Galloti. **Geotecnologias na geografia aplicada: difusão e acesso**. Revista do Departamento de Geografia (USP), São Paulo, v. 17, p. 24-29, 2005. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/geu/Teresa_Gallotti_Florenzano.pdf>. Acessado em: fevereiro de 2012.

GLCF - **Global Land Cover Facility. Earth Science Data Interface**. 2011. Disponível em: <<http://www.glc.f.umd.edu/index.shtml>>. Acesso em: abril de 2011.

INPE - **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Catálogo de Imagens CBERS**. 2011. Disponível em: <<http://www.inpe.br/>>. Acessado em: abril de 2011.

JENSEN, John R. **Introductory digital image processing: A remote sensing perspective**. New Jersey: Ed. Prentice Hall, p. 318, 1996.

JENSEN, John R. **Sensoriamento remoto do ambiente – Uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Editora Parênteses, 2009.

²Dado contido no documento “Croqui de Navegação do Rio Tocantins”, base cartográfica datada de 1985 obtida junto ao Serviço de Sinalização Náutica do Norte.

RODRIGUES, João Augusto. **Estradas D'Água – As Hidrovias do Brasil**. Rio de Janeiro: Action Editora, 2009.

SILVA, Agnaldo; ASSINE, Mario Luis; ZANI, Hiran; SOUZA FILHO, Edvard E.; ARAÚJO, Bruno César. **Compartimentação geomorfológica do rio Paraguai na borda norte do Pantanal Mato-Grossense, Região de Cáceres – MT**. Revista Brasileira de Cartografia, v. 59/01, p. 73-81, 2007.

SUGUIO, K; BIGARELLA J.J. **Ambientes Fluviais**. Florianópolis: Editora da Universidade Federal do Paraná, 1990.

SCHUMM, S. A. **The fluvial system**. New York: John Willey & Sons, 1977.

TRISCIUZZI NETO, Leonardo. **Rios da Amazônia – Coletânea de Dados e Pequeno Roteiro**. Niterói, RJ – Diretoria de Hidrografia e Navegação, 3^a ed., 2001.

PORTAL BRASIL. **Tucuruí: Lula e Dilma Inauguram eclusas da hidrelétrica no Pará. 2010**. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/noticias/arquivos/2010/11/30/tucurui-lula-e-dilma-inauguram-eclusas-da-hidreletrica-no-para>>. Acessado em: abril de 2011.