

DETECÇÃO REMOTA DOS POTENCIAIS EFEITOS DE SECAS INTENSAS SOBRE A SAZONALIDADE DA ÁGUA NO COMPLEXO FLUVIO-LACUSTRE DO CURUAÍ, RIO AMAZONAS, PARÁ, BRASIL

REMOTE DETECTION OF POTENTIAL EFFECTS OF INTENSE DROUGHTS ON THE SEASONALITY OF WATER IN THE FLUVIAL-LACUSTRINE COMPLEX OF CURUAÍ, AMAZON RIVER, PARÁ, BRAZIL

DETECCIÓN REMOTA DE POSIBLES EFECTOS SECOS SOBRE LA ESTACIONALIDAD DEL AGUA EN EL COMPLEJO DE FLUVIO-LACUSTRE CURUAÍ, RÍO AMAZONAS, PARÁ, BRASIL

RESUMO




Introdução: estudos revelam que a região amazônica é vulnerável a extremos climáticos como secas, nesse contexto, o sensoriamento remoto juntamente com outras ferramentas de análise espacial, têm sido largamente utilizados para o monitoramento de atividades ambientais, incluindo este fenômeno natural, e melhorando continuamente medições espaciais e temporais. **Objetivo:** monitorar os efeitos de uma seca extrema sobre a sazonalidade hídrica do sistema lacustre do Curuaí, rio Amazonas, estado do Pará, Brasil; através da utilização de geotecnologias como sensoriamento remoto e SIG. **Métodos:** o presente trabalho fez uso de uma série temporal de imagens Landsat-5, período de vazão e seca do ano de 2010; com aplicação do NDWI - Índice de Diferença Normalizada da Água, e posterior vetorização do contorno deste corpo hídrico, para determinação da porcentagem de redução da área de lâmina d'água nos meses mais significativos, e compilação de informações associadas. **Resultados:** O NDWI sobre a série temporal mostrou resultados satisfatórios no realce da superfície aquática, permitindo realizar o zoneamento destas áreas e comparação de sua porcentagem redutiva, que mostrou efeitos potencialmente prejudiciais, com redução de 1.524 km² para 338, 851 km². **Conclusão:** O índice aplicado obteve resultados satisfatórios, demonstrando quanto estas geotecnologias, e suas técnicas de extração de informações, podem ser eficazes no monitoramento de fenômenos naturais potencialmente prejudiciais sobre a região de estudo; com isso, através de estudos mais avançados, podem ser eficazes para o planejamento de estratégias de mitigação desses impactos sobre os diversos ecossistemas da Amazônia.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Extremo climático. Lago de várzea.

ABSTRACT

Introduction: studies reveal that Amazon region is vulnerable to climatic extremes such as droughts, in this context, remote sensing, together with other spatial analysis tools, has been widely used for monitoring environmental activities, including this natural phenomenon, and continuously improving measurements, spatial and temporally. **Objective:** to monitor the effects of an extreme drought on the hydric seasonality of the Curuaí lake system, Amazon River, Pará state, Brazil; through the use of geotechnologies such as remote sensing and GIS. **Methods:** the present work made use of a Landsat-5 time series, flow and drought period in 2010; with application of NDWI - Normalized Water Difference Index, and subsequent vectorization of the contour of this water body, to determine the percentage of reduction in the water depth area in the most significant months, and compilation of associated information. **Results:** The NDWI on the time series showed satisfactory results in enhancing the aquatic surface, allowing the zoning of these areas and comparing their reductive percentage, which showed potentially harmful effects, with a reduction from 1,524 km² to 338, 851 km². **Conclusion:** The applied index obtained satisfactory results, showing how these geotechnologies, and their information extraction techniques, can be effective in monitoring potentially harmful natural phenomena over the study region; therefore, through more advanced studies, they can be effective for planning strategies to mitigate these impacts on the diverse ecosystems of the Amazon.

Keywords: Remote sensing. Extreme climate. Floodplain lake.

 Joelson Leal de Lima^a
 Keid Nolan Silva Sousa^a
 Paulo Roberto Brasil Santos^a

^a Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), Santarém, PA, Brasil

DOI: 10.12957/geouerj.2021.42362

Correspondência:
marcopandrade@yahoo.com.br

Recebido em: 30 abr. 2019
Aceito em: 8 jan. 2021



RESUMEN

Introducción: los estudios revelan que la región amazónica es vulnerable a extremos climáticos como las sequías, en este contexto la teledetección, junto con otras herramientas de análisis espacial, ha sido ampliamente utilizada para monitorear las actividades ambientales, incluido este fenómeno natural, y mejorar continuamente las mediciones. espacial y temporal. **Objetivo:** monitorear los efectos de una sequía extrema en la estacionalidad hídrica del sistema lacustre de Curuaí, río Amazonas, estado de Pará, Brasil; mediante el uso de geotecnologías como la teledetección y los SIG. **Métodos:** el presente trabajo utilizó una serie de tiempo Landsat-5, período de flujo y sequía en 2010; con aplicación de NDWI - Índice de Diferencia de Agua Normalizada, y posterior vectorización del contorno de este cuerpo de agua, para determinar el porcentaje de reducción en el área de profundidad del agua en los meses más significativos, y recopilación de información asociada. **Resultados:** El NDWI de la serie temporal mostró resultados satisfactorios en el mejoramiento de la superficie acuática, permitiendo la zonificación de estas áreas y comparando su porcentaje reductor, que mostró efectos potencialmente dañinos, con una reducción de 1.524 km² a 338.851 km². **Conclusión:** El índice aplicado obtuvo resultados satisfactorios, mostrando cómo estas geotecnologías, y sus técnicas de extracción de información, pueden ser efectivas en el monitoreo de fenómenos naturales potencialmente dañinos en la región de estudio; por lo tanto, a través de estudios más avanzados, pueden ser efectivos para planificar estrategias que mitiguen estos impactos en los diversos ecosistemas de la Amazonía.

Palabras-clave: Teledetección. Clima extremo. Lago de tierras bajas.



INTRODUÇÃO

Diversos estudos têm sugerido que o aquecimento global tem impacto significativo na intensidade e variabilidade do ciclo hidrológico (MAYTÍN et al., 1995). Mudanças na circulação atmosférica, como evidenciado por fluxos de umidade e energia na superfície da terra resultam em efeitos imediatos sobre bacias hidrográficas (NIJSSEN et al., 2001).

Nos últimos anos, a bacia amazônica tem experimentado uma série de extremos eventos climáticos, com fortes impactos ecológicos e sociais sobre a população local (TOMACELLA et al., 2010). Os efeitos negativos de mudanças climáticas sobre zonas úmidas na Amazônia afetam principalmente a biota aquática, e envolve não apenas a perda de biodiversidade, mais também de fontes de proteínas para a maioria da população humana desta região (BARROS e ALBERNAZ, 2014).

Sabemos que fortes variações interanuais de precipitação sobre a bacia amazônica influem direto no pulso de inundação (MARENGO, 2005; TOMASELLA et al., 2013). Segundo Junk (1997) e França et al. (2005), o conceito de pulso de inundação se baseia nas características hidrológicas da bacia de drenagem e sua planície de inundação, que recebem periodicamente o aporte lateral das águas de rios, lagos, precipitação direta e lençóis subterrâneos.

Decorrentes implicações de irregularidades do padrão de inundação da bacia, e da duração deste processo, são de grande importância ecológica, sendo de sua responsabilidade as modificações anuais do ambiente, determinando distintas fases terrestres e aquáticas (JUNK 1997; FRANÇA et al. 2005). Como consequência das fortes variações de precipitação, a bacia amazônica é afetada por intensos períodos de cheia dos rios ou seca extrema. Sendo a maioria deles de secas, que podem ser caracterizados como fortes estiagens, e em geral associados com o fenômeno natural El Niño, evento decorrente devido a forte ligação entre a Amazônia e a variabilidade de temperatura na superfície oceânica do Pacífico tropical (MARENGO, 2005; TOMASELLA et al., 2013).

Severas estiagens em florestas tropicais úmidas provocam elevadas emissões de carbono, resultante do aumento da flamabilidade na floresta e mortalidade de árvores, além da supressão do crescimento vegetal (NEPSTAD et al., 2004; PHILLIPS et al., 2009; TOMASELLA et al., 2013).

Em ecossistema de várzea, as paisagens de lagos - ambientes cruciais para a reprodução e sobrevivência de um grande número de espécies de peixes (JUNK et al., 2007; HURD et al., 2016) - secas extremas como as de 1996 e 2005 foram mencionadas por populações locais como grandes responsáveis pela mortalidade de inúmeras espécies aquáticas, morte associada a hipóxia. Além disso, a mobilidade da população que vive nessas áreas é inteiramente dependente da conexão entre o rio principal e lagos de várzea, através dos canais de ligação, que são drenados durante as secas severas, causando impactos na economia local, educação e

suprimento medicinal (TOMACELLA et al., 2010). A situação não se jugou diferente na grande seca de 2010, considerada mais extrema que a do ano de 2005 (MARENGO et al., 2011). Mesmo na região de Curuaí, próxima às cidades de Juruti e Óbidos, no Pará, ambiente integrante desse complexo de áreas alagáveis do Amazonas (BOURGOIN et al., 2007).

Estudos têm revelado que a região amazônica é muito vulnerável a extremos climáticos; contudo, existem poucos trabalhos sobre os possíveis efeitos de mudanças climáticas em ambientes amazônicos, e a maioria deles são direcionados a ambientes terrestres (MALHI et al., 2009; BARROS e ALBERNAZ, 2014).

Um dos princípios básicos para a elaboração e implementação de estratégias adequadas de mitigação dos efeitos extremos do clima na Amazônia é o conhecimento aprofundado dos mesmos sobre a ecologia da paisagem, biodiversidade e população humana local, num contexto geográfico de escala espacial local para global (VOROSMARTY et al., 2010; DOMISCH et al., 2015).

Nesse contexto, o sensoriamento remoto, juntamente com outras ferramentas de análise espacial, como Sistema de Informação Geográfica-SIG, ou Modelagem de simulações de ocorrência (TURNER, 2005; NEWTON et al., 2009), têm sido largamente utilizados com o passar das décadas para o monitoramento de muitas atividades ambientais, incluindo secas, melhorando continuamente medições espaciais e temporais. Dessa forma, o monitoramento de secas é extensivamente estudado através de diferentes tipos de sensores de satélites, como MODIS, AMSR-E, AVHRR, TM e ETM+ Landsat (FAOUR et al., 2015).

Através do sensoriamento remoto é possível identificar alterações no uso e cobertura do solo e a priorização de áreas para a conservação nos níveis global, regional e local, direcionando investimentos (PAESE et al., 2012). Assim, Imagens de satélite, fotografias aéreas (fotogrametria) e mapas temáticos podem ser utilizados em conjunto para auxiliar o planejamento de trabalhos de campo, que objetivem avaliar, gerenciar e mitigar as consequências de fenômenos de secas intensas em zonas úmidas da Amazônia (ASNER e ALENCAR, 2010).

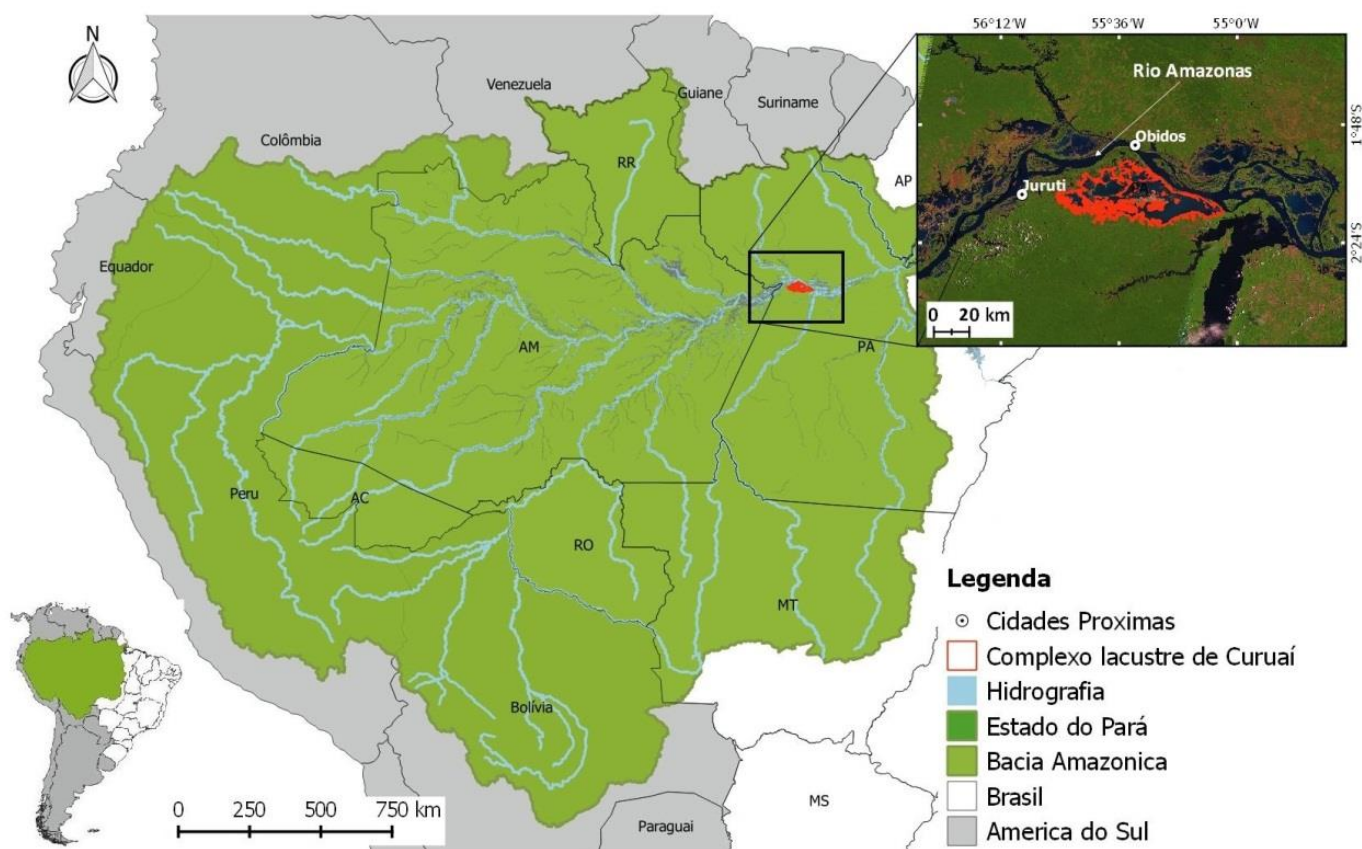
Como isso, o presente estudo propôs utilizar a geotecnologia de sensoriamento remoto, através de imagens Landsat, para realizar remotamente o monitoramento da sazonalidade das águas no complexo fluvio-lacustre do Curuaí, rio Amazonas, estado do Pará, Brasil. Aplicando o índice da diferença normalizada da água (NDWI), além do levantamento bibliográfico de ocorrências de problemas sociais e ambientais relacionados, e decorrentes da forte estiagem em paisagens aquáticas de várzea, ocorridos durante a seca extrema de 2010.

MATERIAL E MÉTODO

Área de Estudo

O lago Grande de Curuai é banhado ao norte pelo rio Amazonas, está localizado entre as coordenadas $1^{\circ} 50' S$ $56^{\circ} 00' W$; $1^{\circ} 50' S$ $55^{\circ} 02' W$ e $2^{\circ} 19' S$ $55^{\circ} 03' W$; $2^{\circ} 19' S$ $56^{\circ} 00' W$, margem oposta à cidade de Óbidos, PA (Figura 1). Possui uma área média de inundação que varia de 1.340 a 2.000 km² (BARBOSA, 2005). Como dito, a área de estudo faz parte do complexo de superfícies alagáveis de várzea, apresentando solos férteis em função do sedimento trazido e depositado pelo pulso de inundação da bacia amazônica (BARLETTA et al., 2010), pastos naturais, além de vegetação de florestas inundáveis e lagos com macrófitas que fornecem alimento e abrigo para a vida aquática e terrestre (RIBEIRO, 2007). Sua topografia plana apresenta aproximadamente mais de 30 lagos interconectados e canais naturais que os ligam ao rio (FERNANDES, 1997; BOURGOIN et al., 2007).

Figura 1. Localização da área observada do complexo lacustre de Curuai, próximo às cidades de Juruti e Óbidos, rio Amazonas, Pará, Brasil. Fonte: Os autores.





Levantamento de dados

Dados de sensoriamento remoto - As imagens digitais georreferenciadas foram geradas pelo satélite LandSat-5 do sensor TM, cenas WRS-2 228-061/062. Com resolução radiométrica de 8 bits, equivalente a 256 níveis de cinza e resolução espacial de 30 metros, adquiridas do banco de imagens do United State Geology Service-USGS (Fonte: <https://earthexplorer.usgs.gov/>), nas bandas 3, 4 e 5 para composição colorida RGB (FAOUR et al., 2015); e nas bandas 2 e 4 para aplicação do índice da diferença normalizada da água (Normalized Difference Water Index-NDWI).

Como muitos elementos podem interferir na resposta espectral da água (BRENNER e GUASSELLI, 2015), principalmente a densa cobertura de nuvens sobre a área em estudo, as imagens foram selecionadas de acordo com a mínima cobertura de nuvens e geração coincidente com os períodos sazonais de vazante e seca do rio Amazonas (ROZO et al., 2005). Por razão da ausência de imagens para os meses de agosto e setembro do ano de 2010 (início da vazão), foram obtidas imagens da seca extrema do ano de 2005, método semelhante ao utilizado por Rozo et al. (2005). Completando assim um conjunto de dados composto por pares de cenas de uma série de 5 meses (agosto, setembro-2005 a outubro, novembro e dezembro-2010), tabela 1.

Tabela 1. Dados Landsat-5 analisados e período sazonal correspondente. Fonte: USGS, organizado pelos autores.

Série Landsat	Data de aquisição	Período equivalente
228/061-62	25/08/2005	Vazante
228/061-62	10/09/2005	Vazante
228/061-62	10/10/2010	Vazante
228/061-62	27/11/2010	Seca
228/061-62	13/12/2010	Seca

Tratamento de dados

Índice da diferença normalizada da água (NDWI) - Para o realce dos corpos d'água, em nosso caso, fragmentos de lagos consequentes da vazão característica do período de seca, foi aplicada a equação [1], proposta por Gao (1996) por McFeeters (2013), utilizando dados de reflectância das bandas correspondentes a 0.86 μ m e 1.24 μ m, respectivamente. A razão da escolha se encontra no comportamento espectral apresentado pela água (BORGES et al., 2015). Na faixa próxima de 0.86 μ m a reflectância esperada da água é muito baixa, e na faixa de 1.24 μ m a reflectância esperada é zero. Assim, para corpos d'água, é esperado que esta equação forneça valores de NDWI ≥ 0 , ou seja, nas imagens geradas pelo NDWI os corpos d'água terão alto valor de realce (POLIDORO et al., 2004; BORGES et al., 2015).

$$NDWI = \frac{(Banda2 - Banda4)}{(Banda2 + Banda4)} \quad [1]$$

Onde: Banda 2 corresponde ao comprimento de ondas de radiação refletida na faixa do verde (0,52 – 0,60µm); e Banda 4, a radiação refletida na faixa do infravermelho próximo (0,76 – 0,90µm), do sensor Landsat TM.

A aplicação do índice (NDWI) sobre a série temporal de imagens, visando à análise da dinâmica espaço-temporal hidrológica, buscou eliminar o erro induzido ao comparar contornos do sistema lacustre de imagens adquiridas no período da vazante e seca.

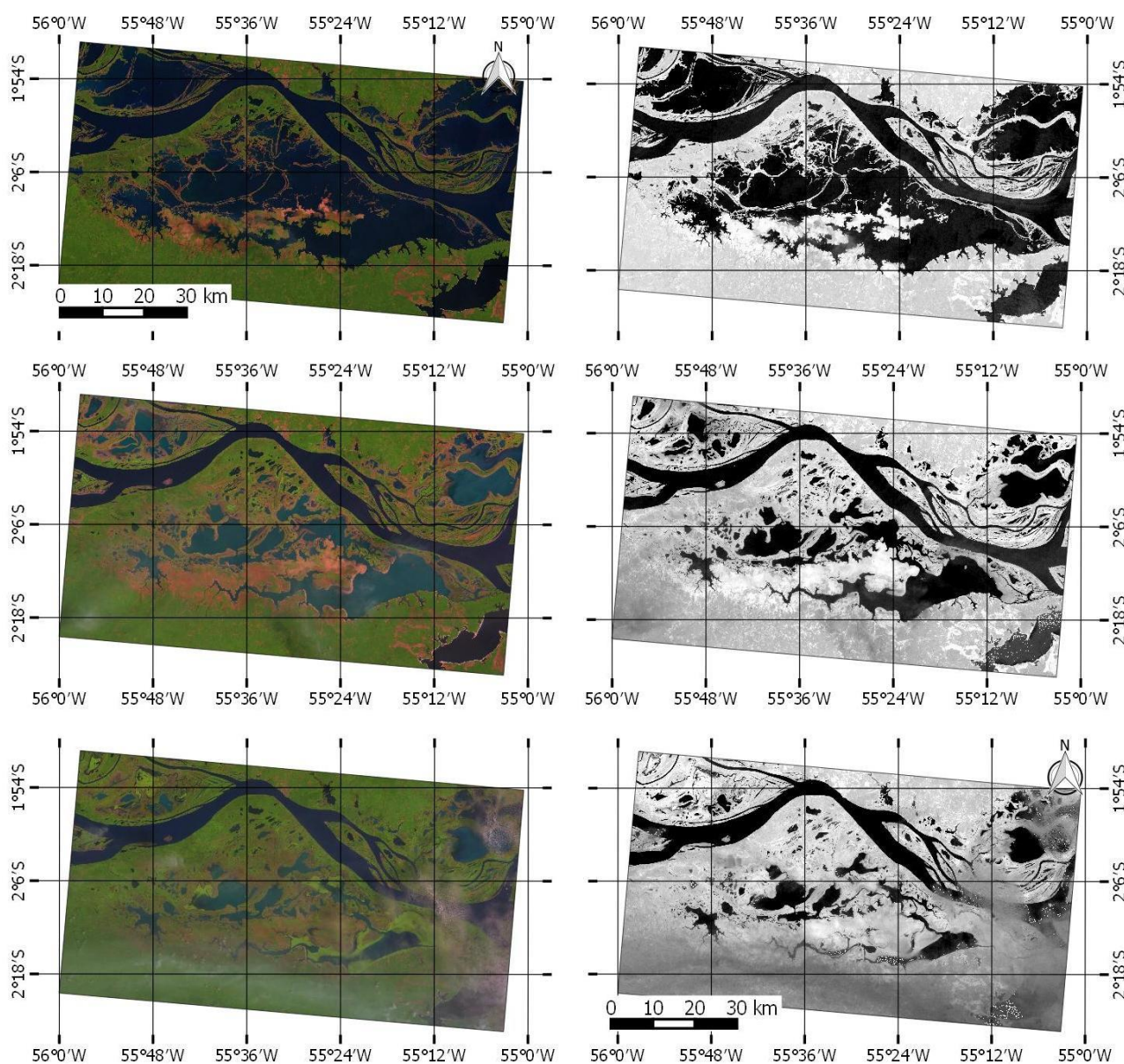
Uma vez estimado o descritor de realce e posterior zoneamento dos corpos d'água, através dos contornos do sistema lacustre (ROZO et al., 2005), a dinâmica de vazão deste complexo foi demonstrada através da rotina de operação de vetorização de dados representativos da área superficial de lamina d'água (para os meses mais representativos destes estágios do pulso de inundação – cheia/julho, vazante/setembro e seca/dezembro) a partir da geração de arquivos no formato vetorial. Com isto foi permitido à representação de uma informação do tipo matricial (pixels de reflectância) em informação computacional vetorial (polígonos).

Como plataforma de SIG e manipulação de dados geoespaciais, utilizou-se o software livre QGIS, versão 2.8.5 (OSGEO, 2015).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

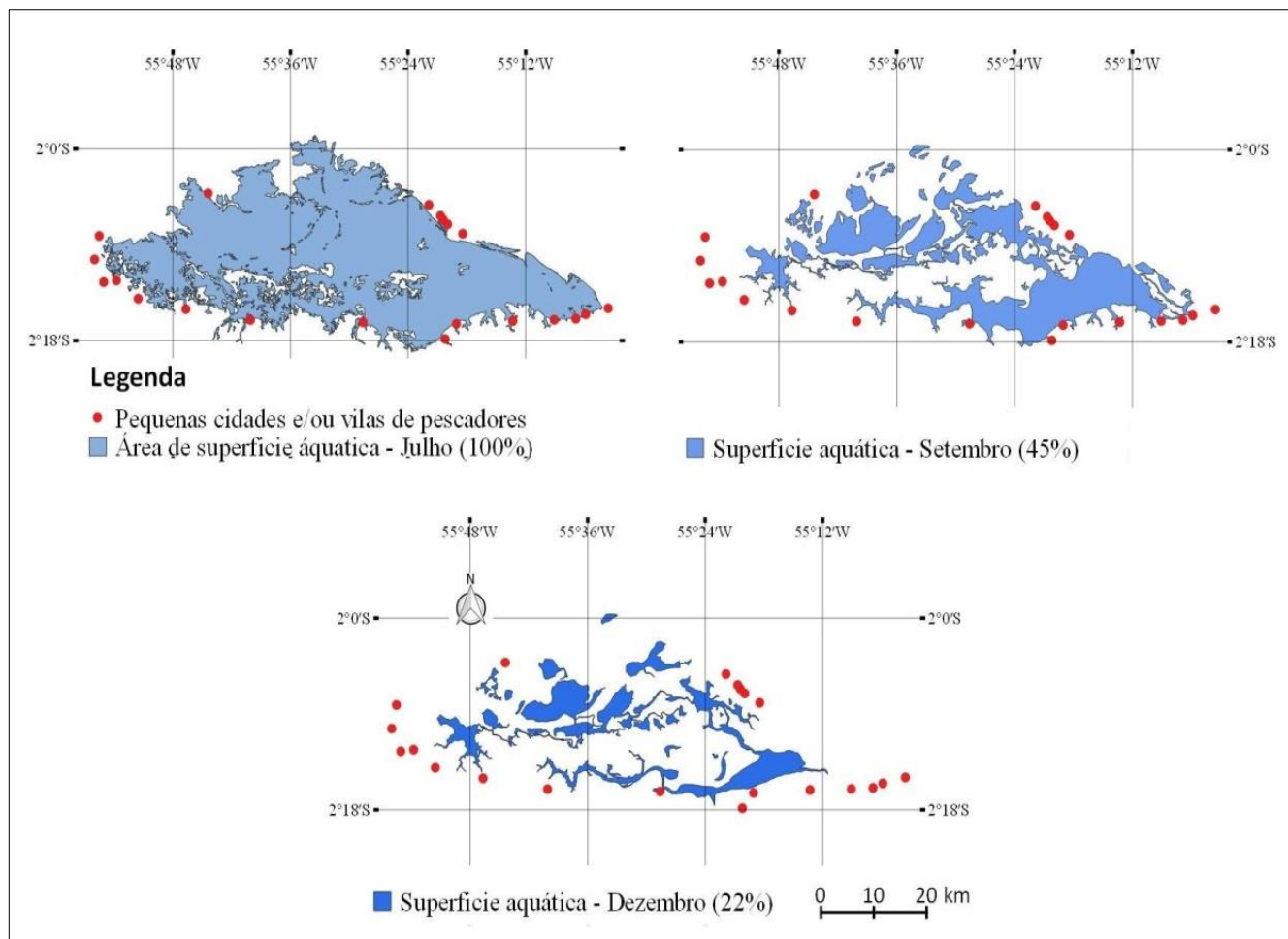
A figura 2 mostra a série temporal do processo de vazão do lago Grande de Curuaí, através da coloração multibanda falsa cor - RGB, aproximando-se da coloração natural de cobertura da terra. Ao lado, o resultante da aplicação do índice da diferença normalizada da água - NDWI, sobre a mesma área, com base nas imagens Landsat-5. Com destaque da planície hidrográfica na coloração azul e o restante das superfícies na variação do laranja ao vermelho.

Figura 2. Série de imagens Landsat: agosto/2005, outubro e dezembro/2010 respectivamente, destacando a superfície aquática do sistema lacustre do Curuaí, em visualização multibanda falsa cor - RGB à esquerda e através do índice da diferença normalizada da água – NDWI à direita. Fonte: Os autores.



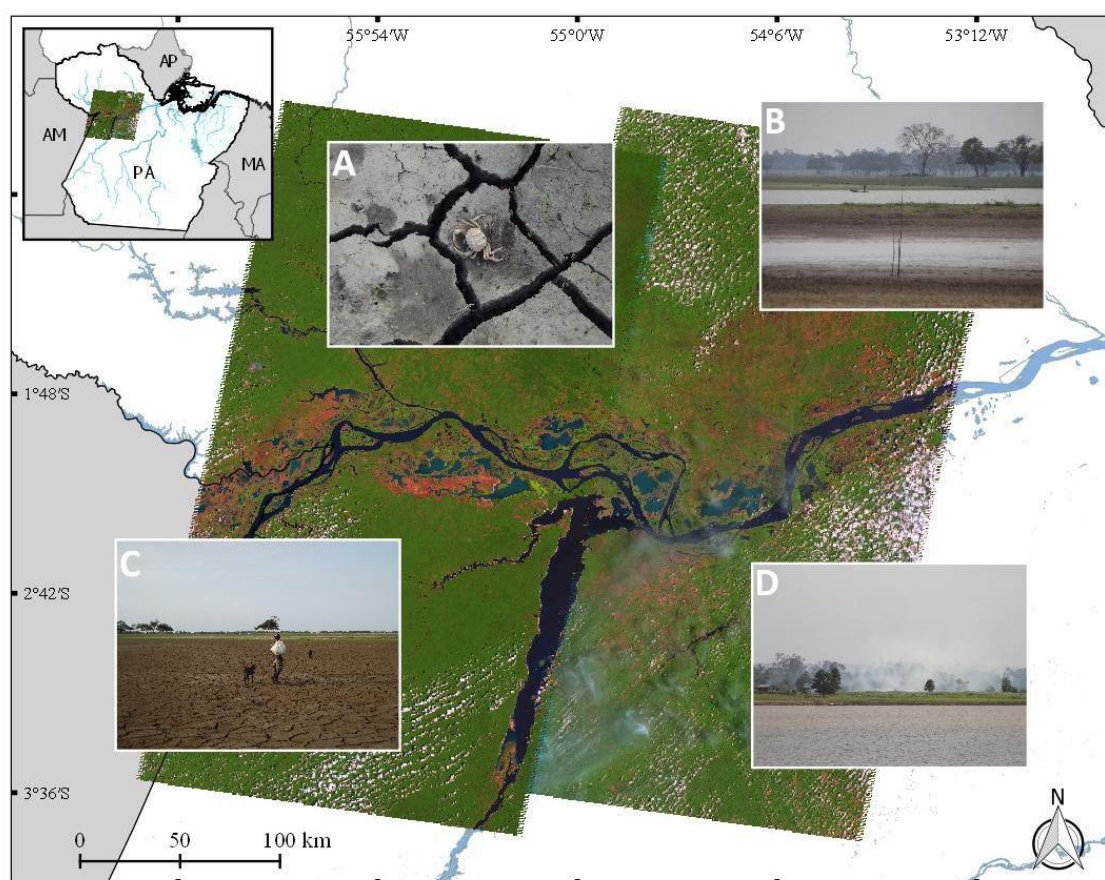
Neste período a vazão extrema do complexo lacustre detectada foi visualmente crítica. A figura 3 apresenta os dados de relação espacial de pequenas cidades e/ou vilas de pescadores locais com as áreas superficiais de lâmina d'água, faz a comparação entre à área média total calculada para o mês de julho (100% = 1.524 km² – período de cheia) e os meses mais representativos dos períodos de vazão e seca - setembro (45% = 698, 481 km² - vazante) e dezembro (22% = 338, 851 km² – seca extrema) do ano em estudo.

Figura 3. Porcentagem de redução da área de superfície aquática, nos meses de julho de 2005, setembro e dezembro de 2010, obtidas com aplicação do NDWI. Fonte: Os autores.



A redução tão significativa da área de superfície aquática do grande lago, decorrente de fortes estiagens como as que têm ocorrido nos últimos anos (equivalente a 78% da área total em 2010, para o complexo de Curuaí), ocasionam efeitos prejudiciais sobre a paisagem de várzea, são consequências características deste fenômeno de desequilíbrio na sazonalidade das águas, mas comumente encontrados em toda a região de várzea, como exemplifica a figura 4.

Figura 4. Efeitos característicos de secas extremas sobre paisagens de várzea: (A) mortandade da biodiversidade aquática; (B) drástica redução de ambientes lacustres propícios à atividade de pesca; (C) surgimento de extensas planícies com características próximas ao semiárido; (D) queimada da vegetação local. Fonte: Os autores.



Entre os graves impactos consequentes de grandes secas nos ecossistemas úmidos da Amazônia, temos aqueles que podem ser mensurados espacialmente através do sensoriamento remoto, dentre eles estão: o aumento da flamabilidade das florestas e consequente aumento das queimadas, transformando estas áreas em fonte de gases de efeito estufa (NEPSTAD et al., 2004; ASNER e ALENCAR, 2010; LIMA et al., 2013); a drástica redução do ambiente aquático que ocasiona a morte de organismos não tolerantes ao grande aumento de temperatura e redução progressiva do nível de oxigênio (LAKE, 2003; TOMACELLA et al., 2010; HURD et al., 2016); o surgimento de vastas áreas secas de solo descoberto, consequente da vazão completa



de lagos mais rasos de grande extensão, que dificultam o acesso aos fragmentos de lagos ainda existentes (BARROS e ALBERNAZ, 2014); o isolamento de fragmentos de lagos de difícil acesso, que ainda apresentam-se propícios a atividade de pesca (TOMACELLA et al., 2010), além de outros.

A operação de vetorização de dados espaciais de zoneamento, e posterior sobreposição das áreas superficiais aquáticas, nos permitiu ter uma visão espacial geográfica clara da drástica e impactante redução da planície úmida do complexo lacustre, chegando a 22% no total do ano de 2010, considerando o conjunto de dados do período de extremos climáticos ocorridos em 2005 como referência para os meses de agosto e setembro, ausentes para o ano de 2010. Esta crítica contração da lâmina d'água do sistema lacustre ocasiona principalmente problemas socioambientais como impossibilidade de uso do lago para mobilização fluvial da população local, além de tornar alguns fragmentos de lagos ambientes inóspitos, mesmo para espécies tolerantes a hipóxia. Por esta razão é comum relatos de moradores locais sobre grande mortalidade de peixes nestes ambientes (TOMACELLA et al., 2010).

São diversos os impactos negativos gerados pela anomalia climática de seca em planícies alagadas da Amazônia. Para ser mais específico sobre a importância ecologia destas áreas, em particular o complexo lacustre em estudo, segundo Arraut et al. (2005) a planície do Curuaí é habitat natural de grandes espécies ameaçadas como o peixe boi amazônico (*Trichechus inunguis*), e também do pirarucu, *Arapaima* spp. (CASTELLO et al 2014), além de espécies do gênero *Podocnemis* (TFTSG, 1996; CASTELLO et al., 2013; DIJK et al., 2014). Por esta razão pode-se dizer que tais efeitos de fortes estiagens deveriam ser levados mais em consideração por organizações que possam direcionar investimentos em conservação (PEASE et al., 2012), baseado no o quanto estas áreas estão vulneráveis a extremos climáticos (SHERBININ, 2013).

A análise multitemporal mostrou ser uma boa iniciativa para identificar a mudança espacial do sistema lacustre quando são comparados dados adquiridos sob as mesmas condições, da mesma época - em relação ao período do ano vazante (ROZO et al., 2005). Também foi extremamente importante por permitir estabelecer um padrão visual em relação ao processo redutivo da lâmina d'água, durante este período de anomalia no pulso de inundação, com o realce dos corpos d'água, através do índice da diferença normalizada da água (BRENNER e GUASSELLI, 2015). Por esta razão o NDWI indicou ser uma ótima alternativa para identificar geograficamente fragmentos de lagos isolados de difícil acessibilidade, e que ainda se apresentam como locais propícios a presença de biodiversidade aquática, até mesmo para a atividade de pesca, que neste período se torna uma difícil atividade (CASTELLO et al., 2015). Sendo a principal fonte de renda e/ou alimentação da população local, torna-se um problema de gestão pública (TOMASELLA et al., 2013).

No caso de destacar e mensurar áreas de vegetação morta ou favoráveis a queimadas, o ideal é fazer uso do índice de diferença normalizada da vegetação (NDVI), ferramenta de grande utilidade neste caso



(PORTZ et al., 2011; FAOUR et al., 2015), por esta razão tem sido bastante utilizado em estudos que avaliam impactos sobre a flora.

Contudo, tratando-se da empregabilidade da geotecnologia em questão, muitos instrumentos de sensoriamento remoto têm sido tendenciosamente utilizados para coletar informações com o objetivo de monitorar diferentes aspectos das secas. No entanto, o elevado índice de evapotranspiração deste período raramente permitirá a aquisição de séries de imagens de satélite num intervalo de tempo cronologicamente adequado. Por esta razão a acurácia dos resultados dependerá mais da resolução espacial e qualidade dos dados do que da própria metodologia em si (FAOUR et al., 2015).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O índice aplicado obteve resultados satisfatórios para o realce da superfície aquática do complexo fluvio-lacustre, com isso demonstrando quanto o sensoriamento remoto e as técnicas de extração de informações podem ser eficazes no monitoramento de fenômenos naturais potencialmente prejudiciais sobre esta região do país.

Também deve-se considerar que ainda é bastante escassa a literatura de fundamentação discursiva dos problemas socioambientais gerados por secas extremas em zonas úmidas da Amazônia, se levado em consideração que estas áreas estão no mapa mundial de unidades biogeográficas para conservação da biodiversidade de águas interiores.

Para casos como o aqui em estudo, a importância dos dados de sensores remotos se torna especial se tratando de dados de fácil acesso, de sensores de satélites com ótima resolução espectral, associada a uma adequada resolução temporal, os tornando mais eficazes como ferramentas de auxílio no monitoramento de efeitos de mudanças climáticas, permitindo acompanhar sua progressão e consequente surgimento de problemas relacionados, para o planejamento de estratégias de mitigação desses impactos sobre os diversos ecossistemas da região.

Neste contexto, através de um estudo mais avançado, é possível realizar uma análise espaço-temporal mais aprofundada no histórico do pulso de inundação da bacia Amazônica, considerando a extensa base de dados do acervo de imagens disponíveis pelo programa Landsat, e correlacionar as informações geoespaciais obtidas a dados climáticos, para geração de um modelo geoespacial de previsão de cenários ambientais, como ferramenta de subsídio na tomada de decisão, objetivando o gerenciamento eficaz de crises socioambientais ocasionadas por futuros extremos climáticos na Amazônia.



REFERÊNCIAS

- ARRAUT, E. M.; RUDORFF, C. M.; BARBOSA, C. C. F. et al. Modelagem da distribuição espacial do peixe-boi amazônico *Trichechus inunguis* no lago grande de Curuaí, Pará, no período da cheia, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. In **XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Goiânia, Brasil, INPE. Anuais.... Abril. 2005. p. 2827-2834
- ASNER, G. P. E ALENCAR, A. Drought impacts on the Amazon forest: the remote sensing perspective. **New Phytologist**, 187: 569–578. Abril. 2010.
- BARBOSA, C.C.F. 2005. **Sensoriamento remoto da dinâmica de circulação da água do sistema planície de Curuaí/ Rio Amazonas**. São José dos Campos. 2005. Tese (doutorado-Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE, 282p. 2005.
- BARLETTA, M.; JAUREGUIZA, A. J.; BAIGUN, C.; FONTOURA, N. F. et al. Fish and Aquatic Habitat Conservation in South America: A Continental Overview with Emphasis on Neotropical Systems. **Journal of fish biology**, (76): p. 2118–2176. 2010.
- BARROS, D. F. e ALBERNAZ, A. L. M. Possible impacts of climate change on wetlands and its biota in the Brazilian Amazon. **Brazilian Journal of Biology**, 4 (74): 810-820. 2014.
- BORGES, R. O.; CAMARGO, F. F.; CAMPAGNOLI, F.; BAYER, M. 2015. Aplicação do índice da diferença normalizada da água (NDWI) na delimitação de fluxos de sedimentos em suspensão no Rio Araguaia: avaliação das imagens Landsat 8 para o monitoramento hidroviário. In **XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa-PB, Anuais... 6022-6029.
- BOURGOIN, L. M.; BONNET, M-P.; MARTINEZ, J-M. et al. 2007. Temporal dynamics of water and sediment exchanges between the Curuaí floodplain and the Amazon River, Brazil. **Journal of Hydrology**, 335: 140– 156. Nov. 2007.
- BRENNER, V. C. e GUASSELLI, L. A. 2015. Índice de diferença normalizada da água (NDWI) para identificação de meandros ativos no leito do canal do rio Gravataí/RS – Brasil. In **XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**, João Pessoa-PB, 2015, Anuais... 3693-3699.
- CASTELLO, L.; ARANTES, C. C.; MCGRATH, D. G.; STEWART, D. J.; SOUSA, F. S. Understanding fishing-induced extinctions in the Amazon. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**.12p. 2014.
- CASTELLO, L.; MCGRATH, D. G.; HESS, L. L.; COE1, M. T.; LEFEBVRE, P. A.; PETRY, P.; MACEDO, M. N.; RENO, V. F.; ARANTES, C. C. The vulnerability of Amazon freshwater ecosystems. **Conservation Letters**, (0):1-13. 2013.
- CASTELLO, L.; ISAAC, V. J.; THAPA, R. Flood pulse effects on multispecies fishery yields in the Lower Amazon. **Royal Society open science**. (2): 150299. 2015.
- DIJK, P. P. V.; IVERSON, J. B.; RHODIN, A. G. J.; SHAFFER, H. B.; BOUR, R. **Turtles of the World, 7th Edition**: Annotated Checklist of Taxonomy, Synonymy, Distribution with Maps, and Conservation Status. Chelonian Research Foundation. (5), 2014. p. 329-479.
- DOMISCH, S.; AMATULLI, G.; JETZ, W. Near-global freshwater-specific environmental variables for biodiversity analyses in 1 km resolution. **Nature/ Scientific Data**, 1-13. Dec. 2015.
- FAOUR, G.; MHAWAJ, M.; ABOU N. S. 2015. Regional Landsat-Based Drought Monitoring from 1982 to 2014. **Climate**, (3): 563-577. Aug. 2015.
- FERNANDES, C.C. Lateral migration of fishes in Amazon floodplains". **Ecology of Freshwater Fish**. No. (6): 36-44. 1997.
- FRANÇA, A. M. S.; FRORENZANO, T. G.; NOVO, E. M. L. M. 2005. A dinâmica do pulso de inundação: aplicações de sensoriamento remoto na estimativa da área de expansão dos sistemas lacustres da planície aluvial do rio Amazonas. In **XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, USP, Anuais... 2742-2750.
- GAO, B.-C. NDWI – A Normalized Difference Water Index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v. (58): 257-266. 1996.
- HURD, L. E.; SOUSA, R. G. C.; SIQUEIRA-SOUZA, F. K.; COOPER, G. J.; KAHNE, J. R.; CARLOS FREITAS, C. E. C. Amazon floodplain fish communities: Habitat connectivity and conservation in a rapidly deteriorating environment. **Biological Conservation**, (195) p. 118–127. Jan. 2016.
- JUNK, W.J.; MOTA SOARES, M. G.; BAYLEY, P. B. Freshwater fishes of the Amazon River basin: their biodiversity, fisheries, and habitats. **Aquatic Ecosystem Health & Management**, 2(10): 153–173. 2007.
- JUNK, W. J. **The Central Amazon Floodplain - Ecology of a Pulsing System**. Verlag Berlin Heidelberg New York. Springer, 1997. 525p.
- LAKE, P. S. Ecological effects of perturbation by drought in flowing waters. **Freshwater Biology**, (48): 1161–1172. 2003.



- LIMA, A.; ARAGÃO, L. E. O. C.; DUARTE, V.; FORMAGGIO, A. R.; SHIMABUKURO, Y. E. 2013. Queimadas na Amazônia Oriental em anos de Seca Extrema: fontes de combustível e propágulo de incêndios florestais. In **XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR., Anuais... 6230-6237.
- MALHI, Y.; ARAGÃO, L.E.O.C.; GALBRAITH, D.; HUNTINGFORD, C.; FISHER, R.; ZELAZOWSKI, P.; SITCH, S.; MCSWEENEY, C.; MEIR, P. 2009. Exploring the likelihood and mechanism of a climate-change-induced dieback of the Amazon rainforest. In: **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, 106 (49): 20610-20615.
- MARENGO, J. A. Characteristics and spatio-temporal variability of the Amazon River Basin Water Budget. **Climate Dynamics**, (24): 11–22. 2005.
- MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; ALVES, L. M.; SOARES, W. R.; RODRIGUEZ, D. A. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. **Geophysical Research Letters**, vol. 38: 5. 2011.
- MAYTÍN, C. E.; ACEVEDO, M. F.; JAIMEZ, R.; ANDRESSEN, R.; HARWELL, M. A.; ROBOCK, A.; AZÓCAR, A. Potential effects of global climatic change on the phenology and yield of maize in Venezuela. **Climatic Change**, 29: 189-211. 1995.
- MCFEETERS, S. K. Using the Normalized Difference Water Index (NDWI) within a Geographic Information System to Detect Swimming Pools for Mosquito Abatement: A Practical Approach. **Remote Sensing**, 5: 3544–3561. 2013.
- NEPSTAD, D. C.; LEFEBVRE, P.; DA SILVA, U. L.; TOMASELLA, J.; SCHLESINGER, P.; SOLORZANO L.; MOUTINHO, P.; RAY, D.; BENITO, J. G. Amazon drought and its implications for forest flammability and tree growth: a basin-wide analysis. **Global Change Biology**, 10(5): 704–717. 2004.
- NEWTON, A. C.; HILL, R. A.; ECHEVERRÍA, C.; GOLICHER, D.; BENAYAS, J. M. R.; CAYUELA, L.; HINSLEY, S. A. Remote sensing and the future of landscape ecology. **Progress in Physical Geography**, 33(4): 528–546. 2005.
- NIJSSEN, B.; O'DONNELL, G. M.; HAMLET, A. F.; LETTENMAIER, D. P. Hydrologic sensitivity of global rivers to climate change. **Climatic Change**, 50: 143–175. 2001.
- OSGEO - Open Source Geospatial Foundation. QGIS Geographic Information System, 2.8.5 (2015). Boston. USA, <http://qgis.osgeo.org>
- PAESE, A.; UEZU, A.; LORINI, M. L.; CUNHA, A. **Conservação da biodiversidade com SIG: Lacunas entre implementação e pesquisa, Conservação da biodiversidade com SIG. Oficina de textos, (I)**, 2012. 240p.
- PHILLIPS, O. L.; ARAGÃO, L. E. O. C.; LEWIS, S. L. et al. Drought sensitivity of the Amazon rainforest. **Science**, 323: 1344–1347. 2009.
- POLIDORIO, A. M.; IMAI, N.; TOMASELLI, A.M.G. Índice indicador de corpos d'água para imagens multiespectrais, In **Anuais do I Simpósio em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação (SIMGEO)**, Recife. 2004.
- PORTZ, L.; GUASSELLI, L. A.; CORRÊA, I. C. S. Variação Espacial e Temporal de NDVI na Lagoa do Peixe, RS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 5: 897-908. 2011.
- RIBEIRO, N. V. 2007. **Atlas da várzea: Amazônia Brasil**. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. 2ª ed. Projeto Manejo dos Recursos Naturais da Várzea, 2007. 336p.
- ROZO, J. M. G.; NOGUEIRA, A. C. R.; CARVALHO, A. S. Análise multitemporal do sistema fluvial do Amazonas entre a ilha do Careiro e a foz do rio Madeira, In **XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, Anuais... 1875-188. 2005.
- SHERBININ, A. Climate change hotspots mapping: what have we learned? **Climatic Change**, 123: 23–37. Sep. 2013.
- TOMASELLA, J.; BORMA, L. S.; MARENGO, J. A.; RODRIGUEZ, D. A.; CUARTAS, L. A.; NOBRE, C. A.; PRADO, M. C. R. The droughts of 1996–1997 and 2004–2005 in Amazonia; hydrological response in the river main-stem". **Hydrological Processes**, 15. 2010.
- Tortoise & Freshwater Turtle Specialist Group - TFTSG. 1996. *Podocnemis unifilis*. **IUCN Red List of Threatened Species**. Disponível em: www.iucnredlist.org. Acesso em: 05/11/2017.
- TOMASELLA, J.; PINHO, P. F.; BORMA, L. S.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; BITTENCOURT, O. R. F. O.; PRADO, M. C. R.; RODRIGUEZ, D. A.; CUARTAS, L. A. The droughts of 1997 and 2005 in Amazonia: floodplain hydrology and its potential ecological and human impacts. **Climatic Change**, 116: 723–746. June. 2013.
- TURNER, M.G. Landscape ecology: what is the state of the science? In: **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**. 36, 319–44. 2005.
- VOROSMARTY, C. J.; MCINTYRE, P. B.; GESSNER, M. O.; DUDGEON, D.; PRUSEVICH, A.; GREEN, P.; GLIDDEN, S.; BUNN, S. E.; SULLIVAN, C. A.; REIDY LIERMANN, C.; DAVIES, P. M. Global Threats to Human Water Security and River Biodiversity. **Nature**, 467, 8. Sep. 2010.