

Análise temporal do espelho d'água da lagoa Parnaguá (PI) usando imagens digitais

Temporal analysis of the level of water in Parnagua pond using digital images

Claudionor Ribeiro Silva^{1(*)}

Evaldo de Paiva Lima²

Jailson Silva Machado³

Resumo

É sabido que a escassez de água constitui um forte entrave ao desenvolvimento socioeconômico de uma região. Contudo, a preocupação atual não se limita apenas com a qualidade e quantidade da água, mas também, com os fatores que as ocasionam. O monitoramento dos recursos hídricos geralmente é uma tarefa morosa e onerosa. Uma técnica que tem demonstrado grande eficiência nestes estudos, com custo relativamente baixo, é o sensoriamento remoto. Nesse estudo, uma série de imagens Landsat5-TM é utilizada na análise da variação da lâmina d'água da lagoa de Parnaguá (PI). Conjuntamente, é verificado se há ou não influência dos fenômenos climáticos El Niño e La Niña nessa variação. Os resultados mostram que existe correlação entre a variação do espelho d'água da lagoa com os fenômenos climáticos El Niño e La Niña, embora sejam necessários estudos que meçam a utilização da água dessa lagoa para outros fins, tais como irrigação e uso doméstico.

Palavras-chave: água; lagoa Parnaguá (PI); El Niño.

Abstract

It is known that water shortage can be a strong barrier to a region's socioeconomic development. However, the current concern is not just with the quality and amount

1 Dr.; Engenheiro de Agrimensura; Professor da Universidade Federal de Uberlândia, UFU; Endereço: Av. Goiás, 2000, Campus de Monte Carmelo/UFU, Vila Nova, CEP: 38500-000, Monte Carmelo, Minas Gerais, Brasil. E-mail: crs@ig.ufu.br

2 Dr.; Meteorologia Agrícola; Pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Embrapa Solos, na área Uso Sustentável de Recursos Naturais; Endereço: Rua Jardim Botânico, 1024, Jardim Botânico, CEP: 22460-000, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil; E-mail: evaldo@cnpq.embrapa.br

3 Graduando em Engenharia Florestal na Universidade Federal do Piauí, UFPI, campus Bom Jesus;; topógrafo na JM Serviços de Topografia Ltda.; Endereço: rua Francisco Calado de Souza, 25, CEP 61760-000, Eusébio, Ceará, Brasil; E-mail jailsaxternor@hotmail.com

of the water, but also with their causing factors. The monitoring of hydric resources is usually a slow and onerous task. A technique that has shown great efficiency in these studies, with relatively low cost, is the remote sensing. In this study, a series of Landsat5-TM images is used to analyze the variation of the water level of the Parnaguá Pond (PI), Brazil. Jointly, it is verified whether the climatic phenomena El Niño and La Niña influence on that variation. The results show a correlation between the variations of the pond's water surface and the climatic phenomena El Niño and La Niña, although it is necessary to carry on further studies to measure the use of the pond's water for other ends, such as irrigation and domestic use.

Key words: water; lake Parnagua; El Niño.

Introdução

Na região Nordeste do Brasil, o Polígono das Secas apresenta um regime pluviométrico marcado por extrema irregularidade de chuvas no tempo e no espaço. Nesse cenário, a escassez de água constitui-se um forte entrave ao desenvolvimento sócioeconômico e à subsistência da população. A ocorrência cíclica das secas e seus efeitos catastróficos são bem conhecidos e remontam aos primórdios da história do Brasil (AGUIAR, 2004).

A preocupação não se limita apenas com a qualidade e quantidade da água, mas, também, com os fatores que as ocasionam, como a destruição de corpos d'água, causada pela redução ou extinção de suas matas ciliares. Esse tipo de vegetação exerce importante papel na proteção dos cursos d'água, evitando a ocorrência de fenômenos como o assoreamento e a contaminação com defensivos agrícolas (MARTINS, 2007; MARTINS, 2009). Segundo Andrade et al. (2005), as matas ciliares são indispensáveis para a harmonização entre os sistemas produtivos e o modo de vida das populações humanas, principalmente por propiciar a qualidade da água.

Historicamente, o homem tem explorado as florestas nativas, incluindo

as matas ciliares, de forma primitiva, sem um manejo adequado. Exemplos desse tipo de exploração são as muitas cidades e variados tipos de cultivos implantados às margens de rios, eliminando todo tipo de vegetação ciliar. Como consequência, essas cidades sofrem com constantes inundações, poluição, doenças e modificação da paisagem (FERREIRA; DIAS, 2004).

Devido à importância do tema, o monitoramento e preservação desses recursos hídricos demandam estudos mais detalhados. Uma técnica que tem demonstrado grande eficiência na realização dessas tarefas, com custo relativamente baixo e de fácil atualização, é o sensoriamento remoto. Alsdorf et al. (2000) usaram dados de Radar Abertura Sintética (SAR) para medir o nível d'água em uma área de planície de inundação na Amazônia central. Espinoza e Abraham (2005), por exemplo, utilizaram essa técnica, juntamente com Sistema de Informações Geográficas (SIG), para elaborar um documento que trata do estudo hídrico em regiões costeiras. Em Novo (2011), é demonstrado como a tecnologia de sensoriamento remoto dá suporte à produção de informações quantitativas e qualitativas sobre a quantidade e qualidade dos recursos hídricos.

Outros trabalhos relevantes sobre o tema podem ser visto em: Congalton et al. (1998), que utilizaram técnicas de sensoriamento remoto e de SIG em um modelo de estimativa anual do uso consuntivo e distribuição de água entre usuários; em Eid e Campana (1999), que também utilizam o sensoriamento remoto e SIG no manejo dos recursos hídricos; essas mesmas ferramentas foram utilizadas por Luna (2000) no estudo de eventos de cheia, em um reservatório no estado do Ceará; por Luna e Pereira (2003) em uma proposta de desenvolvimento de um plano que objetivava mitigar os efeitos causados pela escassez hídrica momentânea; e por Pereira e Lapere (2009) em uma análise multitemporal da lagoa do Jacadigo (Corumbá/MS), por meio de uma comparação de imagens dos anos 2000, 2003, 2005 e 2008.

No estado do Piauí, o sistema aquático (rios, córregos, lagoas, etc.) encontra-se ameaçado pelo intenso processo de assoreamento, em decorrência do desmatamento acentuado que ocorre no Estado, principalmente nas nascentes e nas margens dos rios (BRASILREPÚBLICA, 2010). Tal fato evidencia a necessidade de preservação desse sistema, que é composto por lagoas de notáveis expressões como as de Parnaguá, Buriti e Cajueiro, que vêm sendo aproveitadas em projetos de irrigação e de abastecimento de água na região.

Além dos fatores causados pelo homem, os fenômenos naturais, tais como o El Niño e La Niña, também podem contribuir com o aumento ou redução do volume de água em um manancial. Nesse contexto, é proposto no presente estudo uma análise temporal da variação da lâmina d'água da lagoa de Parnaguá (PI), verificando a possível influência dos fenômenos climáticos

El Niño e La Niña. Para tanto, foram usadas imagens do sensor TM/Landsat-5, correspondentes aos anos de 1989, 1995, 2000 e 2010.

Processamento de Imagens Digitais

O processamento digital de imagens é um conjunto de técnicas ou operações que buscam evidenciar alguma informação específica, como a identificação do local de ocorrência de um fenômeno, por exemplo, um Tsunami. Dentre essas técnicas podem ser citadas: NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), NDWI (Normalized Difference Water Index), classificação, segmentação, e transformações espectrais de imagens digitais.

NDVI

O NDVI é um índice que varia no intervalo $[-1 \ 1]$ e que indica a densidade de vegetação por área, destacando essa feição em relação às outras existentes na imagem, além de fornecer características como tipo vegetação, teor de água, biomassa e produtividade (MACHADO, 2003; GIANASI et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2012). Esse índice é determinado pela razão (Equação 1) entre as bandas espectrais referentes aos comprimentos de ondas de $0.63\text{-}0.69\mu\text{m}$ (vermelho - R) e $0.76\text{-}0.90\mu\text{m}$ (infravermelho - IR), no espectro eletromagnético.

$$\text{NDVI} = (\text{IR} - \text{R}) / (\text{IR} + \text{R}) \quad (1)$$

O fato de a vegetação apresentar altos valores de reflectância na banda (imagem) do infravermelho, e baixos valores nas bandas do visível, especialmente na banda do vermelho,

os valores do NDVI correspondente à essa feição são relativamente altos, colocando em destaque na imagem, as áreas que contém vegetação.

Classificação de Imagens

A classificação é definida como um método usado para agrupar pixels de uma imagem, baseado em suas características espectrais (Richards e Jia, 2006). O agrupamento é executado por um programa de computador habilitado para identificar pixels espectralmente similares. A classificação de um pixel como pertencente ou similar a um determinado grupo de pixels é feita com base em uma regra de decisão, que pode ser definida pelo usuário.

Existem dois tipos de classificação: a não-supervisionada e a supervisionada. No primeiro tipo, os pixels são associados a uma determinada classe sem a influência do usuário. Por outro lado, a classificação supervisionada demanda a participação do usuário, exigindo informações sobre as classes existentes na imagem. A efetivação da classificação supervisionada é realizada por meio de classificadores. O mais comum e já consagrado por apresentar melhores resultados é o MaxVer (máxima verossimilhança). Esse método tem por base uma função critério que avalia as decisões incorretas, acordando com uma regra de decisão puramente estatística.

Materiais e Métodos

O município de Parnaguá, que contém uma lagoa de igual nome, situa-se na microrregião da Chapada Extremo Sul Piauiense, compreendendo uma área de 2.269 km², tendo como limites os municípios

de Curimatá e Riacho Fundo ao norte; Curimatá e Júlio Borges a leste; Sebastião Barros, Corrente e Riacho Fundo a oeste; e Sebastião Barros, e o estado da Bahia, ao sul. A sede de Parnaguá situa-se a 823 km da capital do estado (Teresina) e possui as seguintes coordenadas geográficas centrais: 10° 13' 39" Sul e 44° 38' 21" Oeste. A lagoa Parnaguá, conforme pode ser observada na figura 1, apresenta forma irregular e tem como principal afluente o rio Paraim. É a maior lagoa do estado do Piauí, com capacidade de, aproximadamente, 70 milhões de metros cúbicos (Rodrigues, 2007).

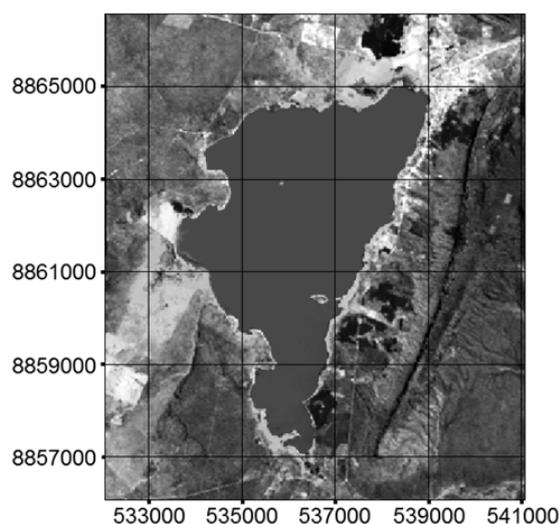


Figura 1. Área de estudo.

A área de estudo (Figura 1) possui as seguintes coordenadas: canto superior esquerdo (latitude 10° 13' 57.9" Sul e longitude 44° 42' 27.29" Oeste) e canto inferior direito (latitude 10° 19' 35.5" Sul e longitude 44° 37' 6.3" Oeste). Dentro da circunferência, desenhada no canto superior direito da figura 1, encontra-se a cidade sede do município de Parnaguá.

A série de dados utilizada nesse estudo é composta de imagens digitais obtidas pelo sensor/satélite TM/Landsat-5 que apresentam pixels com resolução espacial nominal de 30x30m e resolução radiométrica de 8 bits. Essas imagens foram adquiridas nos meses de setembro de cada um dos anos analisados: 1989, 1995, 2000 e 2010. Para cada uma das cenas, foram coletadas quatro bandas espectrais: três referentes à região do visível, no espectro-eletromagnético, azul (0.450-0.520 μ m), verde (0.520-0.600 μ m), vermelho (0.630-0.690 μ m), e uma correspondente ao infravermelho próximo (0.760-0.900 μ m). Ressalta-se que essas imagens são fornecidas gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

O método proposto nesse estudo pode ser compreendido pelas seguintes etapas: a) pré-processamento das imagens; b) classificação supervisionada das imagens; c) cálculo do NDVI; d) cruzamento dos mapas temáticos gerados a partir da classificação e do NDVI; e e) análise dos períodos de ocorrência dos fenômenos climáticos El Niño e La Niña.

Na etapa de pré-processamento, são realizadas tarefas como as correções atmosférica e geométrica relativa (registro) de todas as bandas espectrais; a criação de um buffer que cobria toda a área inundada da lagoa; e preparação de composições coloridas. Para cada ano analisado, uma composição colorida é criada usando as bandas do vermelho, verde e azul no sistema RGB (Red, Green e Blue), na respectiva ordem. Adicionalmente, as bandas referentes ao vermelho e infravermelho são isoladas para cálculo do NDVI.

Buscando uma conformidade entre os resultados da classificação e do índice NDVI, a correção atmosférica é realizada em todas as bandas utilizadas. Em virtude da

indisponibilidade de medidas atmosféricas para a área de estudo, é utilizado o método de correção atmosférica relativo proposto por Chavez Junior (1988). Esse método é fundamentado na subtração de objetos escuros presentes nas imagens, isto é, supõem-se que objetos escuros, com valores de radiância próximos a zero, sofreram interferência da atmosfera.

Na segunda etapa, é executada a classificação de todas as composições coloridas criadas na fase anterior. No processo de classificação é utilizado o classificador de Máxima Verossimilhança (MaxVer), que é um método de classificação supervisionada bastante utilizado, isto é, já é consagrado na literatura. Após a classificação, todos os pixels classificados como “água”, pelo MaxVer, são rotulados com o valor 1 (um), e os demais pixels, de quaisquer outras classes, recebem o valor 0 (zero).

O cálculo do NDVI é realizado logo após à fase de classificação. Nas imagens NDVI, todos os valores digitais, menores que um limiar T, são rotulados como pertencentes à classe “água” (valor 1) e, os demais pixels, como pertencentes à classe “não-água” (valor 0). O valor do limiar T é definido empiricamente. Ambas as tarefas, classificação e cálculo do NDVI, são executadas no programa Multispec 3.2.

Por fim, os mapas temáticos gerados nos processos de classificação e cálculo de NDVI, referentes aos quatro anos em questão, são cruzados, por pares, entre si. Os cruzamentos são realizados por meio de operações aritméticas (subtração) entre os mapas temáticos. Essas operações permitem definir quatro situações diferentes entre duas imagens A e B: a) áreas em que há presença de “água” na imagem A e ausência na imagem B; b) áreas em que há ausência de “água” na

imagem A e presença na imagem B; c) áreas em que há presença de “água” na imagem A e presença na imagem B; e d) áreas em que há ausência de “água” na imagem A e ausência na imagem B. No caso (a), ocorre perda de “água” de A para B; em (b) ocorre aumento de “água” em B; no caso (c), permanece constante a quantidade de água; e, no caso (d), corresponde às áreas onde há cobertura por “água”.

Paralelamente às fases de quantificação do espelho d’água da lagoa Parnaguá, é verificada a ocorrência dos fenômenos climáticos El Niño e La Niña, visto que são fenômenos responsáveis, respectivamente, por secas severas e pelo aumento da precipitação na região Nordeste do Brasil. Os períodos de ocorrência desses fenômenos são definidos, trimestralmente, com base no Índice Niño Oceânico (ONI), fornecido pela National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA).

Resultados e Discussão

O registro das imagens usadas nos testes foi realizado tendo por base a imagem correspondente ao ano de 1989. O maior erro cometido nas três correções foi de 0.43 pixel. Após o registro, as imagens corrigidas foram recortadas com o intuito de reduzir o processamento posterior. Cada imagem foi recortada com o tamanho de 350x300 (Linha x Coluna) pixels. Os passos seguintes foram as criações das composições coloridas e do buffer. Esse último foi criado, manualmente, sobre a imagem base, referente ao ano 1989.

A figura 2 ilustra os mapas temáticos resultantes da classificação das imagens referentes aos anos de 1989 (a), 1995 (b), 2000 (c) e 2010 (d). Visualmente, os resultados são similares, embora apresentem pequenas alterações entre as imagens que podem ser observadas na parte Norte e Sul da lagoa.

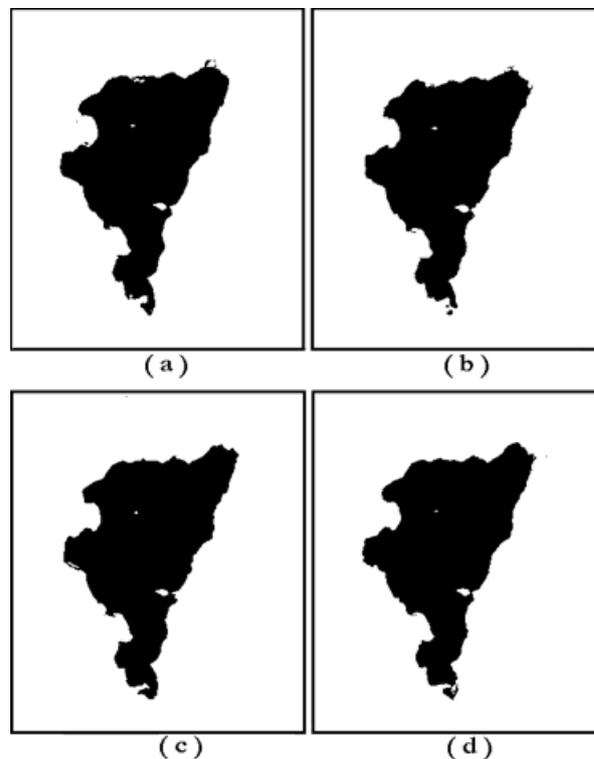


Figura 2. Resultados da Classificação: 1989(a), 1995(b), 2000(c) e 2010(d)

Os valores área de espelho d'água, obtidos no processo de classificação, e referentes aos quatro anos analisados, estão representados na tabela 1.

Tabela 1. Espelho d'água da lagoa Parnaguá medido nas imagens classificadas

Ano	Área Total (ha)
1989	1937.43
1995	1870.20
2000	2015.19
2010	1980.18

Em uma análise quantitativa, os resultados das classificações mostraram a ocorrência de uma redução do espelho d'água da Lagoa de Parnaguá, nos períodos: 1989-1998 e 2000-2010. Por outro lado, no período 1995-2000 ocorreu um aumento no espelho d'água de aproximadamente 145 hectares. Com base na tabela 2, pode-se observar que os valores máximo e mínimo ocorreram nos mapas temáticos referentes aos anos 2000 e 1995, respectivamente.

A tabela 2 apresenta valores que expressam o deslocamento da área do espelho d'água nos períodos analisados. Entre os anos 1989 e 1995, uma área 82.62 hectares do espelho d'água deixou de existir, e 15.39 (valor entre parênteses) novas hectares foram cobertas por águas, como apontam os valores da primeira célula da tabela 2.

Tabela 2. Deslocamento do espelho d'água da lagoa de Parnaguá em hectares

	1995	2000	2010
1989	82.62 (15.39)	20.43 (98.19)	18.45 (61.20)
1995		3.51 (148.50)	13.68 (123.66)
2000			63.09 (28.08)

O aumento do espelho d'água, ocorrido entre 1995 e 2000, pode ser observado na tabela 2, onde é evidenciado a inundação de 148.5 novas hectares. Nesse mesmo período, uma lâmina d'água que sobrepunha uma área de 3.51 hectares deixou de existir. Ambos os casos podem ser observados visualmente nas imagens dos referidos anos. O primeiro caso, aumento do espelho d'água, pode ser percebido na parte Sul e nas pequenas ilhas existentes nas imagens analisadas. O segundo caso pode ser observado no extremo Norte da mesma cena, onde um pequeno desvio (sangrador) de água deixa de existir.

A maior área de espelho d'água perdida ocorreu entre 1989 e 1995, cerca de 4.3% da área total; e a maior área adicionada ocorreu no período seguinte, entre 1995 e 2000, em aproximadamente 8% da área total.

Visualmente, os resultados obtidos com as imagens NDVI são similares aos obtidos com a classificação. Contudo, com exceção das imagens de 2010, as áreas de espelho d'água de todas as outras imagens NDVI aumentaram em relação às correspondentes medidas nos mapas temáticos da classificação. A tabela 3 apresenta os valores de áreas obtidos com o NDVI.

O aumento das áreas está relacionado com o valor do limiar T escolhido. Quanto maior o módulo desse valor menor é a área da feição água. A magnitude do limiar utilizado

Tabela 3. Espelho d'água da lagoa Parnaguá medido nas imagens NDVI

Ano	Área Total (ha)
1989	1962.72
1995	1887.12
2000	2028.33
2010	1886.58

nesse estudo foi de -0.9. Isso implica que os valores digitais pertencentes ao intervalo [-1, -0.9] foram rotulados como água. Dessa forma, pixels que estão em áreas que apresentam respostas espectrais semelhantes à da água são rotulados como pertencentes ao espelho d'água, embora não o seja. Assim, áreas como as de queimadas próximas à lagoa (que estejam dentro do buffer), úmidas e de alagamentos que apresentam essa característica são adicionadas à classe água. Além das possíveis causas mencionadas nas imagens classificadas, a ausência dessas feições similares espectralmente com a água, pode reduzir a área total do espelho d'água nas imagens NDVI, caso ocorrido em 2010.

As imagens utilizadas nos experimentos foram estrategicamente selecionadas após estudo detalhado da ocorrência dos fenômenos climáticos: El Niño e La Nina. Essas imagens selecionadas foram obtidas nos semestres JAS (julho, agosto e setembro) e ASO (agosto, setembro e outubro), que são períodos comumente chuvosos na área de estudo.

A tabela 4 mostra os índices correspondentes à ocorrência dos fenômenos El Niño e La Nina nos anos analisados (1989,

1995, 2000 e 2010) e nos anos antecedentes. Este índice baseia-se no limite de +/- 0.5°C para a anomalia da temperatura da superfície do mar (TSM) da região Niño 3.4 (latitude de 5°N a 5°S e longitude de 120°W a 170°W). Adicionalmente, são apresentados os índices dos anos anteriores (1988, 1994, 1999 e 2009), para que possa ser observada a evolução da TSM. Valores positivos desse índice sinalizaram a ocorrência de El Niño e valores negativos sinalizaram a ocorrência de La Niña.

Com base na tabela 4, observa-se que os três primeiros trimestres de 1988 estavam num período de transição de EL Niño para La Niña; contudo, no restante desse ano, e em todo o ano de 1989, prevaleceu o La Nina, com pico de -1.9. Em 1995, nos trimestres analisados (JAS e ASO), iniciou a transição de El Niño para La Nina, mas em todo o ano de 1994, e em todos os trimestres antecedentes a JAS e ASO de 1995, predominou o fenômeno El Niño. Embora nos trimestres analisados, JAS e ASO, do ano de 2000, a ocorrência do La Niña tenha sido de fraca intensidade, esse fenômeno se estende desde o segundo semestre de 1998, quando podem ser observados valores mais

Tabela 4. Eventos El Niño e La Niña com limite de $\pm 0.5^\circ\text{C}$ para o Índice Niño Oceânico

ANO	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1988	0.7	0.5	0.1	-0.2	-0.7	-1.2	-1.3	-1.2	-1.3	-1.6	-1.9	-1.9
1989	-1.7	-1.5	-1.1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1
1994	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.9	1.2	1.3
1995	1.2	0.9	0.7	0.4	0.3	0.2	0.0	-0.2	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7
1999	-1.4	-1.2	-0.9	-0.8	-0.8	-0.8	-0.9	-0.9	-1.0	-1.1	-1.3	-1.6
2000	-1.6	-1.4	-1.0	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.4	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7
2009	-0.8	-0.7	-0.5	-0.1	0.2	0.6	0.7	0.8	0.9	1.2	1.5	1.8
2010	1.7	1.5	1.2	0.8	0.3	-0.2	-0.6	-1.0	-1.3	-1.4	-1.4	-1.4

Fonte: CPC (2010).

elevados desse índice. Nos últimos trimestres do ano de 2010, a TSM do Pacífico tendeu para o resfriamento (negativa), mas na maior parte do ano antecedente, 2009, e nos primeiros trimestres de 2010, os modelos apontam um El Niño de forte intensidade, com pico de 1.8.

Com base nas tabelas 1 e 3, nota-se que existe uma relação direta com a ocorrência dos fenômenos climáticos, El Niño e La Niña, e a variação do espelho d'água da lagoa Parnaguá. Em 1989, período de ocorrência de La Niña, a área coberta pelo espelho d'água é superior (4.78% NDVI e 4.26% classificação) à área medida no ano 1995 (El Niño). O fato se repete nos anos 2000 e 2010, correspondentes às ocorrências dos fenômenos La Niña e El Niño, respectivamente.

Conclusões

Comparando os biênios 1988-1989 e 1999-2000, percebe-se que no segundo, o período de ocorrência do La Niña foi superior, o que poderia explicar o maior espelho d'água nesse segundo biênio, em ambos os experimentos, NDVI e classificação.

Nos outros dois biênios, 1994-1995 e 2009-2010, é percebida uma situação diferente; no primeiro ocorreu uma transição já nos últimos trimestres, prevalecendo o El Niño, e o segundo é intercalado por duas transições. Embora tenha sucedido apenas uma transição no primeiro biênio, a intensidade do El Niño é fraca, o que não aconteceu no segundo biênio, que mesmo com duas transições, apresenta El Niño de forte intensidade. Assim, seguindo a coerência dos resultados, de que há influência dos fenômenos

climáticos sobre o espelho d'água da lagoa, é possível afirmar que os resultados obtidos a partir das imagens classificadas são mais coerentes, nesse quesito, que aqueles obtidos no NDVI. Isto é, nas imagens classificadas, a área coberta por água no segundo biênio é maior que a área do primeiro. Todavia, deve ser levada em consideração a baixa resolução espacial das imagens utilizadas, que apresentam uma resolução nominal no terreno de 900 m².

Embora não faça parte do escopo desse trabalho, fatores antrópicos também devem ser levados em consideração na análise da variação do volume de água. Segundo IBGE (2011), a população do município variou, ao longo do período analisado, da seguinte forma: 12666 em 1991, 9345 em 2000, e atingiu 10265 em 2010. A redução considerável da população, em 2000, também pode ser uma explicação para o maior volume de água, uma vez que a sede do município é abastecida com a água dessa lagoa.

Analisando visualmente as imagens usadas nos experimentos, verifica-se que nos anos de 1989 e 1995 não existia nenhuma área cultivada nas proximidades da lagoa. Todavia, no ano 2000, surge uma pequena área com talhões cultivados, que é ampliada em 2010. Esse fator também poderia explicar a redução da lâmina d'água entre esses dois anos.

Ressalta-se que, embora os resultados tenham expressado essa relação, o fato de não existir uma estação meteorológica nas proximidades da lagoa, impossibilita a validação dessa afirmação. Nesse contexto, esse estudo vem corroborar com ações de planejamento ambiental do município e/ou regional, apontando, sobretudo, a necessidade de coleta frequente de dados meteorológicos.

Referências

AGUIAR, R. B. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado do Piauí: diagnóstico do município de Parnaíba.** (Org) Robério Bôto de Aguiar e José Roberto de Carvalho Gomes. Fortaleza: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2004.

ALSDORF, D. E., MELACK, J. M., DUNNE, T, MERTES, L. A. K.; HESS, L. L. ; SMITH, L. C. Interferometric radar measurements of water level changes on the Amazon floodplain. **Nature**, v.404, p.174-177, 2000.

ANDRADE, J; SANQUETTA, C. R; UGAYA C. Identificação de áreas prioritárias para recuperação da mata ciliar na UHE Salto Caxias. **Espaço Energia**, n.3, 2005.

BRASIL REPUBLICA – **Água:** Abundância e escassez. Disponível em: <www.brasilrepublica.com/piaui.htm>. Acesso em: 20 ago. 2010.

CHAVEZ JUNIOR, P. S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v.55, p.459-470, 1988.

CONGALTON, R. G.; BALOGH M; BALL, C.; GREEN, K.; MILLIKEN, J. A; OTTMAN, R. Mapping and Monitoring Agricultural Crops and Other Land Cover in the Lower Colorado River Basin. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.64, n.11., p.1107-1113, 1998.

CPC - **Climate Prediction Center.** Disponível em: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml>. Acesso em: 20 ago. 2010.

ESPINOZA, H. F.; ABRAHAM, A. M. Aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento para o estudo dos recursos hídricos em regiões costeiras. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005.

FERREIRA, D. A. C; DIAS, H. C. T. Situação atual da mata ciliar do ribeirão São Bartolomeu em Viçosa/MG. **Árvore**, v.28, n.4, p.617-623, 2004.

GIANASI, B. L.; OLIVEIRA, A. O.; ARAUJO, M. L. V.; COPERTINO, M. S. Utilização de LANDSAT-TM no estudo de uma floração de macroalgas de deriva no Estuário da Lagoa dos Patos (RS, Brasil). In.: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 15., 2011, Curitiba/PR. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011, p.7044.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. **Cidades.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 20 mar. 2011.

LUNA, R. M.; PEREIRA, P. M. Sensoriamento remoto no gerenciamento dos recursos hídricos do estado do Ceará. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003, p.2531-2536.

LUNA, R. M. **Utilização de técnicas de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas em estudo de eventos de chuvas.** 2000. 117f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Ceará, 2000.

MACHADO, H. M. **Determinação da biomassa da cana-de-açúcar considerando a variação espacial de dados espectrais do satélite Landsat7 ETM+.** 2003, 74f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

MARTINS, S. V. **Recuperação de matas ciliares.** 2. Ed., Viçosa/MG: CPT, 2007. 255p.

_____. **Recuperação de Áreas Degradadas.** Viçosa/MG: Aprenda Fácil, 2009. 270p.

NOVO, E. M. L. M. **Monitoramento de quantidade e qualidade da água e sensoriamento remoto.** Disponível em: <<http://mtc-m17.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m17%4080/2007/12.03.20.57/doc/3.pdf>>. Acesso em: 3 fev. 2011.

OLIVEIRA, L. C. B.; GUASSELLI, L. A.; ANTUNES, R. L. S. Variação espaço-temporal de NDVI no rio Madeira, na área de aproveitamento hidrelétrico da UHE Santo Antônio-RO. **Revista Geonorte**, Edição Especial, v.2, n.4, p.1823-1832, 2012.

PEREIRA, L. E.; LAPERE, A. C. L. Análise multitemporal da lagoa do Jacadigo no município de Corumbá, MS. In.: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 2., 2009, Corumbá. **Anais...** Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2009, p.240-248.

RICHARDS, J. A.; JIA, X. **Remote sensing digital image analysis: an introduction.** Springer, Berlin, 2006. 363p.

RODRIGUES, J. L. P. **Geografia e História do Piauí: Estudos Regionais.** Teresina, Halley S.A., 4 Ed., 2007. 329p.