

Mapeamento da área inundável da planície do rio dos Sinos a partir do índice NDWI, São Leopoldo - RS

João Paulo Brubacher

Laurindo Antonio Guasselli

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM)

Av. Bento Gonçalves, 9.500 – 91.501-970. Caixa Postal 15.044

Porto Alegre, RS/Brasil.

jp.brubacher@hotmail.com; laurindo.guasselli@ufrgs.br

Abstract: Knowledge of the dynamics of watercourses during periods of high rainfall is an important tool for planning and risk management in order to avoid disasters and economic losses related to floods. The city of São Leopoldo, in the metropolitan region of Porto Alegre, Rio Grande do Sul, has high recurrence of problems related to flooding and accompanying their historical formation. One technique that has been used for wetland delineation and mapping of surface water is the NDWI (Normalized Difference Water Index), seeking to highlight the presence of water in images obtained by remote sensing. This study examines the application of the index NDWI to map areas with high water stress and subject to flood plain of the Sinos river. For this event compares with above average rainfall and other event with average monthly rainfall within the the historic. Search just check the behavior of the plain of the Sinos river, which runs through the city, given that this index would be more sensitive to changes in water stress. The paper uses a mosaic of LANDSAT and calculating the index NDWI from the reflectance in the near-infrared (NIR) and shortwave-infrared (SWIR) used to estimate the coverage and the water content of the vegetation canopy. The results of the comparison between the wetland floodplain at different periods of precipitation, mapped from NDWI, and the neighborhoods of São Leopoldo historically most affected by the floods were consistent. The wetlands quantified during high rainfall totaled 18.7km², covering the main neighborhoods often affected by floods.

Keywords: remote sensing, NDWI, flood

Palavras-chave: sensoriamento remoto, NDWI, inundação

1. Introdução

A problemática das inundações do rio dos Sinos no município de São Leopoldo - RS é histórica e acompanha a formação do município. Ao longo das últimas décadas, as inundações têm provocado impactos negativos para a economia, com elevados prejuízos financeiros e problemas sociais, em especial, das áreas urbanas localizadas na planície de inundação (Bazzan, 2011). Por se tratar de uma região próxima a jusante do rio dos Sinos, possui maior vulnerabilidade a enchentes, já que recebe todo o volume de água drenado das sub-bacias a montante. Outros trabalhos também relatam inundações nessa região, como Moehleck (1982) e Oliveira et al. (2009).

O conhecimento do comportamento dos corpos hídricos em períodos de precipitação elevada pode ser de fundamental importância ao evitar perda de vidas humanas e prejuízos

financeiros. Desse modo, as técnicas de sensoriamento remoto têm oferecido importantes recursos para o mapeamento de recursos hídricos e do monitoramento das dinâmicas de água de superfície (Ji et al., 2009).

Entre as diferentes técnicas que vem sendo utilizadas para a delimitação de áreas úmidas e lâminas de água, está o índice NDWI (Índice de Diferença Normalizada da Água), um método desenvolvido por McFeeters (1996) para o mapeamento de águas superficiais, realçando a presença das mesmas em imagem obtidas por sensoriamento remoto. A utilização desse índice permite uma melhor visualização das áreas com alto teor de umidade e corpos de água, conforme trabalhos de Cardoso et al. (2007) e Foerstnow e Menezes (2011). Segundo Gao (1996), o NDWI varia quase linearmente com a espessura da lâmina da água. Dessa forma, esse índice tem se destacado no monitoramento do comportamento hídrico.

O objetivo desse estudo é aplicar o índice NDWI para mapear áreas inundáveis da planície do rio dos Sinos, baseado na comparação de um evento com pluviosidade acima da média e outro evento com pluviosidade dentro da média mensal, no município de São Leopoldo, no estado do Rio Grande do Sul.

2. Materiais e Métodos

2.1 Área de estudo

A área de estudo é delimitada pelo município de São Leopoldo, localizado na região leste do estado do Rio Grande do Sul, na Região Metropolitana de Porto Alegre (Figura 1). Esse município está inserido na bacia hidrográfica do rio dos Sinos, sendo cortado pelo rio, na região do baixo rio dos Sinos, a cerca de 20 km de sua foz (Figura 2). O município tem uma área de 103,6 km², com uma população de 209.611 habitantes e uma taxa de urbanização de 99,7% contra 0,3% na área rural.

Com relação ao relevo, destaca-se que, segundo SEPLAN (2006), o município de São Leopoldo é caracterizado por duas grandes unidades geomorfológicas regionalmente identificadas como Patamares da Serra Geral e Depressão Periférica. Os Patamares da Serra Geral são representados por relevos residuais, em forma de colinas e morros testemunhos com topos aplainados. A Depressão Periférica está representada pela planície do rio dos Sinos que apresenta uma morfologia com perfis suaves.

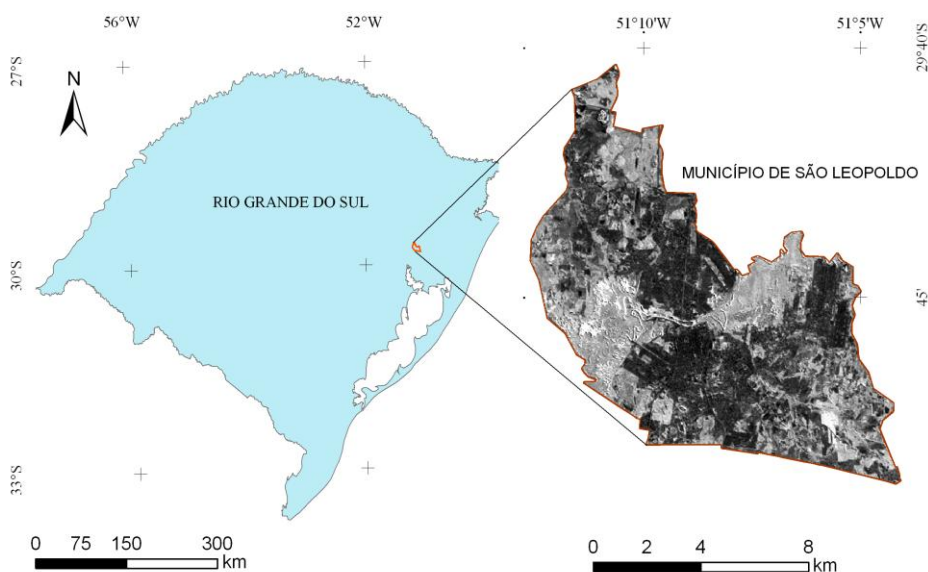


Figura 1 - Localização do Município de São Leopoldo - RS

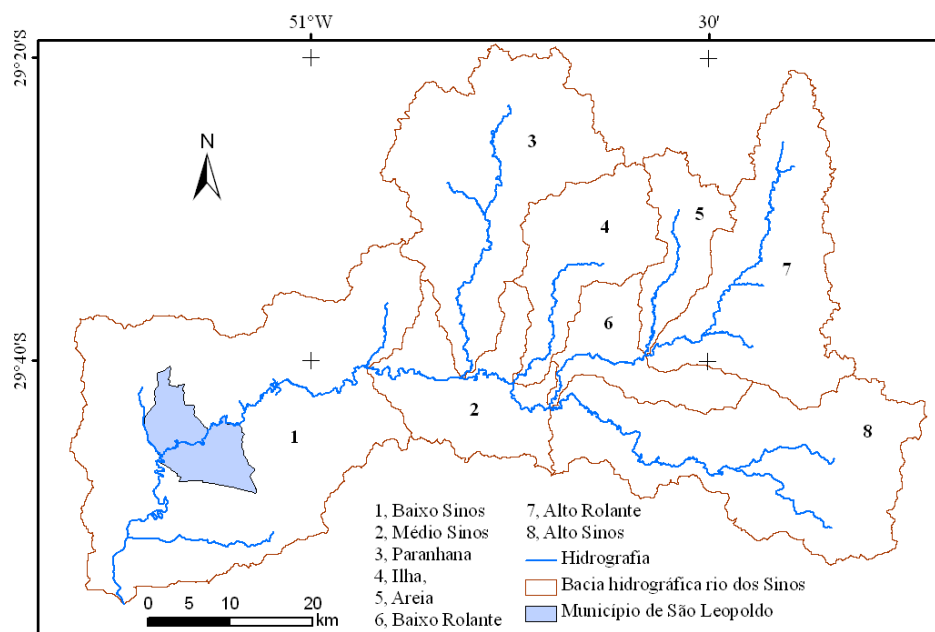


Figura 2 - Regiões da bacia hidrográfica do rio dos Sinos e município de São Leopoldo - RS

2.1 Materiais

Para a realização do objetivo proposto foram utilizados os seguintes materiais: imagens do satélite Landsat 5, sensor *Thematic Mapper* (TM), órbita 221, pontos 080 e 081, Bandas 2 e 5, obtidas junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), no endereço eletrônico <http://www.dgi.inpe.br/CDSR>, data de 08/09/1993 e 01/10/2007, softwares Idrisi Taiga e ArcGis 9.3; série de chuvas das estações Glorinha e Nova Palmira, operadas pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM);

2.2 Materiais e métodos

O trabalho foi estruturado em quatro etapas: a) aquisição e mosaico das imagens; b) cálculo do Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI); c) georeferenciamento; d) análise dos resultados.

Segundo Ji et al., (2009), a concepção de um índice espectral de água foi baseada no fato de que a água absorve energia em comprimentos de onda do infravermelho próximo (NIR) e ondas curtas de infravermelho (SWIR). A operação aritmética não só melhora os sinais espectrais, contrastando a reflectância entre diferentes comprimentos de onda, mas também cancela uma grande porção dos componentes de ruído, que são comuns em diferentes comprimentos de onda (ou seja, calibração de sensores e alteração das condições de radiação causadas por solo, iluminação, topografia e condições atmosféricas, etc.). Adotando o formato do Índice de diferença normalizada de vegetação (NDVI), McFeeters (1996) desenvolveu o índice de água por diferença Normalizada (NDWI), definida como

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

Onde: ρ_{green} e IVP são bandas de reflectância do verde e infravermelho próximo, respectivamente.

O valor de NDWI varia de -1 para 1. McFeeters (1996) definiu zero como o limiar. Isto é, o tipo de cobertura é a água se $NDWI \geq 0$ e é não água se $NDWI \leq 0$. O NDWI proposto por

McFeeters permite: (1) maximizar a reflectância típica da água usando o comprimento de onda da luz verde (TM2); (2) minimizar a baixa reflectância dos corpos de água no infravermelho-próximo (TM4); e (3) realçar o contraste entre a água e a superfície terrestre proporcionada pela banda infravermelha.

GAO (1996) desenvolveu um NDWI diferente, usado para estimar a cobertura e o teor de água do dossel da vegetação. Embora o NDWI de McFeeters e Gao tenham a mesma terminologia, o conceitos dos dois NDWIs são completamente diferentes (Ji et al., 2009). O NDWI de Gao é calculado como a diferença normalizada das bandas IVP (infravermelho próximo) e IVM (infravermelho médio), ou seja, a razão entre as diferenças da refletividade do infravermelho próximo e do infravermelho médio e a soma das mesmas. O índice é obtido conforme a seguinte equação:

$$NDWI = (\rho_{IVP} - \rho_{IVM}) / (\rho_{IVP} + \rho_{IVM}), \quad (2)$$

Onde: ρ_{IVP} e ρ_{IVM} referem-se a reflectância no infravermelho próximo e no infravermelho médio, ou ainda as bandas 4 e 5 do TM - Landsat 5 respectivamente.

A análise dos resultados foi baseada na comparação do índice NDWI, proposto por GAO (1996), em relação a dois períodos de pluviosidade diferenciados, um com chuvas acima da média e outro com chuva dentro da média mensal. Os períodos foram escolhidos de acordo com o estudo de Oliveira et al. (2009) que já havia utilizado essas mesmas datas para um estudo sobre áreas inundáveis na bacia do rio dos Sinos, utilizando como critério para a definição de período pluviométrico normal todo mês com variação de, no máximo, 20% com relação à média. As estações pluviométricas foram escolhidas pela localização e disponibilidade de dados (Glorinha e Vila Palmira). A média de chuvas para o mês de setembro é de 121 mm em Glorinha e 139 mm em Vila Palmira. De forma que a imagem LANDSAT de 01/10/2007 representa um período de ocorrência de chuvas acima da média na região, com registros de 188 e 250 mm de precipitação acumulada em Glorinha e em Vila Palmira, respectivamente. Já na data de 08/09/1993, os registros foram de 96,9 e 120,4 mm, ou seja, dentro da média histórica para o mês de setembro.

3. Resultados e discussões

A Figura 3 apresenta o mapeamento das áreas com alto teor de umidade em um período com pluviosidade dentro da média histórica para o mês de setembro, na região da planície do rio dos Sinos, em São Leopoldo. Já a Figura 4 representa um período com pluviosidade acima da média mensal histórica para o período.

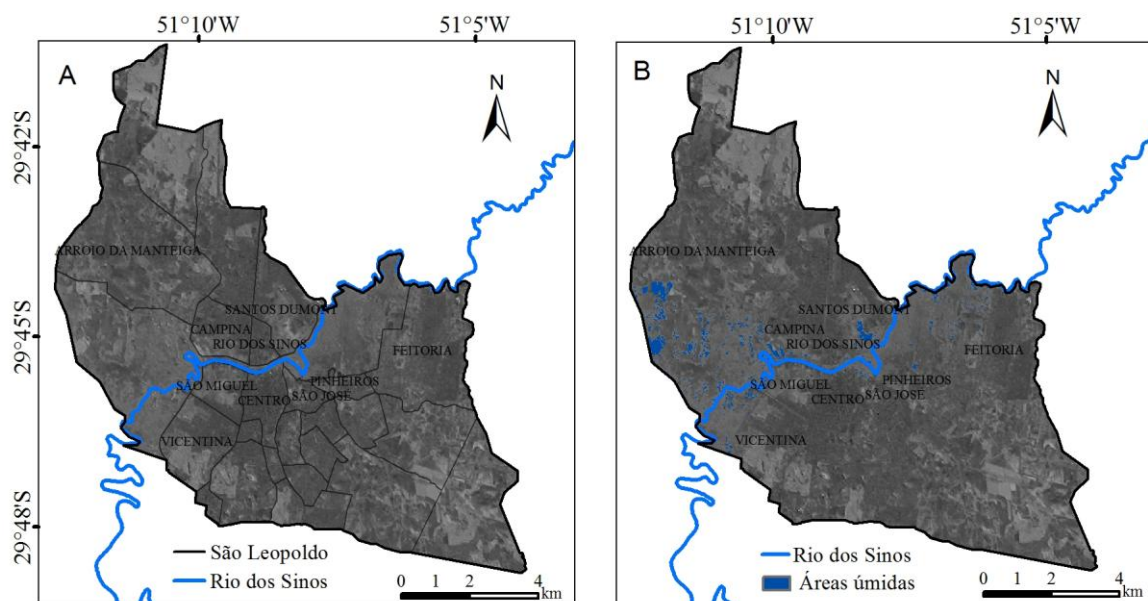


Figura 3 - Imagem de NDWI de 08/09/1993, áreas úmidas na planície de inundação, município de São Leopoldo - RS.

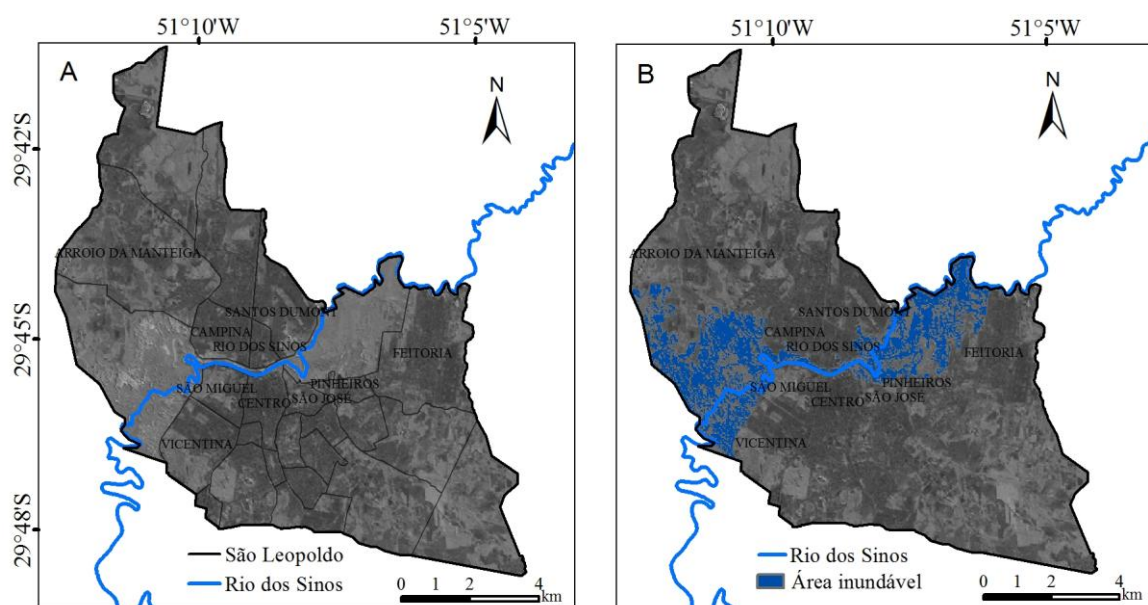


Figura 4 - Imagem de NDWI de 01/10/2007, área inundável, município de São Leopoldo - RS.

A Figura 3 representa a imagem de NDWI de 08/09/1993, e se refere a um período de pluviosidade dentro média histórica para o mês de setembro. A Figura 3A representa o recorte do município de São Leopoldo, com a delimitação dos respectivos bairros, para fins de localização das áreas úmidas da planície de inundação, que podem ser vistas na Figura 3B. Uma das características do NDWI é destacar como "água" o limiar acima de zero, o que significa dizer que somente áreas com lâminas da água ou vegetação com alto teor de umidade, serão salientadas a partir das manchas. Portanto, considerando as poucas manchas na Figura 3B, a precipitação não foi o suficiente para causar inundações.

A Figura 4 representa a imagem NDWI de 01/10/2007, referente ao período de ocorrência de chuvas acima da média na região. Na Figura 4B é possível destacar a área inundável da bacia do rio dos Sinos, a partir do grande número de manchas em relação à Figura 3B.

Destaca-se que o período anterior a aquisição da imagem LANDSAT de 01/10/2007 foi de chuvas concentradas em toda a bacia do rio dos Sinos. Nesse período foi registrado na régua, localizada no rio dos Sinos, bem no centro da cidade, nível de água superando os 5 metros entre os dias 26/09/2007 e 01/10/2007. No nível normal do rio dos Sinos a régua está em torno de 2,5 metros. A partir do mapeamento proposto e com base na visualização da grande área com manchas na Figura 4B, é possível afirmar a ocorrência de áreas com inundações no período.

A área do Baixo Sinos, onde está inserido o município de São Leopoldo, é a mais propensa a inundações. Essa área se caracteriza pela baixa amplitude altimétrica e a área de contribuição das sub-bacias localizadas a montante. Trata-se de uma área densamente urbanizada, o que maximiza os riscos a população. Quando a medida da régua atinge ou supera o limiar de 5 metros, já é suficiente para que áreas de planície e alguns bairros sejam alagados. A elevação de mais alguns centímetros já suficiente para que alguns bairros próximos ao rio sofram os impactos de uma inundação.

Em 1976, de acordo com SEPLAN (2006), foi iniciado o Projeto de Controle de Cheias do rio dos Sinos, gerenciado pelo Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS), que visava a contenção das inundações. Mesmo após a implantação de sistemas de proteção, Risso & Giugno (1994) identificaram no rio dos Sinos áreas com potencial de inundações a partir do mapeamento sistemático de cheias. O efeito desse controle pode ser observado a partir das imagens de NDWI do período de cheia. Destaca-se que principalmente a margem esquerda do rio dos Sinos (o qual corre em sentido leste-oeste) apresenta menor quantidade de manchas justamente devido ao efeito dos diques implantados para o controle das cheias. No bairro Centro, foram construídos diques nas duas margens do rio, o que explica a baixa quantidade de manchas no local.

Conforme Bazzan (2011), entre as áreas atingidas por inundação no período de 1980 a 2009, destacam-se os bairros Rio dos Sinos, Pinheiro, Campina, Santos Dumont, Feitoria e Sharlau. Sendo que o maior número de registros ocorreu nos bairros Rio dos Sinos, Pinheiro e Campina. A Figura 5 mostra a inundação no ano de 2007, no período anterior a data da imagem LANDSAT, no Bairro Pinheiro, um dos bairros com mais registros de inundação.



Figura 5 - Inundação no Parque Imperatriz Leopoldina em 2007, Bairro Pinheiro em São Leopoldo - RS. (Foto: Lourenço Biehler da Rosa)

Segundo Bazzan (2010), as áreas protegidas pelos diques totalizam 18,2 km² da planície, enquanto as áreas que não protegidas chegam a 19,1 km². Os bairros Arroio Manteiga e São José apresentam algumas áreas sem proteção, mas sem registros de inundação. Já os bairros Rio dos Sinos, Pinheiro e Feitoria encontram-se em áreas sem proteção contra inundações e com registros de inundação.

A partir da análise dos bairros com registros de inundação, é possível estabelecer uma relação entre o mapeamento das áreas com alto teor de umidade, identificadas pelo índice NDWI e os bairros mais atingidos. Essa análise mostrou que os bairros destacados são os mesmos que se encontram nas áreas atingidas pela mancha azul da Figura 4B.

Em relação a quantificação das áreas úmidas da planície de inundação, a Figura 3B apresenta cerca de 2 km². A área inundável da Figura 4B totalizou 18,7 km². A partir dessa quantificação, é possível perceber que a Figura 4B ficou muito próxima da área de planície do rio dos Sinos que não é protegida por diques. Esses dados demonstram a boa relação do índice NDWI em destacar a área em períodos diferentes de precipitação.

4. Considerações Finais

A metodologia aplicada para o mapeamento da espacialização das áreas inundáveis com base no índice NDWI, apresentou resultados coerentes, já que os bairros historicamente afetados por inundações foram bem identificados no mapeamento. A relação entre o período de precipitação acima da média, com grande probabilidade de ocorrência de inundações, e as áreas inundáveis na planície do rio dos Sinos, fica evidente com o mapeamento.

Tendo em vista que esse estudo apresentou uma área proporcional aos bairros mais suscetíveis a inundação, a utilização do índice NDWI se mostrou uma boa alternativa ao considerar as áreas inundáveis na região.

Agradecimentos

A FAPERGS (Fundação de Amparo e Apoio a Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul), pela bolsa de Iniciação Científica e pelo auxílio financeiro em Projeto de Pesquisa.

5. Referências

Bazzan, T. **Mapeamento das Áreas com risco de inundação do rio dos Sinos no município de São Leopoldo, RS**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Porto Alegre, 2011. 135p.

Brubacher, J.P.; Oliveira, G. G.; Guasselli, L. A. Suscetibilidade de enchentes a partir da análise das variáveis morfométricas na bacia hidrográfica do rio dos Sinos/RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p.1863-1870. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00056-0 (Internet), 978-85-17-00057-7 (DVD). Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.26.17.48/doc/p0366.pdf>>

Cardoso, F.S.; Pereira, G.; Silva, G.B.S; Silva, F.B.; Shimabukuro, Y.E.; Moraes, E.C. Discriminação de áreas alagadas no Pantanal sul-matogrossense a partir de imagens orbitais. **Anais** 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Corumbá, 7-11 novembro 2009, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.99-106.

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. (SBSR), 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 4397-4404. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00056-0 (Internet), 978-85-17-00057-7 (DVD). Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.25.13.05/doc/p1227.pdf>>. Acesso em: 16 ago. 2012.

Gao, B.C. NDWI – A Normalized Difference Water Index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v.58, p.257-266, 1996.

Ji, L.; Zhang, L.; Wylie, B. Analysis of Dynamic Thresholds for the Normalized Difference Water Index. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* Vol. 75, No. 11, November 2009, pp.1307-1317.

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.

MetSul Meteorologia. Disponível em :

<http://www.metsul.com/secoes/visualiza.php?cod_subsecao=29&cod_texto=919>. Acesso em: 09.nov.2012.

Moehlecke, G.O. São Leopoldo era assim. O passado pela imagem. São Leopoldo, 1982.

Oliveira, T.H.; Machado, C.C.C.; Santos E Silva J.; Galvêncio, J.D.; Pimentel, R.M.M.; Silva, B.B. Índice de umidade (NDWI) e análise Espaço-Temporal do Albedo da Superfície da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó - PE. *Revista Brasileira de Geografia Física* (03 - 2010) 55-69.

Oliveira, G.G.; Penteado, A.F.; Saldanha, D.L.; Ross, J.L.S. Mapeamento e análise da distribuição das áreas inundáveis na bacia do rio dos Sinos/RS. 2009. (Apresentação de Trabalho/Simpósio). **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p.4173-4180.

Risso, A; Giugno, N.B. Áreas de inundação, alagamento e banhados da Região Metropolitana de Porto Alegre - RS. 1v. Porto Alegre. CPRM/METROPLAN. 1994.

Seplan. Leitura da cidade. São Leopoldo, 2006.