

Morfometria de sistemas lacustres da planície aluvial do médio rio Araguaia

Roberto Prado de Moraes*, Leandro Gonçalves Oliveira, Edgardo Manuel Latrubesse e Rúbia Christina Diógenes Pinheiro

¹Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, CIAMB, Universidade Federal de Goiás, Campus II, 74001-970, Goiânia, Goiás, Brasil. *Autor para correspondência. e-mail: rpmorais@hotmail.com

RESUMO. O objetivo deste trabalho foi o de identificar e o de classificar os sistemas lacustres da planície aluvial do rio Araguaia entre as cidades de Aruanã, Estado de Goiás e de Luiz Alves, Estado de Goiás. Nesse trecho, a planície do Araguaia tem cerca de 256 km de extensão, na qual foram quantificados 293 lagos de 10 categorias: lagos de canal abandonado, canal abandonado encadeado, oxbow, oxbow colmatados, oxbow composto, espira de meandro, espira de meandro composta, diques marginais, vale bloqueado e lagos de acreção lateral. O objetivo específico foi o de realizar uma análise de parâmetros morfométricos de 20 lagos da planície do médio Araguaia, comparando duas estações sazonais (seca e cheia). Os parâmetros morfométricos analisados foram os seguintes: área, perímetro, profundidade, largura e comprimento máximo, desenvolvimento de perímetro, índice de forma e determinação da largura da boca dos lagos (conectividade). Os parâmetros morfométricos foram calculados, utilizando as imagens de satélite Landsat TM e o sistema de informação geográfica (SIG) SPRING. A variação dos parâmetros morfométricos variou significativamente entre os períodos de seca e de cheia (área: 0,03 - 2,77 km² na seca para 0,04 - 8,38 km² na cheia). A profundidade máxima: 0,3 m - 4,55 m na seca para 2,7 - 7,75 na cheia. Cerca de 65% dos lagos apresentam $D_p > 4$ - isso porque a tendência geral dos lagos é ter uma tendência alongada.

Palavras-chave: rio Araguaia, lagos de planície, morfometria, sensoriamento remoto.

ABSTRACT. Morphometry of lacustrine systems in the middle alluvial plain of the Araguaia River. The aim of this study was to identify and classify the lake systems of the Araguaia River floodplain. The study area extends from Aruanã, State of Goiás, to Luiz Alves, State of Goiás, along 256 km. A total of 293 lakes were identified and grouped in ten categories: abandoned channel lakes, linked abandoned channels, oxbow, filled oxbows, and composite oxbows, lakes formed on meander scrolls, composite lakes on scrolled floodplain, lakes formed by lateral accretion, blocked valleys and embankment lakes. The main objective was to characterize morphometric parameters for 20 lakes in the middle plain of the Araguaia River and compare the different values between high and low river stages. Area, perimeter, depth, length and maximum width, and shoreline development were obtained using satellite Landsat 5 TM and 7 ETM⁺ images and a SPRING Geographic Information System. The variability of morphometric parameters during flood and low river stages changed significantly. Approximately 65% of the lakes showed shoreline development (D_p) > 4 because of the general lakes tendency to have an elongated shape.

Key words: Araguaia River, alluvial plain lakes, morphometry, remote sensing.

Introdução

A origem de ambientes lacustres está associada à ocorrência de fenômenos naturais de natureza geológica ou de natureza antrópica como represas e barragens. Os lagos originados por processos fluviais são os de maior representatividade em um país como o Brasil que abrange uma enorme rede

hidrográfica e onde estão localizadas quatro das dez maiores bacias fluviais do planeta (Amazonas, Negro, Madeira e Paraná).

Os habitats aquáticos das planícies de inundação exigem tratamentos específicos, o que, muitas vezes, resulta em sua omissão em trabalhos limnológicos. Os lagos formados nas planícies de

inundação sustentam e/ou mantêm o funcionamento de diversos ecossistemas de planície. São nesses ambientes que ocorre a maior produção de matéria orgânica oriunda da decomposição da vegetação, tanto aquática quanto da transição aquática-terrestre (Junk *et al.*, 1989).

A importância dos recursos hídricos para os seres vivos vem promovendo uma crescente preocupação diante de sua escassez e má utilização. Nesse contexto, destaca-se o crescimento dos estudos limnológicos e a sua interface com outras ciências como a geomorfologia para explicar a origem e evolução morfológica destes ambientes aquáticos. Há também vários fatores que contribuem para o desaparecimento dos lagos, e os sinais mais evidentes são a redução no volume de água e da área do espelho d'água, provocados pelo clima, a eutrofização, as alterações hidrológicas (vazão) e o assoreamento (Timms, 1992).

A água armazenada em lagos, em represas e em açudes apresenta variações de qualidade, as quais estão estreitamente ligadas à morfologia do ambiente (área, perímetro, largura, comprimento, forma, profundidade); por isso é importante um conhecimento fundamentado nas características morfométricas de lagos e represas e as possíveis interações entre a morfologia e a qualidade da água (Sperling, 1999). Os sistemas lacustres naturais são pouco conhecidos e correm o risco de ter seu funcionamento natural alterado mesmo antes de serem estudados em uma abordagem hidro-geomorfológica e limnológica.

Na bacia do rio Araguaia, especificamente, o desmatamento do Cerrado para formação de áreas de pastagens para a criação de gado e agricultura intensiva, desde o início da década de 70 do século XX, vem desencadeado um processo acelerado de erosão dos solos. Constatou-se, portanto, que há aumento no aporte de sedimentos no sistema fluvial provocando alterações morfológicas no canal, principalmente devido à sedimentação (Morais, 2002). A troca de fluxos (água e sedimentos) entre o canal e os lagos da planície do Araguaia ocorre pela conectividade dos lagos ou devido o transbordamento do canal na planície aluvial aumentando assim a quantidade de carga sedimentar dos sistemas lacustres e conseqüentemente suas características morfométrica e morfológicas.

O objetivo deste trabalho é quantificar e analisar as características morfométrica/morfológica de 20 lagos da planície aluvial do médio rio Araguaia, verificando a

influência da dinâmica fluvial do sistema em duas estações sazonais (seca e cheia).

Material e métodos

Área de estudo

O rio Araguaia tem 2.110 km de extensão, sua bacia ocupa uma área de 379.836 km² distribuída por quatro Estados da federação: Goiás, Mato Grosso, Pará e Tocantins. A área abrange grandes extensões de vegetação de cerrado, áreas inundáveis e de transição para a floresta tropical úmida da Amazônia (Morais, 2002).

A vazão média do rio Araguaia é de 6.420 m³/s. A precipitação anual varia entre 1.300 mm na alta bacia (alto Araguaia) e mais de 2.000 mm no baixo Araguaia próximo à confluência com o rio Tocantins. Geologicamente a área inclui rochas Pré-Cambrianas do Escudo Brasileiro, rochas Paleozóicas e Mesozóicas da Bacia Sedimentar do Paraná, sedimentos Terciários e depósitos Quaternários (Latrubesse e Stevaux, 2002).

O médio Araguaia, onde está inserida a área deste estudo, estende-se desde a cidade de Registro do Araguaia, Estado de Goiás, até Conceição do Araguaia, Estado de Tocantins, com 1.160 km de extensão (Latrubesse e Stevaux, 2002). Contudo a área de abrangência deste trabalho está localizada na planície aluvial do Araguaia entre as cidades de Aruana, Estado de Goiás e Luiz Alves, Estado de Goiás. O trecho tem cerca de 256 km de extensão (Figura 1).

A planície forma um complexo mosaico de unidades sedimentares quaternárias. Caracteriza-se por apresentar uma grande quantidade de sistemas lacustres compondo um mosaico representativo de diversos tipos de lagos de planície como: Oxbows, canal abandonado, espiras de meandro e vales bloqueados.

Metodologia

O levantamento morfométrico dos 20 lagos amostrados neste trabalho foi feito por meio de mapeamento, utilizando imagens de satélite Landsat 5 TM referente ao período de seca (julho de 1997) e Landsat 7 ETM⁺ período de cheia (maio de 2000). As imagens foram registradas segundo a base cartográfica do IBGE/DSG das cartas planialtimétricas escala 1:100000. A edição e manipulação dos dados de sensoriamento remoto (imagens) foram feitas por meio do SIG (Sistema de Informação Geográfica) SPRING (Sistema de Processamento de Informação Georreferenciada).

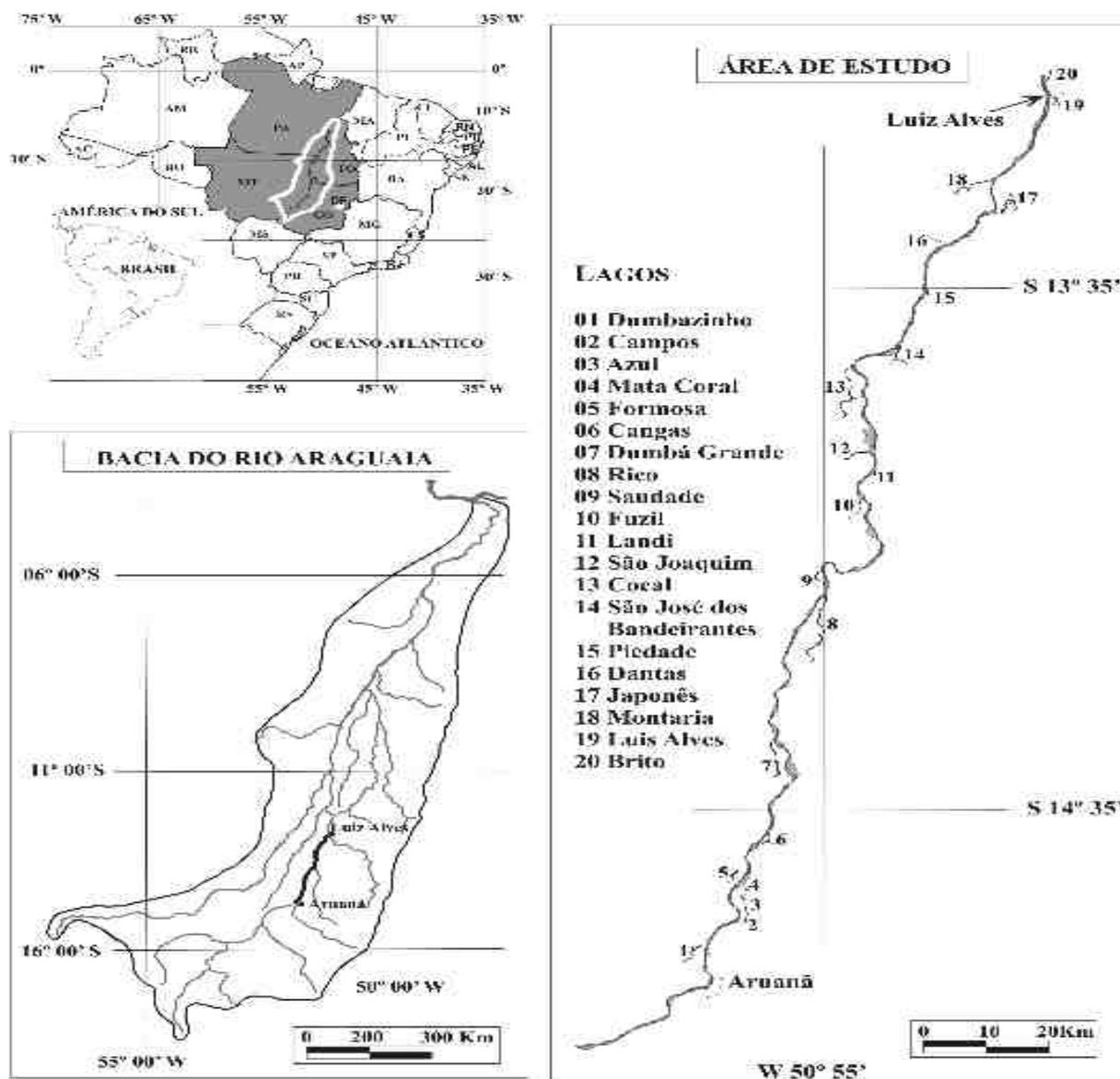


Figura 1. Área de Estudo.

Dados morfométricos primários como área (A), perímetro (P), comprimento máximo (Cmax) e largura máxima (Lmax) foram os primeiros a serem quantificados. Chegou-se a estes dados após mapear os lagos e quantificar tais parâmetros através do programa SPRING. O uso de imagens Landsat TM são ideais para obtenção de medidas morfométricas por contrastar bem os alvos imageados (água e vegetação) (Sippel, *et al.*, 1992).

A profundidade máxima (Zmax) foi obtida em campo por intermédio de uma sonda batimétrica manual.

Calculou-se apenas um parâmetro morfométrico secundário que se refere ao

Desenvolvimento do Perímetro (Dp). Este índice consiste na relação entre o perímetro do lago e a circunferência de um círculo que possua a mesma área do lago, a medida é obtida através da seguinte equação: $Dp = S / 2 \cdot \pi \cdot r$, sendo: Dp = Desenvolvimento do perímetro; S = Perímetro; π = Constante; r = Raio.

O tamanho da boca do lago (conectividade) é uma medida que normalmente deve-se obter em campo. Contudo, utilizando as imagens de satélites e o programa SPRING foi possível obter estas medidas de forma bastante satisfatória.

Todos os cálculos foram obtidos nos 20 lagos para serem comparados em dois períodos

temporais, seca (julho de 1997) e cheia (maio de 2000). A análise dos dados foi feita levando-se em consideração a calibração das imagens de satélite com a altura das cotas do canal fluvial referente a cada período analisado. As medidas de cotas hidrológicas foram obtidas junto ao banco de dados hidrológico da CPRM – Serviço Geológico do Brasil.

Unidades geomorfológicas da planície de inundação e a classificação dos sistemas lacustres

A planície de inundação do Araguaia apresenta um conjunto de unidades geomorfológicas originadas por processos

agradacionais e, eventualmente, por processos lacustres ou associados a áreas com escoamento impedido. Em uma perspectiva geomorfológica-genética, Latrubesse e Stevaux (2002) classificaram três unidades geomorfológicas na planície do Araguaia e uma quarta unidade construída pela atividade rios menores: Unidade I – Planície com escoamento impedido, Unidade II – Planície de Paleomeandros, Unidade III – Planície de Bancos Acrescidos e Unidade IV – Planície de Rios Menores (Figura 2).

Os lagos analisados, neste trabalho, estão associados às unidades I e II.

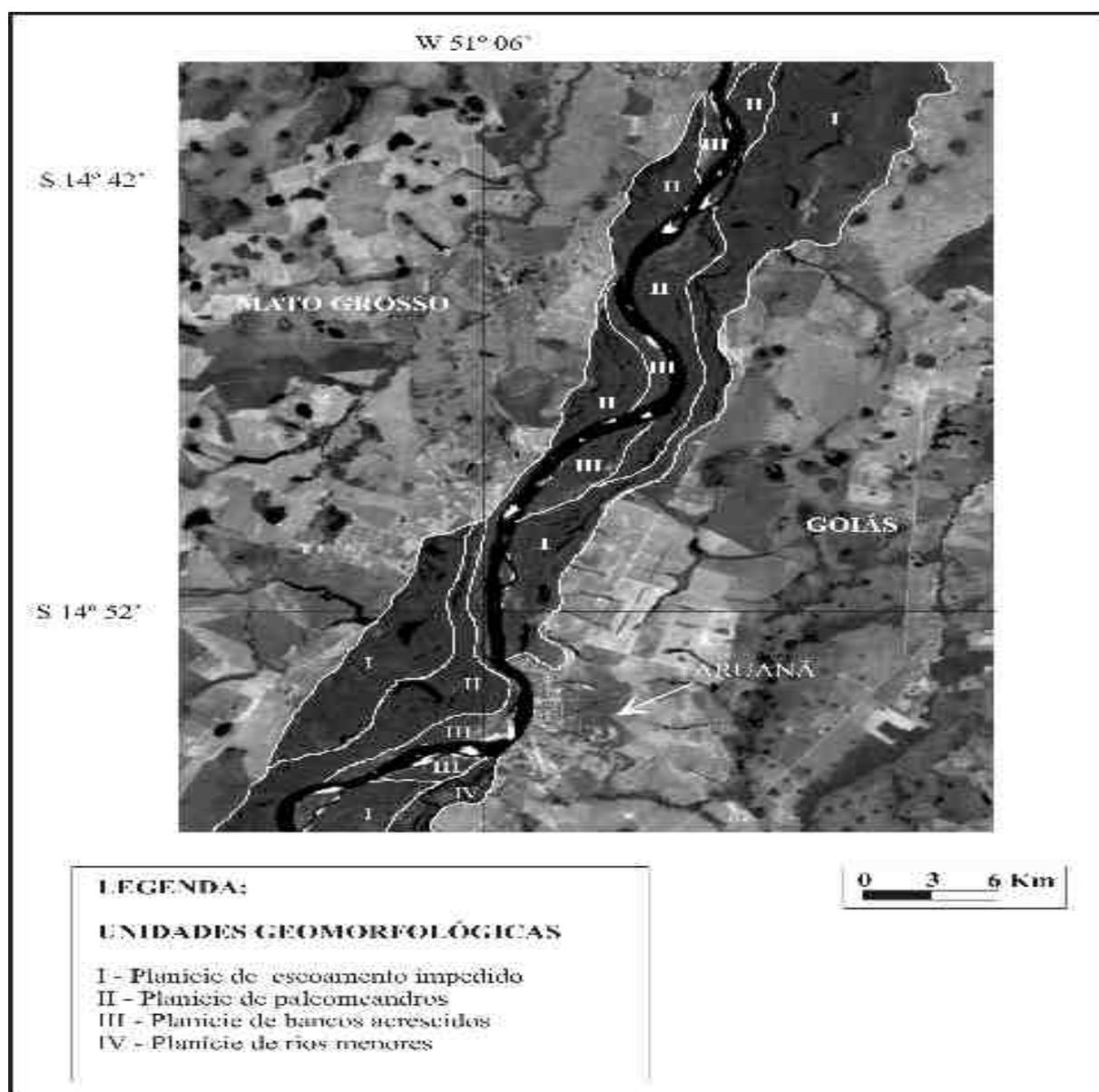


Figura 2: Unidades Geomorfológicas da planície aluvial do rio Araguaia.

A Unidade I – Planície com escoamento impedido é a unidade mais antiga. Ela aparece em ambas as margens do canal como uma faixa pantanosa descontínua ocupando a posição mais afastada em relação ao rio. Caracteriza-se por uma superfície plana e deprimida com área pantanosa com lagos arredondados e irregulares drenados por pequenos canais da planície que se tornam ativos apenas durante os períodos de cheia. Em geral, não recebem influência direta das cheias do canal. As inundações ocorrem principalmente devido à precipitação pluvial, saturação freática e pela entrada de pequenos tributários bloqueados.

Entre os diversos tipos de lagos associados a esta unidade, destaca-se os de vale bloqueado e canais abandonados encadeados. Estes lagos apresentam conexão com sistemas de afluentes externos. Sua morfologia é alongada, com eixo perpendicular ao canal principal.

A Unidade II - Planície de Paleomeandros ocupa uma posição intermediária entre a planície de bandos acrescidos e a planície de escoamento impedido. Esta superfície apresenta alinhamentos paralelos de crestas e depressões curvas e de escassa profundidade. Predomina nesta Unidade os lagos do tipo oxbows e espiras de meandros.

O ordenamento e a classificação geomorfológica dos sistemas lacustres do rio Araguaia foram elaborados segundo os critérios de origem e de classificação de ambientes lênticos em planícies aluviais propostos por Drago (1976) e pela definição de lagos aluviais segundo a classificação de Timms (1992) que identifica os tipos de lagos como: lagos de vales bloqueados, oxbows, canais abandonados e lagos de espiras de meandro.

Utilizando as duas metodologias, no caso do rio Araguaia, as categorias de classificação de lagos foram definidas também de acordo com as características da planície. Geneticamente identificado como um sistema agradacional do tipo lacustre, foram feitas as seguintes distinções dos tipos de lagos da planície do Araguaia: lagos de canal abandonado, canal abandonado encadeado, espiras de meandro, espiras de meandro compostas, lagos de acreção lateral, oxbows, oxbows colmatados, oxbows compostos, vale bloqueado e lagos de diques marginais (França e Latrubesse, 2001; França, 2002).

Os lagos analisados neste trabalho pertencem a apenas quatro categorias. Sendo doze lagos do tipo canal abandonado, três de canal abandonado encadeado, dois de espira de meandro composta,

três de vale bloqueado.

Resultados e discussão

Análise quantitativa da distribuição dos sistemas lacustres

Entre a cidade de Aruanã, Estado de Goiás e Luis Alves, Estado de Goiás, a planície aluvial do Araguaia estende-se por cerca de 256 km. Sua área é de 955,06 km² com um total de 293 lagos ocupando 56,67 km² de área. Tendo como referência o período de águas baixas (seca) a porcentagem de área ocupada pelos lagos em relação à planície é pequena, cerca de 5,93%.

Dos 293 lagos mapeados na planície aluvial do Araguaia entre as cidades de Aruanã, Estado de Goiás e Luiz Alves, Estado de Goiás, os lagos de canal abandonado e canais abandonados encadeados representam 30,03% de todos os lagos na planície neste setor. Os lagos do tipo oxbow e espiras de meandro ocupam 18,09% cada categoria respectivamente. Os lagos de diques marginais representam 15,70% seguidos por lagos de acreção lateral que ocupam 11,95% do quantitativo. Os lagos de vale bloqueado são em termos numéricos os de menor representatividade, com cerca de 6,14% do total (Tabela 1).

Tabela 1. Distribuição quantitativa dos tipos de sistemas lacustres no médio rio Araguaia entre as cidades de Aruanã, Estado de Goiás e Luiz Alves, Estado de Goiás.

Tipos de Lagos	Número de lagos	Porcentagem (%)
Canal abandonado	12	4,09
Canal abandonado encadeado	75	25,60
Oxbow	18	6,14
Oxbow composto	20	6,83
Oxbow colmatado	15	5,12
Espira de meandro	52	17,75
Espira de meandro composta	02	0,68
Diques marginais	46	15,70
Vale bloqueado	18	6,14
Lagos de acreção lateral	35	11,95
Total	293	100

Área, perímetro, profundidade, largura e comprimento máximo dos lagos.

Grandes planícies tropicais diferenciam-se bastante em termos da tipologia lacustre predominante (Junk e Furch, 1993). É importante destacar que ao fazer esse tipo de comparação deve-se levar em consideração o padrão morfológico do canal, já que alguns padrões podem exercer uma maior ou menor influência na evolução e desenvolvimento morfológico dos sistemas lacustres por eles formados. Em alguns tributários do rio Amazonas (Purus, Juruá) predominam os meandros abandonados conhecidos como lagos

oxbows (Junk e Furch, 1993; Latrubesse e Kalicki, 2002), freqüentes também em rios do Alto Paraguai (Garcia, 2000) e em planícies fluviais de alguns rios da região sudeste do Brasil (Camargo e Esteves, 1995). No rio Araguaia, lagos do tipo meandro abandonado são menos freqüentes. O que pode ser explicado pela predominância do padrão morfológico do canal do tipo entrelaçado ou braided (Morais, 2002).

Considerando que as características ecológicas entre rios e planície de inundação são influenciadas pelo regime hidrológico (Junk et al., 1989), conhecer as variações dos níveis fluviométricos (cotas altimétricas) é de grande importância para analisar a dinâmica desses ambientes (Thomaz, 1991). Ao realizar os cálculos morfométricos dos sistemas lacustres do rio Araguaia foi feita a calibração das imagens de satélite de onde foram mapeados os lagos, e fixada a cota hidrológica do canal referente ao período de aquisição das imagens. Tomou-se como referência a estação Aruanã para fixar as cotas devido a sua posição estratégica dentro da área de estudo. A cota média do mês de julho de 1997 de onde se obteve os valores morfométricos do período de seca foi de 2,63 m já a cota média do mês de maio de 2000 foi de 2,62 m significando que o nível hidrológico do canal estava equiparado nos dois períodos temporais. Destaca-se que ainda no mês de maio o sistema já estava no final de seu ciclo de cheia, contudo os sistemas lacustres figuravam com grande retenção de

água em seus corpos hídricos (Figura 3). A Tabela 2 mostra alguns dos principais resultados morfométricos dos lagos amostrados.

A área no período de seca varia entre 0,03 km² (Lago Fuzil) e 2,77 km² (Lago Rico) e no período de cheia entre 0,04 km² e 8,38 km² para os mesmo lagos. Esse é apenas um exemplo da grande variação areal que se verifica nos diversos lagos entre um período e outro. A área (A) é um dos parâmetros morfométricos limnológicos de maior importância, isto porque se considera a exposição do espelho de água à radiação solar, o que regula o desenvolvimento da fotossíntese realizada por organismos autotróficos. Também quanto maior a área do lago maior sua capacidade em receber cargas de nutrientes e sedimentos.

O perímetro (P) tem grande importância como dado primário já que vai subsidiar o cálculo de Desenvolvimento de Perímetro (Dp) que é um parâmetro secundário com grande valor para a limnologia. No período de seca o perímetro variou entre 1,20 km (Landi) e 48,81 km (Rico), por outro lado na cheia variou de 1,24 km até 71,77 km para os mesmo lagos.

O comprimento máximo dos lagos na seca variou entre 0,53 km (Landi) a 14,61 km (Rico) enquanto no período de cheia foi de 0,54 km e 18,4 km, respectivamente os lagos Landi e Rico. Este parâmetro é importante para indicar a influência do transporte pelos ventos sobre a superfície do espelho de água.

Tabela 2. Dados morfométricos primários de 20 lagos localizados no médio rio Araguaia entre as cidades de Aruanã, Estado de Goiás e Luiz Alves, Estado de Goiás.

Lago	Área (km ²)		Perímetro (km)		Cmax (km)		Lmax (km)		Dcentral (m)	
	Sc	Ch	Sc	Ch	Sc	Ch	Sc	Ch	Sc	Ch
Canal Abandonado										
Cangas	0,47	0,75	9,7	15,6	3,04	3,07	0,21	0,26	2,55	7,5
Dumba Grande	1,75	2,12	21,15	22,68	8,05	8,21	0,51	0,57	2	5,7
Rico	2,77	8,38	43,81	71,77	14,61	18,4	0,18	2,31	5,9	7,75
Fuzil	0,31	1,18	7,78	14,88	3,59	3,71	0,13	0,67	3,3	7,15
São Joaquim	0,66	0,83	9,65	10,54	3,93	4,04	0,34	0,39	0,5	4,45
Cocal	2,29	5,54	31,26	43,8	11,06	11,28	0,39	1,61	2,45	5,05
São José dos Bandeirantes	0,71	1,87	11,45	20,03	3,34	4,06	0,43	1,15	4,55	6,75
Piedade	0,06	0,68	2,79	7,49	0,94	1,78	0,06	1,29	2,8	5,55
Dantas	0,21	0,62	6,83	17,79	3,17	3,67	0,15	0,27	0,3	2,7
Montaria	0,82	14,19	22,57	50,82	7,09	8,89	0,29	4,19	2,6	4,55
Luis Alves	0,65	0,98	15,01	17,03	3,28	3,55	0,5	0,77	1,45	4,6
Brito	0,48	1,03	9,06	11,72	3,18	3,56	0,26	0,77	1,2	5,45
Canal abandonado encadeado										
Campos	0,04	0,06	1,27	1,42	0,53	0,59	0,14	0,17	2	-
Azul	0,5	0,74	15,39	16,57	5,07	5,2	0,31	0,32	4,55	6
Mata coral	0,16	0,3	4,95	7,98	2,09	2,15	0,11	0,19	2,65	5,7
Vale Bloqueado										
Dumbazinho	0,31	0,53	7,08	8,87	5,52	6,7	0,68	0,72	0,4	3
Landi	0,03	0,04	1,2	1,24	0,53	0,54	0,1	0,15	0,95	4,45
Japonês	1,1	1,51	24,42	27,39	5,03	5,29	0,51	0,61	1,75	6,85
Espira de meandro composta										
Formosa	0,52	0,89	16,68	17,13	3,17	3,41	0,58	0,84	2,3	3,5
Saudade	0,43	0,88	12,97	19,5	3,7	4,27	0,11	0,32	3,05	7,9

Sc: seca; Ch: cheia; Cmax: comprimento máximo; Lmax: largura máxima; Dcentral: profundidade no ponto central da lagoa.

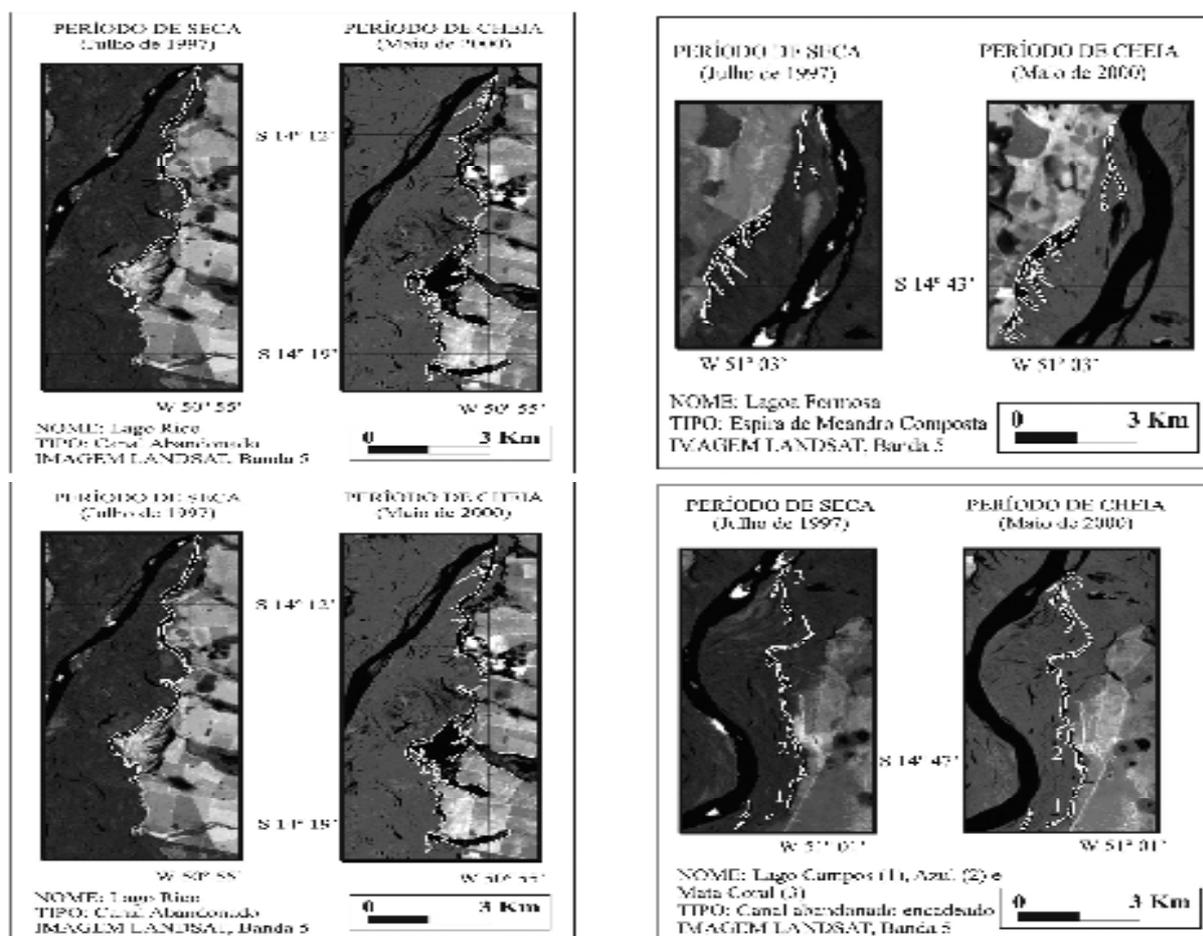


Figura 3. Imagens comparativas dos quatro tipos de lagos analisados na planície do médio Araguaia em estações sazonais diferentes

No geral, todos os parâmetros primários aumentaram significativamente no período de cheia (Tabela 2). Os lagos Rico, Cocal, Piedade e Montaria são lagos típicos de canal abandonado e apresentaram as maiores variações em área, perímetro e largura máxima. O comprimento máximo também aumentou, mas pouco expressivo em relação aos outros parâmetros.

Outra variável que aumentou muito foi a profundidade máxima (Tabela 2), na qual podemos observar que em alguns casos como do lago Cangas ficou 4,95 m mais profundo, ou seja, passou de 2,55 m para 7,5 m. Lagos que não estabelecem conexão direta com o rio Araguaia como o Lago Azul (canal abandonado encadeado) e Formosa (Espira composta) sofreram menores oscilações em profundidade. Outros exemplos de grande variação foram o lago São Joaquim de 0,5 m para 4,45 m (canal abandonado), Japonês de 1,75 m para 6,85 m (vale bloqueado). Assim, a relação entre o regime hidrológico e a origem geomorfológica com lagos de canal abandonado e lagos de vale bloqueado

apresentam maior variação em profundidade. Os períodos de seca e cheia no sistema produzem variações na profundidade em função do ciclo hidrológico, tal como demonstram estudos em planícies tropicais (Marlier, 1967; Hamilton e Lewis, 1987; Camargo e Esteves, 1995).

A profundidade dos lagos do rio Araguaia varia na estação seca entre 0,3 m e 4,55 m e na estação de cheia entre 2,7 m e 7,75 m (Tabela 2). Análise de lagos em diferentes planícies tropicais revelam profundidades aproximadas às encontradas no rio Araguaia, como, por exemplo, no Alto Paraguai (0,95 m a 6,6 m; Garcia, 2000); na região amazônica (2,35 m a 9,0 m; Marlier, 1967); no Alto Paraná (1,5 m a 5 m; Thomaz *et al.*, 1997) e no rio Orinoco (0,45 m a 4,6 m; Rodrigues *et al.*, 1997).

A profundidade está naturalmente associada ao volume, ambos parâmetros de importância limnológicas. As diferenças na profundidade encontradas nos diversos lagos (rasos ou mais profundos) apresentam padrões diferentes de circulação e distribuição de organismos e compostos

químicos na coluna de água (Sperling, 1999). Esse é também um parâmetro com uma estreita relação com a área, pois a radiação solar ao atingir o fundo de um lago pouco profundo pode aumentar as atividades de organismos autótrofos em maior proporção ao volume do lago.

A variação dos parâmetros morfométricos dos lagos é de caráter sazonal, tomando como exemplo o parâmetro “área” que tem uma grande influência nos demais. Verificamos que esse incremento não está relacionado diretamente à morfologia do lago. A análise de imagens de satélite e de cartas topográficas indica que, na maioria dos lagos analisados, a expansão do perímetro molhado, principalmente em lagos de canal abandonado ocorre devido à quebra de “leves” e inundação de áreas planas próximas aos lagos. Não há aumento real da área dos lagos, pois esse processo só se explicaria se fossem alteradas as relações de largura/profundidade dos lagos.

Desenvolvimento de Perímetro e Índice de Forma

As variações de irregularidade das margens de um lago são obtidas através do cálculo de Dp, o menor valor encontrado deve ser igual a 1,0 assim quanto maior o valor supere a unidade mais irregular é o contorno do lago. Apesar da grande relevância desse parâmetro morfométrico para investigações de cunho limnológico, são raros os trabalhos em lagoas de planície em que ele é quantificado (Thomaz *et al.*, 2003).

Os lagos da planície do Araguaia apresentaram índice de Dp entre 1,75 e 7,5, predominando valores acima de 4,0, o que as configura na literatura como ambientes com alto grau de irregularidade das margens (Timms, 1992). O desenvolvimento deste índice e sua aplicação em lagos de regiões temperadas e glaciais justifica este diagnóstico. Contudo, em lagos fluviais de regiões tropicais, como no caso do rio Araguaia – onde a gênese da maioria dos lagos está associada a migrações de canais, gerando lagos como canal abandonado e oxbows – suas morfologias são estreitas e alongadas. Explica-se, assim, que o alto índice de Dp desses lagos se deve à relação área/perímetro, ou seja, a área dos lagos é pequena comparada com a extensão do perímetro (Tabela 2). Neste caso, não significa que os lagos possuam margens irregulares, mas sim margens com tendência alongada e bem definidas (Figura 4).

Com exceção dos lagos Mata Coral, Cangas, Saudade e Dantas que apresentaram índices de Dp maiores na cheia, os demais apresentaram maiores índices na seca (Tabela 3).

Na cheia, o espriamento superficial das águas pela planície tende a modificar a configuração desses ambientes; em alguns casos, os lagos tornam-se menos

irregulares mesmo que tenham aumentado em área. O lago Montaria é um exemplo, onde o Dp de 7,05 na seca diminui para 3,81 na cheia, contudo foi esse o lago que apresentou a maior variação em área, passando de 0,82 km² para 14,19 km². Vemos, assim, que enquanto a área aparente aumentou mais de 1700% o perímetro aumentou apenas 125% (Figura 4).

Tabela 3. Desenvolvimento de perímetro dos 20 lagos localizados no médio Araguaia entre as cidades de Aruanã, Estado de Goiás e Luiz Alves, Estado de Goiás.

LAGO	Desenvolvimento de Perímetro (Dp)	
	Seca	Cheia
Dumbazinho	3,64	3,45
Campos	1,84	1,75
Azul	6,30	5,50
Mata Coral	3,58	4,24
Formosa	6,64	5,15
Cangas	4,07	5,21
Dumbá Grande	4,55	4,41
Rico	7,50	7,01
Saudade	5,59	5,98
Fuzil	4,01	3,88
Landi	2,14	1,79
São Joaquim	3,42	3,28
Cocal	5,86	5,28
São José dos Bandeirantes	3,88	4,14
Piedade	9,24	13,65
Dantas	4,35	6,44
Japonês	6,60	6,32
Montaria	7,05	3,81
Luiz Alves	5,32	4,93
Brito	3,71	3,28

Dessa forma, a relação área/perímetro que influencia o Dp. Apesar da grande relevância desse parâmetro morfométrico para análises limnológicas, são raros os trabalhos em lagos de planície em que ele é quantificado.

Conectividade dos lagos com o canal principal

Os procedimentos para quantificar a conectividade hidrológica são incipientes (Neiff, 2003). Grande parte dos trabalhos estima a conectividade em aspectos morfológicos dos ambientes (Ward e Stanford, 1995; Ward *et al.*, 1999) e por meio de variáveis hidrológicas (Sheldon *et al.*, 2002). Contudo são poucos os trabalhos que utilizam sensoriamento remoto para extrair informações relacionadas à conectividade em ambientes de planície (Mertes *et al.*, 2002).

A conectividade hidrológica refere-se ao intercâmbio de energia e à matéria (incluindo organismos) entre os ambientes, com fortes implicações para a biodiversidade (Ward e Stanford, 1995; Tockner *et al.*, 2000; Bini *et al.*, 2003). As forças de conectividade hidrológica (Ward e Stanford, 1995) e o pulso de inundação (Junk *et al.*, 1989) juntas atam na heterogeneidade ambiental e regulam os processos limnológicos de ambientes aquáticos e planícies de inundação (Thomaz *et al.*, 1997).

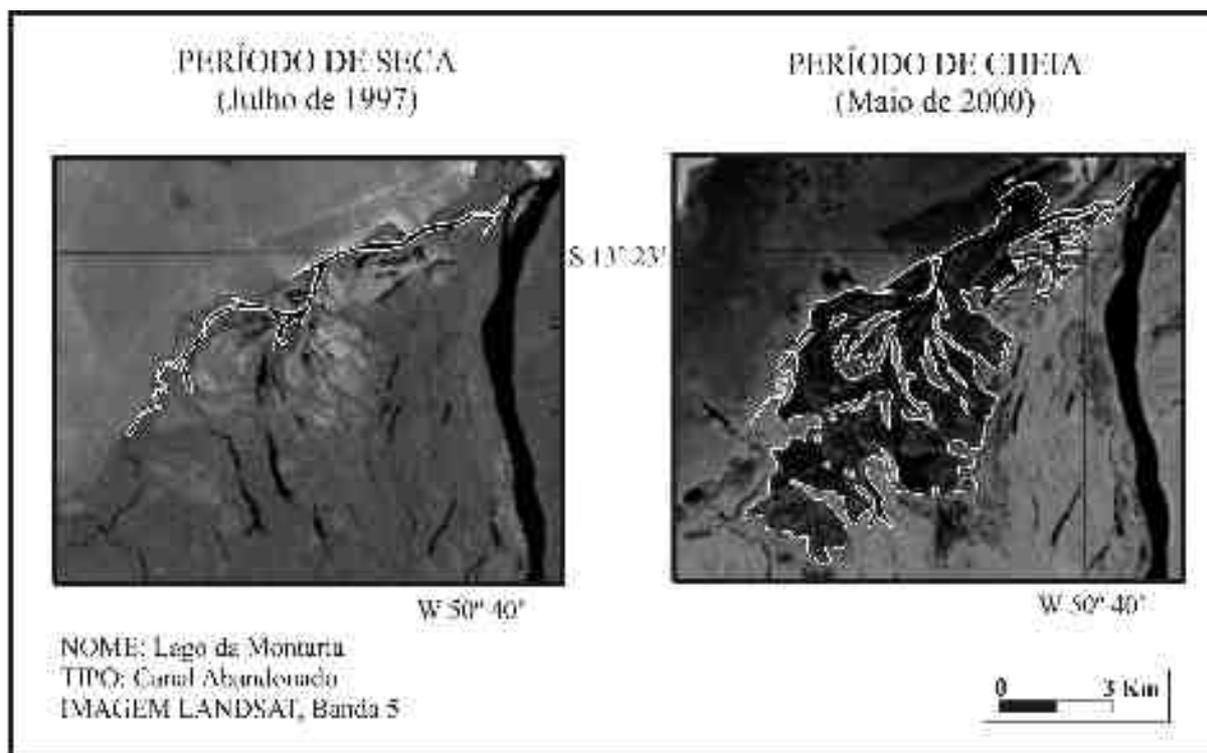


Figura 4. Influência da variação sazonal em parâmetros morfométricos primários como área e perímetro.

Ainda assim, o significado dos diferentes graus de conectividade entre rios e habitats da planície, e o complexo papel do regime hidrológico, são pouco conhecidos, e a literatura indica que seus efeitos são contraditórios, tanto para comunidades bióticas quanto para fatores físico-químicos (Amoros e Bornette, 1999).

Apesar de não deixar explícita a relação, Ward e Stanford (1995) descrevem um gradiente de conectividade dos ambientes da planície, considerando aspectos ligados à gênese desses ambientes. Os 12 lagos de canal abandonado seriam considerados os de maior conectividade, seguidas pelos 3 de canal abandonado encadeado e pelos 2 de espira de meandro composta. O lago Saudade (espira de meandro composta) tem ligação direta com o canal, e o Formosa encontra-se isolado sem conexão com o rio tanto na seca quanto na cheia. No extremo, estão os lagos de vale bloqueado, que apesar da seqüência hierárquica proposta em termos de conectividade, encontram-se parcialmente conectados no período de seca e conectados ao sistema durante a cheia (Tabela 4).

Considerando aspectos genéticos, os lagos investigados apresentam graus de conectividade diferenciados em relação ao rio. Os lagos de canal abandonado apresentam maior conectividade com

o rio Araguaia que as demais tipologias. Lagos de canal abandonado encadeado, por não apresentarem conexão com o rio na seca, sofrem menos intensamente a influência desse. Os lagos de espira de meandro, isolados e mais distante do rio não apresentam nenhuma conectividade com o canal, nem mesmo nos períodos de cheia do sistema (salvo em cheias excepcionais). E, por fim, os vales bloqueados que possivelmente devido a sua origem geomorfológica, apresentam as características mais diferenciadas do Araguaia por apresentarem conectividade permanente com o rio mesmo em estações sazonais distintas.

A conectividade dos lagos ao canal do Araguaia está relacionada às características morfológicas da planície aluvial, a dinâmica fluvial de inundações e processos de erosão e sedimentação no sistema. Uma análise superficial da rede de drenagem da planície aluvial do Araguaia revela uma grande quantidade de canais que drenam esta superfície. O grau de conectividade hidrológica do sistema rio-planície está fortemente ligado com a densidade de drenagem da planície de inundação (Drago, 1990). De fato, uma maior densidade de canais na planície significa um alto número de lagos conectados tal como se pode verificar em relação aos lagos analisados neste trabalho (Tabela 4).

Tabela 4. Medidas de tamanho da boca (conectividade) e distância dos lagos ao canal principal do rio Araguaia.

LAGO	Conectividade -Tamanho da boca (m)		Distância do rio (m)		Tipo de Lago
	Seca	Cheia	Seca	Cheia	
Dumbazinho	9,53	29,38	Parcialmente conectado	Conectado	Vale bloqueado
Campos	não conectado	não conectado	9000	9000	Canal abandonado encadeado
Azul	não conectado	não conectado	2320	1790	Canal abandonado encadeado
Mata Coral	40,53	150	conectado	Conectado	Canal abandonado encadeado
Formosa	não conectado	não conectado	2840	2410	Espira de meandro composta
Cangas	114,80	126,03	conectado	Conectado	Canal abandonado
Dumbá Grande	141,82	229,64	conectado	Conectado	Canal abandonado
Rico	132,63	240,02	conectado	Conectado	Canal abandonado
Saudade	26,3	53,97	Parcialmente conectado	Conectado	Canal abandonado
Fuzil	28,03	63,52	conectado	Conectado	Canal abandonado
Landi	27,15	43,68	conectado	Conectado	Vale bloqueado
São Joaquim	29,79	146,45	Parcialmente conectado	Conectado	Canal abandonado
Cocal	24,40	56,46	conectado	Conectado	Canal abandonado
São José dos Bandeirantes	149,04	168,25	conectado	Conectado	Canal abandonado
Piedade	39,32	68,83	conectado	Conectado	Canal abandonado
Dantas	58,79	72,90	Parcialmente conectado	Parcialmente conectado	Canal abandonado
Japonês	66,88	75,32	conectado	Conectado	Vale bloqueado
Montaria	89,02	151,26	conectado	Conectado	Canal Abandonado
Luiz Alves	92,24	174,8	conectado	Conectado	Canal abandonado
Brito	29,75	74,35	conectado	Conectado	Canal Abandonado

Fonte: Imagens de satélite Landsat 5 TM de julho de 1997 (período de seca) e Landsat 7 ETM de maio de 2000 (período de cheia).

Conclusão

As Unidades Geomorfológicas que formam a planície aluvial do rio Araguaia é caracterizada por processos agradacionais e pela forte influência de processos lacustres associados a áreas de escoamento impedido e paleocanais. Sendo assim, os lagos da planície do Araguaia diferenciam-se quanto aos seus aspectos fisiográficos devido a sua gênese geomorfológica. A alternância entre períodos de seca e cheia é o fator principal na variação morfométrica dos lagos e no grau de conectividade destes sistemas com o canal principal.

A variação dos parâmetros área e perímetro entre seca (15/7/1997) e cheia (23/5/2000) observados e quantificados através de imagens de satélite revelaram que todos os lagos apresentaram aumento nos valores destes parâmetros na transição seca/cheia. Cerca de 45% dos lagos analisados tiveram aumentos em área inundada em mais de 100% em relação à área original do espelho d'água. Os lagos do tipo canal abandonado foram os que apresentaram os maiores valores. Dois lagos merecem atenção especial: o lago Piedade e o lago Montaria.

O lago Piedade aumentou cerca de 1.283% a área aparente do lago no período de cheia devido a inundações. O lago Montaria teve um aumento de 1.700% de área inundada em relação a sua área original. Acompanhando a variação espacial da área dos lagos, os demais parâmetros primários como comprimento máximo, largura e profundidade, também aumentaram consideravelmente. Em 65% dos lagos, mesmo considerando o período de seca, predominam índices de D_p acima de 4, o que significa se tratar de ambientes lacustres com margens alongadas e bem desenvolvidas, típicos de morfologias caracterizadas como lagos de canal abandonado.

Em termos gerais de conectividades, dos 20 lagos

analisados, apenas 3 encontravam-se isolados sem conexão com o canal em ambos os períodos sazonais, lagos Campos e Azul, ambos de canal abandonado encadeado e o lago Formosa, espira de meandro composta. Todos os outros 17 lagos encontravam-se conectados ou parcialmente conectados. O uso de produtos de sensoriamento remoto para obtenção deste parâmetro especificamente contribui para preencher uma lacuna nos estudos limnológicos brasileiros onde as dificuldades de via de acesso e a grande extensão areal dos sistemas fluviais dificultam muito a obtenção desta medida em campo. Os produtos de sensoriamento remoto demonstraram que além da conectividade da boca, podem ser observados outros tipos de conectividade morfológica como o de quebra de "levees" em períodos de cheia permitindo a alimentação de fluxos de água do canal para os lagos.

A caracterização fisiográfica, genética e a determinação de alguns parâmetros morfométricos destes 20 lagos da planície do médio rio Araguaia permitiu um melhor entendimento sobre o funcionamento desses ecossistemas que tem uma grande contribuição enquanto amortecedor energético do sistema fluvial, cumprindo um importante papel ecológico. A dinâmica anual de inundações e seca no sistema fluvial apresenta diferentes relações de magnitude espaço-temporal de permanência dessas condições e contribui em realçar a heterogeneidade espacial desses ambientes em termos hidrológicos, limnológicos e de habitats.

Assim, esta análise pretende contribuir com estudos de enfoques ecológicos de manutenção, de conservação e de gerenciamento desse sistema fluvial, que ao longo das últimas décadas, vem sofrendo pressões ambientais de alta magnitude.

Referências

- AMOROS, C.; BORNETTE, G. Antagonist and cumulative effects of connectivity: a predictive model based on aquatic vegetation in riparian wetlands. *Archiv. Fur Hydrobiol. Suppl.*, Stuttgart, v. 115, p. 311-327, 1999.
- BINI, L.M. *et al.* The effect of connectivity on the relationship between local and regional species richness of testate amoebae (Protozoa, Rhizopoda) in floodplains lagoons of the upper Parana River, Brazil. *Acta Oecol.*, Paris, v. 24, p. 145-151, 2003.
- CAMARGO, A.F.M.; ESTEVES, F.A. Influence of water level fluctuation on fertilization of an oxbow-lake of Mogi -Guaçu, State of São Paulo, Brazil. *Hydrobiologia*. Dordrecht, v. 229, p. 185-193, 1995.
- DRAGO, E.C. Geomorphology of large alluvial rivers: Lower Paraguay and Middle Paraná. *Interciencia*, Caracas, v. 15, p. 378-387, 1990
- DRAGO, E.C. Origen y clasificación de ambientes lentícos en llanuras aluviales. *Rev. Assoc. Cienc. Nat. Lit.*, Santo Tomé, v. 7, p. 123-137, 1976.
- ESTEVES, F.A. *Fundamentos de Limnologia*. Rio de Janeiro: Ed. Interciência/Finep, 1988.
- FRANÇA, A.M. *Ordenamento geomorfológico dos sistemas lacustres da planície aluvial do rio Araguaia*. 2002. Monografia (Graduação em Geografia)–Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2002.
- FRANÇA, A.M.; LATRUBESSE, E.M. *Ordenamento dos sistemas lacustres da planície aluvial do rio Araguaia: uma proposta preliminar*. In: SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 9. 2001, Recife. *Anais...* Recife: UFPE, 2001, p. 108-109.
- GARCIA, F.C. *Fatores controladores da concentração de dorofila-a em lagoas da planície de alagamento do alto rio Paraguaia, Sepotuba e Caçabal, em Cáceres, Mato Grosso*. 2000. Dissertação (Mestrado)–Ciências Biológicas, Universidade do Estado de Mato Grosso, Cuiabá, 2000.
- HAMILTON, S.K.; LEWIS Jr, W.M. Causes of seasonality in the chemistry of lake on the Orinoco river floodplain, Venezuela. *Limnol. Oceanogr.*, Waco, v. 32, n. 6, p. 1277-1290, 1987.
- JUNK, W.J. *et al.* The flood pulse concept in river-floodplain systems. In: DODGE, D. (Ed.). *Proceeding of the International Large River Symposium*. Canada: *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.*, Ottawa, v. 106, p. 110-127, 1989.
- JUNK, W.J.; FURCH, K. A general review of tropical South American floodplains. *Wetlands Ecol. Manag.*, Dordrecht, v. 2, n. 4, p. 231-238, 1993.
- LATRUBESSE, E.M.; STEVAUX, J.C. Geomorphology and environmental aspects of the Araguaia fluvial basin, Brazil. *Z. Geomorphol.*, Berlin, Stuttgart, Suppl. Bd-129, p. 109-127, 2002.
- LATRUBESSE, E.M.; KALISCKI, T. Late quaternary paleohydrological changes in the upper Purus basin, southwestern Amazonia, Brazil. *Z. Geomorphol.*, Berlin, Suppl. Bd-129, p. 41-59, 2002.
- MARLIER, G. Ecological studies on some lakes in Amazon valley. *Amazoniana*, Kiel, v. 1, n. 2, p. 91-115, 1967.
- MERTES, L.A.K. Remote sensing of riverine landscapes. *Fresv. Biol.*, Oxford, v. 47, p. 799-816, 2002.
- MORAIS, R.P. *Mudanças históricas na morfologia do canal do rio Araguaia no trecho entre a cidade de Barra do Garça (MT) e a foz do rio Cristalino na ilha do Bananal no período das décadas de 60 e 90*. 2002. Dissertação (Mestrado em Geografia)–Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2002.
- NEIFF, J.J. Planícies de inundação são ecótonos? In: HENRY, R. (Org.). *Écotonos na interfaces dos ecossistemas aquáticos*. São Carlos: Rima, 2003, p. 29-46.
- RODRIGUES, M. *et al.* Structure of fish assemblages along environmental gradients in floodplain lakes in Orinoco river. *Ecol. Monogr.*, Washington, DC, v. 67, n. 1, p. 109-128, 1997.
- SHELDON, F. *et al.* Conservation value of variable connectivity: aquatic invertebrate assemblages of channel and floodplain habitats of a central Australian arid-zone river, Cooper Creek. *Biol. Conserv.*, Kidlington, v. 103, p. 13-31, 2002.
- SIPPEL, S.J. *et al.* Inundation area and morphometry of lakes the Amazon river floodplain, Brazil. *Arch. Hydrobiol.*, Stuttgart, v. 123, n.4, p.385-400, 1992.
- SPERLING, E.V. *Morfologia de lagos e represas*. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 1999.
- THOMAZ, S.M. *Influência do regime hidrológico (pulsos) sobre algumas variáveis limnológicas de diferentes ambientes aquáticos da planície de inundação do Alto rio Paraná, Ms, Brasil*. 1991. Dissertação. (Mestrado)-Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1991.
- THOMAZ, S.M. *et al.* Caracterização limnológica dos ambientes aquáticos e influência dos níveis fluviométricos. In: VAZZOLER, A.E.A.M. *et al.* (Ed.). *A planície de inundação do alto rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos*. Maringá: Eduem, 1997. p. 73-102.
- THOMAZ, S.M. *et al.* Species richness and beta diversity of aquatic macrophytes in a large subtropical reservoir (Itaipu Reservoir, Brazil): the influence of limnology and morphometry. *Hydrobiologia*, Dordrecht, v. 505, n. 1, p. 119-128, 2003.
- TIMMS, B.V. *Lakes Geomorphology*. Austrália: Gleneagles Agency, 1992.
- TOCKNER, K. *et al.* An extension of the flood pulse concept. *Hydrol. Proces.*, Chichester, v. 4, p. 2861-2883, 2000.
- WARD, J.V. *et al.* Biodiversity of floodplain river ecosystems: Ecotones and connectivity. *Regul. Rivers Res. Manag.*, Chichester, v. 15, p. 125-139, 1999.
- WARD, J.V.; STANFORD, J.A. Ecological connectivity in alluvial river ecosystems and its disruption by flow regulation. *Regul. Rivers Res. Manag.*, Chichester, v. 11, p. 105-119, 1995.

Received on August 06, 2004.

Accepted on July 28, 2005.