

MAPEAMENTO DAS INUNDAÇÕES A PARTIR DE NDWI NO MUNICÍPIO DE ITAQUI, RIO URUGUAI – RS

FLOOD MAPPING IN ITAQUI CITY (URUGUAY RIVER, RIO GRANDE DO SUL) BASED ON THE NORMALIZED DIFFERENCE WATER INDEX (NDWI)

Greice Vieira SILVEIRA, Laurindo Antonio GUASSELLI

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Email: greicv.silveira@gmail.com; laurindo.guasselli@ufrgs.br

Introdução

Área de estudo

Materiais e Métodos

Definição do evento de inundação e aquisição dos dados

Processamento das imagens

Resultados e Discussões

Relação entre a precipitação e as manchas de inundações

Espacialização a partir do Índice de diferença normalizada da água - NDWI

Considerações Finais

Referências

RESUMO - No Rio Grande do Sul são recorrentes eventos de inundação. Na bacia do rio Uruguai vários municípios decretaram Situação de Emergência. Esse trabalho objetiva mapear as inundações numa seção do rio Uruguai, próxima ao rio Ibicuí, a partir de imagens de satélite. Foram utilizados dados de: precipitação; cota do rio; imagens Landsat: 03/08/1987, 18/11/1997, 12/10/2001 e 22/01/10. No mapeamento utilizou-se o infravermelho médio e o Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI). A análise dos eventos mostra que o nível do rio Uruguai extrapola a planície de inundação, mas em níveis diferentes. O evento mais expressivo, foi novembro de 1997 sob influência do El Niño nos totais pluviométricos. Em chuvas concentradas em setores da bacia, a elevação do nível do rio é gradativa. As chuvas que elevam o nível do rio, na seção analisada, são regionais, oriundas do norte do Estado e sul de Santa Catarina. A banda do infravermelho próximo e o NDWI, foram eficientes ao identificar áreas inundadas. A partir dos dados de precipitação e cota observou-se que quando o nível do rio está em 10,7m a inundação atinge 27,33% da área, o nível normal é 6,59m e atinge 8,91% da área.

Palavras-chave: NDWI, planície de inundação, pluviometria, El Niño.

ABSTRACT - In Rio Grande do Sul, flood events are recurrent. In Uruguay River basin, several cities decreed Emergency Situation. The present work aims to map floods in Uruguay River section near Ibicuí River, from satellite images. Data on: rainfalls; river quota and Landsat images (1987/08/03, 1997/11/18, 2001/10/12 and 2010/01/22) were used. The Medium Wavelength Infrared (MWI) and the Normalized Difference Water Index (NDWI) were also used in the mapping. The analysis of the event shows that Uruguay River's level extrapolates floodplain, but in different degrees. The most significant event was in November 1997, by the influence of El Niño on the rainfall totals. In rainfalls that are concentrated on basin sections, the rise of the river's level is gradual. The rains which raise the river's level, in the analyzed section, are regional, originating from the North of the state and the South of Santa Catarina. The Near Infrared band and the NDWI were efficient to identify flooding areas. From the rainfall and quota data it was observed that when the river is in 10,7m, the flood reaches 27,33% of the area, and the normal level is 6,59m, reaching 8,91% of the area.

Key-words: NDWI, floodplain, pluviometry, El Niño.

INTRODUÇÃO

De acordo com o *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED)*, desde 1995, as inundações foram responsáveis por 47% de todos os desastres naturais, afetando 2,3 bilhões de pessoas. O número de inundações por ano subiu para uma média de 171, no período de 2005-2014, diferente do que ocorria na década anterior com uma média anual de 127. Na América do Sul, o CRED ressalta que entre 1995 e 2004, em média 560 mil pessoas foram afetadas pelas inundações a cada ano, e entre 2005-2014 esse número aumentou para 2,2 milhões de pessoas.

As inundações não acarretam somente perdas

de vidas humanas, mas também danos materiais nas áreas urbanas e na área rural o setor agrícola acaba sendo prejudicado (Braz et al., 2017). Especialmente pela erosão dos solos e a deposição de sedimentos, pois as inundações podem prejudicar solos férteis para a agricultura na área rural (Alsdorf et al., 2007; Mengue et al., 2016). A ocorrência de eventos de inundação tem aumentado em diversas partes do Mundo e do Brasil, em decorrência de impactos antrópicos, pela ação da própria natureza ou de mudanças climáticas, e assim afetando a intensidade das chuvas e seus escoamentos (Grimm, 2011; Min et al., 2011).

De acordo com os dados do Atlas de Desastres Naturais (CEPED, 2012), nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, no período de 1991 a 2010, os eventos de inundações e enxurradas apresentaram elevado número de ocorrências, sendo superados apenas pela estiagem e a seca (CEPED, 2012). As inundações constituem-se em fenômenos naturais recorrentes, e por consequência conhecidos pela população, em especial, àquelas que residem próximas as planícies de inundação (Righi, 2011)

Um dos condicionantes naturais às inundações é o regime de precipitação, que controla a quantidade de água que entra no sistema fluvial; o tipo de solo, que determina a capacidade de retenção e transporte da água, a disponibilidade de nutrientes assim como o tipo e a distribuição da vegetação; a geologia, que controla a configuração da rede de drenagem, a sedimentação e o desenvolvimento e distribuição do solo; e o relevo, que reflete o tipo e distribuição espacial de quase todas as outras condicionantes, exceto a precipitação (Tominaga et al., 2009).

Os rios drenam em suas cabeceiras áreas com grande declividade e por consequência elevada velocidade em seu escoamento, e em alguns casos as variações de nível aumentam em poucas horas. As áreas mais propícias à ocupação são as planas, exatamente as que apresentam alta suscetibilidade à inundação. Sendo assim, a planície de inundação de um rio cresce significativamente nos seus cursos médio e baixo, justamente onde a declividade reduz e aumenta a incidência de áreas planas (Tucci et al., 2013).

As inundações consistem no aumento lento e previsível dos níveis de água em cursos hídricos, gerando um transbordamento que se mantém em situação de cheia durante algum tempo, e a seguir escoar gradualmente. Esse tipo de evento natural é ocasionado, geralmente, por chuvas prolongadas em áreas de planície (CEPED, 2012) e pode gerar desastres se essas áreas estiverem ocupadas.

Em decorrência do grande número de eventos que acometem o Estado e causam transtornos à população, muitas pesquisas vêm sendo realizadas sobre o tema, em destaque podemos citar os movimentos de massa e as inundações. Em meio aos principais estudos científicos de levantamento de inundações nas

bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul, destacam-se os trabalhos realizados por Reckziegel (2007), Wollmann (2013), Righi (2011, 2016), Oliveira et al. (2013), Menezes & Scoti (2013), Sausen & Reis (2013) e Mengue et al. (2016).

A variabilidade interanual da precipitação na região sul do país está diretamente relacionada a fenômenos de circulação atmosférica, tanto em escala regional quanto global. O Rio Grande do Sul situa-se em uma região latitudinal favorável à atuação de diversos fenômenos meteorológicos que afetam o tempo e o clima do estado como, por exemplo, as frentes frias e o fenômeno El Niño (Cera & Ferraz, 2015). A diversidade de fenômenos que atuam na variação da precipitação do RS, também influencia na intensidade, na distribuição e frequência da ocorrência de eventos adversos (Campos & Silva, 2010; Campos & Eichholz, 2011).

Entre as técnicas utilizadas para mapear a planície de inundação está o Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI – *Normalized Difference Water Index*), desenvolvido por McFeeters (1996), utilizado para a delimitação de áreas inundáveis. Este índice permite uma melhor visualização das áreas com alto teor de umidade, e é utilizado para delinear feições de umidade a partir de imagens de satélite (Foerstnow & Menezes, 2011). Segundo Gao (1996), o NDWI varia quase linearmente com a espessura da lâmina da água. Esse índice tem se destacado no monitoramento do comportamento hídrico, Brubacher & Guasselli (2013) mapearam áreas inundáveis em bairros que são afetados por inundações utilizando o NDWI e encontraram resultados coerentes.

Desta forma, no contexto das recentes ocorrências de inundações no Estado do Rio Grande do Sul e na carência de trabalhos visando o mapeamento e a análise destas, o objetivo deste trabalho é analisar a dinâmica das inundações em uma seção do rio Uruguai a partir de imagens de satélite.

Área de estudo

O rio Uruguai se origina da confluência dos rios Pelotas e Canoas. Nesse trecho, o rio assume a direção Leste-Oeste, dividindo os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. A área total drenada pelo rio, que se configura na Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai (conforme Resolução CNRH n.º 30/2003), é de cerca de 385.000 km², destes, 45% estão situados em

território brasileiro, sendo que 73% estão no Rio Grande do Sul e 27% em Santa Catarina. Seus principais tributários estão situados no setor leste da bacia. Apesar de sua pequena expressão territorial, as atividades agroindustriais e o potencial hidrelétrico, à colocam em lugar de destaque no cenário nacional (Caderno da Região Hidrográfica do Uruguai, 2006).

A área de estudo corresponde a uma seção do

rio Uruguai e afluentes (com destaque para o rio Ibicuí), figura 1. Essa seção está situada na fronteira entre a Argentina e o Brasil, com a cidade de Itaqui ao norte, localizada no território brasileiro, na margem esquerda do rio Uruguai no Estado do Rio Grande do Sul. Este trecho do rio foi escolhido por ser considerado de alta suscetibilidade de inundação em frequência e impacto (ANA, 2016).

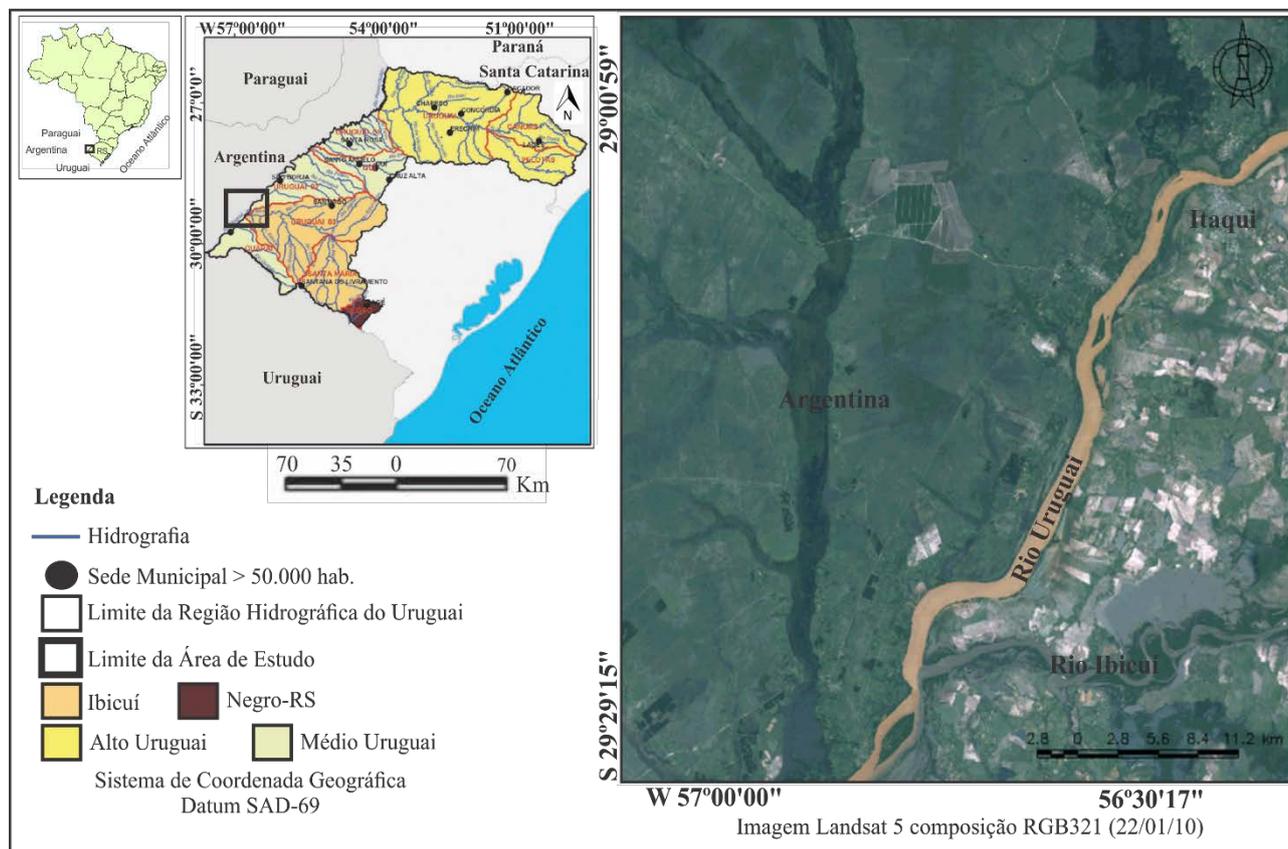


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo. Fonte: Adaptado de Righi (2011).

Estudos sobre desastres relacionados à inundações e enxurradas no rio Uruguai indicam mais de 38 ocorrências registradas por município, entre 1980 e 2005. Além disso muitas dessas cidades ribeirinhas registraram perdas de centenas de moradias, e destruição de lavouras, estradas e pontes (Reckziegel, 2007; Righi, 2011; Souza et al., 2017).

No setor sul as altitudes na bacia hidrográfica do rio Uruguai variam entre 33 e 500m e no setor norte entre 500 e 1350m (Righi, 2011). No trecho alto do rio Uruguai, a montante o relevo compreende declividades altas, com cotas que variam de 160 a 1600m (Caderno da região hidrográfica do Uruguai, 2006). A montante, o rio Uruguai tem alto potencial hidrelétrico, devido ao seu intenso gradiente de relevo.

No trecho médio e inferior, as inundações estão associadas às precipitações de longa duração

e grande abrangência espacial. As áreas rurais sofrem impacto maior no trecho a jusante da bacia, onde a topografia é mais suave e a planície de inundação é mais extensa, principalmente na fronteira oeste agrícola (Caderno da região hidrográfica do Uruguai, 2006).

Sausen & Reis (2013) mapearam os municípios do Rio Grande do Sul que decretaram Situação de Emergência, em decorrência de inundações e enxurradas, no período de 1980 a 2012. Verificaram que a maioria dos municípios localizados próximos ao rio Uruguai, apresentam pelo menos um Decreto de Situação de Emergência. E que nos meses de inverno e outono apresenta maior registro de decretos de inundação, enquanto na primavera há mais registros para as enxurradas.

A seção do rio Uruguai analisada está inserida na sub-bacia hidrográfica do rio Ibicuí,

que possui uma área de 35.495,38 km² e população estimada em 394.030 habitantes (SEMA, 2016). De acordo com a classificação de IBGE (1986), a área localiza-se na unidade geomorfológica do Planalto de Campanha, que apresenta relevo ondulado, com a altitude decaindo de forma gradativa em direção à calha do rio Uruguai (Robaina et al., 2010). Conforme a tipologia climática descrita por Rossato (2011) está inserida no clima Subtropical II e Subtropical III.

O primeiro com maior influência dos sistemas

polares e tropicais continentais, com influência do relevo (Depressão Central), a continentalidade e a maritimidade, sendo que os sistemas frontais são responsáveis pela maior parte das precipitações que variam entre 1500 e 1700 mm anuais. O segundo com menor influência dos sistemas polares e maior atuação dos sistemas tropicais marítimos e continentais, na primavera e verão, em associação com o efeito do relevo (Planalto Basáltico e vale do rio Uruguai) e da continentalidade e precipitações que variam entre 1700 e 1800 mm anuais (Rossato, 2011).

MATERIAIS E MÉTODOS

Definição dos eventos de inundação e aquisição dos dados

A escolha das datas dos eventos de inundação foi baseada no registro de ocorrência de inundações nos municípios ao longo do rio Uruguai no período entre 1980 e 2010 de Reckziegel (2007) e Menezes & Scoti (2013). Com base nos registros para a cidade de Itaquí, buscou-se imagens de satélite correspondentes aos períodos dos eventos de inundações.

Os inventários de ocorrência de inundações foram obtidos dos registros da Defesa Civil do Rio Grande do Sul. Os dados legais dizem respeito aos Decretos de Situação de Emergência e de estado de Calamidade Pública, obtidos nas publicações do Diário Oficial do Estado.

Para averiguar se os eventos de inundação têm relação com o fenômeno atmosférico El Niño, foram obtidos dados do Índice de Oscilação Sul, disponibilizados no site do Serviço Meteorológico Nacional - Centro de Previsão do Clima (National Weather Service – Climate Prediction Center). Após o levantamento dos eventos de inundações e dos anos de influência do fenômeno El Niño, foram selecionadas as imagens com registro de inundações na planície do rio Uruguai.

Para comparar os eventos de inundação foram selecionadas três datas, uma considerando inundação com ocorrência de El Niño, uma com inundação local e outra considerada como um ano neutro, conforme a série histórica das anomalias, disponibilizado pelo site da NOAA.

Os dados de precipitação foram obtidos com onze dias antecedentes a data da passagem das imagens selecionadas. A figura 2 apresenta a distribuição espacial das 10 estações pluviométricas selecionadas para abranger a dinâmica das chuvas que causam as inundações no trecho selecionado, e uma estação

pluviométrica, localizada no município de Itaquí. Os dados são disponibilizados na página virtual da ANA, no site do Sistema de Informações Hidrológicas - Hidro Web, com acesso as séries históricas das estações pluviométricas. Assim, como também são disponibilizados *shapefiles* com dados de bacias hidrográficas contendo dados das estações fluviométricas, pluviométricas, hidrografia, entre outros. A partir do *shapefile* da bacia hidrográfica do Uruguai foi possível organizar espacialmente as estações selecionadas.

Em decorrência da rede de monitoramento meteorológico não cobrir completamente o Rio Grande do Sul, considerou-se 5 estações do Estado de Santa Catarina e 5 do Rio Grande do Sul. Servindo de apoio para validar os dados referentes as precipitações que geram as inundações no Rio Grande do Sul.

Processamento das imagens

As imagens foram obtidas no catálogo de imagens do *EarthExplorer* no site do Serviço Geológico Norte Americano (U.S. Geological Survey - USGS), do satélite Landsat 5 TM, órbita/ponto 225/80 nas datas: 08/06/1990, 18/11/1997, 12/10/2001 e 22/01/2010. A data de janeiro de 2010 foi selecionada para mostrar as diferenças na planície de inundação em uma situação de normalidade e quando ocorrem as inundações, evidenciando assim, a sua área de inundação.

Foi criado um banco de dados geográfico no software Spring 5.4.3, no qual as imagens foram georreferenciadas a partir de uma imagem Landsat OLI 8 da mesma órbita ponto, pois as imagens do OLI 8 são disponibilizadas já georreferenciadas, servindo como base para o georreferenciamento. Optou-se por trabalhar com a banda 5, infravermelho médio. As imagens adquiridas foram processadas sob demanda no site da ESPA-

USGS (<https://espa.cr.usgs.gov/login/?next=/>), reflectância de superfície (produto *Landsat* com correção atmosférica e convertidas para *Surface Reflectance*).

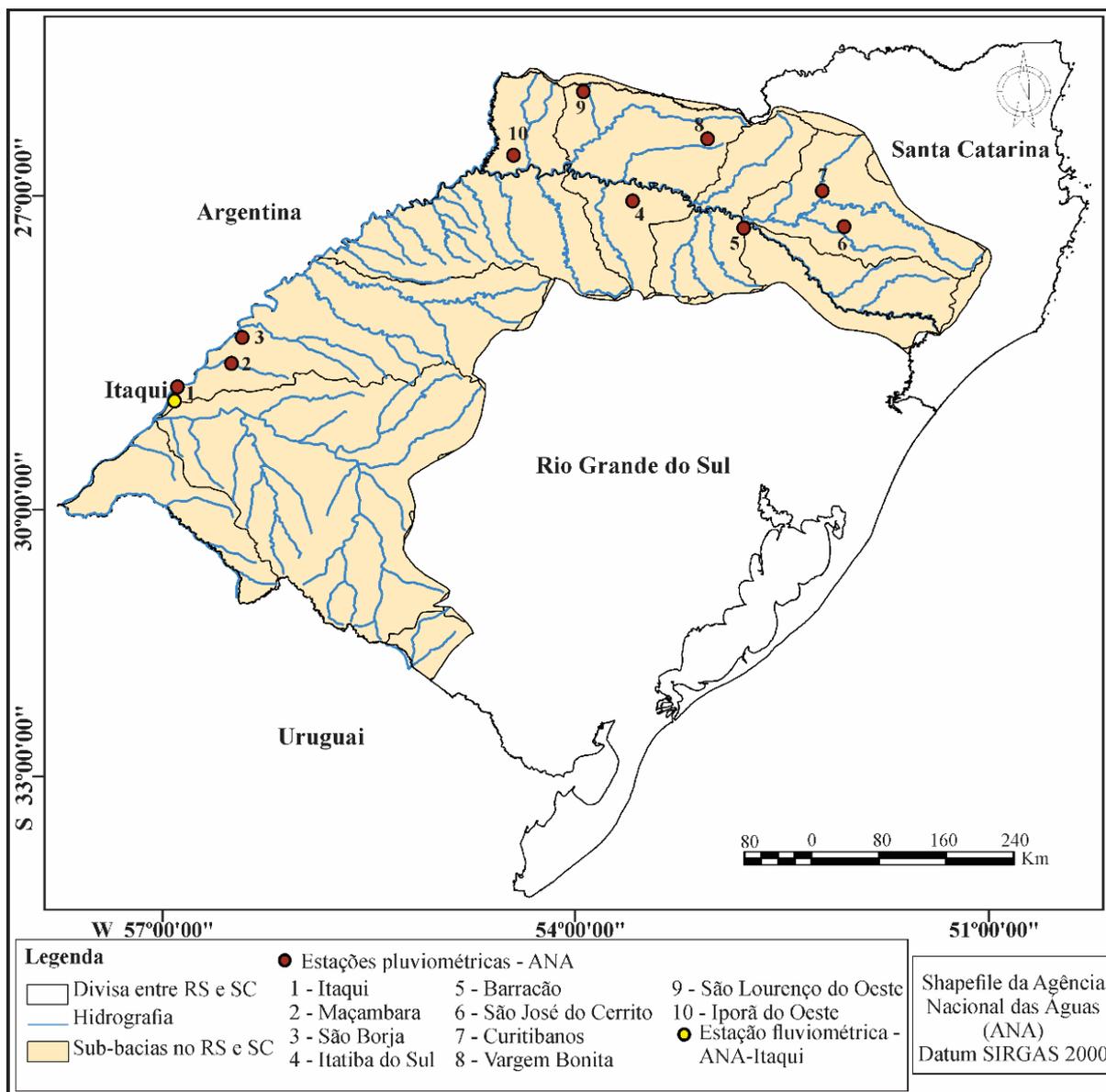


Figura 2 - Distribuição espacial das estações pluviométricas e fluviométrica.

Para a espacialização das áreas inundadas foram utilizadas as bandas 2, 4 e 5. A banda 5 foi utilizada para mapear as áreas de inundação, e as bandas 2 e 4 para gerar o índice NDWI para delinear feições na água presentes no ambiente e realçar a presença das mesmas na imagem digital obtida por sensoriamento remoto. Essa razão realça as feições mais úmidas enquanto elimina a influência do solo e da vegetação terrestre. O NDWI é obtido pela razão entre a banda do infravermelho próximo e do verde, a Equação 1 descreve a relação.

$$NDWI = \frac{(\rho_{green} - \rho_{IVP})}{(\rho_{green} + \rho_{IVP})} \quad (1)$$

Em que: o ρ_{green} é a reflectância na banda do verde; o ρ_{IVP} é a reflectância na banda do infravermelho próximo.

Esse índice é calculado pixel à pixel gerando valores de alta intensidade para regiões úmidas e menos intensos para as outras regiões. Essa razão realça as regiões mais úmidas pois maximiza a reflectância dessas feições na banda do verde visível, minimiza a baixa reflectância da água na banda do infravermelho próximo enquanto utiliza-se das altas reflectâncias da vegetação e solo, nessa mesma banda (Foerstnow & Menezes, 2011). A partir das imagens de NDWI foi realizada uma classificação por fatiamento para quantificar as áreas úmidas em cada data analisada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Relação entre a precipitação e as manchas de inundações

Os dados de precipitação referentes a inundação de 03/08/1987, tabela 1, mostram que os maiores acumulados de chuva ocorreram nas estações localizadas no Rio Grande do Sul (1 a 5), enquanto nas estações do Estado Catarinense o volume acumulado nos dias antecedentes a data da imagem não chega a 50mm. Destaca-se, a partir do volume acumulado, que as chuvas que contribuíram para esse evento estão situadas no setor oeste e norte do Rio Grande do Sul com participação das chuvas da Argentina.

Na inundação de agosto de 1987, figura 3A, observa-se que a inundação ultrapassou o leito normal do rio ocupando parte da planície de inundação do rio Uruguai. O município de Itaqui localizado no setor nordeste da figura 3A, foi atingido por esta inundação. A área urbana ocupa as margens inundáveis do rio, na sua planície de inundação, deixando vulnerável a população urbana a esses eventos.

Segundo Saueressig (2012) a ocorrência de inundações no município de Itaqui é expressiva entre os meses de abril e julho e, muito significativa, entre os meses de outubro e novembro. Neste caso, a inundação de 1987 pode ser considerada expressiva de acordo com a autora, pois conforme os dados da tabela 1, os maiores valores acumulados de chuva são em julho, 11 dias antecedentes a imagem de 03 de agosto. Desta forma, embora a data da imagem seja de início de agosto a chuva que configurou a inundação foi decorrente do mês de julho, demonstrando que a ocorrência de inundações é expressiva entre abril e julho.

Nas datas analisadas, figura 3, observa-se que no setor leste da bacia hidrográfica, especialmente no trecho que ocorre o encontro do rio Uruguai com o rio Ibicuí ocorre represamento das águas do rio nesse setor, que é um dos seus afluentes. Neste trecho situado ao sul-sudeste, existe alguns açudes próximos ao rio Ibicuí, o que facilita para que a água represe neste setor.

As chuvas que ocasionaram a inundação de 1987 estão concentradas principalmente no RS, pois os maiores volumes acumulados encontrados são de estações localizados no Estado. As áreas localizadas no setor oeste da planície de inundação (Argentina) apresentam áreas com umidade, indicando que ocorreram chuvas no País vizinho, que podem ter contribuído para o extravasamento da planície de inundação. O volume acumulado de chuva foi de grande impacto na elevação do nível do rio Uruguai, que em vários trechos invadiu consideravelmente a planície de inundação.

Os dados referentes a inundação de novembro de 1997 (Tabela 2), revelam que os acumulados da distribuição das chuvas foram mais concentrados nos municípios que fazem fronteira com Santa Catarina. De acordo com Nery et al. (2006) a média do número de dias de precipitação em seus valores anuais sofreu alterações positivas durante o evento El Niño 1997/1998, especialmente à montante da bacia.

De um modo geral os volumes acumulados de chuva são elevados nas 10 estações analisadas, ou seja, foi um período em que a chuva ocorreu de forma distribuída na bacia como um todo, fazendo com que o nível do rio se elevasse de forma gradativa.

Tabela 1 - Precipitação antecedente a inundação da imagem de 03/08/1987.

Estações/Município/UF	Julho										Agosto			Total (mm)	
	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3			
1. Itaqui	0,0	13,0	0,0	20,8	0,0	89,4	111,2	27,0	0,0	0,0	0,0	0,0	261,4	616,1mm	
2. Maçambará	0,0	33,1	0,0	15,5	0,0	145,9	68,7	9,3	0,0	0,0	0,0	0,0	272,5		
3. São Borja	0,0	11,9	0,0	12,5	1,3	47,4	122,8	29,4	0,0	0,0	0,0	0,0	225,3		
4. Itatiba do Sul	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,3	28,3	1,8	0,0	0,0	0,0	33,4		
5. Barracão	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,5	10,2	4,8	0,0	0,0	0,0	23,5		
6. São José do Cerrito	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	13,6	1,8	7,4	3,2	0,0	0,0	0,0	27,2	157,7mm	
7. Curitibanos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,6	1,9	7,2	0,0	0,0	0,0	17,7		
8. Vargem Bonita	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	18,2	13,0	0,0	0,0	0,0	33,6		
9. São Lourenço do Oeste	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	25,0	7,0	0,0	0,0	0,0	34,0		
10. Iporã do Oeste	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	11,8	8,6	13,8	7,6	0,0	0,0	0,0	45,2		

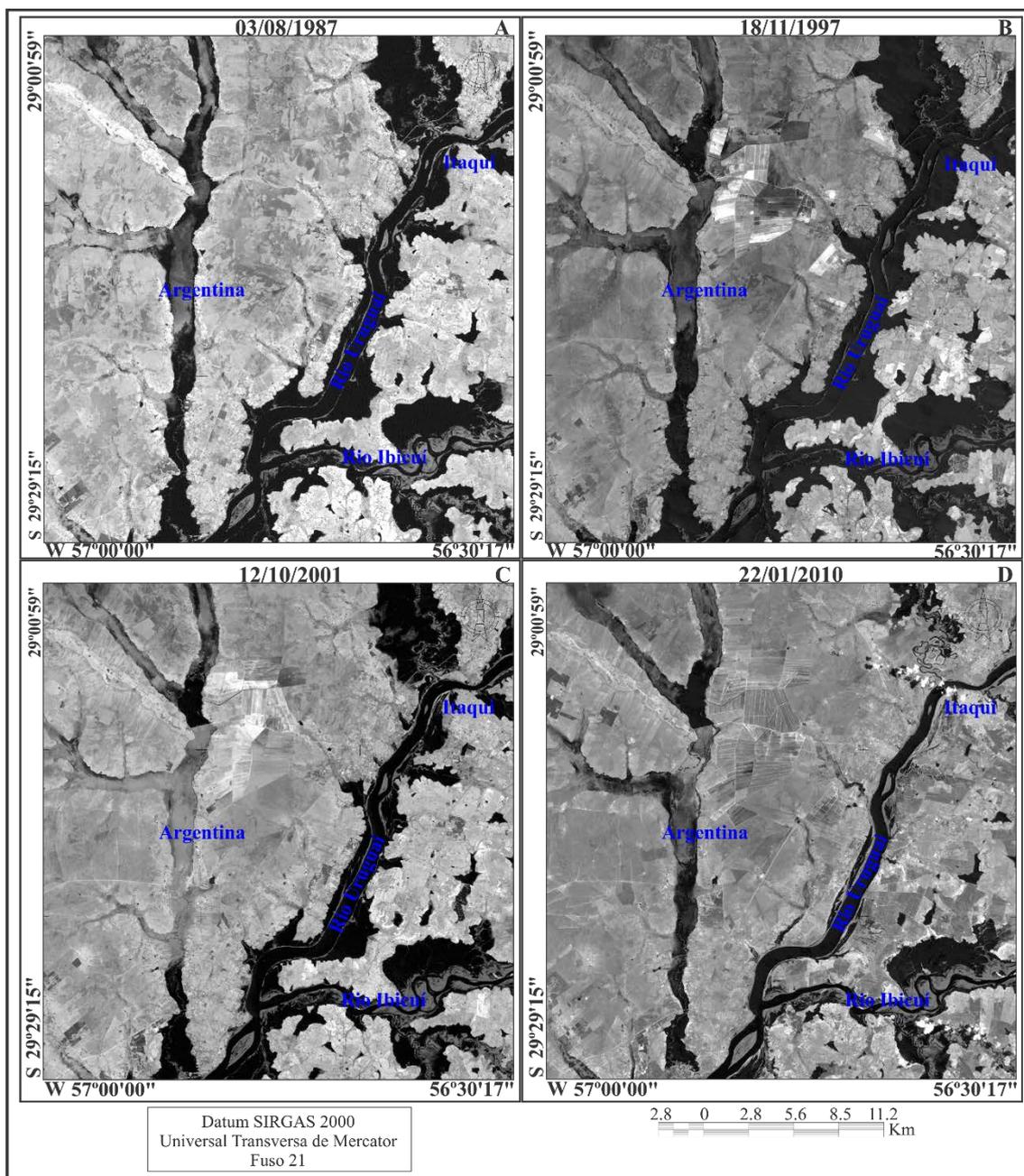


Figura 3 - Imagens Landsat 5 TM, banda 5, com eventos de inundação: A) 03/08/87, B) 18/11/97, C) 12/10/01, D) 22/01/10.

Tabela 2 - Precipitação antecedente a inundação da imagem de 18/11/1997.

Estações/Município/UF	Novembro												Total (mm)	
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
1. Itaqui	0,0	0,0	18,3	27,8	48,3	22,0	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	118,1	490,0mm
2. Maçambara	0,0	0,0	0,0	6,4	26,6	53,0	15,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	101,4	
3. São Borja	0,0	0,0	8,0	34,0	51,0	15,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	108,4	
4. Itatiba do Sul	5,8	0,0	0,0	1,8	3,1	10,4	40,7	11,1	0,0	0,0	0,0	0,2	73,1	
5. Barracão	0,0	0,0	0,0	0,6	5,0	22,1	45,5	15,8	0,0	0,0	0,0	0,0	89,0	
6. São José do Cerrito	0,0	0,0	0,0	0,4	52,3	12,3	18,2	18,6	0,0	0,0	2,6	0,0	104,4	633,7mm
7. Curitibanos	2,8	0,0	0,0	0,0	38,8	15,8	17,4	22,8	0,0	0,0	0,0	0,0	97,6	
8. Vargem Bonita	2,3	0,0	0,0	2,3	18,0	28,1	51,6	16,0	0,0	0,0	0,5	1,1	119,9	
9. São Lourenço do Oeste	0,3	0,0	0,0	1,7	5,2	0,0	72,0	3,0	0,0	0,0	7,0	0,0	89,2	
10. Iporã do Oeste	33,4	0,0	0,0	4,2	3,8	0,0	94,4	6,8	0,0	0,0	0,0	0,0	142,6	

No setor oeste da imagem, na Argentina (Figura 2B), se observa que alguns cursos d'água apresentam maior área inundada.

Pode-se inferir que a precipitação na Argentina no mesmo período pode ter colaborado juntamente com a chuva regional na bacia para esse evento de inundação. Importante destacar que os resultados obtidos por Mengue et al. (2016) ao mapear a inundação de 1997 a partir do modelo HAND (*Height Above the Nearest Drainage*) foram similares aos de Saueressig (2012) na definição das áreas mais suscetíveis à inundação.

Os dados de precipitação antecedentes a inundação de outubro de 2001 (Tabela 3), mostram que os principais acumulados de

precipitação ocorreram nos municípios do norte do RS e em Santa Catarina, ou seja, os principais acumulados de chuva procedem do alto curso do rio Uruguai. Na figura 3C referente ao ano de 2001, a mancha de inundação é menor que a de 1997, mas os dados referentes ao volume de precipitação total acumulado de 2001 são maiores. O índice de umidade permitiu observar essas diferenças entre volume acumulado e a mancha de inundação em si, pois embora a inundação de 2001 apresente maiores volumes acumulados que 1997, através do NDWI foi possível identificar e quantificar as áreas inundadas, mesmo que o nível da água tenha diminuído devido ao excesso de umidade do solo.

Tabela 3 - Precipitação antecedente a inundação da imagem de 12/10/2001.

Estações/Município/UF	Outubro												Total (mm)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1. Itaqui	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	37,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	45,9	518,4
2. Maçambara	4,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	38,8	0,0	0,0	0,0	0,0	43,5	
3. São Borja	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	31,6	35,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	71,6	
4. Itatiba do Sul	23,0	0,0	12,7	0,4	0,0	0,0	28,4	67,2	23,1	0,0	0,0	0,0	154,8	
5. Barracão	144,3	6,3	1,3	1,0	0,0	0,0	0,0	47,9	1,8	0,0	0,0	0,0	202,6	
6. São José do Cerrito	138,3	21,7	3,2	0,5	0,0	0,0	0,0	24,7	6,5	0,0	0,0	0,0	194,9	979,1
7. Curitibaanos	91,6	21,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	43,6	10,2	0,0	0,0	0,0	166,6	
8. Vargem Bonita	45,8	57,5	3,7	0,0	0,0	0,0	15,8	71,7	37,5	0,0	0,0	0,0	232,0	
9. São Lourenço do Oeste	73,2	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	33,2	93,0	32,3	0,0	0,0	0,0	232,5	
10. Iporã do Oeste	26,5	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	49,5	72,5	3,6	0,0	0,0	0,0	153,1	

As inundações de 1997 e 2001, respectivamente, ocorreram nos meses de novembro e outubro. Conforme estudos de Saueressig (2012) são consideradas muito significativas, pois nestes meses os totais pluviométricos tendem a ser mais elevados ocasionando, assim, as inundações. Isto é observado nas tabelas 3 e 4, as quais apresentam os dados de precipitação mais elevados do que foi verificado na tabela 2 referente a 1987. Rossato (2011) abordou a importância das passagens frontais na gênese das chuvas no RS, mas também de fenômenos como o ENOS. O ano de 1997 está entre os anos identificados como mais chuvosos no período entre 1970 e 2007, ano com forte influência de El Niño (Rossato, 2011).

Espacialização a partir do Índice de Diferença Normalizada da Água- NDWI

As áreas de inundação, figura 4, nos três eventos de inundação são realçadas nas imagens a

partir do NDWI, bem como as áreas úmidas, representada na Figura 4D, por ser uma imagem de data de situação de normalidade do leito do rio.

Uma das características do NDWI é destacar como água o limiar acima de zero, o que quer dizer que somente áreas com lâmina de água com alto teor de umidade, serão salientadas. Considerando as quatro imagens é evidente que a inundação de 2001 (4C) foi menos expressiva, pois as manchas de água são bem menores em relação às outras.

A figura 4B de NDWI apresenta maior área de inundação, devido aos índices pluviométricos elevados. Também por ser ano de ocorrência de El Niño. Ao comparar a inundação de 1997 com as outras datas analisadas destaca-se que a mancha de inundação é mais expressiva. Isso fica evidente ao se comparar os dados dos totais pluviométricos nas tabelas de 1987, 1997 e 2001, pois os valores da tabela de 1997 são bem mais significativos que as demais.

A eficiência do mapeamento de inundações a partir de imagens de satélite e geotecnologias é destacada em: Oliveira et al. (2013) que espacializaram as áreas inundáveis a partir de dados de precipitação, cota e imagens de

satélite; Brubacher & Guasselli (2013) que espacializaram as áreas inundáveis com base no índice NDWI obtiveram resultados satisfatórios, pois os bairros inundados foram bem identificados no mapeamento.

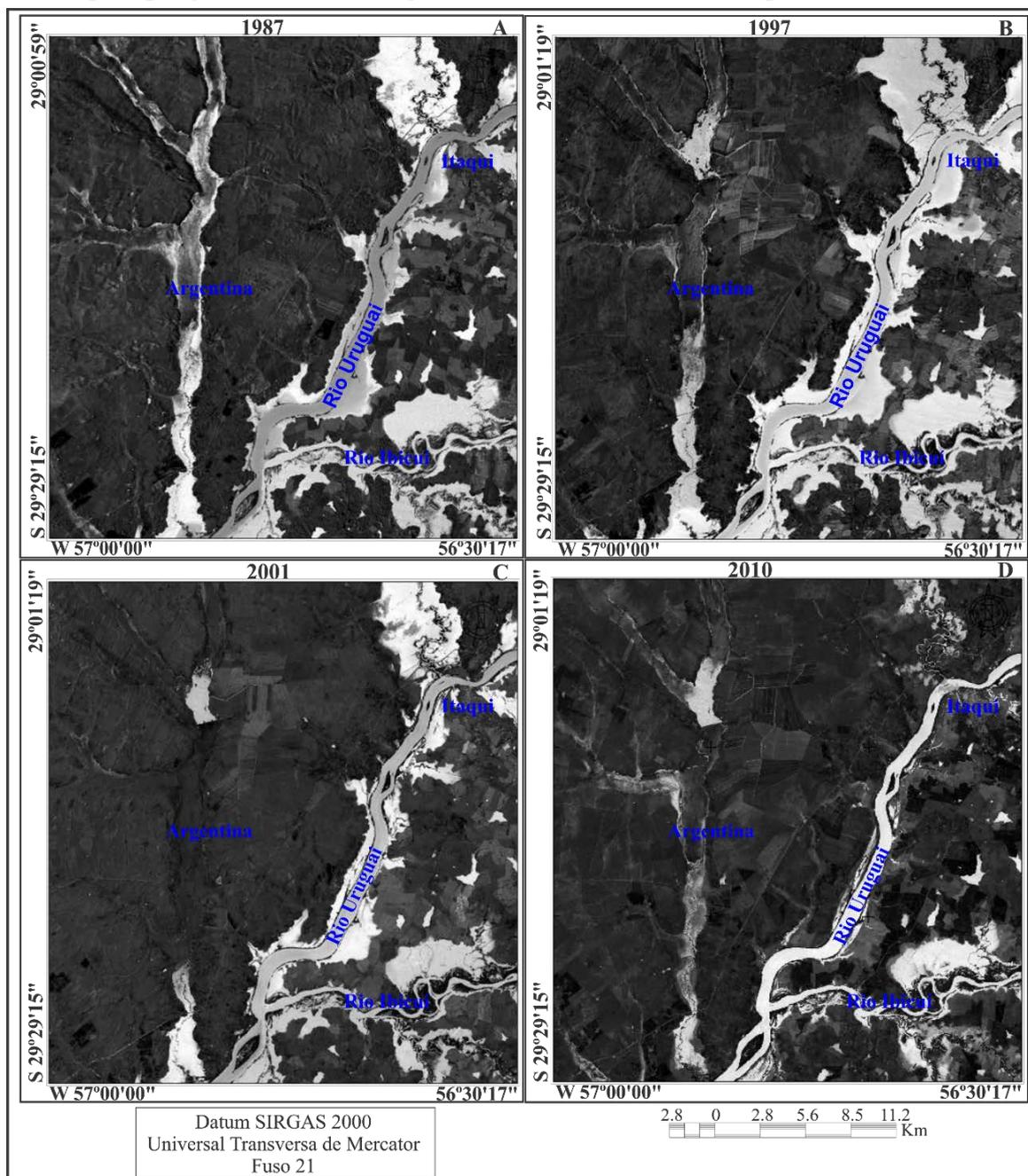


Figura 4 - Imagem de NDWI de 03/08/87(A), 18/11/97 (B), 12/10/01(C) e 22/01/10 (D).

Foi realizada uma classificação (Figura 5) e quantificação (Tabela 4) das áreas úmidas para todas as datas a partir do índice NDWI considerando a classe áreas úmidas. O fatiamento permitiu observar maior riqueza de detalhes das diferenças entre cada data analisada, evidenciando os contrastes na planície de inundação em decorrência da magnitude dos eventos

O evento de maior magnitude dentre as 4

datas é o de 1997, considerando que as áreas úmidas representam 27,33% da área total, seguido do evento de 1987 com 19,18% e em 2001 com 15,21% e 2010 data de uma situação de normalidade na planície do rio Uruguai com 8,91%.

Em relação a inundação de 1997 pode-se inferir o quanto ela foi expressiva em comparação com as outras datas analisadas. Embora a inundação de 1987 também tenha

ocorrido em ano com atuação do El Niño, esta não foi tão significativa pois a área inundada da planície de inundação é menor ao comparar as figuras 5 (A, B, C, D). A inundação de 2001 ocorreu em ano considerado neutro sem a

influência do fenômeno El Niño (Tabela 5). Entretanto, nem todas as inundações consideradas de grande magnitude conforme os dados históricos ocorreram em anos de atuação do El Niño.

Tabela 4 - Classes fatiamento de NDWI.

Classes	1987		1997		2001		2010	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Áreas úmidas	48.279,06	19,18	68.782,05	27,33	38.269,35	15,21	22.426,38	8,91
Não classificada	203.377,14	80,82	182.874,15	72,67	213.386,85	84,79	229.229,82	91,09
Total	251.656,20	100,0	251.656,20	100,0	251.656,20	100,0	251.656,20	100,0
Cota (m)	9,34		10,7		9,04		6,59	

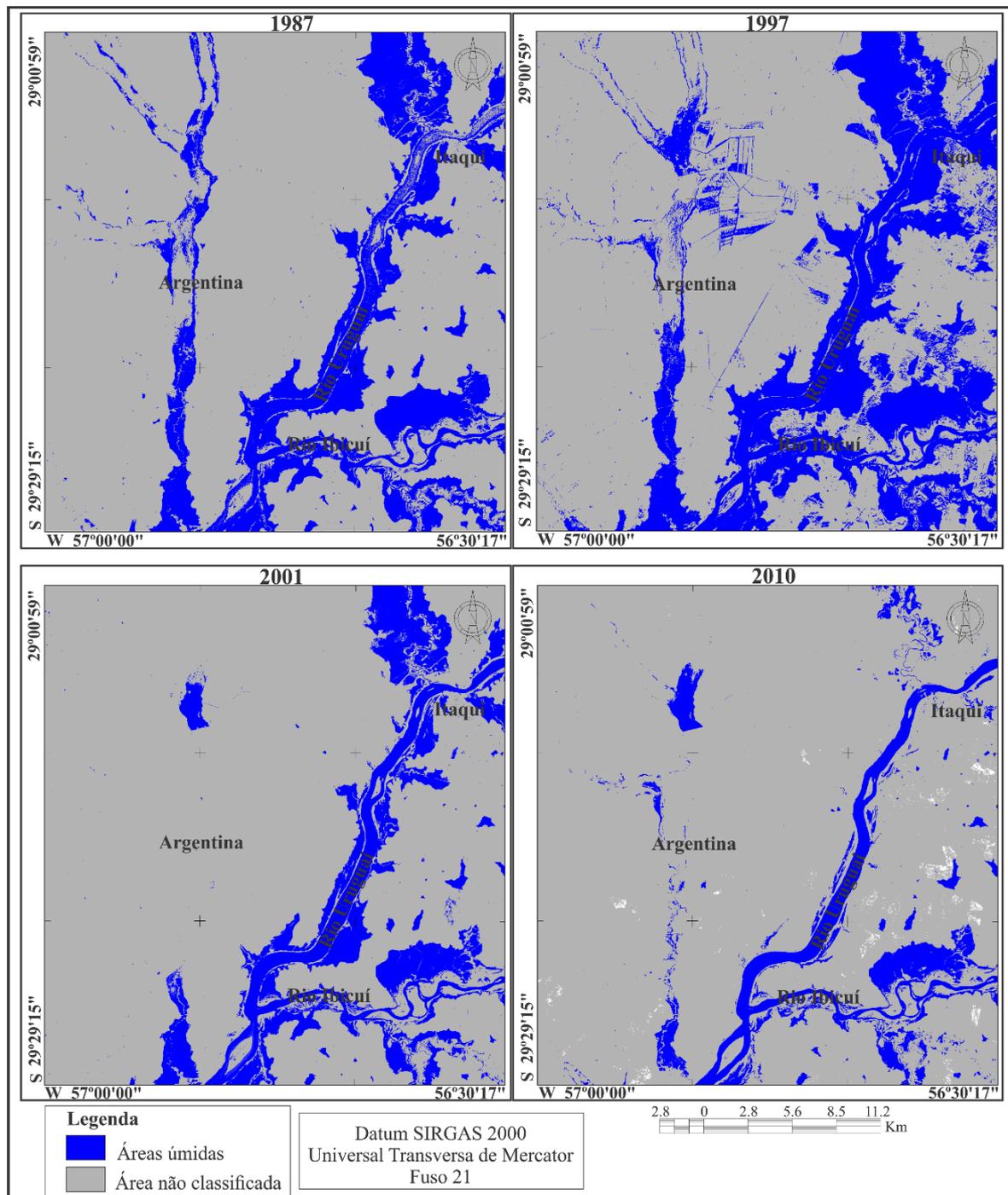


Figura 5 - Fatiamento NDWI de 03/08/87(A), 18/11/97 (B), 12/10/01(C) e 22/01/10 (D).

Nery et al. (2006) analisaram a precipitação pluvial anual média na bacia do rio Uruguai no período de 1972 a 2001 e observaram uma oscilação entre 1400mm (a jusante) e 1700mm (a montante), com maiores valores (1900mm) na parte central da bacia. Essa distribuição também foi encontrada em estudos publicados no Caderno da Região Hidrográfica do Uruguai (2006) e em Rossato (2011) ao analisar a distribuição espacial da precipitação pluviométrica na bacia do Uruguai.

Nery et al. (2006) calcularam a dispersão da precipitação pluvial anual a partir do desvio padrão, o resultado apresentou significativa variabilidade na parte central da bacia hidrográfica do Uruguai.

O Caderno da Região Hidrográfica do

Uruguai (2006) destaca que no trecho médio e inferior do rio Uruguai, as inundações são devidas a precipitações de longa duração e grande abrangência espacial. O que se confirma, conforme os dados apresentados, considerando os 11 dias antecedentes à data da imagem selecionada, as chuvas que ocasionam inundações decorrem de dias de chuva de longa duração.

A precipitação pluvial na bacia do rio Uruguai é bem distribuída ao longo dos anos, não apresenta diferenças entre o período úmido e seco. Os eventos El Niño e La Niña (Tabela 5) influenciam na precipitação do rio Uruguai, com chuvas bem acima do normal em anos de El Niño (Nery et al., 2006), como verificado na inundação de 1997, nos dados da tabela 2.

Tabela 5 - Período do fenômeno El Niño.

Período El Niño	Duração (meses)	Período La Niña	Duração (meses)
01/1980 a 02/1980	2	10/1984 a 06/1985	9
04/1982 a 06/1983	15	05/1988 a 05/1989	13
09/1986 a 02/1988	18	08/1995 a 03/1996	8
06/1991 a 07/1992	14	07/1998 a 02/2001	32
10/1994 a 03/1995	6	08/2007 a 06/2008	11
05/1997 a 05/1998	13	07/2010 a 04/2011	10
06/2002 a 02/2003	9	08/2011 a 02/2012	7
07/2004 a 04/2005	10		
09/2006 a 01/2007	5		
07/2009 a 04/2010	10		
11/2014 a 05/2016	19		

Fonte: National Weather Service, 2016.

Apesar de a influência ocorrer durante todo o período de atuação, existem duas épocas do ano que são mais afetadas pelas fases do ENOS. Na primavera e começo do verão, entre os meses de outubro a dezembro, ao ano inicial do evento, e final de outono e começo de inverno, de abril a junho, ao ano seguinte do início do evento (Cunha, 2003). Assim, nessas épocas, a possibilidade de chuvas acima do normal são maiores, em ano de El Niño, como nos eventos de 1987 e 1997 (Britto et al., 2008). Os autores destacam que o ano de 1997 apresentou uma variabilidade interanual bem marcada, com fortes chuvas principalmente no noroeste e oeste do RS, as quais ocasionaram inundações em vários municípios no Estado.

Sanches (2013) ao comparar os totais anuais de precipitação no município de Alegrete no período de 1928-2009, identificou os anos mais

chuvosos (volume superior a 1850mm) e os menos chuvosos (volume inferior a 1170mm) com base nos limites superior e inferior do desvio padrão da série histórica. Os anos de 1987 e 1997 respectivamente com 1909,5mm e 1957,8mm cada um, estão entre os anos considerados mais chuvosos para o município, e classificado como muito úmido o ano de 1997 de acordo com o Índice de Anomalia de Chuva - IAC. O rio Ibirapuitã no município de Alegrete é um dos afluentes do rio Ibicuí, que por sua vez deságua no rio Uruguai, como é observado no setor leste da figura 1.

Saueressig (2012) analisou as maiores cotas fluviométricas registradas em Itaqui para o período de 1980 a 2010.

Em 1997 o rio Uruguai na estação fluviométrica de Itaqui, registrou sua segunda maior cota fluviométrica, chegando a 13,30m

acima do leito normal, a maior cota atingida foi no ano de 1983 com 14,52m acima do leito normal.

Sendo assim na inundação de 1997 foi

registrada a terceira maior cota, evidenciando que a mancha de inundação de 1997 é maior que as demais datas analisadas, comprovado com os dados das cotas fluviométricas (Tabela 6).

Tabela 6 – Dados de cota para os dias antecedentes a imagem de satélite.

Ano	1987												
	Julho									Agosto			
Dia	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4 (pico)
Cota (m)	4,78	4,59	4,38	4,24	4,24	4,50	6,00	7,53	8,38	8,84	9,18	9,34	9,38
Ano	1997												
	Novembro												
Dia	7	8	9	10 (pico)	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Cota (m)	12,10	12,40	12,78	12,96	12,65	12,14	11,53	11,07	11,02	11,25	11,24	10,70	9,76
Ano	2001												
	Outubro												
Dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 (pico)
Cota (m)	4,52	5,80	6,24	6,74	7,66	8,15	8,35	8,33	8,28	8,32	8,68	9,04	9,19
Ano	2010												
	Janeiro												
Dia	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25 (pico)
Cota (m)	5,96	6,03	6,12	6,28	6,19	5,98	5,81	6,01	6,29	6,59	6,97	7,31	7,44

A tabela 6 apresenta as cotas antecedentes ao pico da inundação. Para a imagem de 1987 o pico ocorreu um dia após a passagem do satélite. Para a data de novembro de 1997, já vinha ocorrendo a elevação do nível do rio desde de outubro, quando ocorreu o pico máximo de 13,30m no dia 21/10/97, voltando a baixar e elevar-se novamente em novembro quando aconteceu o pico máximo em novembro de 12,96m, 8 dias antes da passagem do satélite na ocasião. Em 2001 o pico máximo para o evento foi um dia após a passagem do satélite, apresentando a elevação de 9,38m acima do normal.

Destaca-se também que quando a precipitação ocorre onde estão localizadas as estações pluviométricas do norte do RS e divisa com Santa Catarina não são necessários altos volumes para que se observe a elevação do rio e consequente inundação no setor mais a jusante da bacia, como no município de Itaquí, pois quando a precipitação está concentrada em relevo acidentado como o setor a montante da bacia do rio Uruguai, são suficientes baixos volumes de precipitação em um curto intervalo de tempo para deflagrar eventos de inundação, conforme o observado por Souza et al. (2017), para o município de Uruguaiana.

Mengue et al. (2016) ao mapear inundações

no rio Uruguai com imagens de satélite compararam a área inundada do rio Uruguai e a área inundada estimada pelo modelo M-HAND. A partir dessa comparação, determinaram o limiar mais adequado para o modelo se ajustar à área inundada real.

A influência do El Niño ocorre sobre os totais pluviométricos do RS, intensificando-os em função do fortalecimento do Anticiclone do Atlântico, que barra o deslocamento de frentes polares, permanecendo estes sistemas atmosféricos estacionados sobre o Estado por alguns dias, favorecendo a formação de enchentes (Wollmann, 2013).

Um quadro comparativo entre os meses com registro de inundação no rio Uruguai e a ocorrência do El Niño, realizado por Righ (2011) demonstrou uma relação entre o fenômeno e as inundações. Dos 38 registros entre 1980 e 2009, 20 deles ocorreram em meses com a atuação do fenômeno. De tal modo que verificou uma relação significativa desses eventos com o índice de oscilação sul, que se relaciona ao evento ENOS. Em casos de inundações com o fenômeno apresentando-se fraco e anos neutros, observou que as inundações em sua maioria estão relacionadas com a dinâmica atmosférica regional em consonância com as características topográficas

do RS do que ligadas a circulação geral da atmosfera e suas alterações provocadas pelo fenômeno El Niño (Righ, 2011).

De uma maneira geral, os dois fatores geográficos ligados a origem das inundações no

RS são o clima, com suas sucessivas e quase semanais passagens frontais, e o relevo, cujas altitudes são capazes de provocar certo efeito orográfico, intensificando a precipitação (Wollmann, 2013).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de imagens de satélite para espacializar inundações demonstrou ser eficiente, na comparação de três eventos e assim caracterizar cada inundação. Ao comparar imagens em anos considerados neutros e com ocorrência de El Niño, observou-se que as águas do rio Uruguai extravasam para a planície de inundação em todas as situações analisadas, mas em níveis diferentes. O evento mais expressivo na seção analisada foi novembro de 1997, sob influência do fenômeno El Niño, corroborando que este exerce influência nos totais pluviométricos, que por sua vez ocasionam inundações no Rio Grande do Sul. Também destaca-se que quando as chuvas são concentradas em setores da bacia, a elevação do nível do rio decorre gradativamente, enquanto que chuvas espacializadas como um todo na bacia, ocasionam uma elevação mais rápida do nível do rio, em decorrência da declividade da bacia do rio Uruguai.

De maneira geral, as chuvas que colaboram para elevação do nível do rio são regionais,

oriundas do norte do Estado e sul de Santa Catarina. Também foi constatado que as chuvas locais exercem participação em algumas situações, como as chuvas decorrentes da Argentina. Fato observado tanto nas imagens da banda 5, quanto de NDWI, acompanhada de dados de precipitação das estações analisadas. Ao utilizar a banda 5 do infravermelho próximo e o NDWI, foi possível identificar áreas inundadas, mesmo que o nível da água tenha diminuído devido ao excesso de umidade do solo.

A partir dos dados de precipitação e cota pode-se observar o tempo que decorre para elevação do nível das águas, a ponto de extrapolar para a planície de inundação. Desta forma, técnicas de processamento de imagens são eficazes para mapear inundações, pois juntamente com dados de precipitação e cota observou-se que quando o nível do rio está em 10,7m a inundação atinge 27,33% da área (1997), quando o nível é considerado normal em 6,59m, atinge 8,91% da área (2010).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos.

REFERÊNCIAS

- ALSDORF, D.E.; RODRIGUEZ, E.; LETTENMAIER, D.P. Measuring surface water from space. **Reviews of Geophysics**, v. 45, n. 2, p. 1-24, 2007.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Disp. em: <http://www.ana.gov.br/htm>. Acessado em: 07nov2016.
- BRAZ, D.F.; PINTO, L.B.; CAMPOS, C.R.J. Ocorrência de eventos severos em regiões agrícolas do Rio Grande do Sul. **Geociências**, v. 36, n. 1, p. 89-99, 2017.
- BRITTO, F.P.; BARLETTA, R.; MENDONÇA, M. Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul: influência do fenômeno El Niño Oscilação Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 3/4, 2008. Disp. em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/25408/17040>. Acessado em: 19abr2018.
- BRUBACHER, J.P. & GUASSELLI, L.A. Mapeamento da área inundável da planície do rio dos Sinos a partir do índice NDWI, São Leopoldo – RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16, 2013, Foz do Iguaçu. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Atas...Foz do Iguaçu**: INPE, 2013, p. 4540-4547.
- CADERNO DA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO URUGUAI. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília – Distrito Federal, 128 p., 2006.
- CAMPOS, C.R.J.D. & SILVA, M.V.D. Impacto de sistemas meteorológicos no regime hídrico do Rio Grande do Sul em 2006. **Revista Brasileira de Geofísica**, São Paulo, v. 28, n. 1, p. 121-136, 2010.
- CAMPOS, C.R.J.D. & EICHHOLZ, C.W. Características físicas dos Sistemas Convectivos de Mesoescala que afetaram o Rio Grande do Sul no período de 2004 a 2008. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 29, n. 2, p. 331-345, 2011.
- CENTRE FOR RESEARCH ON THE EPIDEMIOLOGY OF DISASTERS – CRED. Publications. Disp. em: <https://www.cred.be/publications>. Acesso em: 10 out2016.
- CEPED/RS-UFRGS. **Capacitação em gestão de riscos**. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. 2. ed. – Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016. 270. Disp. em: <http://www.ufrgs.br/grid>. Acessado em: 10out2016.
- CERA, J.C & FERRAZ, S.E.T. Variações climáticas na precipitação no sul do Brasil no clima presente e futuro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 1, p. 81–88, 2015.
- CUNHA, G.R. La Niña e a agricultura no sul do Brasil, 2003.
- DEFESA CIVIL DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. Disp. em: <http://www.defesacivil.rs.gov.br/>. Disp. em: <http://www.cnpt.embrapa.br/agromet.htm>. Acessado em: 20 abr2018.

- FOERSTNOW, L.P. & MENEZES, J.D. Aplicabilidade de imagens de satélite utilizando NDWI na determinação da batimetria da Lagoa da Conceição, Florianópolis, SC. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15, 2011, Curitiba. **Atas...**Curitiba: INPE, 2011, p. 4397-4404.
- 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, 1996.
- GRIMM, A.M. Interannual climate variability in South America: Impacts on seasonal precipitation, extreme events, and possible effects of climate change. **Stoch Environ Research Risk Assess**, v. 25, n. 4, p.537-554, 2011.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Geociências**. Disp. em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias-novportal/informacoes-ambientais/geomorfologia/10870-geomorfologia.html?=&t=publicacoes>. Acessado em: 22jul2016.
- 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, 1996.
- MENEZES, D.J. & SCCOTI, A.A.V. Inventário de registro de inundações no estado do Rio Grande do Sul entre 1980 e 2010. In: ROBAINA, L.E. DE S., TRENTIN, R. (Orgs). **Desastres Naturais no Rio Grande do Sul**. Santa Maria: Ed. UFSM, p. 163-179, 2013.
- MENGUE, V.P.; SCOTTÁ, F.C.; SILVA, T.S.; FARINA, F. Utilização do Modelo HAND para mapeamento das áreas mais suscetíveis à inundação no Rio Uruguai. **Pesquisas em Geociências**, v. 43, n. 1, p. 41-53, 2016.
- MIN, S.; ZHANG, X.; ZWIERS, F.W.; HEGER, G.C. Human contribution to more-intense precipitation extremes. **Nature Letter**, v. 470, p. 370-381, 2011.
- NATIONAL WEATHER SERVICE – Climate Prediction Center. **Historical El Niño/La Niña episodes**. Disp. em: http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php. Acessado em: 30set2016.
- NERY, J.T.; DENIG, E.A.; AZEVEDO, L.C.; MARTINS, M L.O. Estudo da variabilidade interanual da precipitação na bacia do rio Uruguai. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 11, n. 2, p. 149-159, 2006.
- OLIVEIRA, G.G.; GUASSELLI, L.A.; SALDANHA, D.L. Espacialização das áreas inundáveis em Montenegro, RS. In: GUASSELLI, L.A.; OLIVEIRA, G.G.; ALVES, R.C.M. (Editores), **Eventos extremos no Rio Grande do Sul: inundações e movimentos de massa**. Porto Alegre: Ed. Evangraf, p. 63-99, 2013.
- RECKZIEGEL, B.W. **Levantamento dos desastres desencadeados por eventos naturais adversos no estado do Rio Grande do Sul, no período de 1980 a 2005**. Santa Maria, 2007. 261 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria.
- RIGHI, E. **Risco à inundação em médio curso do rio Uruguai: um estudo de caso nos municípios de Porto Lucena e São Borja**. Porto Alegre, 2011. 222 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- RIGHI, E. **Metodologia para zoneamento de risco a inundações graduais**. Porto Alegre, 2016. 196 p. Tese (Doutorado em Geografia), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- ROBAINA, L.; TRENTIN, R.; BAZZAN, T.; RECKZIEGEL, E.; VERDUM, R.; NARDIN, D. Compartimentação geomorfológica da bacia hidrográfica do Ibicuí, Rio Grande do Sul, Brasil: proposta de classificação. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 11, n. 2, p. 11-23, 2010
- ROSSATO, M.S. **Os climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia**. Porto Alegre, 2011. 253 p. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- SANCHES, F.O. **Os areais do sudeste do Rio Grande do Sul: estudo sobre as chuvas no século XX e um possível cenário para o século XXI**. Porto Alegre, 2013. 188 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- SAUERESSIG, S.R. **Zoneamento das áreas de risco a inundação da área urbana de Itaqui – RS**. Santa Maria, 2012. 101 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria.
- SAUSEN, T.M. & REIS, J.T. Levantamento e avaliação das inundações ocorridas no Rio Grande do Sul. In: GUASSELLI, L. A.; OLIVEIRA, G.G.; ALVES, R.C.M. (Editores), **Eventos extremos no Rio Grande do Sul: inundações e movimentos de massa**. Porto Alegre: Ed. Evangraf, p. 25-44, 2013.
- SECRETARIA DO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - SEMA. **Bacias hidrográficas**. Disp. em: <http://www.sema.rs.gov.br/bacias-hidrograficas>. Acessado em: 24jul2016
- SOUZA, D.O.; LINO, J.F.L.; BERNARDES, T.; SATO, E.N.; FIRMINO, M.B.M. Padrões meteorológicos e morfológicos associados a eventos de inundação na bacia do rio Uruguai: estudo de caso para o município de Uruguiana – RS. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 4, p. 621-633, 2017.
- TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Org). **Desastres Naturais: Conhecer para prevenir**. Instituto Geológico, São Paulo. 2009. Disp. em: <http://igeologico.sp.gov.br/downloads/livros/DesastresNaturais.pdf>. Acessado em: 10set2016.
- TUCCI, C.E.M.; SILVEIRA, A.L.L.; BERTONI, J.C.; LANNA, A.E.; CAICEDO, N.L.; LOUZADA, J.A.; BELTRAME, L.; CHEVALLIER, P.; CLARKE, R.T.; PORTO, R.L.; ZAHED FILHO, K.; BENETTI, A.; BIDONE, F.; PESSOA, M.L.; BORDAS, M.P.; SEMMELMAN, F.R. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4ª ed. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2013, 943 p.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY – USGS. **Landsat Project Description**. Disp. em: http://landsat.usgs.gov/about_project_descriptions.php. Acessado em: 20jul2016.
- WOLLMANN, C.A. Gênese e tipologias climáticas das enchentes no Rio Grande do Sul. In: ROBAINA, L.E. DE S. & TRENTIN, R. (Editores). **Desastres Naturais no Rio Grande do Sul**. Santa Maria: Ed. UFSM, p. 149-162, 2013.

*Submetido em 26 de outubro de 2018
Aceito em 29 de janeiro de 2019*