Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Delimitação da área de preservação permanente da Lagoa dos Gateados, na planície costeira do Rio Grande Do Sul (RS), utilizando séries de imagens de satélite e dados hidrológicos históricos

André Luis Domingues¹, Kátia Helena Lipp-Nissinen², Letícia Sebastião Miranda³, Galileo Adeli Burio¹

¹Professor do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária do Centro Universitário Franciscano, Rua Silva Jardim, 1323, Prédio 11, Conjunto II, CEP: 97010-491, Santa Maria, RS, eng.domingues@gmail.com, ²Bióloga, PhD, do Departamento de Pesquisa e Análises Laboratoriais da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler, Av. Borges de Medeiros, 261, CEP: 90020-021, Porto Alegre, RS, katiahln@fepam.rs.gov.br; ³Bolsista PIBIC FEPAM-CNPq e aluna do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária do Centro Universitário Franciscano, Santa Maria, RS, leticiasbastiao@unifra.br ⁴Professor do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária do Centro Universitário Franciscano, Rua Silva Jardim, 1323, Prédio 11, Conjunto II, CEP: 97010-491, Santa Maria, RS, galileo@unifra.br

Artigo recebido em 10/09/2015 e aceito em 30/11/2015

RESUMO

O conhecimento da dinâmica de lagoas é essencial ao eficaz cumprimento dos propósitos do Código Florestal Brasileiro (2012). Na Planície Costeira do RS, lagoas com amplos leitos de inundação ocorrem em regiões prioritárias à conservação e alto uso do solo. Este estudo buscou identificar os períodos de máxima e mínima superfície d'água da Lagoa dos Gateados (Mostardas, RS) e delimitar sua área de preservação permanente (APP), usando sensoriamento remoto e dados hidrológicos históricos. Imagens do satélite *Landsat-5*, mais representativas dos períodos de deficiência (DH) e excesso hídrico (EH) entre 1985 e 2011, foram identificadas a partir de análises de série histórica de pluviosidade (31 anos) e do balanço hídrico regional. As áreas de alague e respectivas APP da lagoa foram delimitadas e quantificadas nas imagens com o aplicativo SPRING 4.3.3. As menores médias de áreas de alague (2.335 ha) e APP (594 ha) ocorreram durante DH, coincidindo com o período de uso intenso da água para irrigação de lavouras de arroz. Áreas de alague (4.651 ha) e APP (1.178 ha) duas vezes maiores em média ocorreram durante EH. Verificou-se elevada correlação ($r^2 = 0,81$) entre os dados pluviométricos e a dinâmica de retração e expansão da área alagada. Essas diferenças sazonais indicam a demarcação *in situ* da APP da lagoa entre junho e outubro, quando a máxima superfície d'água significaria a ampliação do limite externo da APP. O conhecimento dessa dinâmica e sua aplicação à demarcação das APP em atendimento à legislação permitirão, potencialmente, proteção de áreas marginais melhor dimensionadas ao cumprimento de importantes serviços ecossistêmicos.

Palavras-chave: área de alague, demarcação, sensoriamento remoto, lagoas costeiras, *Landsat-5*, pluviosidade, serviços ecossistêmicos.

Delimitation of the permanent preservation area of Gateados Lagoon, in the coastal plain of Rio Grande do Sul (Brazil) using historical series of satellite images and hydrological data

ABSTRACT

Knowledge of water bodies' dynamics is crucial to the effective fulfillment of the Brazilian Forest Code (2012). In Southern Brazilian Coastal Plain, lagoons with large flood beds occur in priority regions for conservation and high land use. This study sought to identify periods of maximum and minimum water surface spread of Gateados Lagoon (Mostardas, Rio Grande do Sul State) and to demarcate its legal marginal areas for permanent preservation (APP). Most representative *Landsat-5* satellite images of maximum water deficiency (WD) and excess (WE) periods, recorded between 1985 and 2011, were identified from the analysis of rainfall historical series (31 years) and regional water balance. Flooded lagoon surfaces and their respective APP were defined and quantified on images using the SPRING 4.3.3 application. The smallest flooded areas (2,335 ha) and APP (594 ha) on average occurred during WD, coinciding with the period of heavy water use for rice irrigation. Lagoon flooded areas measured (4,651 ha) and simulated APP (1,178 ha) were on average twice the size during WE. There was high correlation ($r^2 = 0.81$) between pluviosity and the

dynamics of retraction and expansion of the flooded surface. Such seasonal differences indicate that the *in situ* demarcation of the lagoon's APP should be between June and October. Hence, multitemporal remote sensing enabled an increase in the knowledge of Gateados Lagoon dynamics, the delimitation of its flooded area and a simulation of APP bands in WE and WD conditions, which are better dimensioned to fulfill important ecosystem services, in accordance to current Brazilian law.

Keywords: coastal lakes; ecosystem services; demarcation; flooded areas; land conservation; Landsat-5; pluviosity

Introdução

As áreas no entorno ou ao longo de corpos hídricos, quando protegidas e cobertas por vegetação, contribuem para a manutenção da qualidade da água e da conservação do solo, da flora, da fauna e do equilíbrio climático. Essas áreas funcionam como uma membrana semipermeável que regula o fluxo de matéria e energia entre o ecossistema terrestre e o aquático, sendo muito sensíveis às mudanças ambientais e cruciais para a manutenção da resiliência da microbacia hidrográfica (Lima e Zakia, 2006).

Em lagoas, lagunas e lagos naturais, conforme as características geomorfológicas, hidrológicas e climáticas da região, podem ocorrer flutuações temporárias no nível da água, assim como na extensão da superfície do corpo hídrico. Fantin-Cruz et al. (2008) constataram que estas flutuações têm importantes reflexos na organização e no funcionamento das zonas de transição aquático-terrestre. A sua desconsideração no dimensionamento da área de preservação permanente (APP) pode acarretar descaracterização ou perdas de áreas a serem preservadas.

No Código Florestal Brasileiro (CFB), atualmente regido pela Lei Federal nº 12.651 de 25/05/2012 (Brasil, 2012a), com alterações pela Lei nº 12.727 de 17/10/2012 (Brasil, 2012b), estão estabelecidas, no artigo 4º, as dimensões das faixas de APP no entorno de corpos hídricos lânticos, como lagos e lagoas naturais. Em zona rural, a largura deve ser de, no mínimo, 100 m para corpos hídricos com superfície igual ou superior a 20 ha e 50 m para aqueles com superfície inferior a 20 ha. Contudo, o ponto a partir do qual a sua APP deve ser mensurada não está estabelecido no CFB. Segundo Monteiro et al. (2013), sem a determinação da variação do nível da água que ocorre na área ripária, não há como concluir se as larguras das APP, expressas numericamente pela legislação, são compatíveis com os princípios da preservação e as funções ecológicas para as quais foram propostas. Assim, para a definição do local onde iniciar a medição da largura da APP, é importante determinar as variações na sua área de alagamento ao longo do tempo, principalmente em cursos e corpos hídricos localizados em planícies de inundação.

Em estudos como aqueles de Reis et al. (2009) para a Lagoa de Jaturnaíba no estado do Rio de Janeiro; de Coutinho e Cecílio (2011) para a Lagoa do Guanandi no estado do Espírito Santo; de Mesquita et al. (2012) para a Lagoa do Uraú; e de Pinheiro e Cabral (2007) para a Lagoa do Catu no estado do Ceará, as APP foram delimitadas com a utilização de imagens de satélite sem considerar as variações das superfícies d'água nos leitos de inundação. Isto ocorreu, possivelmente, pela não obrigatoriedade disposta no CFB. Entretanto, alguns estados brasileiros já trazem na legislação normas que exigem a delimitação das APP de cursos e corpos hídricos no período sazonal em que seu leito apresenta maior dimensão. Em Minas Gerais, na Lei Estadual nº 14.309 de 19/06/2002 (Minas Gerais, 2010), Art. 10, está determinado que a demarcação de APP em faixa marginal de lagoas deve ser feita a partir do nível mais alto, medido horizontalmente. No Rio de Janeiro, as APP são denominadas de Faixa Marginal de Proteção e, tanto em cursos d'água, como em lagos e lagoas, devem ser demarcadas considerando-se os níveis máximos de cota d'água (INEA, 2010).

Em toda a extensão da região da Planície Costeira do estado do Rio Grande do Sul existe um cordão de lagoas e áreas úmidas, compondo um mosaico de ecossistemas aquáticos e terrestres heterogêneos. A biodiversidade, o número de lagoas de água doce, sua proximidade ao mar e as peculiaridades geológicas da região resultam em uma complexidade de ecossistemas aquáticos e terrestres ainda não encontrada em outro local do mundo (Schäfer, 2009). Um grande número de ambientes dessa região é, portanto, classificado como de alta prioridade para a conservação pelo Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2007). Neste sentido, a delimitação adequada das APP de lagoas da Planície Costeira do Estado contribuirá para a proteção desses ecossistemas e na definição de ações de gestão ambiental na região. No entanto, para isto, é fundamental que a demarcação das APP seja precedida de estudo do regime hídrico do local.

O objetivo, neste trabalho, foi quantificar a APP da Lagoa dos Gateados, localizada na Planície Costeira do RS, em períodos de déficit e excesso hídrico, utilizando uma série histórica de

imagens do satélite *Landsat 5* e de dados hidrológicos.

Material e Métodos

Área de estudo

A Lagoa dos Gateados está localizada no município de Mostardas, Litoral Médio Leste do Rio Grande do Sul, entre as latitudes de 30°25'41"S e 30°35'40"S e longitudes de 50°30'49"W e 50°43'17"W (Figura 1). Está cercada por lavouras de arroz irrigado e, em menor escala, por campos com pecuária extensiva. Ao norte da lagoa existe uma série de banhados,

incluídos nos ecossistemas associados à Lagoa do Casamento – uma área listada como de alta importância e prioridade para a conservação ambiental (Brasil, 2007). A vegetação nativa é caracterizada por macrófitas aquáticas, campos naturais, capões de mata de restinga e de mata paludosa nos locais inundados. A fauna local possui um número elevado de espécies endêmicas, vulneráveis e ameaçadas de extinção (Becker et al., 2007).

Figura 1. Mapa de localização da Lagoa dos Gateados e imagem *Landsat 5*, composição de bandas 543 RGB.

Procedimentos Metodológicos

Para a delimitação das APP nas condições de máxima e mínima superfície alagada da Lagoa dos Gateados foram identificadas e selecionadas imagens de satélite que representassem a realidade mais próxima dessas condições. Considerando o relevo plano e a predominância de argissolos (solos bem drenados a imperfeitamente drenados) e planossolos (solos imperfeitamente drenados a mal drenados) na região da lagoa (Streck et al.,

2008), a metodologia foi planejada partindo-se do princípio de que as flutuações de cota da superfície da água refletem-se no avanço ou no recuo horizontal da área de alagade da lagoa. Ou seja, a máxima superfície (avanço) de alagade ocorre coincidentemente com os períodos de balanço hídrico positivo e máximo acumulado pluviométrico, enquanto a de mínima superfície de alagade ocorre em situação oposta.

Com o intuito de orientar a seleção das imagens, utilizaram-se os dados de precipitação pluviométrica e de balanço hídrico climático, identificando-se, assim, o regime pluviométrico e os períodos de excesso e deficiência hídrica na região. Coletaram-se os dados diários de precipitação pluviométrica da estação meteorológica de Palmares do Sul, pertencente à Agência Nacional das Águas, localizada 30 km a nordeste da lagoa, do período de 1974 a 2006, com exceção de 2005, ano sem registros disponíveis. A partir desses dados foram determinados os totais mensais de cada ano, e a média e o desvio padrão dos totais mensais da série histórica de observações. Os períodos de excesso e de deficiência hídrica no solo foram obtidos do balanço hídrico climático anual realizado para Mostardas (Rio Grande do Sul, 1978).

Selecionaram-se 15 imagens do satélite *Landsat 5* compreendendo uma série histórica de 1985 a 2011, disponível no catálogo gratuito de imagens digitais do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (<http://www.inpe.br>). Dessas, dez imagens foram obtidas com o objetivo de identificar a lagoa em condições de excesso hídrico (atingindo a superfície máxima sazonal) e cinco em situações de deficiência hídrica (atingindo a superfície mínima sazonal), permitindo uma análise comparativa dos resultados quantitativos de áreas alagadas e de APP simuladas em ambas as situações.

Os critérios estabelecidos para a seleção das imagens foram: i) imagens com nenhuma cobertura de nuvens sobre a área da lagoa; ii) imagens que representassem condições de deficiência hídrica, coincidindo com períodos de balanço hídrico negativo e com o menor valor acumulado de precipitação nos 31 dias anteriores à data de imageamento; iii) imagens que representassem condições de excesso hídrico, coincidindo com períodos de balanço hídrico positivo e maior acumulado de precipitação nos 31 dias anteriores à data de imageamento.

Cada imagem foi recortada e registrada no aplicativo SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) versão 4.3.3. Para a realização do registro das imagens, foi feito o *download* de uma imagem *GeoCover Landsat 7*, da qual foram retirados os pontos homólogos de apoio. O registro das 15 imagens *Landsat 5* foi realizado utilizando-se 25 pontos de apoio, sistema de projeção Universal Transversa de

Mercator (UTM), sistema geodésico regional para a América do Sul - South American Datum - SAD 69, polinômio de grau 2, interpolador vizinho mais próximo e erro médio quadrático inferior a um pixel.

Nas 15 imagens *Landsat 5* registradas, realizou-se a vetorização manual das áreas de alague, utilizando a composição das bandas 543 (infravermelho médio, infravermelho próximo e vermelho, respectivamente), nos canais RGB. Estas bandas são compostas por *pixels* de 30 m de largura. Após a delimitação das áreas de alague, os pixels no interior dessas foram somados com a ferramenta “operações métricas” do SPRING 4.3.3.

A simulação da demarcação das APP foi realizada por meio da ferramenta “mapa de distância” do SPRING 4.3.3. Após a determinação e o cálculo das áreas alagadas, estabeleceram-se duas classes de áreas alagadas no sistema Gateados, até 20 ha e acima de 20 ha. Nas áreas de alagamento de até 20 ha a demarcação foi feita com faixa marginal de 50 m de largura e naquelas acima de 20 ha com faixa marginal de 100 m de largura, preconizando o determinado no CFB. Para o cálculo das APP, considerou-se o número de pixels interiores aos polígonos formados pelas faixas de 100 m e de 50 m demarcadas a partir da borda das áreas alagadas.

Os anos de eventos com oscilações climáticas El Niño e La Niña, e os anos neutros, obtidos das tabelas oficiais disponibilizadas pelo INPE, foram confrontados com as datas das imagens selecionadas neste estudo. Isso foi realizado porque, nos anos de El Niño e La Niña ocorrem precipitações, respectivamente, acima e abaixo da média dos totais anuais (Berlato & Fontana, 2003), e a escolha de imagens nesses anos acarretaria na não representatividade do regime hídrico da região.

Com o intuito de verificar a atual localização dos limites de APP existentes e a dinâmica da superfície de alague da Lagoa dos Gateados, foram realizadas três visitas pontuais a duas propriedades localizadas às margens da lagoa, em diferentes períodos do ano: 22 de outubro de 2010 (primavera), 11 de fevereiro de 2011 (verão) e 03 de agosto de 2011 (inverno). Nessas ocasiões, foram registradas as coordenadas geográficas dos limites da área alagada e das APP (GPS GarminEtrex) e fotografias da paisagem local.

Resultados e discussão

No balanço hídrico climático anual realizado para Mostardas (Figura 2), observa-se um período com excesso hídrico de julho a outubro e outro com déficit hídrico de novembro a abril (Figuras 3 e 4). Os maiores excessos ocorrem nos meses de junho, julho, agosto e setembro (Figura 3) devido, principalmente, aos baixos valores de evapotranspiração potencial e altos valores de precipitação pluviométrica. Entre os períodos de deficiência e excesso hídrico, de abril a junho, os totais mensais de precipitação pluviométrica são superiores àqueles da evapotranspiração potencial, ocorrendo a

reposição de água no solo. Nesse período, a superfície de alagüe na lagoa aumenta gradualmente, verificando-se as maiores áreas alagadas entre junho e outubro (Figuras 3 e 5). As maiores deficiências ocorrem em dezembro, janeiro e fevereiro (Figura 6), quando os valores de evapotranspiração potencial são mais elevados, devido, principalmente, aos valores elevados de radiação solar e temperatura do ar. Além da evapotranspiração elevada, uma maior utilização da água para irrigação da cultura do arroz por inundação ocorre nesse período, aumentando ainda mais o recuo da superfície de alagüe da Lagoa dos Gateados.

Figura 2. Balanço hídrico da região de Mostardas-RS, média de 23 anos, capacidade de campo de 150 mm. P – precipitação, ETR – evapotranspiração real e ETP – evapotranspiração potencial, adaptado de Rio Grande do Sul (1978).

Figura 3. Variação da área alagada estimada com uso de imagens *Landsat 5* e áreas de preservação permanente (APP) na Lagoa dos Gateados, Mostardas-RS, em condições de excesso e deficiência hídrica, determinadas em 15 imagens *Landsat 5*.

Figura 4. Imagens do satélite *Landsat 5* (RGB - 543), retratando a dinâmica de retração e expansão da área de alagade da Lagoa dos Gateados, Mostardas-RS, em condições de deficiência e excesso hídrico.

Figura 5. Situações de cheia sazonal na Lagoa dos Gateados, Mostardas-RS, representada nas Imagens *Landsat* 5, composição de bandas 543 – RGB. Delimitação da área alagada e simulação da demarcação das Áreas de Preservação Permanente.

Figura 6. Situações de seca sazonal na Lagoa dos Gateados representada nas Imagens *Landsat 5*, composição de bandas 543 – RGB. Delimitação da área alagada e simulação da demarcação das Áreas de Preservação Permanente.

Os valores da precipitação pluviométrica acumulados nos 31 dias anteriores à obtenção de cada imagem de satélite variaram entre 25 mm e 60 mm e entre 155 mm e 300 mm e as áreas de alagade entre 2.140 ha e 2.483 ha e entre 3.390 ha a 6.116 ha, respectivamente, nos períodos de deficiência e de excesso hídrico (Tabela 1). No período de deficiência hídrica, tanto os valores de

precipitação pluviométrica, como os de área alagada foram muito inferiores àqueles obtidos no período de excesso hídrico. Verificou-se uma elevada correlação entre os dados pluviométricos e a dinâmica de retração e expansão da área alagada ($r^2 = 0,81$), conforme demonstrado pelo diagrama de dispersão da Figura 7.

Variações nas áreas de alague também foram constatadas por Marchett et al. (2012) ao delimitarem, em imagens *Landsat* de diferentes datas, lagoas localizadas no litoral médio do Rio Grande do Sul. Esses autores constataram que as superfícies de alague das lagoas variam sazonalmente em virtude de aspectos climáticos, além do uso de sua água para irrigação de lavouras de arroz.

No presente estudo, a comparação com os dados do INPE não demonstrou um padrão consistente de anos de El Niño com todas as situações de máximo excesso hídrico das imagens *Landsat* 5 selecionadas e, tampouco de anos La Niña com todas as ocorrências de máxima deficiência hídrica (Tabela 1). Por outro lado, foram verificados excessos hídricos e deficiências hídricas mesmo durante os anos neutros, ou seja, naqueles anos reconhecidamente sem a ocorrência dos eventos críticos de El Niño e La Niña. Para o estado do RS, autores como Berlatto & Fontana (2003) e Jacóbsen & Fontana (2004) relacionam os anos de La Niña com a diminuição da precipitação pluviométrica em relação à média normal, principalmente nos meses de primavera e verão, e os anos El Niño com as precipitações pluviais bem acima da média, também nos meses de final de primavera e início do verão. No entanto, na Região Litorânea, é sabido que as anomalias causadas por estes dois eventos nos valores da precipitação pluviométrica são as menores do Estado. Conforme explica Garcia (2010) em sua revisão, a climatologia da precipitação no RS é bem complexa e regionalizada, sofrendo influências de outras anomalias, por exemplo, a Oscilação Antártica. Nas últimas três décadas, as precipitações pluviais no RS apresentaram padrões mensais bem distribuídos ao longo do ano, com menores valores ao sul e maiores ao norte e noroeste.

Os resultados aqui obtidos demonstram que as APP delimitadas a partir das menores áreas de alague variaram de 436 ha a 795 ha, e aquelas delimitadas a partir das maiores áreas de alague, de 939 ha a 1.495 ha, Tabela 1. A média das áreas de APP demarcadas no período de deficiência hídrica foi de 594 ha e no período de excesso hídrico 1.178 ha, resultando em uma diferença média de 584 ha de APP.

O ganho de área, decorrente da demarcação das APP em períodos de excesso hídrico, pode ser fundamental para a conservação daqueles valiosos e vulneráveis ecossistemas da Planície Costeira do Estado do RS.

Ainda, o conhecimento, por si só, de variações e perdas nas áreas prioritárias à conservação aqui mensuradas, poderá indicar critérios condicionantes mais protetores e medidas compensatórias mais apropriadas no licenciamento ambiental da instalação e operação de atividades potencialmente impactantes nesta e em outras regiões similares.

Os valores de área de alague e de APP, determinados nas imagens gratuitamente disponíveis do satélite *Landsat* 5, possuem um erro intrínseco devido ao tamanho do *pixel* das imagens (30 m x 30 m). Porém, isso não invalida os resultados obtidos, indicando, apenas, maior cautela na interpretação dos valores, e a sua não consideração como dados absolutos. Resultados ainda mais precisos poderão ser obtidos com o uso de imagens de melhor resolução espacial.

Os valores das medições de APP, estimadas em condições de excesso e deficiência hídrica, permitiram constatar que o período ideal para a delimitação de APP, ou seja, aquele com menor perda de área a ser preservada, é o que apresenta condições de excesso hídrico. No caso da Lagoa dos Gateados, é o período entre os meses de junho e outubro.

Perdas significativas de APP, como as mensuradas em períodos de deficiência hídrica, podem ocorrer corriqueiramente nas demarcações, pois a atual legislação federal, que rege a delimitação de APP em corpos hídricos naturais, não considera o balanço hídrico e tampouco o regime pluviométrico como critérios necessários para a demarcação e o dimensionamento das APP. A lei desconsidera também as peculiaridades do ambiente em que o corpo hídrico está inserido, tais como a geomorfologia, a pedologia e o clima regional. Essas e outras diferentes peculiaridades têm de ser consideradas no processo de gestão desses ambientes, uma vez que influenciam nas características morfológicas das lagoas presentes na Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Schäffer et al. (2012), após estudarem sob vários aspectos as características de dezoito lagoas costeiras do RS, destacam que a gestão sustentável destes recursos hídricos não será alcançada apenas com a observância de critérios comumente utilizados para outros ambientes. Isso decorre da grande variabilidade natural de tais ecossistemas costeiros e dos diferentes tipos de uso da terra que sobre esses exercem pressões e induzem novas modificações.

Tabela 1. Precipitação pluviométrica acumulada nos 31 dias anteriores a data das imagens *Landsat 5* e valores estimados de área alagada e de APP simulada para a Lagoa dos Gateados em 15 imagens obtidas pelo satélite *Landsat 5*, em condições de deficiência hídrica (DH) e excesso hídrico (EH) definidos de acordo com o balanço hídrico climático de Mostardas (Rio Grande do Sul, 1978)*.

Imagens <i>Landsat 5</i>	Condição	Sensor (órbita/ponto)	Precipitação pluviométrica	Área de alague	APP simuladas
08/09/1987▲	EH	TM (221/081)	300,2 mm	6.116 ha	1.039 ha
25/09/1990N	EH	TM (220/081)	262,3 mm	4.125 ha	1.143 ha
31/01/1991☀	DH	TM (220/081)	39,1 mm	2.140 ha	795 ha
13/06/1993▲	EH	TM (220/081)	176,3 mm	4.607 ha	1.090 ha
18/07/1994▲	EH	TM (220/081)	155,2 mm	4.602 ha	1.085 ha
22/08/1995N	EH	TM (220/081)	256,6 mm	5.976 ha	1.163 ha
19/12/1995☀	DH	TM (221/081)	25,0 mm	2.440 ha	599 ha
04/01/1996N	DH	TM (221/081)	60,5 mm	2.281 ha	510 ha
27/08/1997▲	EH	TM (220/081)	208,5 mm	4.473 ha	1.220 ha
20/07/1998☀	EH	TM (221/081)	207,8 mm	4.458 ha	1.495 ha
25/11/1998☀	DH	TM (221/081)	45,8 mm	2.483 ha	630 ha
14/06/1999☀	EH	TM (220/081)	211,7 mm	3.676 ha	1.361 ha
27/09/2000☀	EH	TM (221/081)	210,7 mm	5.089 ha	1.248 ha
06/03/2001☀	DH	TM (221/081)	46,0 mm	2.332 ha	436 ha
01/10/2004☀	EH	TM (220/081)	170,5 mm	3.390 ha	939 ha
Mínimo	DH	-	25,0 mm	2.140 ha	436 ha
Média	DH	-	43,3 mm	2.335 ha	594 ha
Máximo	DH	-	60,5 mm	2.483 ha	795 ha
Mínimo	EH	-	155,2 mm	3.390 ha	939 ha
Média	EH	-	216,0 mm	4.651 ha	1.178 ha
Máximo	EH	-	300,2 mm	6.116 ha	1.495 ha

* Ocorrências de anos com eventos El Niño (▲), La Niña (☼) e anos neutros (N).

Figura 7. Diagrama de dispersão entre as 15 superfícies de alagune determinadas nas imagens e a precipitação acumulada nos 31 dias anteriores à data das imagens *Landsat 5*, Lagoa dos Gateados, Mostardas-RS.

A importância e a necessidade de estudos prévios da hidrologia e topografia local para o correto zoneamento ambiental do entorno de cursos e corpos hídricos, foram verificadas no trabalho de Quintanilha e Oliveira (2012), realizado nas áreas de abrangência das Lagoas Feia e do Jacaré, na região da Baixada Campista, litoral do estado do Rio de Janeiro. Esses dois aspectos possibilitaram mapear as zonas de inundação, como ponto de partida para a determinação das APP, zonas agricultáveis e demais usos do solo. A metodologia utilizada por Quintanilha e Oliveira (2012) tem como base a geração de um modelo detalhado de altimetria do terreno, possibilitando determinar a zona de inundação das lagoas ao se conhecer a cota máxima d'água registrada.

Já a metodologia apresentada no presente trabalho, surge como uma alternativa para quando não se tem registros históricos de cota máxima d'água dos corpos hídricos de natureza lântica. Ou seja, ao pesquisar e usar informações de uma relativamente longa série histórica de imagens de satélite representativas das diferentes condições hidrológicas locais, principalmente aquelas em condições de excesso hídrico (= cota máxima d'água).

Estudos atuais de delimitação de APP de lagoas por sensoriamento remoto, em outros estados do Brasil, não têm considerado essas peculiaridades do ambiente (Reis et al., 2009;

Coutinho & Cecílio, 2011; Mesquita et al., 2012, Pinheiro & Cabral, 2007; Pinto & Rossete, 2012/13). Essa falta de critério também é observada quando se trata da delimitação de APP em cursos hídricos (rios), como discutido no trabalho de Scartazzini et al. (2008) com referência a rios situados em diferentes contextos, como planícies de inundação (sem leito de cheia sazonal definido) e em encostas de Serra (com leito de cheia sazonal bem definido).

Extensa revisão realizada por Monteiro et al. (2013) indica que a fixação de larguras de APP, por imposição legal do CFB, não condiz com aquelas necessárias a uma proteção satisfatória do curso ou corpo d'água. Para esses autores, urge um maior incentivo ao conhecimento do comportamento dos recursos hídricos através da pesquisa. Devido à existência de uma série de fatores edafohidroclimáticos regionais determinantes dos valores das medidas de APP mais adequadas a cada função ou serviço ecossistêmico. Enquanto sendo esses valores seriam pouco ou nada relacionados com as larguras dos recursos hídricos, estabelecidas como os critérios de delimitação de APP pela vigente legislação federal.

Nos Estados Unidos, Xiang (1996) propôs uma metodologia para determinar a largura das faixas de APP, denominadas de zonas ripárias, de uma bacia hidrográfica na Carolina do Norte. Esse autor utilizou como critério de dimensionamento

da APP a largura da faixa marginal necessária à filtragem, pela vegetação ali contida, dos poluentes gerados na bacia. Para isso, considerou as características peculiares de declividade, hidrologia e pedologia (condutividade hidráulica, coeficiente de rugosidade, uso e cobertura do solo) de cada local. Seguindo essa indicação, as faixas de APP deveriam assumir diferentes dimensões para cada região particular da bacia.

Além da possível perda de serviços ambientais decorrentes da manutenção de uma menor faixa marginal ao se demarcar erroneamente as APP, existe a possibilidade da ocupação antrópica de áreas com risco de inundação. Zancopé (2012) destaca que as áreas sujeitas à inundação são aquelas que fazem parte do leito maior dos cursos e corpos hídricos, isto é, suas margens e planícies. Logo, a ocupação de tais áreas se constitui no principal componente dos riscos associados às inundações, resultando também em perdas econômicas e sociais.

Em visitas à área de estudo, a dinâmica sazonal do leito da Lagoa dos Gateados foi verificada, bem como a não obediência, por parte dos usuários da terra, das mínimas larguras regulamentares das faixas de APP (Figura 8). Em agosto de 2011, nos dois pontos visitados às margens da lagoa, verificaram-se cercas de arame eletrificado demarcando os limites da APP, estando, à época, transpassadas pela área de alagüe da lagoa (Figura 9B). Enquanto, nas visitas realizadas em outubro de 2010 e fevereiro de 2011 (Figura 9A), verificou-se, em ambos os pontos, que os limites das APP não foram ultrapassados pela superfície de alagüe da lagoa. Nessas duas ocasiões, porém, a distância da margem da área de alagüe até o limite externo da APP (cerca de arame) não alcançava a faixa mínima de 100 m, estabelecida pelo CFB.

Conclusões

A partir do estudo de 30 anos de dados hidrológicos históricos, os resultados obtidos nas

análises das imagens *Landsat 5* e nas observações a campo permitem concluir o seguinte: (1) a delimitação das áreas de alagüe da Lagoa dos Gateados por sensoriamento remoto possibilita a simulação da delimitação das faixas de APP em condições de máxima e mínima superfície de alagüe; (2) grandes variações ao longo do tempo ocorreram nessa superfície, com áreas de alagüe cerca de duas vezes maiores em média durante períodos de excesso hídrico; (3) o contrário ocorreu em épocas de déficit hídrico, coincidindo com o período de uso intenso da água para irrigação de lavouras de arroz por inundação; (4) elevada correlação existe entre os dados pluviométricos e a dinâmica de retração e expansão da área da lagoa e suas áreas úmidas associadas; (5) a medida mínima legal de APP não vem sendo aplicada localmente; (6) o período de excesso hídrico nos meses de junho a outubro é o mais indicado para a demarcação *in situ* da APP, com vistas a mínimas “perdas” nas suas funções e serviços ecológicos.

Espera-se que a utilização de imagens com melhor resolução espacial aumente a precisão dos resultados e que o conhecimento da variação multitemporal das áreas de alagüe, constatada na Lagoa dos Gateados, auxilie a gestão ambiental de áreas úmidas similares - onde o uso da terra deve ser harmonizado com a preservação – por exemplo, através do condicionamento de ações de compensação ambiental na mesma bacia hidrográfica, além de medidas de manejo integrado sustentáveis.

Recomendam-se estudos similares em lagoas localizadas em pontos distantes da Planície Costeira e não tão similares aos da Lagoa dos Gateados, a fim de se conhecer a dinâmica do regime hídrico e se identificar os períodos mais adequados para a demarcação de APP melhor dimensionadas para desempenharem seus importantes serviços ecossistêmicos.

Figura 8. Aspectos das áreas reservadas como APP pelos usuários das terras no entorno da Lagoa dos Gateados, em diferentes épocas do: A e E (inverno); B, C e D (primavera/verão). Os equipamentos fixos (A) e as cercas fora (B) e dentro (E) da área de alague sazonal apontam para APP reservadas com dimensões inferiores à medida mínima regulamentar de 100 m.

Figura 9. A - Fotografia da cerca de arame eletrificado que delimita a APP do entorno da Lagoa dos Gateados no período de deficiência hídrica (11/02/2011) e B – Fotografia da cerca de arame eletrificado no período de excesso hídrico (03/08/2011).

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia – CNPq, e à Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler – FEPAM, pelo apoio através de bolsas PIBIC para os autores 1 e 3. Aos proprietários de terras no entorno da Lagoa dos Gateados, por

possibilitarem o acesso à área de estudo. À Bibliotecária Sílvia Maria Jungblut e aos servidores do Serviço de Transportes da FEPAM pelo apoio. Projeto elaborado e desenvolvido pelo Programa de Pesquisas Ambientais, Departamento de Pesquisa e Análises Laboratoriais da FEPAM.

Referências

Becker, F.G. et al., 2007. Biodiversidade - Regiões da Lagoa do Casamento e dos Butiazais de Tapes, Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Série Biodiversidade [online] 25. Disponível:

<http://www.mma.gov.br/publicacoes/biodiversidade/category/142-serie-biodiversidade>.

Acesso em: 18 fev. 2014.

Berlato, M.A., Fontana, D.C. El Niño e La Niña: impactos no clima, na vegetação e na

- agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2003, 110p.
- BRASIL, 2012a. Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012. Brasília. Disponível: <http://www.planalto.gov.br/ccivil03/ato2011-2014/2012/lei/12651.htm>. Acesso em: 19 mar. 2014.
- BRASIL, 2012b. Lei nº 12.727 de 17 de outubro de 2012. Brasília. Disponível: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12727.htm. Acesso em: 19 de mar. 2014.
- BRASIL, 2007. Portaria MMA nº 9, de 23 de janeiro de 2007. Disponível: <http://www.mma.gov.br/estruturas/chm/arquivos/biodiversidade31.pdf>. Acesso em: 28 mai. 2013.
- Coutinho, L.M.; Cecílio, R.A., 2011. Delimitação e estudo de vulnerabilidade da Área de Preservação Permanente no entorno da Lagoa Guanandi, Itapemirim-ES. Anais XV Simpósio Brasileiro e Sensoriamento Remoto. INPE [online] 15. Disponível: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0236.pdf> Acesso: 14 jan. 2015.
- Fantin-Cruz, I., Loverde-Oliveira, S.; Girard, P., 2008. Caracterização morfométrica e suas implicações na limnologia de lagoas do Pantanal Norte. Acta Scientiarum Biological Science [online] 30, 133-140. Disponível: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciBiolSci/artic le/view/3628>. Acesso em: 28 mai. 2013.
- Garcia, M.A.M., 2010. A variabilidade da precipitação no Rio Grande do Sul e sua relação com o Índice de Oscilação Antártica. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas. Disponível: http://guaiaca.ufpel.edu.br/bitstream/123456789/2200/1/dissertacao_maria_arita_garcia.pdf. Acesso em: 17 mai. 2015.
- INEA. Faixa Marginal de Proteção. Rio de Janeiro: INEA, 2010. 37p.
- Jacóbsen, L.O., Fontana, D.C., Shimabukuro, Y.E., 2004. Efeitos associados a El Niño e La Niña na vegetação do estado do Rio Grande do Sul, observados através do NDVI/NOAA. Revista Brasileira de Meteorologia [online] 19, 129-140. Disponível: <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/20224/000556682.pdf?sequence=1>. Acesso em: 17 mai. 2015.
- Lima, W. de P.; Zakia, M.J.B., 2006. Saúde ambiental da microbacia. In: Lima, W. de P.; Zankia, M.J.B. (Eds.). As Florestas Plantadas e a água: implementando o conceito da microbacia hidrográfica como unidade de planejamento. São Carlos: Rima.
- Marchett, C. A. et al., 2012. Uso de imagens de Landsat-5-TM em diferentes datas para a definição dos limites de lagoas costeiras do RS. Anais III Seminário de Estudos Limnológicos em Clima Tropical. UFSM [online]. Disponível em: <<http://www.ufsm.br/selcs2012>>. Acesso em: 21 jul. 2014.
- Mesquita, E.A.; Cruz, M.L.B.; Pinheiro L.R. do Ó., 2012. O Geoprocessamento aplicado ao mapeamento das formas de uso da terra na área de preservação permanente (APP) da Lagoa do Uruaú – Beberibe/CE. Revista Geonorte [online] 2, 1509-1518. Disponível: http://www.revistageonorte.ufam.edu.br/attachments/009_GEOPROCESSAMENTO%20APLICADO%20AO%20MAPEAMENTO%20DAS%20FORMAS%20DE%20USO%20DA%20TERRA.pdf. Acesso em: 14 jan. 2015.
- MINAS GERAIS. Lei Estadual nº 14.309 de 19 de junho de 2002. Diário do Executivo. Belo Horizonte, MG, 20 jul. 2002. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5306>. Acessado em: 19 mar. 2014.
- Monteiro, J.S. et al., 2013. Permanent Preservation Areas and their environmental services. Journal of Biotechnology and Biodiversity [online] 4, 299-309. Disponível: <http://revista.uft.edu.br/index.php/JBB/article/viewFile/634/369>. Acesso em: 22 jul. 2014.
- Pinheiro, L. de S.; Cabral, N.R.A.J., 2007. Níveis de ocupação nas áreas de preservação permanente no entorno da Lagoa do Catú, Aquiraz-CE. Anais II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica [online] 2. Disponível: http://www.redenet.edu.br/publicacoes/arquivos/20080212_090754_MEIO-020.pdf. Acesso em: 15 jul. 2014.
- Pinto, C.E.T.; Rossete, A.N., 2012/13. Mapeamento dos conflitos no uso da terra em áreas de preservação permanente na microbacia hidrográfica do córrego Capitão Décio, Nova Xavantina – MT. Revista Ciência e Natura [online], v. 34, n. 2, p. 139-155. Disponível: <http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs->

- 2.2.2/index.php/cienciaenatura/article/view/9346/5497. Acesso em: 14 jan. 2015.
- Quintanilha, G.J.; Oliveira, V.P.S., 2012. Modelo digital de terreno: subsídio para o zoneamento de áreas sujeitas a inundações e planejamento público da Baixada Campista/Norte Fluminense – Rio de Janeiro. Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego [online] 6, 91-114. Disponível: <http://www.essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/boletim/article/download/2177-4560.20120017/2758>. Acesso em: 12 ago. 2015.
- Reis, R.B. et al., 2009. Mapeamento e caracterização das Áreas de Preservação Permanente (APPs) na Área de Proteção Ambiental do Rio São João/Mico Leão Dourado. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto [online] 14. Disponível: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.13.37/doc/5397-5404.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2015.
- RIO GRANDE DO SUL, 1978. Plano Integrado para o desenvolvimento do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, adequação e uso do solo. Zoneamento Agroclimático. Porto Alegre: EMMA.
- RIO GRANDE DO SUL, 2015. Portal de licenciamento ambiental do estado do Rio Grande do Sul. Disponível: <http://www.licenciamentoambiental.rs.gov.br>. Acesso em: 16 mar. 2015.
- Scartazzini, L.S., Kautzmann, R.M.; Fischer, A.C., 2008. Critérios para delimitar áreas de preservação permanente em rios de planície de inundação. Revista Brasileira de Recursos Hídricos [online] 13, 83-91. Disponível: https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Su_marios/d8b09aa81d478db4b571100d42e7d0e3_ec9de197aed66bd1eb149b64e34f9b95.pdf. Acesso em: 12 out. 2013.
- Schäfer, A.E., 2009. A Planície Costeira do Rio Grande do Sul: um sistema ecológico único no mundo. Atlas socioambiental dos municípios de Mostardas, Tavares, São José do Norte e Santa Vitória do Palmar. Caxias do Sul: EDUSC.
- Schäfer, A.E. et al., 2014. Morphological characterization of eighteen lakes of the north and middle coast of Rio Grande do Sul, Brazil. Acta Limnologica Brasiliensia [online] 26, 199-214. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/alb/v26n2/10.pdf>. Acesso em: 23 ago. 2015.
- Streck, E.V.C. et al., 2008. Solos do Rio Grande do Sul. 2ª Edição. Porto Alegre: EMATER/RS.
- Xiang, W., 1996. GIS-based riparian buffer analysis: injecting geographic information into landscape planning. Landscape and Urban Planning [online] 34, 1-10. Disponível: http://www.researchgate.net/publication/256506955_GIS-Based_Riparian_Buffer_Analysis_Injecting_Geographic_Information_Into_Landscape_Planning. Acesso em: 23 ago. 2015.
- Zancopé, M.H.C., 2012. Riscos e danos ambientais no contexto da geomorfologia fluvial. In: Guimarães, S.T.L. et al. (Orgs.). Gestão de Áreas de Riscos e Desastres Ambientais. 1ª Edição. Rio Claro: IGCE/UNESP/RIO CLARO.