

Localização e mapeamento de Áreas Úmidas na Sub-bacia Hidrográfica Arroio Santa Isabel, através do Método NDWI

Arroio Santa Isabel Hydrographic Sub-basin Wetlands Location and Mapping by the NDWI Method

Jonathan Duarte Marth¹

Nina Simone Vilaverde Moura²

Edinei Koester³

RESUMO: Áreas úmidas (AUs) são ecossistemas importantes, seja por providenciarem alimentos e estocarem/regularizarem o fluxo de água, ou pela biodiversidade que abrigam. No Rio Grande do Sul (RS) estes ambientes estão alterados, sendo que 5,3 milhões de hectares de AUs, incluindo banhados e várzeas existentes originalmente, encontram-se reduzidos. As intervenções antrópicas nas AUs do RS são oriundas principalmente das atividades agrícolas e pecuárias, causando compactação, redução de porosidade, salinização do solo, variação do lençol freático. Os estudos das AUs tem utilizado dados de sensoriamento remoto na busca de melhores resultados, destacando-se índices extraídos de operações entre bandas espectrais, como o Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI). O objetivo do estudo foi mapear, através do NDWI as AUs na Sub-bacia Hidrográfica Arroio Santa Isabel (SbHASI), associando-as com os usos da terra e permitindo, compreender os impactos nas AUs locais. A SbHASI possui 295 km² de extensão e localiza-se nos municípios de Cristal e São Lourenço do Sul-RS, em importante ambiente de AUs do RS. A metodologia consistiu em classificação dos usos da terra, aplicação do NDWI e cruzamento dos resultados para averiguação dos usos associados às AUs, utilizando-se imagem Landsat 5 e cartas topográficas. Classificou-se os usos em seis classes, sendo gerado o NDWI com duas classes (corpos hídricos, áreas inundadas temporariamente). As AUs estão associadas predominantemente a campos-pastagens (24,42km²) e solos expostos (37,55km²). O método aplicado na localização de áreas úmidas mostrou bons resultados, indicando a necessidade de uma série temporal, que permita perceber e quantificar as mudanças nas AUs.

PALAVRAS CHAVE: Áreas úmidas. Arroio Santa Isabel. Usos da terra.

ABSTRACT: *The wetlands (AUs) are important ecosystems either by providing food and storage and regulation of water flow, or the biodiversity that it houses. In Rio Grande do Sul (RS) these environments are strongly altered, and the 5.3 million AUs, including previously existing wetlands and floodplains, are reduced. The human interventions in the RS AUs are mainly derived from agricultural and livestock activities, causing compaction, porosity reduction, soil salinization, variation of the groundwater level and other damages. The studies of the AUs have been using remote sensing data in the search for better results, with emphasis on Normalized Difference Water Index (NDWI). The aim of this study was to map through NDWI the AUs in the Hydrographic Sub-basin Arroyo Santa Isabel (SbHASI), associating them with the different land uses and allowing to understand the impact on AUs this region. The SbHASI has 295 square kilometers of extension and is located in the municipalities of Cristal and São Lourenço do Sul-RS, in an important RS AUs environment. The methodology consisted in the classification of land use, NDWI application and cross-check to investigate the HAS*

¹ Licenciado em Geografia, Mestre em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rua São José do Norte, 851, Laranjal, CEP 96090-690, Pelotas/RS, E-mail: Jonathan.ufpel@yahoo.com.br

² Licenciada e Bacharel em Geografia, Doutora em Geografia Física pela Universidade de São Paulo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Departamento de Geografia, Praça Nações Unidas, 61, apto 606, Petrópolis, CEP 90690-230, Porto Alegre/RS, E-mail: nina.moura@ufrgs.br

³ Graduado em Geologia, Doutor em Geociências pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, Avenida Bento Gonçalves, 9500, Prédio 43126, sala 202^a, Agronomia, CEP 91501970, Porto Alegre/RS, E-mail: koester@ufrgs.br

associated usage, by using Landsat 5 images and 1: 50,000 topographical charts. Initially we classified the uses in six classes, generating two NDWI classes (permanent water bodies, temporarily flooded areas). The AUs classes are predominantly associated to pastures (24,42km²) and exposed soils (37,55km²). The method applied in the AUs location showed good results, indicating the need for a temporal series that allows us to understand and identify changes in AUs.

KEY WORDS: Wetlands. Arroio Santa Isabel. Land use

INTRODUÇÃO

Áreas Úmidas (AUs) são ecossistemas de alta importância para o ser humano, pois exercem muitas funções, como providenciar alimentos, estocar e regularizar o fluxo de água, abrigar uma biodiversidade alta e influenciar substancialmente o ciclo de carbono e outros gases do efeito estufa (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005).

De acordo com Cowardin *et al.* (1979), não existe uma única definição de AUs ecologicamente correta, principalmente por causa da sua diversidade. Entre as diversas definições de AUs, uma das mais aceitas é a da convenção de Ramsar - Irã, que ocorreu no ano de 1971 e consistiu no primeiro tratado intergovernamental a fornecer uma base estrutural para a cooperação internacional no sentido da conservação e uso sustentável das AUs. Na convenção de Ramsar as AUs foram definidas como:

“Extensões de brejos, pântanos e turfeiras, ou superfícies cobertas de água, em regime natural ou artificial, permanentes ou temporárias, estancadas ou correntes, doces, salobras ou salgadas, incluídas as extensões de água marinha cuja profundidade na maré baixa não exceda os seis metros” (ROLON; MALTCHIK, 2006, p. 67)

Desta forma, o termo abrange vários ecossistemas, tais como lagoas de água doce e salobra sem influência marinha, savanas, campos e florestas de inundações temporárias ou permanentes e os banhados.

Uma AU é uma área dominada por plantas herbáceas específicas, cuja produção ocorre principalmente acima da superfície de água, enquanto as plantas são abastecidas com quantidades de água que seriam excessivas para a maioria das outras plantas superiores com ramos aéreos (WESTLAKE *et al.*, 1988). Elencando elementos definidores de AUs, Maltchik (2003) afirma que o regime hidrológico, a vegetação aquática e os solos hidromórficos devem ser utilizados como atributos ambientais na sua identificação.

No Rio Grande do Sul (RS), as AUs proporcionam *habitats* para várias espécies de aves aquáticas, mamíferos, peixes, anfíbios, vegetação arbóreo-arbustiva e de macrófitas (IRGANG; GASTAL, 1996). No estado do RS esses ambientes estão fortemente alterados, sendo que os 5,3 milhões de hectares de AUs, incluindo banhados e várzeas existentes originalmente, encontram-se reduzidos (FUNDAÇÃO ZOOBOTÂNICA DO RIO GRANDE DO SUL, 2002). Contudo, se verifica que o estado ainda possui importantes e significativos remanescentes destes sistemas, principalmente na planície costeira (BURGER, 2000).

As intervenções antrópicas que causam impactos nas AUs são diversificadas. De acordo com Burger (2000), no sul do RS as atividades que mais impactam negativamente estas áreas são a pecuária e as práticas agrícolas. A criação de gado provoca o pisoteio e a compactação do solo, alterando a comunidade vegetal típica dos banhados. Nas atividades agrícolas, especificamente na região da planície costeira, o cultivo do arroz irrigado é uma das principais ameaças, oferecendo muitos impactos ao ecossistema, tais como: a redução das áreas naturais, através da drenagem e retirada da vegetação; compactação e salinização do solo; variação do nível do lençol freático; eutrofização; erosão e/ou assoreamento; envenenamento da fauna e flora devido à contaminação da água por agrotóxicos e escassez de água (CHOMENKO, 1999).

No âmbito das pesquisas que visam a espacialização e avaliação das condições ambientais das AUs, tornam-se importantes a utilização de ferramentas capazes de mapear essas áreas e, ao mesmo tempo, os diversos usos da terra, permitindo, assim, uma análise mais abrangente desses ambientes e os impactos decorrentes da ação humana.

O sensoriamento remoto tem sido largamente utilizado em diversas áreas do conhecimento, pois se constitui em importante ferramenta de registro dos fenômenos que ocorrem na superfície da terra e, de acordo com Novo (1998), consiste em um sistema de aquisição e análise de dados, que possibilita maior agilidade em mapeamentos, pois os dados são obtidos de maneira indireta.

Segundo Schowengerdt (1997), existem diversos métodos que podem ser aplicados nas imagens de satélite. Os estudos de AUs têm se utilizado de diversas técnicas visando alcançar melhores resultados na identificação e caracterização dessas áreas, com destaque para índices extraídos através de matemática entre bandas espectrais para detecção de elementos específicos da paisagem. As transformações espectrais consistem em processos utilizados para modificar os atributos espectrais de dados de sensoriamento remoto. Estas transformações procuram evidenciar características pouco realçadas nos dados originais. Entre estas técnicas destacam-se a transformação *Tasseled Cap*, o Índice

Normalizado de Diferença de Água (*Normalized Difference Water Index*, NDWI) e o Índice Normalizado de Diferença de Água Modificado (*Modified Normalized Difference Water Index*, MNDWI) (DIAS, 2014).

As aplicações do NDWI têm apresentado resultados consistentes na identificação e delimitação de AUs, conforme descrito por Cinquini e Azevedo (2012) e Brenner e Guasselli (2015). O NDWI é um indicador baseado na teledetecção sensível à mudança no conteúdo de água das folhas (GAO, 1996), sendo calculado usando a reflectância do infravermelho próximo e do infravermelho de ondas curtas. Segundo McFeeters (1996) o NDWI permite maximizar a reflectância típica da água utilizando o comprimento de onda do verde; minimizar a baixa reflectância dos corpos de água no infravermelho próximo e realçar o contraste entre a água e a cobertura vegetal, proporcionada pelo infravermelho próximo.

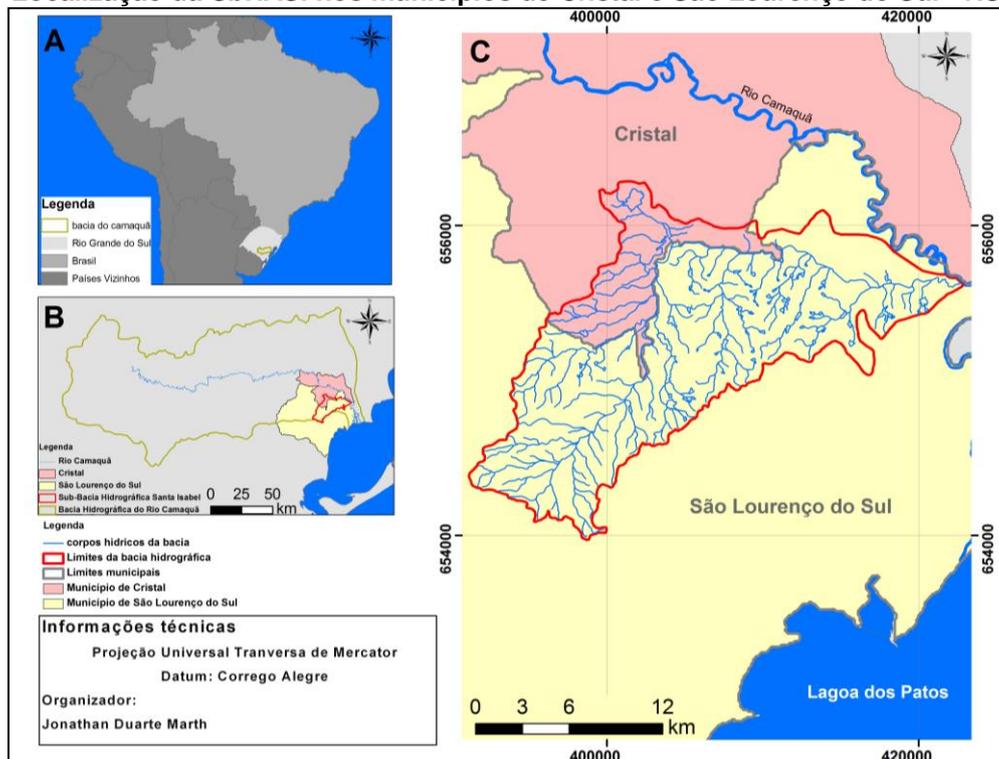
Tendo em vista os acréscimos técnicos oriundos do sensoriamento remoto e a necessidade de ampliação dos estudos das AUs no RS, o objetivo deste trabalho foi mapear através do NDWI as AUs na SbHASI, associando-as com os diferentes usos da terra e permitindo, desta forma, compreender os impactos nas AUs na região.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A sub-bacia hidrográfica do arroio Santa Isabel (SbHASI) (Figura 1) localiza-se nas áreas rurais dos municípios de Cristal e São Lourenço do Sul, no estado do RS, entre as latitudes 31°3'49,5" S e 31°16'19,29" S e entre as longitudes 51°48'33,76" W e 52°8'34,70" W. Essa sub-bacia possui uma área de aproximadamente 295 km² e faz parte da Bacia Hidrográfica do Rio Camaquã, localizando-se na foz do rio Camaquã, a qual se constitui em um importante ambiente de AUs do RS (BURGER, 2000).

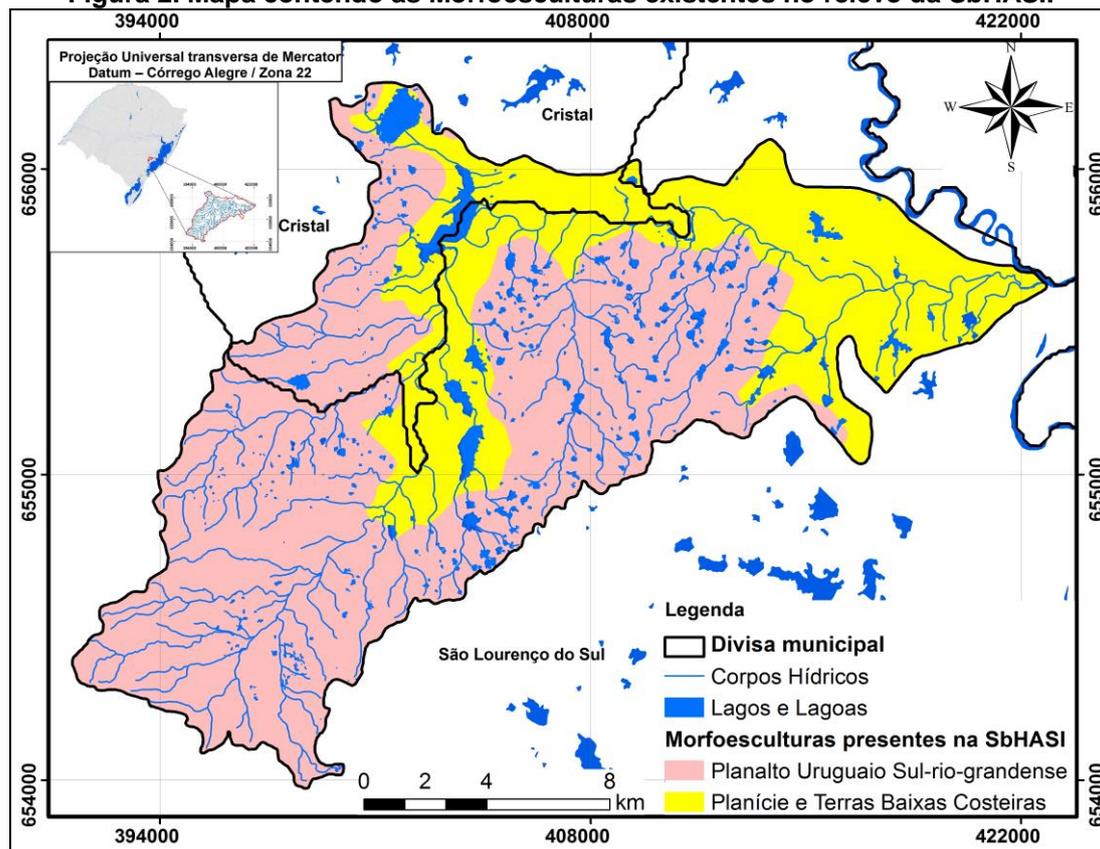
Figura 1. A- Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Camaquã no RS e na América do Sul; B- Localização e Situação da SbHASI na Bacia Hidrográfica do Rio Camaquã no RS; C - Localização da SbHASI nos municípios de Cristal e São Lourenço do Sul - RS.



Fonte: Os autores.

A área de estudo situa-se sobre duas morfoesculturas (Figura 2): O Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense e a Planície e Terras Baixas Costeiras, compostas respectivamente por rochas graníticas do Escudo Sul-Rio-Grandense (Neoproterozóico) e por deposições sedimentares atuais e sub-atuais (Quaternário e Terciário). As rochas graníticas apresentam o mesmo padrão de entalhamento e a mesma resposta em relação ao intemperismo, tanto que as formas de relevo não apresentam padrões de relevo com diferenças significativas. Já as áreas associadas aos depósitos recentes, apresentam solos hidromórficos e patamares planos encaixados em relevo colinoso e com predomínio na faixa central e setor Leste da área (MARTH, 2012).

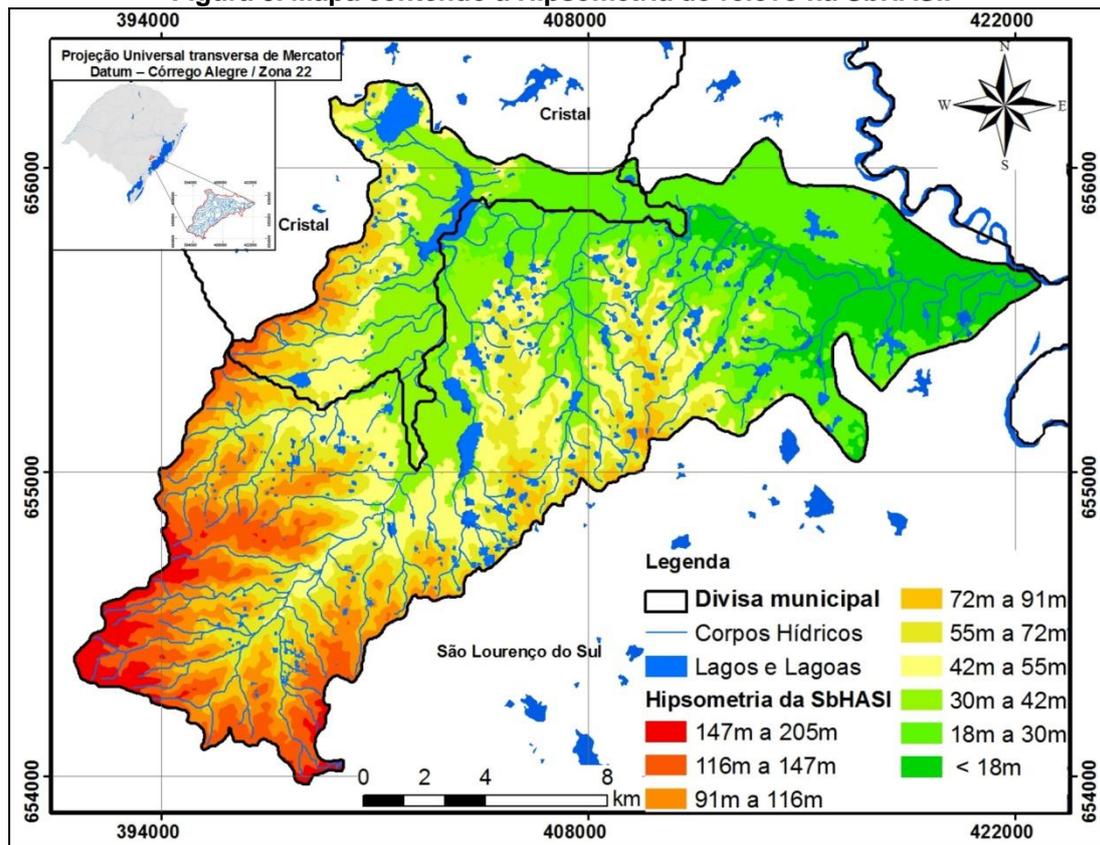
Figura 2. Mapa contendo as Morfoesculturas existentes no relevo da SbHASI.



Fonte: MARTH (2012).

O relevo da SbHASI tem uma amplitude de 201 metros, sendo que as áreas mais elevadas encontradas no setor sudoeste e as áreas mais baixas encontradas próximas a foz do canal principal no setor leste. A maior elevação encontrada na área foi de 205 metros e a menor de 4 metros em relação ao nível do mar (Figura 3). As declividades predominantes na SbHASI são menores que 6%, sendo o relevo em sua maior parte constituído de colinas e terraços. No setor sudoeste são predominantes as declividades acima de 6%, excedendo os 30% nas nascentes dos cursos d'água (MARTH, 2012).

Figura 3. Mapa contendo a Hipsometria do relevo na SbHASI.



Fonte: Os autores.

A região onde se situa a SbHASI possui um clima temperado (EMBRAPA, 2006). Nos anos normais, durante os meses de setembro, outubro e novembro, época de plantio das culturas de verão, a distribuição das chuvas é regular. Já nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro, abril e maio, o volume de chuvas é esparsos (EMBRAPA, 2006), fato que por vezes ocasiona estiagens esparsas.

Segundo a série histórica de precipitação analisada por Marth (2012), os meses mais chuvosos na SbHASI são fevereiro, julho e setembro e os meses menos chuvosos são abril e novembro. Nos meses mais frios os sistemas frontais são responsáveis pelas precipitações na região, para as estações mais quentes, tem-se a atuação dos sistemas convectivos de mesoescala, responsáveis pelas chuvas do verão (SCAGLIONI; SARAIVA, 2004)

Cabe ainda destacar que a região da SbHASI possui duas formas predominantes de ocupação, conforme afirma Marth (2012). Ao analisar as duas, é notável a distinção entre as áreas ocupadas na morfoescultura da Planície de Terras Baixas Costeiras (grandes e médias propriedades) e na morfoescultura do Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense (pequenas propriedades).

A primeira corresponde a grandes e médias propriedades, que foram mantidas do regime sesmarial e que ao longo do tempo acabaram agregando algumas atividades agrícolas à tradicional pecuária, que se mantém forte na região. As culturas principais destas áreas são as monoculturas do arroz e da soja.

Na morfoescultura do Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense há o predomínio de pequenas propriedades, que estão associadas ao processo de imigração Germânica (Pomeranos). Nestas propriedades, apesar das origens ligadas ao plantio para subsistência, nos últimos anos nota-se um aumento da monocultura do fumo e diminuição da diversificação dos produtos, cabendo ainda destacar as lavouras de batata.

Percebe-se que esta distinção se deve a três fatores principais: os primeiros habitantes ao ocuparem a região optaram por locais mais acessíveis; os portugueses tiveram vantagens em relação à aquisição das propriedades e o relevo condiciona os tipos de plantio e tamanho de propriedade.

Materiais

Os materiais utilizados neste estudo foram: uma imagem Landsat 5, sensor TM (*Thematic Mapper*) 30m de resolução espacial e duas cartas topográficas da área de estudo na escala 1:50.000. A imagem é da órbita ponto 221_082 e com data de 02 de maio de 2010 e as cartas topográficas são das folhas Pacheca (SH.22-Y-D-II-3:MI-3012/1) e Arroio Evaristo (SH.22-Y-D-I-2:MI-3011/2), impressas nos anos de 1979 e 1980, respectivamente.

Os softwares utilizados para a averiguação dos dados de pluviosidade, para o processamento das imagens e para a finalização dos mapas de uso da terra foram respectivamente: HidroWeb, ENVI 4.2, *Arc GIS* 9.3 e Erdas 9.1.

Métodos

A primeira etapa do trabalho consistiu na digitalização dos limites da bacia no *software Arc GIS* 9.3 através das curvas de nível das cartas topográficas em escala 1:50.000. O trabalho com a imagem de satélite consistiu no registro de pontos de referência encontrados nas cartas topográficas (intersecção de estrada e construções) inseridos na área da SbHASI, utilizando-se o *software ENVI* 4.2. Para tanto, foram registrados aproximadamente 30 pontos e, na sequência dos trabalhos, a imagem registrada foi salva. Posteriormente foi realizado o recorte da área através da máscara da delimitação da bacia na extensão *Basic Tools-Subset Data via ROIs* (regiões de interesse).

A partir da imagem foram extraídas duas informações: um mapa de cobertura vegetal e usos da terra e uma imagem com as AUs, para posterior relação de dados. Com a imagem recortada, foi realizada a interpretação visual das classes de uso da terra utilizando composições coloridas das bandas do espectro infravermelho próximo, infravermelho médio e vermelho (RGB 453). As interpretações visuais serviram para criação de ROIs (regiões de interesse), que se deram no *ENVI 4.2*.

Foram estabelecidas seis classes para a classificação da imagem, que são: águas, mata nativa, floresta plantada, campos-pastagens, lavouras e solos expostos. As classes geradas foram baseadas em IBGE (2006) e, também, através da consulta ao SIDRA (Sistema IBGE de Recuperação Automática), permitindo a identificação dos principais cultivos e criações dos municípios de Cristal e São Lourenço do Sul no ano de 2010.

Devido à presença de nuvens foi aplicada uma correção atmosférica (*Dark Subtract*), visando reduzir as interferências no setor leste da SbHASI. O método de classificação supervisionada utilizado foi o da distância mínima, que atribui cada pixel desconhecido à classe cuja média é mais próxima a ele. Após a classificação foi aplicado o índice Kappa na extensão *confusion matrix* (matriz de confusão) no *ENVI 4.2*, para averiguar a qualidade da classificação (Tabela 1).

Tabela 1. Qualidade da classificação associada ao índice Kappa

| Índice Kappa | Qualidade |
|---------------------|------------------|
| 0.00 | Péssima |
| 0,01 a 0,20 | Ruim |
| 0,21 a 0,40 | Razoável |
| 0,41 a 0,60 | Boa |
| 0,61 a 0,80 | Muito Boa |
| 0,81 a 1,00 | Excelente |

Fonte: Landis e Koch (1977 p.165)

No período selecionado para o mapeamento praticamente todos os cultivos temporários presentes na área de estudo já tinham sido colhidos (arroz, soja, fumo e milho). No *software ENVI 4.2* extraíram-se os números referentes às áreas geradas referentes a cada uso.

Ainda foram consultados dados de precipitação na SbHASI para o período correspondente ao da imagem utilizada. Estes dados encontram-se disponíveis no site da

Agência Nacional de Águas - ANA e foram manejados no HidroWeb. Destaca-se que não houve precipitação nos 10 dias que antecederam a imagem selecionada, atestando que o mapeamento não está associado a nenhum evento de chuva, seja prolongado ou concentrado.

Em seguida, os arquivos de classificação foram exportados em formato TIFF para o *Arc GIS 9.3*, onde foram convertidos em formato vetorial (*Shape*) na extensão *conversion tools - From Raster - Raster to Polygon*. Por último foram construídos os *layouts* dos mapas de cobertura vegetal e usos da terra.

Para aplicar o NDWI, foi preciso ordenar as bandas da imagem na seguinte ordem 134257. No *software Erdas 9.1* na extensão *interpreter- espacial enhancement- índices* foi gerado o NDWI, que posteriormente foi classificado em 4 classes para melhor identificação das respostas correspondentes às AUs na extensão *classifier- unsupervised classification- isodata*.

$$NDWI = (TM 2 - TM4)/(TM2 + TM4)$$

Nesta equação o TM2 corresponde ao comprimento de onda do verde e TM4 ao infravermelho próximo, sendo as bandas 2 e 4 do sensor Landsat TM. O valor de NDWI varia de -1 para 1, tendo o zero como o limiar, conforme indica McFeeters (1996). Desta maneira, o tipo de cobertura é a água se $NDWI \geq 0$ e não é considerada água se $NDWI \leq 0$. Nesta equação utilizaram-se as faixas espectrais do verde e infravermelho próximo, diferenciando-se do índice de diferença normalizada da água proposto por Gao (1996), que utiliza na equação as duas bandas nas faixas espectrais do infravermelho próximo (0,86 μm e 1,24 μm). Esta alteração no cálculo do NDWI deu-se pelo resultado obtido na separação das áreas alagadas (CINQUINI; AZEVEDO, 2012).

Duas das quatro classes geradas no processamento do NDWI foram identificadas como representantes de áreas úmidas, a primeira referente aos corpos hídricos permanentes com lâmina d'água aparente (AU I) e a segunda relacionada a áreas inundáveis associadas aos corpos hídricos, porém com presença de vegetação. Essas classes foram transformadas em *shapes* no *software Arc GIS 9.3* para calcular as respectivas áreas e cruzar com os usos da terra.

O trabalho de campo foi realizado no dia 05/07/2011, predominantemente, ao longo das margens dos corpos hídricos e as áreas rebaixadas do relevo. Na ocasião, foram averiguados os pontos referentes às duas classes de AUs. Além disso, refinaram-se a

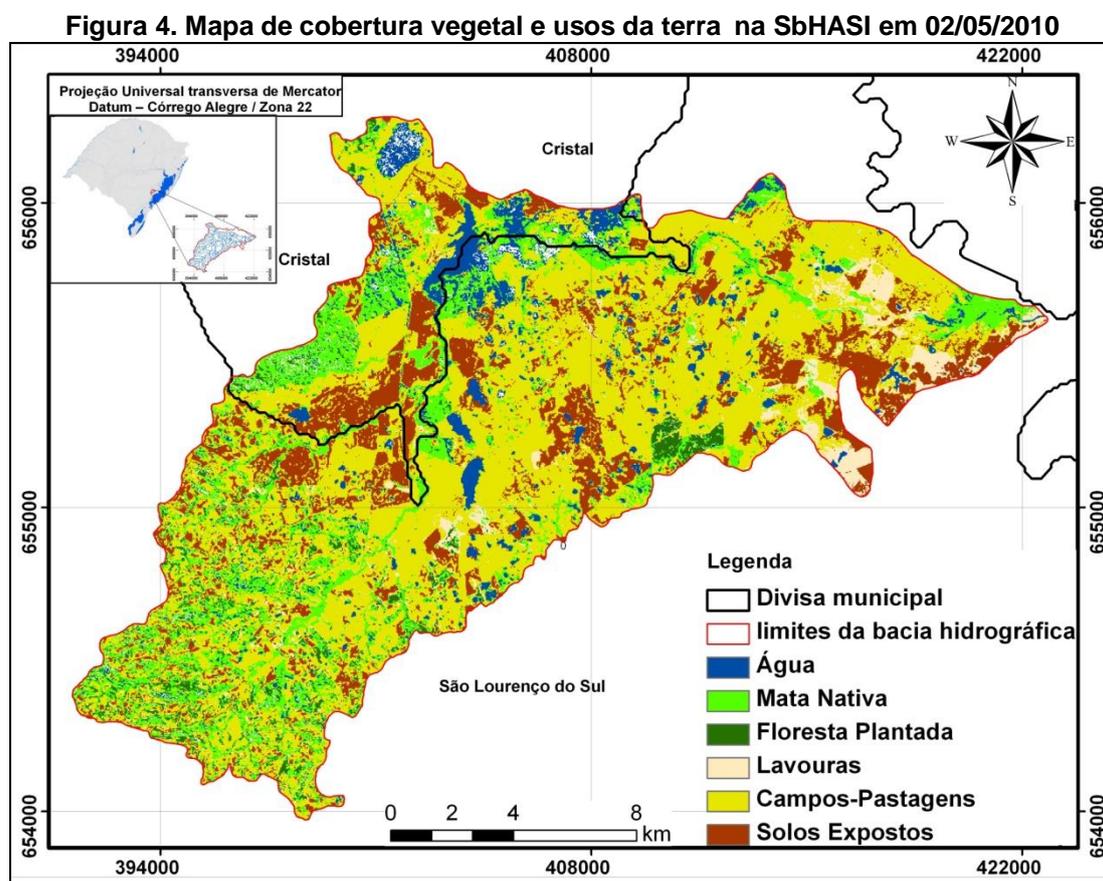
interpretação referente à divisão das duas classes, aos tipos de uso do solo associados às AUs, bem como o grau de impacto dos usos do solo nas AUs identificadas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em relação ao mapeamento da cobertura vegetal e usos da terra na SbHASI (Figura 4), constatou-se que há um predomínio de áreas associadas a classe Campos-Pastagens. Esta realidade foi averiguada também nos dados pesquisados no SIDRA, que indicam numerosos rebanhos.

Cabe destacar o grande número de represas, que podem ser visualizadas na classe Água e que interferem diretamente no sistema fluvial, estando intimamente ligada a agricultura na área do estudo.

As áreas correspondentes as diferentes coberturas vegetais e usos da terra estão na Tabela 2. Estes dados indicam que aproximadamente 70% da SbHASI está sendo impactada pela agricultura, pois as classes Lavouras; Solo Exposto e até mesmo a classe Campos-Pastagens, que trata de áreas usadas no rodízio de gado com culturas como arroz e soja, estão relacionadas as atividades agrícolas.



Fonte: Os autores.

Tabela 2 - Área e percentagem das classes usos da terra em 2010 na SbHASI

| Uso da terra | Área em km² | Percentagem |
|---------------------|-------------------------------|--------------------|
| Água | 19,66 | 6,67% |
| Mata Nativa | 49,28 | 16,73% |
| Floresta Plantada | 9,50 | 3,22% |
| Lavoura | 12,85 | 4,39% |
| Campos-Pastagens | 151,57 | 51,47% |
| Solos Expostos | 48,62 | 16,51% |
| Indefinido | 3,0 | 1,01% |
| Total | 294,48 | 100% |

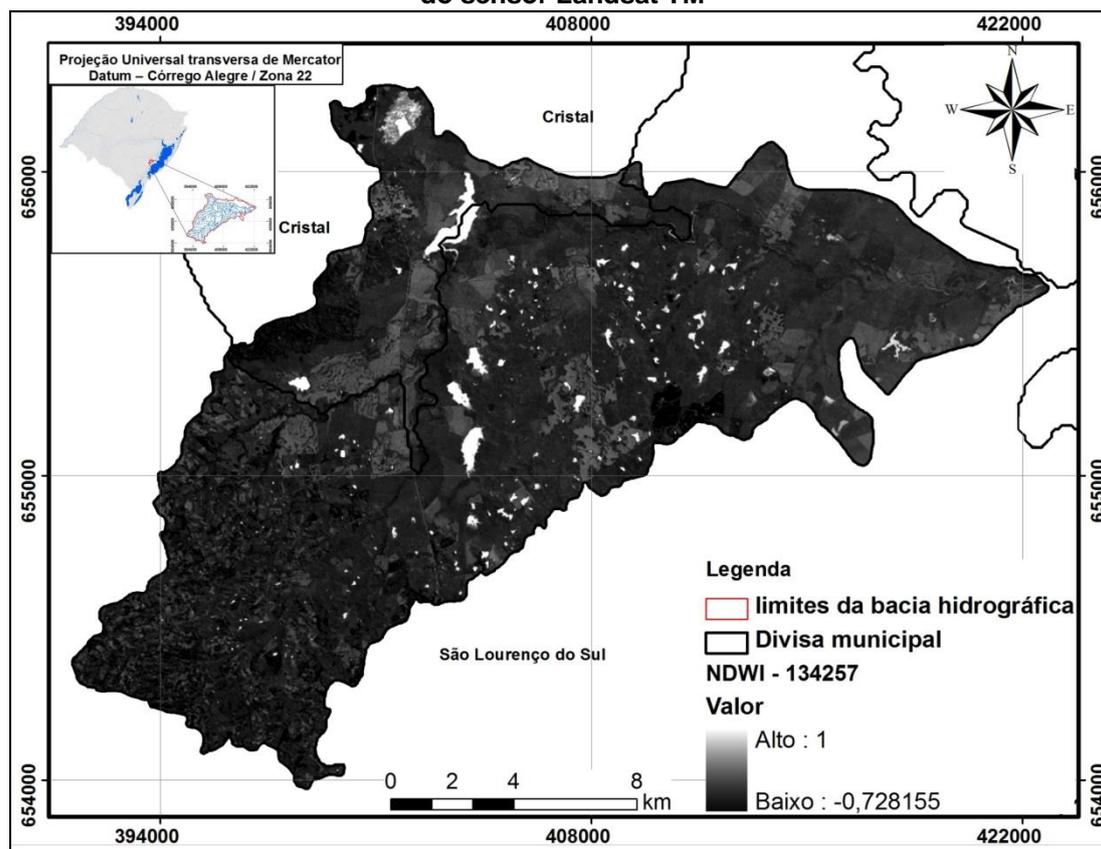
Fonte: Os autores

Durante os trabalhos de campo se constatou uma distinção grande em relação ao tamanho das propriedades e tipo de cultivo. As grandes propriedades, com plantio predominante de arroz, soja e criação extensiva de gado, localizam-se predominantemente nas áreas planas, associadas aos corpos hídricos. Já o plantio de milho e fumo, está associado às pequenas propriedades, encontra-se em locais de relevo colinoso e nos terrenos mais elevados da área.

Para a classificação dos usos da terra, o índice Kappa encontrado para a imagem classificada foi de 0.79, obtendo uma precisão geral de 82.82%, sendo considerada muito boa, conforme classificação proposta por Landis e Koch (1977). Este índice atesta a qualidade do mapeamento das coberturas vegetais e usos da terra e também comprova sua adequação na validação dos conflitos com as AUs mapeadas.

O NDWI (Figura 5) se deu através de operações aritméticas entre as bandas do infravermelho próximo e do verde, permitindo assim, verificar nos tons mais claros as áreas com resposta predominantemente relacionadas à água e, nos tons mais escuros, áreas relacionadas à vegetação.

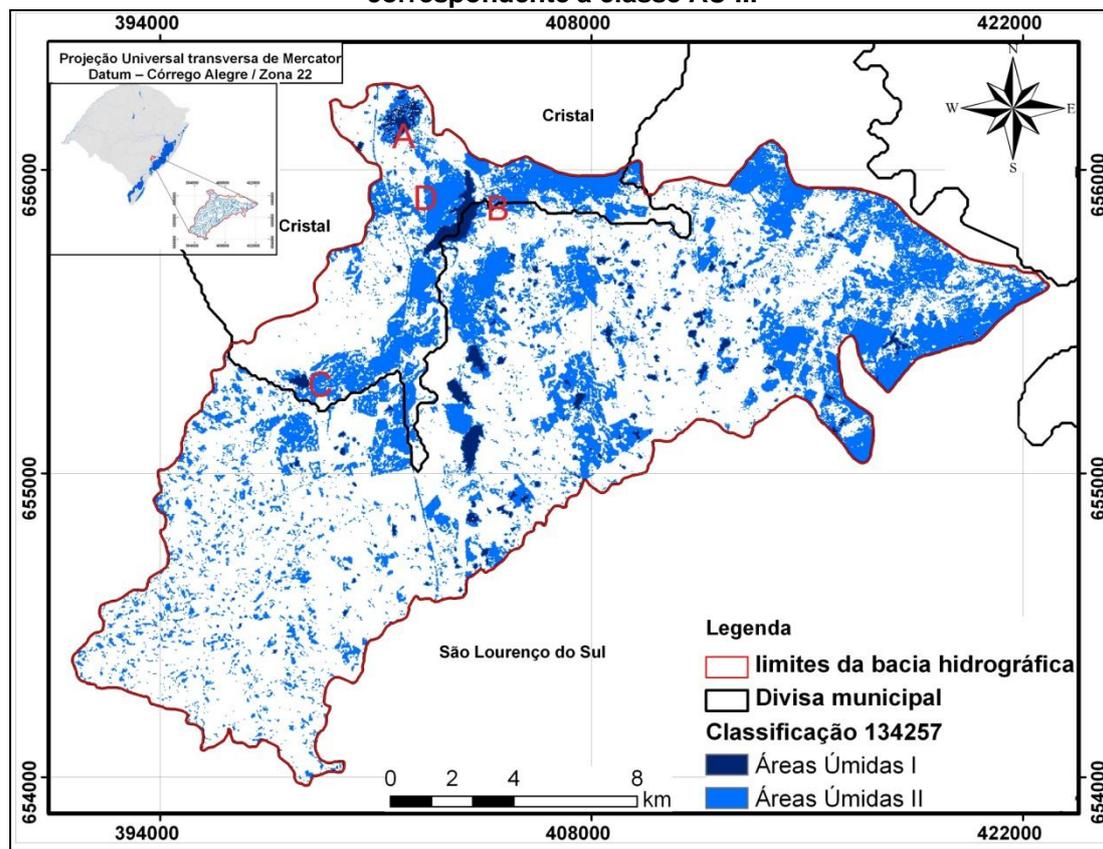
Figura 5. NDWI gerado para a SbHASI através de operações aritméticas entre as bandas 2 e 4 do sensor Landsat TM



Fonte: Os autores.

Ao considerar os valores ≥ 0 como pertencentes as AUs, conforme proposição de McFeeters (1996), foram selecionadas duas classes do NDWI gerado. Na Figura 6 estão presentes as duas classes que representam as AUs existentes na SbHASI. No tom mais escuro (AU I) são os corpos hídricos permanentes (açudes, barragem e segmentos de rio) e no tom mais claro (AU II) as áreas úmidas relacionadas às áreas de cultivo de arroz, banhados, várzeas e até mesmo mata ripária associada à planície de inundação.

Figura 6. Mapa com duas classes de AU encontradas na SbHASI. A, B, C) Indicação em mapa de áreas correspondentes à classe AU I e D) Indicação em mapa de área de banhado correspondente a classe AU II.



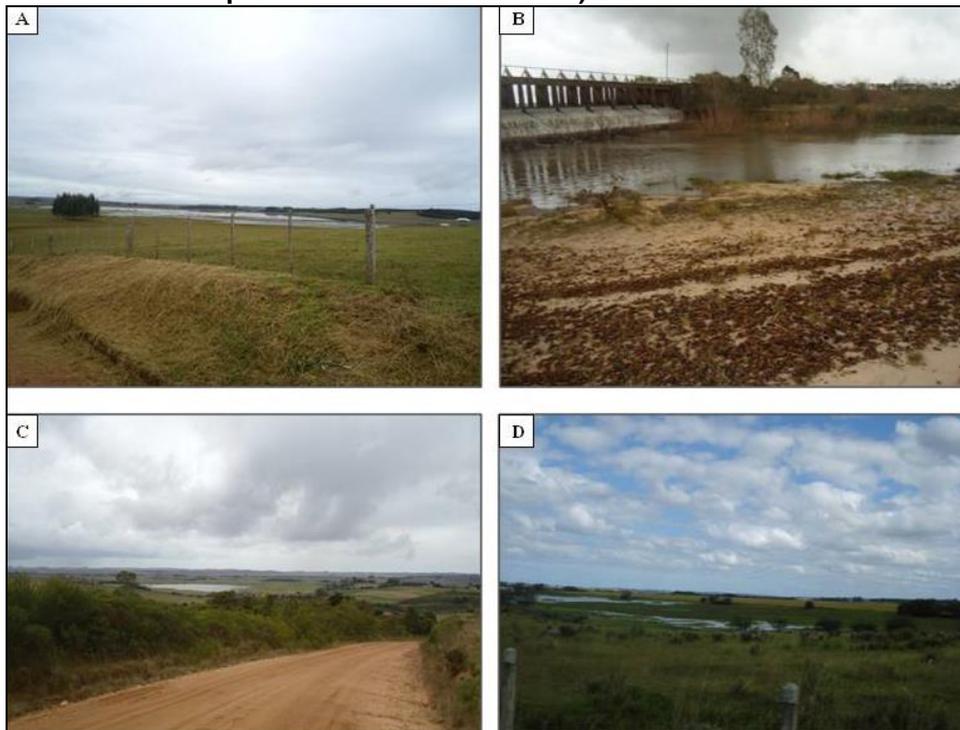
Fonte: Os autores.

Percebe-se que a maioria das AUs se encontra nos setores leste e central da bacia, estando associadas às áreas da morfoescultura Planície e Terras Baixas Costeiras.

O valor de área encontrado para a classe AU I foi de 6,26 km² e para a classe AU II foi de 80,61 km², correspondendo a 29,5% do total da área da SbHASI, evidenciando o predomínio de AUs fora de corpos hídricos com lâmina d'água aparente. Esta realidade atenta para a susceptibilidade das AUs presentes na SbHASI, já que a área possui forte agricultura, que se estende por toda a área de planície e, conseqüentemente, não teria impeditivo para invadir as AUs existentes.

A Figura 7 mostra algumas áreas que validaram a classificação de áreas úmidas aplicada no trabalho e são referentes aos pontos indicados na Figura 6. Todos os locais indicados estão situados em áreas que apresentam as duas classes obtidas no NDWI, que representam as classes de AUs presentes na SbHASI.

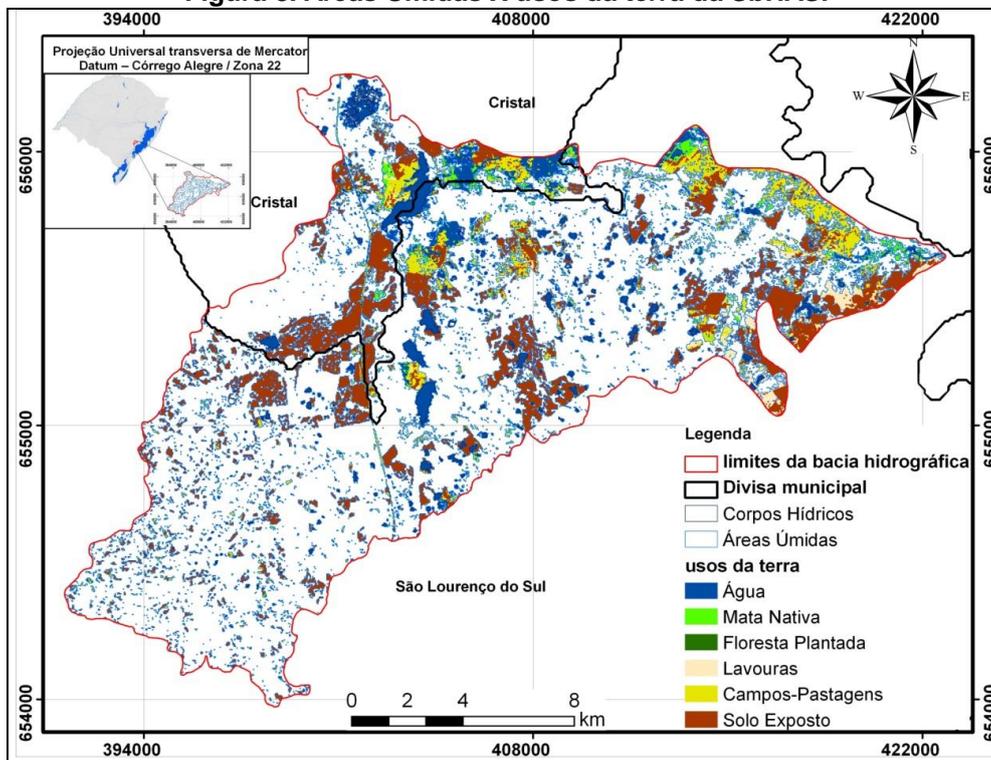
Figura 7. Fotos de campo: A) Açude na porção Norte da SbHASI, com áreas úmidas no entorno, B) Sumidouro de barragem existente no arroio Santa Isabel C) Açude em área rebaixada visto a partir de terreno colinoso D) Banhado na Planície Costeira.



Fonte: Os autores.

A relação entre os *layers* de AUs com as classes de coberturas vegetais e usos da terra (Figura 8) permitiu quantificar a situação das AUs na SbHASI (Tabela 3).

Figura 8. Áreas Úmidas X usos da terra da SbHASI



Fonte: Os autores.

Tabela 3 - Área úmida em cada categoria de uso da terra na SBHAS

| Uso da terra | Área úmida em km² |
|---------------------|-------------------------------------|
| Mata Nativa | 4,59 |
| Floresta Plantada | 0 |
| Lavoura | 4,28 |
| Campos-Pastagens | 24,42 |
| Solos Expostos | 37,55 |
| Subtotal | 70,84 |
| Indefinido | 9,77 |
| Total | 80,61 |

Fonte: Os autores.

A maioria das AUs está associada às áreas de campos-pastagens e solos expostos (após colheita do arroz e soja). Esse dado evidencia a ocupação efetiva das AUs na SbHASI e corrobora com os levantamentos de Burger (2000) e da FUNDAÇÃO ZOOBOTÂNICA DO RIO GRANDE DO SUL (2002), que afirmam ser a pecuária e o plantio de arroz as atividades de maior impacto aos banhados do litoral Sul do RS. A tabela apresentada mostra também que não há AU associada ao plantio de florestas (eucalipto e acácia). Outra questão importante na comparação entre as classes de AUs e as classes de uso e cobertura da terra é a indicação dos locais onde a coexistência destas é mais abrangente. Estas áreas localizam-se nas proximidades do canal principal da SbHASI e no extremo Norte e Leste da área.

A relação das informações entre o mapa de cobertura vegetal e usos da terra e as duas classes geradas no NDWI, permitiu a confirmação de que a classe AU I representa somente os corpos hídricos perenes, confirmando a qualidade da aplicação do NDWI no mapeamento da lâmina d'água, conforme visto em Brenner e Guasselli (2015); e também permitiu confirmar que a classe AU II consiste em áreas alagadas, tanto ocupadas por atividades agrícolas e pecuárias, como em áreas preservadas, atestando o potencial do NDWI para identificação de áreas alagáveis. Cabe salientar que resultados encontrados por Bastos (2014), no mapeamento de lavouras de arroz através de índices de vegetação, ressaltaram a complexidade de respostas destes índices e possíveis confusões na discriminação das respostas de vegetação natural, culturas agrícolas e os corpos hídricos devido ao comportamento espectro-temporal dos alvos.

Portanto, a associação de AUs relacionadas ao plantio de soja e arroz na SbHASI corrobora com resultados de Jackson *et al.* (2004). Estes autores conseguiram estimar a quantidade de água nas classes de culturas anuais de milho e soja através da aplicação de NDWI, alcançando resultados quantitativos consistentes na variação da água nestas culturas.

CONCLUSÕES

O mapeamento da cobertura vegetal e usos da terra na SbHASI permitiu a averiguação de que aproximadamente 70% da SbHASI está sendo impactada pela agricultura, reafirmando o potencial de impacto as AUs existentes na área.

O método aplicado na localização de áreas úmidas mostrou bons resultados, permitindo a distinção de duas classes de AU, que foram confirmadas no trabalho de campo. Observou-se que há possibilidade de perceber as mudanças nas AUs e quantificá-las através da aplicação da metodologia em uma série temporal, assim como dar mais precisão ao mapeamento e minimizar confusões na discriminação dos alvos em função dos valores do índice.

A extensão das duas classes de AUs mapeadas evidenciou seu predomínio fora de corpos hídricos com lâmina d'água aparente. Considerando que a maioria das AUs se encontra nos setores leste e central da bacia, estando associadas às áreas da morfoescultura Planície e Terras Baixas Costeiras, evidencia-se a fragilidade destas frente às atividades antrópicas, que se estendem por toda a planície de inundação da SbHASI.

As classes de AUs estão associadas predominantemente aos campos-pastagens (24,42km²) e solos expostos (37,55km²). Ambas as classes representam principalmente áreas associadas ao plantio de arroz, sendo esta cultura considerada a de maior potencial de impacto nas AUs da SbHASI, fato que chama a atenção para intervenção nestes locais a fim de preservar estes ecossistemas.

REFERÊNCIAS

BASTOS, M. A. **Índices de vegetação para o mapeamento de lavouras de arroz irrigado na bacia do rio Gravataí no estado do Rio Grande do Sul**. 2014. 87 fls. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

BRENNER, V. C.; GUASSELLI, L. A. Índice de diferença normalizada da água (NDWI) para identificação de meandros ativos no leito do canal do rio Gravataí/RS – Brasil. In: **XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, n. 17, 2015, João Pessoa/PB. XVII

Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Brasília: INPE, 2015. p. 3693-3699. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0727.pdf>> Acesso em: 15 de jun. 2015.

BURGER, M. I. **Situação e ações prioritárias para conservação de banhados e áreas úmidas da Zona Costeira**. 2000. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/meio/guias/5round/refere/Banhados.pdf>> Acesso em: 10 jan. 2011.

CHOMENKO, L. Estratégias de atuação com vistas à implantação de gestão ambiental e sustentabilidade em áreas rurais. In: REUNIÓN INTERNACIONAL PARA LA PROMOCIÓN DEL DESAROLO SUSTENIBLE EM LOS PALOP MEDIANTE LA COOPERACION INTERNACIONAL. 1998, Sesimbra, **Documento de trabajo Nº28** Reunião Internacional para o fomento do desenvolvimento sustentável nos PALOP mediante a cooperação internacional, Paris: UNESCO. 1999. p. 52-58.

CINQUINI, J.; AZEVEDO, A. Estimativa de áreas alagadas no período de seca e cheia em Otto bacia no município de Corumbá/MS, utilizando NDVI, NDWI e atributos de textura em imagens Landsat/TM. In: **Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**, n. 4, 2012, Bonito/MS. Anais do 4º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal. Brasília: EMBRAPA, 2012. p. 71-80. Disponível em: <<https://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br/2012/cd/geopantanal.pdf>> Acesso em: 15 de out. 2013.

COWARDIN, L. M. et al. **Classification of Wetlands and Deepwater Habitats of the United States**. Washington, D. C.: U. S. Fish and Wildlife Service, 1979. 103p.

DIAS, A. P. **Análise espacial aplicada à delimitação de Áreas Úmidas da planície de inundação do médio Araguaia**. 2014. 91 fls. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2014.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS. **Circular técnica 53- Estudo de solos do município de Cristal – RS**. Pelotas: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2006. 50 p.

FUNDAÇÃO ZOOBOTÂNICA DO RIO GRANDE DO SUL. **Mapeamento, Diagnóstico e Gerenciamento de Ambientes de Áreas Úmidas na Bacia do Guaíba, tendo em vista sua Preservação ou Conservação**. (Programa Pró-Guaíba). Subprograma Parques e Reservas – Projeto II. Estudos para consolidação do Sistema de Parques e Reservas Naturais na Bacia do Guaíba. Porto Alegre, 2002. 189p.

GAO, B. C. NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v. 58, n. 3, p. 257-266, dez.1996.

IBGE. **Manual Técnico de uso da terra**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2006. 172p.

IRGANG, B.E; GASTAL, C. S. **Macrófitas aquáticas da Planície Costeira do RS**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1996, 290p.

JACKSON, T. J. et al. Vegetation water content mapping using Landsat data derived normalized difference water index for corn and soybeans. **Remote Sensing of Environment**, v. 92, n. 4, p. 475–482, set. 2004.

LANDIS, J.R.; KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, Arlington, v.33, n.1, p.159-174, mar. 1977.

MALTCHIK, L. **Biodiversidade e conservação de áreas úmidas da Bacia do Rio dos Sinos**. São Leopoldo: Editora UNISINOS, 2003. 80 p.

MARTH, J. D. **Análise das Fragilidades ambientais da Sub-bacia Hidrográfica do Arroio Santa Isabel, RS**. 2012. 141 fls. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade

Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

MCFEETERS, S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, v.17, n.7, p.1425-1432, jan. 1996.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and human well-being: wetlands and water Synthesis**. Washington DC: World Resources Institute, 2005. 70 p.

NOVO, E. M. L de M. **Sensoriamento Remoto, Aplicações Básicas**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998. 308 p.

ROLON, A. N.; MALTCHIK, L. Áreas palustres: classificar para proteger. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 38, n. 228, p.66-70, jul. 2006.

SCAGLIONI, T. P.; SARAIVA, J. M. B. CLIMATOLOGIA DOS SISTEMAS PRECIPITANTES PARA O PERÍODO DE FEVEREIRO A DEZEMBRO DE 2003, NO RIO GRANDE DO SUL. In: XIII Congresso Brasileiro de meteorologia - Meteorologia e o Desenvolvimento Sustentável, 2004, Fortaleza, 13. 2004. **Anais**. Fortaleza, 2004. p. 1-12.

SCHOWENGERDT, R. A. **Remote sensing: models and methods for image processing**. 2. ed. New York: Academic Press, 1997. 522 p.

WESTLAKE, D. F.; KVET, J.; SZCZEPANSKI, A. (eds.) **The Production Ecology of wetlands**. London: Cambridge University Press, 1998. 568 p.

Agradecimentos: Ao Programa de Pós Graduação em Geografia da UFRGS, pelo suporte no desenvolvimento da pesquisa; à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pelo aporte financeiro.

Recebido em 02/05/2016

Aceito em 24/06/2016