

## Aplicabilidade de imagens de satélite utilizando NDWI na determinação da batimetria da Lagoa da Conceição, Florianópolis, SC

Liana Pinho Foerstnow<sup>1</sup>  
João Thadeu de Menezes<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade do Vale do Itajaí - UNIVALI  
Rua Uruguai, 458 - 88302202 - Itajaí - SC, Brasil  
pfliana@univali.br, thadeu@univali.br

**Abstract.** The depth of a water body can suffer modification through time due to processes such as transport and deposition. This way, it is necessary to monitor and update previous data using bathymetric maps. Satellite images can offer bathymetric maps at low cost covering difficult to access areas. The Conceição Lagoon, located in the island of Santa Catarina, Brasil, has known bathymetric data, showing low sediment concentrations. There are not only economical but also touristical interests related to this area, so that an up-to-date bathymetric map would be very helpful for planning studies, environmental modeling and small boats navigation, even without the nautical chart's accuracy. In this work, different bands from Landsat 7 ETM + were used in order to extract the bathymetry through the Normalized Difference Water Index (NDWI). The extracted depths were separated into ranges to analyze the range with the highest correlation value between the estimated and the real bathymetry. Although the Conceição Lagoon shows low sediment concentrations, it has influenced on the shallow water depth, from 0.1 to 0.5m. The application of this method is easy and it could be very helpful when data update is needed, however NDWI still requires tests to be carried out in places with different water features.

**Palavras-chave:** remote sensing, bathymetry, NDWI, sensoriamento remoto, batimetria, NDWI.

### 1. Introdução

Existem diversos métodos para a aquisição de dados referentes à profundidade, um dos mais comuns se dá através de equipamentos acústicos científicos que processam a energia refletida pela superfície do fundo oceânico denominada de Força de Retroespalhamento da Superfície do Fundo (*Bottom Surface Backscattering Strength*). A proporção de energia refletida é denominada pelo coeficiente de reflexão, que por sua vez é função da impedância acústica do meio (água) e do refletor, que nesse caso é o fundo (MacLennan e Simmonds, 1992 apud Cooke et al, 2007).

Outros métodos vêm sendo desenvolvidos para a obtenção de profundidades, um bom exemplo é dado com os métodos que utilizam altímetros orbitais, que são instrumentos de sensoriamento remoto ativo, isto é, eles emitem radiação eletromagnética em direção à Terra e recebem o sinal de retorno, do qual é medido o tempo de retorno (Polito, 2005). Os satélites possuem subsistemas sensores, nos quais há sistemas imageadores e não-imageadores, entre outros. Os sistemas imageadores são os que fornecem como resultado uma imagem da superfície observada, além de informações sobre a variação espacial da resposta espectral da área analisada (Novo, 1989). Com isso, pesquisas desenvolvidas com auxílio de imageadores têm ampliado os horizontes não só da oceanografia, como também de diversas outras áreas, devido tanto à maior rapidez na aquisição de dados como ao fato de os satélites possuírem visão sinóptica, alta resolução espacial e passagem periódica, o que possibilita a obtenção de uma série temporal de dados. Assim, enquanto os levantamentos batimétricos por ecobatímetros são lentos e de alto custo, a extração de informações através de imagens obtidas por sensores remotos se tornam mais eficazes pelo seu custo/benefício (Krug e Noernberg, 2007).

Como diversos trabalhos já foram realizados na Lagoa da Conceição, esta se torna uma fonte de dados confiáveis a fim de prover uma boa comparação com os valores de profundidade obtidos via satélite.

### 1.1 NDWI

O Índice da Diferença Normalizada de Água (*Normalized Difference Water Index* – NDWI) é um método desenvolvido por McFeeters (1996) com o intuito de delinear feições na água presentes no ambiente e realçar a presença das mesmas na imagem digital obtida por sensoriamento remoto.

Este método derivou do Índice da Diferença Normalizada de Vegetação (NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*), o qual se baseia na assinatura espectral característica de uma vegetação verde e sadia que mostra um evidente contraste entre a combinação das bandas do vermelho e do infravermelho próximo. Quanto maior for o contraste, maior será o vigor da vegetação na área imageada (Shimakuburo et al., 1999 apud Moreira, 2003).

McFeeters (1996) modificou a fórmula do NDVI invertendo as variáveis e usando a banda verde ao invés da banda vermelha, a fim de obter melhores resultados voltados à água. Gao (1996) também notou que o NDWI baseado nas bandas do infravermelho próximo e do infravermelho médio do TM/Landsat era altamente correlacionado com o conteúdo de água no vegetal e conseguia acompanhar mudanças melhor na biomassa e nos estresses de umidade das plantas do que com o NDVI (descrito acima).

De forma geral, o cálculo de NDWI pode ser descrito como:

$$\text{NDWI} = (\text{Verde} - \text{IVP}) / (\text{Verde} + \text{IVP}) \quad (1)$$

onde ‘verde’ corresponde ao valor digital do pixel da banda 2 (faixa verde do espectro visível) e IVP, valor digital da banda 4, região do infra vermelho próximo. A seleção destas bandas tem a intenção de: (1) maximizar a refletância típica de feições na água nos comprimentos de onda relativos ao canal verde; (2) minimizar a baixa refletância no infra vermelho próximo de feições na água; e (3) utilizar a alta refletância no infra vermelho próximo por feições de vegetação terrestre e solo. Assim, o NDWI foi desenvolvido primeiramente para delinear características da água e acentuar sua presença em imagens digitais do sensoriamento remoto, enquanto simultaneamente elimina características do solo e da vegetação terrestre (McFeeters, 1996).

Krug e Noernberg (2005; 2007) testaram a utilização de NDWI na extração da batimetria através de imagens de satélite, tanto de águas rasas dos sistemas estuarinos do Paraná como de baixios na Baía de Laranjeiras, Paraná. Ambos os trabalhos compararam a profundidade real com a profundidade estimada a fim de avaliar o potencial do método, obtendo uma correlação forte entre os dados ( $R^2 = 0.746$ ). O intervalo de profundidade testado foi de 0.36 a 4.5 m e a maior variação do erro encontrado pelos autores ficou entre 1 e 3.5 m

López & Rojas (2010) desenvolveram um estudo no Mar Menor (Murcia), Espanha, utilizando imagens provenientes do satélite Landsat 7 com o intuito de extrair a batimetria local mediante a aplicação do método de NDWI. Os autores elaboraram o mapa batimétrico local, contudo na publicação não há nenhuma análise do padrão dos erros de resposta do modelo.

## 2. Área de Estudo

A Lagoa da Conceição (27°34’S – 48°27’W) situa-se na porção leste da Ilha de Santa Catarina, localizada no litoral sul de Santa Catarina (Figura 1). Possui uma área total de aproximadamente 19,2 km<sup>2</sup>, extensão de 13,5 km no sentido norte-sul e largura variável entre 0,15 e 2,5 km (Muehe e Gomes Jr., 1989). É um sistema relativamente fechado, sendo que sua conexão com o mar adjacente se dá através de um canal estreito e raso, cuja área na entrada da Lagoa é de aproximadamente 40 m<sup>2</sup> (20 m de largura por aproximadamente 2 m de profundidade) (Odebrecht e Gomes Jr., 1999). Este canal apresentava problemas de

assoreamento, navegável assim somente por pequenas embarcações nos meses de outubro a maio e bloqueado nos demais meses do ano, porém em 1982 foram construídos os molhes na Barra da Lagoa, o que garantiu o fluxo do canal (Assumpção et al., 1981) e modificou o regime de circulação nesse sistema, pois possibilitou o fluxo contínuo de saída ou entrada de águas (Odebrecht e Gomes Jr., 1999).

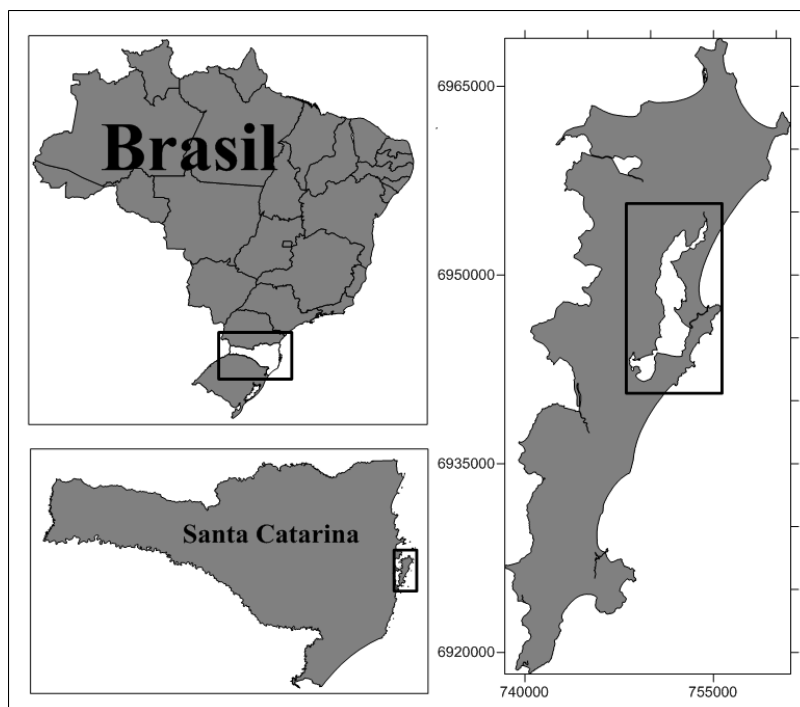


Figura 1: Localização da área de estudo. Coordenadas UTM Datum SAD-69.

A análise textural das amostras de sedimentos superficiais realizada por Gré e Horn Filho (1999) revelou a presença de duas classes dominantes de sedimentos para o fundo da Lagoa, representadas pelas areias e lama. O diagrama triangular indentifica a presença de cinco fácies texturais: (1) silte arenoso; (2) areia; (3) areia siltosa; (4) silte argiloso e (5) silte, sendo que a fácies (1) cobre 45% do fundo, é dominante nas regiões mais profundas da porção Sul e Central; a fácies (2) cobre 40% da superfície com profundidades inferiores a 1,5 m; (3) ocupa 10% da área na porção Central, em profundidades entre 1,5 e 4,0 m; (4) aparece em 3% do fundo, restringindo-se a profundidades maiores que 6,0 m; e (5) recobre apenas 2% da área Sul. Como a cobertura sedimentar é controlada pela batimetria, pela atuação dos agentes hidrodinâmicos e pela ação dos ventos dominantes, nos setores mais rasos é possível encontrar sedimentos arenosos e nos mais profundos, lamosos.

### 3 Metodologia

#### 3.1 Dados batimétricos

Os dados batimétricos utilizados foram gentilmente cedidos pela Associação de Moradores da Lagoa da Conceição. O levantamento foi realizado na Lagoa da Conceição em 2004 e para complemento dos dados obtidos, foram utilizados dados obtidos através da digitalização de cartas náuticas da DHN.

O levantamento batimétrico foi corrigido em relação à maré do dia, no horário de aquisição dos dados de profundidade. Os dados foram interpolados utilizando o interpolador *natural neighbor*, pois este foi o método que retornou menores erros na análise estatística.

#### 3.2 Processamento digital

O processamento digital da imagem foi realizado a fim de obter detalhes das informações batimétricas locais. De acordo com o método do índice utilizado (NDWI), as bandas processadas foram 2 e 4, verde e infravermelho próximo, respectivamente.

Segundo o INPE, as cenas disponibilizadas pela Divisão de Geração de Imagens - DGI, através do catálogo de imagens, vêm com correção geométrica e radiométrica. As imagens estão em Datum SAD69, projeção cartográfica UTM e formato GeoTiff. Assim que as bandas foram descarregadas em um computador remoto, foi usado o programa de Sistema de Informação Geográfica ArcGis®9.2 para que cada uma delas fossem primeiramente georreferenciadas e a seguir delimitadas a fim de restringir o cálculo à área de estudo selecionada. O valor obtido de profundidade estimada foi devidamente corrigido com o valor de maré no momento da aquisição da imagem, adquirido através do Centro de Hidrografia da Marinha.

## 4. Resultados e Discussão

### 4.1 NDWI

A fim de gerar o mapa batimétrico a partir do modelo utilizando o Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI), os valores digitais foram correlacionados com os valores de profundidade real. Assim, foi gerado a figura 2 com a equação que explica o modelo e o coeficiente de determinação no valor de 0,3308, o que significa que cerca de 33% da variação de resposta pode ser explicado pelo modelo de NDWI.

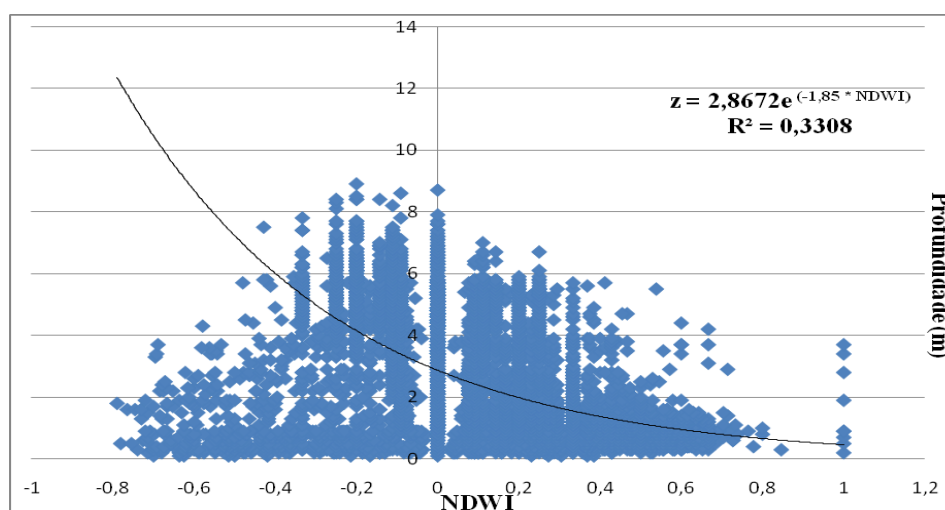


Figura 2: Comportamento dos valores digitais do NDWI em relação à variação de profundidade.

Através da aplicação da equação gerada a partir do gráfico, foi possível exibir o mapa da profundidade estimada através do cálculo do NDWI (figura 3). Para estes dados foi obtido um coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) no valor de 0,47, o que representa um coeficiente moderado, segundo Dancy e Reidy (2006).

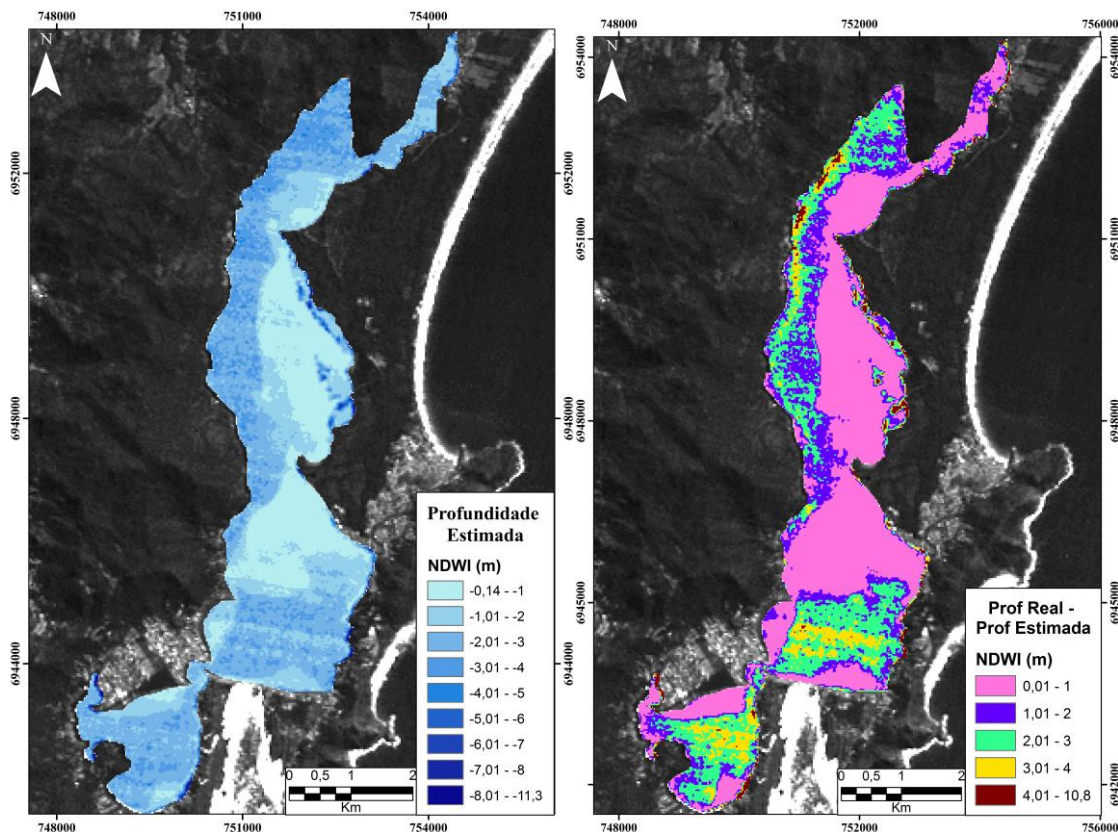


Figura 3: À esquerda, mapa da profundidade estimada através do cálculo do NDWI para a área de estudo; à direita Mapa da diferença entre a profundidade real e a profundidade estimada para NDWI.

Com o objetivo de analisar a aplicabilidade do método, se faz necessário salientar a relação profundidade real versus profundidade estimada. Para obter esta relação quando aplicado o NDWI, os valores de profundidade real foram subtraídos dos valores de profundidade estimada, utilizando o número absoluto de ambos, visto na figura 2, à direita.

Considerando o valor de  $R^2$  de NDWI para todas as profundidades, alguns testes alternando intervalos de profundidade foram executados, a fim de encontrar um intervalo em que o a profundidade real tivesse maior correlação com NDWI, i.e. um intervalo onde fosse obtida uma equação que explicasse melhor o modelo,  $R^2$  com maior valor.

De tal modo, foi selecionada somente a profundidade que variou entre 1 e 5 m e seus respectivos valores de NDWI, originando um  $R^2$  de 0,4849, apresentando uma correlação ( $r$ ) no valor de 0,56, de acordo com a classificação ainda é uma correlação moderada.

Ainda assim, com o intuito de subtrair interferências correspondentes à margem da Lagoa, foram selecionados somente os dados que distassem 100 m da margem, incluindo todos os valores de profundidade. Através destes dados, foi alcançado um  $R^2$  de 0,6602, i.e. cerca de 66% da profundidade real é explicada pelo índice NDWI, e uma coeficiente de Pearson no valor de 0,75, representando um coeficiente forte, segundo a classificação.

Com isso, foi possível definir a tabela 1 com resultantes geradas. Todos os valores encontrados para o coeficiente de Pearson são positivos, o que demonstra que na medida em que o valor da profundidade real cresce, cresce o valor do encontrado aplicando a fórmula de NDWI.

Tabela 1: Valores de correlação e de coeficientes de determinação para NDWI em relação à profundidade real.

<b>NDWI</b>	<b>Pearson (r)</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<b>Toda a Lagoa</b>	0,47	0,33
<b>Profundidade de 1 a 5 m</b>	0,56	0,48
<b>A 100m da margem</b>	0,75	0,66

Com a intenção de caracterizar o erro inerente a cada intervalo de profundidade para avaliação do método empregado, foi calculada a média dos erros e o desvio padrão para o intervalo (tabela 2). Na segunda coluna da tabela em questão, estão presentes os valores percentuais correspondentes à profundidade da Lagoa.

Tabela 2: Erros médios para cada intervalo de profundidade utilizando o NDWI.

<b>NDWI</b>			
<b>Profundidade (m)</b>	<b>%</b>	<b>Média (m)</b>	<b>Desvio Padrão (m)</b>
0,1 - 1,0	17,4	1,026	1,785
0,1 - 0,5	4,5	2,024	2,452
0,6 - 1,0	12,9	0,679	1,319
1,1 - 2,0	25,3	0,565	0,816
2,1 - 3,0	6,7	0,858	0,939
3,1 - 4,0	8,2	1,300	0,736
4,1 - 5,0	20,4	1,926	0,648
5,1 - 6,0	19,9	2,628	0,691
6,1 - 7,0	1,7	3,289	0,776
7,1 - 8,7	0,4	4,229	0,823

A menor média de erros foi encontrada para a profundidade entre 1,1 e 2 m, seguido da média encontrada para o intervalo de 2,1 a 3,0 m. Considerando que quanto maior o desvio padrão, mais instável são os dados, o intervalo mais instável foi encontrado de 0,1 a 1,0 m e o mais estável foi de 4,1 a 5,0 m, o qual corresponde a 20,4% das profundidades da área em questão.

A fim de analisar qual profundidade obteve o maior desvio padrão, o intervalo de 0,1 a 1,0 m foi separado em 0,1 a 0,5 m e 0,6 e 1,0 m. O intervalo de 0,1 a 0,5 m alcançou o maior desvio padrão e a quarta maior média de erros.

Para o índice NDWI é esperado que no intervalo de profundidade entre 1 e 3 metros, a resposta recebida pelo sensor é principalmente do sedimento de fundo, quando não há muito sedimento em suspensão no referido intervalo. A partir de 3 metros de profundidade a influência do fundo diminui consideravelmente, ressaltando a influência da coluna d'água. A partir daí, é esperado que o erro aumente à medida que a profundidade cresce, pois a tendência do modelo é linearizar a partir do momento em que a refletância do fundo não é mais significante (KRUG e NOERNBERG, 2005).

Para analisar a diferença contida na profundidade estimada por NDWI para toda a Lagoa, foram observados os locais onde há maior erro, o que corresponde principalmente aos locais onde há construções em torno da margem e aos locais onde há maior sedimento em suspensão, como pode ser visto na figura 4. Isto demonstra que o índice está considerando áreas urbanizadas com o mesmo padrão espectral de refletância da água.



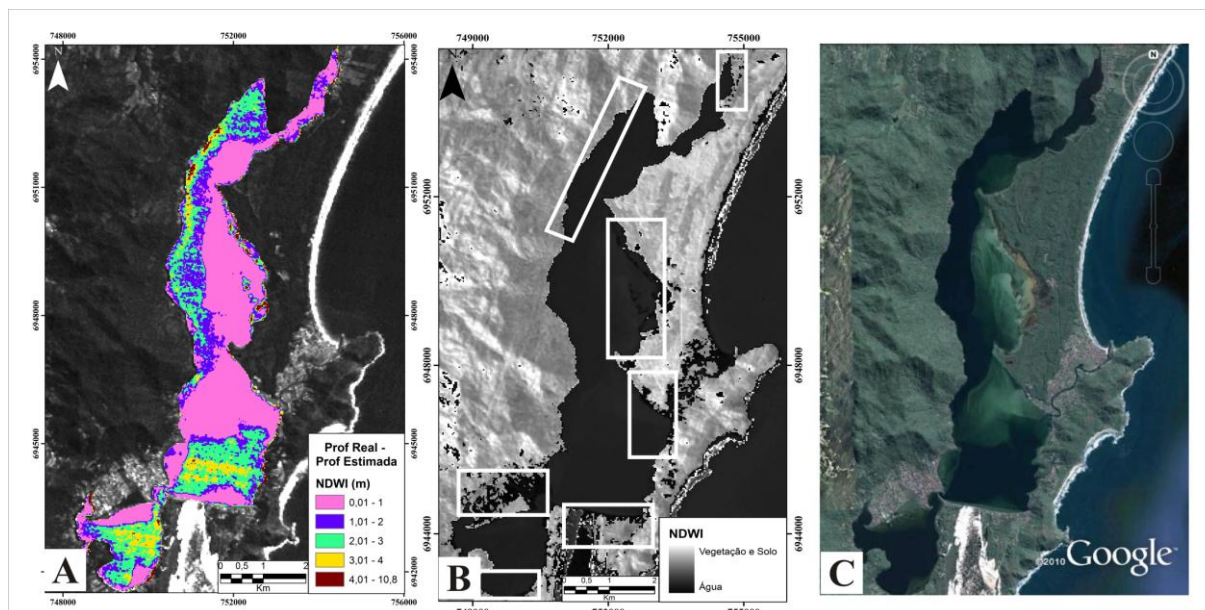


Figura 3: A) Mapa da diferença entre a profundidade real e a profundidade estimada para NDWI; B –Imagem obtida através do cálculo de NDWI; realce em branco para os locais onde ocorreu a maior diferença entre a profundidade real e estimada; C - Imagem extraída do Google Earth ® mostrando a área em torno da Lagoa.

Nos locais onde se obteve menor profundidade, é possível perceber que há uma diferença entre a profundidade real e estimada de até 1 m, porém nos locais onde foram obtidos os maiores erros nota-se a presença de áreas construídas próximas à margem da Lagoa.

## 5. Conclusões

No mapa gerado para NDWI nota-se a provável interferência de material em suspensão nas porções entre 0,1 e 1,0 m, contudo o índice mostrou uma média baixa de erros para profundidades entre 1 e 3 m, não corroborando com os resultados obtidos por Krug e Noernberg (2005 e 2007). No entanto, o desvio padrão aumenta na medida em que a profundidade aumenta utilizando NDWI

Na profundidade selecionada de 1 a 5 m foi já obtido um melhor valor tanto para o coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) quanto para o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o que indica que retirando interferentes relacionados às profundidades muito baixas e às profundidades maiores que 5, onde há interferência da coluna d'água, substrato e sedimento em suspensão, os resultados se tornam mais significantes.

Quando extraídos os dados a partir de 100 m da margem, estes também apresentaram melhores coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o que indica que poderia estar havendo interferência de locais que foram considerados como água, mas não são. Como no mapa gerado para NDWI, onde as áreas construídas foram consideradas como água. Todavia, para estas profundidades, o índice explicou em torno de 60% da tendência dos dados ( $R^2$ ).

Ao separar a profundidade que varia de 0,1 a 1 m em 0,1 até 0,5 m e 0,6 até 1,0 m, foi notório que a profundidade de 0,1 a 0,5 m contribuiu bastante para o alto valor de média e de desvio padrão encontrado, o que pode ser atribuído a grande carga de sedimento em suspensão. Krug e Noernberg (2005 e 2007) analisaram o local a partir da profundidade de 0,36 m, o que pode ter contribuído para que a média e o desvio padrão encontrados pelos autores fossem baixos.

A aplicação de NDWI pode ser de grande valia para regiões onde se planeja outros ou mais estudos, ou para regiões onde se queira mapear variações geomorfológicas e/ou

subaquáticas. Este método também é bastante significativo quando se planeja fazer estudos de variações de linha de costa ou de margem de rios, represas ou lagos.

Este método ainda necessita ser testado em diferentes tipos de ambiente, a fim de validar a aplicabilidade do mesmo.

## 6. Referências Bibliográficas

ASSUMPÇÃO D. T. G.; TOLEDO, A. P. P.; D'AQUINO, V. A. Levantamento ecológico da Lagoa da Conceição – (Florianópolis – Santa Catarina) I: Caracterização – parâmetros ambientais. **Ciência e Cultura**, 33(8), pag 1096-1101, agosto de 1981.

COOKE, C.V.; MADUREIRA, L.S.P.; GRIEP, G.H.; PINHO, M.P. Análise de dados de eco-sondagem de fundo oriundos de cruzeiros realizados entre Fortaleza (CE) e Chuí (RS) com enfoque na morfologia e tipos de fundo. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 25, n.4, p. 443-457, 2007.

DANCEY, C. P. e REIDY, J. **Estatística sem matemática: usando SPSS para Windows**. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

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.

GRÉ, J. C. R. e HORN FILHO, N. O. Caracterização texturas dos sedimentos de fundo da Lagoa da Conceição, Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. In: Sierra de Toledo, B. e Soriano Sierra, E. J. (Eds.). **O ecossistema da Lagoa da Conceição**. NEMAR/CCB/UFSC. SDM/FEPEMA. Florianópolis, Brasil, Cap 2, pag 25-34, 1999.

KRUG, L.A.; NOERNBERG, M.A Extração de batimetria por sensoriamento remoto de águas rasas dos sistemas estuarinos do Estado do Paraná – Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XII, Goiânia. **Anais...** INPE, p. 3077-3084, 2005.

KRUG, L.A.; NOERNBERG, M.A O sensoriamento remoto como ferramenta para determinação de batimetria de baixios na Baía das Laranjeiras, Paranaguá – PR. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 25, p. 101-105, 2007.

LÓPEZ, M.J.C.; ROJAS, J.C.G. Batimetría del Mar Menor (Murcia) elaborada com imágenes Landsat 7. In: Jornadas de Sig Libre, IV, 2010, Girona, Espanha. **Anais...** p. 14-19, 2010.

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.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 2. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2003. Cap. 16, p. 263-291.

MUEHE, D. e GOMES JR., F. C. Batimetria e algumas considerações sobre a evolução geológica da Lagoa da Conceição, Ilha de Santa Catarina. **Geosul**, (4) pag 32-44. 1989

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 1989. 308 p.

ODEBRECHT, C. e GOMES JR., F. C. Hidrografia e matéria particulada em suspensão na Ilha da Conceição, Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil In: Sierra de Toledo, B. e Soriano Sierra, E. J. (Eds.). **O ecossistema da Lagoa da Conceição**. NEMAR/CCB/UFSC. SDM/FEPEMA. Florianópolis, Brasil Cap. 3 pag 35-61, 1999.

POLITO, P.S. Utilização de dados de altímetro em oceanografia. In: SOUZA, R.B. (Org.). **Oceanografia por Satélites**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. Cap. 2, p. 33-49.