

## INFLUÊNCIA DA RESOLUÇÃO NA ANÁLISE DO CRESCIMENTO DE MACRÓFITAS SUBMERSAS

LIGIA FLÁVIA ANTUNES BATISTA<sup>1,2</sup>  
NILTON NOBUHIRO IMAI<sup>1</sup>  
LUIZ HENRIQUE DA SILVA ROTTA<sup>1</sup>  
FERNANDA SAYURI YOSHINO WATANABE<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual Paulista - Unesp  
Faculdade de Ciências e Tecnologia - FCT  
Programa de Pós-graduação em Ciências Cartográficas, Presidente Prudente - SP  
nnimai@fct.unesp.br, luizhrotta@yahoo.com.br, fernandasyw@yahoo.com.br

<sup>2</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR  
Coordenação de Engenharia Ambiental, Londrina – PR  
ligia@utfpr.edu.br

---

**RESUMO** – Este trabalho apresenta uma avaliação de como a resolução afeta a análise de dados georreferenciados. O domínio da aplicação está relacionado ao crescimento de macrófitas submersas, neste estudo mapeadas com técnicas de hidroacústica. Esse tipo de vegetação tem causado muitos problemas de ordem ecológica e econômica, devido ao impacto causado em reservatórios brasileiros, uma vez que usinas hidroelétricas têm que parar a produção de energia para remover a vegetação acumulada nas turbinas. Os dados utilizados neste estudo foram coletados em cinco trabalhos de campo realizados no reservatório de Taquaruçu, rio Paranapanema, os quais geraram milhares de pontos que descrevem a altura do dossel submerso. Com o intuito de entender o comportamento espaço-temporal do desenvolvimento da vegetação, superfícies foram produzidas por interpolação, pelo método da média ponderada, em duas diferentes resoluções (2m e 10m). As diferenças dessas superfícies, as quais representam a variação da vegetação, foram analisadas considerando cada intervalo de tempo, faixa de variação e resolução. A distribuição espacial dessas superfícies permitiu visualizar que as diferenças não alteram o padrão espacial. Foi possível perceber, ainda, que neste caso, essas duas resoluções não modificaram significativamente a interpretação dos resultados, para três dos quatro intervalos de tempo analisados.

**Palavras chave:** Interpolação, mapa temático, hidroacústica, Sistema de Informação Geográfica.

**ABSTRACT** - This work presents an evaluation of how the resolution affects the georeferenced data analysis. The application domain is related to submerged macrophytes growth, in this study mapped with hydroacoustic techniques. In Brazil, this vegetation type have been causing many ecological and economics issues, due to impact in reservoirs. Hydroelectric power plants have to stop electric energy generation to remove vegetation retained on the turbines. Data used in this study were collected in five survey fields in Taquaruçu Reservoir, Paranapanema river, which had provided thousands of points, that describe the submerged canopy height. With the aim of understanding the spatio-temporal behavior of vegetation development, surfaces were produced by interpolation, using weighted average method, in two different resolutions (2m and 10m). The differences of theses surfaces, that represent the vegetation growth, were analyzed, considering each interval time, growth range and resolution. The spatial distribution of these surfaces was plotted and it was possible to observe that the differences do not change the spatial pattern. We could realize that in this case, these two resolutions did not result in many changes in data interpretation, for three of the four interval times analyzed.

**Key words:** Interpolation, Thematic map, Hydroacoustics, Geographic Information Systems.

---

## 1 INTRODUÇÃO

Escolher a melhor resolução para representação espacial de um dado georreferenciado está entre os aspectos a serem cuidadosamente analisados em trabalhos que envolvem representação cartográfica, uma vez que a partir desta especificação vários procedimentos e análises são aplicados, os quais podem afetar os resultados. Cita-se a amostragem e a interpolação como etapas fortemente influenciadas pela resolução, que por sua vez, determinam a necessidade de recursos para aquisição dos dados e processamento computacional para a geração das superfícies (LOUCKS; BEEK, 2005).

O foco deste estudo é a análise do comportamento espaço-temporal do crescimento de macrófitas submersas. Tal tipo de vegetação tem se proliferado excessivamente em reservatórios e com isso, gerado problemas de ordem econômica e ecológica (THOMAZ; BINI, 2003).

Pelas suas próprias características, há dificuldades para obtenção de dados de macrófitas submersas em áreas extensas. Dessa forma, estudos e desenvolvimento de métodos para facilitar as atividades de controle do desenvolvimento dessa planta são necessários, haja vista a dificuldade de realizar levantamentos sistemáticos na maioria dos reservatórios brasileiros, que são de grandes dimensões.

Chamberlain et al. (2009) afirmam que a técnica hidroacústica representa um meio adequado para aquisição de informação espacial de cobertura vegetal submersa, sendo uma ferramenta de monitoramento de baixo custo para detectar mudanças nesse tipo de vegetação, o que está de acordo com os objetivos deste trabalho. Por isso, considera-se que tal técnica, aplicada com o equipamento ecobatímetro, possui algumas vantagens interessantes, como não ser um método destrutivo, uma vez que a vegetação não é removida, sendo portanto indicado para estudos temporais. Além disso, mostra-se adequada para mapear infestações que não chegam à superfície, uma vez que neste caso podem impedir a navegação (VALLEY; DRAKE, 2005; SABOL et al., 2009).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é avaliar como a adoção de diferentes resoluções na etapa de interpolação afeta a análise do crescimento de macrófitas submersas. A hipótese formulada é que a resolução afeta os resultados nas estações do ano em que predomina o crescimento da vegetação submersa.

## 2 ESCALA, RESOLUÇÃO E EXTENSÃO

Considerando o escopo deste estudo, é interessante notar como Gibson et al. (2000) apresentam conceitos de escala, extensão e resolução, no âmbito de estudos espaço-temporais. Para esses autores, a ideia de escala é mais ampla do que aquela aplicada no contexto cartográfico, sendo definida como as dimensões espaciais, temporais, quantitativas ou analíticas usadas para medir e estudar o objeto de interesse. A extensão estabelece os limites em que o fenômeno será avaliado, na medida em

que representa o tamanho das dimensões da escala. Em relação a tempo, a extensão determina o período de realização do estudo. Em relação ao espaço, a extensão define as fronteiras da área de estudo.

A resolução define as subdivisões em que uma dimensão será observada, a qual pode também ser chamada de granularidade (GIBSON et al., 2000), como a frequência, no caso da dimensão temporal.

Kok e Veldkamp (2001) argumentam ainda que resoluções grosseiras reduzem a heterogeneidade dos dados e que grandes extensões espaciais podem incluir outros processos além daquele de interesse, dificultando o estudo. Acrescentam também que a especificação de uma resolução pequena em uma área de grande extensão aumenta a dificuldade de identificar os processos principais que governam um fenômeno dinâmico.

Deve-se acrescentar que a resolução depende, ainda, da escala de trabalho, a qual pode ser local, regional ou global.

## 3 MATERIAIS E MÉTODO

A área de estudo compreende o reservatório de Taquaruçu, no rio Paranapanema, no trecho situado no município de Santo Inácio (PR), próximo à divisa com o estado de São Paulo, delimitado aproximadamente pelas coordenadas 51°44'W, 22°38'S e 51°43'W, 22°37'S (WGS84), ilustrada na Figura 1. A região em que foram feitos os levantamentos de dados abrange uma área de 1,83 km<sup>2</sup>.

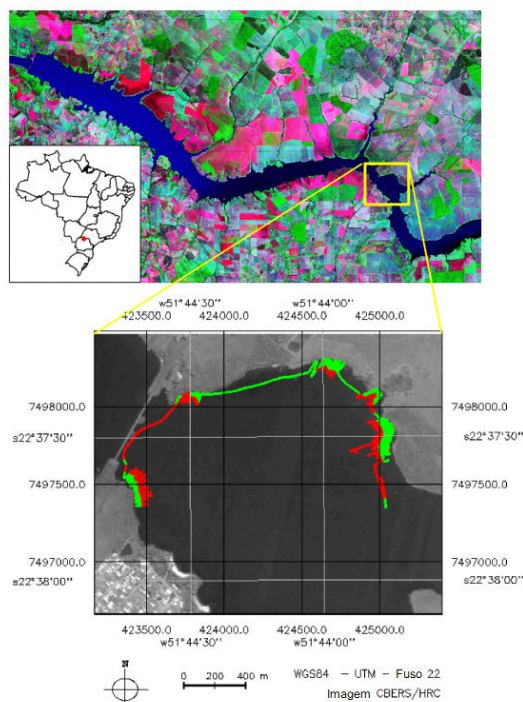


Figura 1 – Área de estudo do reservatório.

Foram realizadas cinco campanhas de campo para obtenção das medidas ecobatimétricas, entre março e agosto de 2010, com intervalos variados.

A parte inferior da Figura 1 apresenta o percurso realizado pelo barco no primeiro levantamento, realizado em março. Os pontos em verde representam vegetação submersa e os pontos em vermelho indicam área com ausência de plantas submersas. Os levantamentos restringem-se às áreas próximas às margens, pois a vegetação não se desenvolve em áreas profundas, localizadas nas proximidades do talvegue.

Os instrumentos utilizados para realizar as coletas em campo foram: 2 unidades portáteis GPS (*Global Positioning System*) Garmin, sendo uma acoplada ao ecobatímetro Biosonics modelo DT-X e outra para navegação. Os dados do ecobatímetro descrevem a frequência da cobertura de plantas a cada dez pulsos emitidos e altura dos dosséis submersos, bem como a profundidade. A frequência de emissão de pulsos adotada foi de 5 pps (pulsos por segundo) e a duração de cada pulso foi especificada para 0,1 ms.

Durante o mapeamento utilizou-se o *software Visual Acquisition*, o qual mostra em tempo real, durante a navegação, as regiões em que há plantas submersas, em um gráfico denominado ecograma, apresentado na Figura 2. O ecograma exibe o contorno do fundo, em amarelo e as áreas com presença de plantas submersas, em uma sequência de aproximadamente 3000 pulsos. A força do eco retroespalhado pode ser identificada pelas cores, de acordo com a escala à esquerda em decibéis, e a profundidade está identificada na escala da direita, em metros. As elipses mostram como áreas infestadas com vegetação submersa são representadas no ecograma.

Trabalhos de Zhu et al. (2007) e Sabol et al. (2002) descrevem como o padrão de plantas submersas é diferenciado no ecograma, com características de eco entre 40 e 60 dB, em que visualmente se destaca do fundo, apresentando padrão vertical alongado.

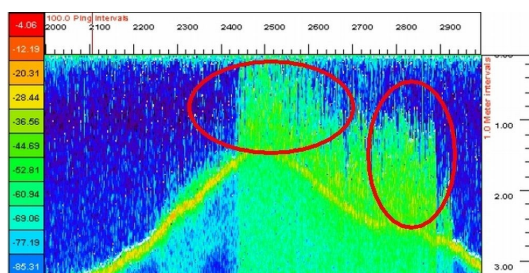


Figura 2 – Ecograma.

Para pós-processamento, utilizou-se os *softwares Visual Analyzer* e *EcoSav*, respectivamente para visualizar os ecogramas gerados e gerar relatório de vegetação submersa.

O *software EcoSav* possui um algoritmo classificador para identificar vegetação submersa, baseado em técnicas de processamento de sinais, descritas em detalhes em Biosonics (2008).

Os pontos amostrais georreferenciados da altura dos dosséis submersos foram importados para um banco de dados geográfico, sendo utilizado o *software* Spring (CÂMARA et al., 1996). Foi feita a interpolação com média ponderada pelo inverso do quadrado da distância, método considerado por Valley et al. (2005) com desempenho bastante semelhante à krigeagem, no contexto de plantas submersas. Para cada levantamento, a interpolação foi efetuada com duas resoluções (2m e 10m).

As superfícies de crescimento foram calculadas por meio da álgebra de mapas, pela diferença entre planos de informação de vegetação submersa de dois levantamentos consecutivos. Neste texto, o crescimento refere-se ao intervalo entre dois levantamentos, denominados de intervalos de campo. Como foram realizadas cinco campanhas para aquisição de dados, os quatro intervalos de tempo entre levantamentos sucessivos são indicados, como i1, i2, i3 e i4.

Foram então gerados produtos temáticos, pela classificação dos dados de crescimento em faixas de 0,2m de amplitude. Calculou-se, em seguida, as áreas correspondentes a cada faixa de crescimento, por intervalo de tempo e por resolução.

Com o intuito de analisar a incerteza da comparação realizada entre as duas resoluções, foi feita a avaliação da diferença entre as superfícies das duas resoluções, para o intervalo i4, a qual representa o erro gerado pela resolução mais grosseira (10 m). Para processar tal diferença, foi feita a reamostragem da resolução de 10 m para 2 m, utilizando o método do vizinho mais próximo.

A partir da diferença, foi gerado o histograma de erro, bem como foram calculadas as áreas correspondentes a cada faixa de erro.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os planos de informação resultantes da diferença das superfícies interpoladas apresentaram áreas em que houve tanto crescimento quanto redução da vegetação. Por isso, os valores de variação da altura dos dosséis de macrófitas variaram de -0,6 m a 0,6 m. Algumas áreas não tiveram modificação significativa, sendo menores que 0,02 m, e foram classificadas como sem alteração.

As análises de variação foram feitas com as duas resoluções, de 2m e 10m. Dessa forma, obteve-se um conjunto de dados multivariado, composto por:

- Faixas de variação, (-0,6 a -0,4; -0,4 a -0,2; -0,2 a 0; 0 a 0,2; 0,2 a 0,4; 0,4 a 0,6 e sem alteração), calculadas em metros;
- Intervalos de tempo (i1, i2, i3 e i4);
- Resoluções (2m e 10m);
- Área, para cada uma das combinações de faixa de variação, intervalo de tempo e resolução.

Na Figura 3, apresenta-se o gráfico que descreve as áreas por intervalo, faixa de variação e resolução.

Pela análise do gráfico, evidencia-se que as áreas de redução são maiores que as áreas de crescimento nos

intervalos  $i_1$ ,  $i_2$  e  $i_3$ , sendo as proporções entre as duas resoluções, praticamente as mesmas, em todas as faixas de variação.

As diferenças de áreas nas duas resoluções são observadas principalmente no intervalo  $i_4$ , para as faixas de variação negativa, que indicam redução da altura dos dosséis, de  $-0,2$  a  $0$ ,  $-0,4$  a  $-0,2$ , além da faixa sem alteração. As proporções de variação positiva mantiveram-se equivalentes.



Figura 3 – Gráfico de área por faixa de crescimento, intervalo e resolução.

A hipótese formulada para explicar as diferenças baseia-se no fato de que a modificação no padrão de vegetação, passando de uma situação em que predomina redução, para um estado de predomínio de crescimento explicaria as diferenças de resultados para as resoluções analisadas.

As cartas das Figuras 4 e 5 apresentam a distribuição espacial da variação da vegetação para o intervalo  $i_4$ , nas resoluções 2 m e 10 m, respectivamente.

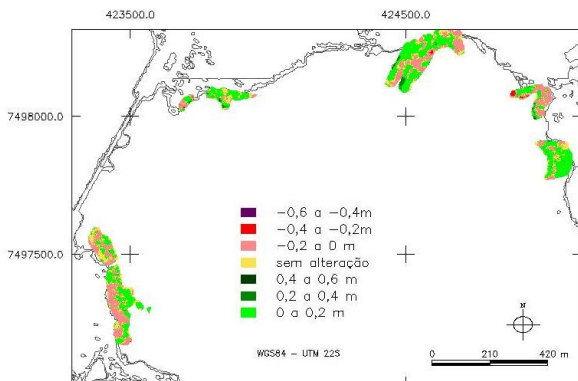


Figura 4 – Carta de variação da vegetação no intervalo  $i_4$  com resolução de 2m.

A análise das cartas temáticas das Figuras 4 e 5 demonstra que, mesmo para o intervalo  $i_4$ , em que os cálculos de área apresentaram variação para as resoluções testadas, não se verifica grande diferença visual no padrão das distribuições espaciais. Deve-se enfatizar, que tal condição pode ser devido à natureza da informação de

posição de cada elemento amostral, a qual possui acurácia média de 10 m, devido ao receptor GPS utilizado.

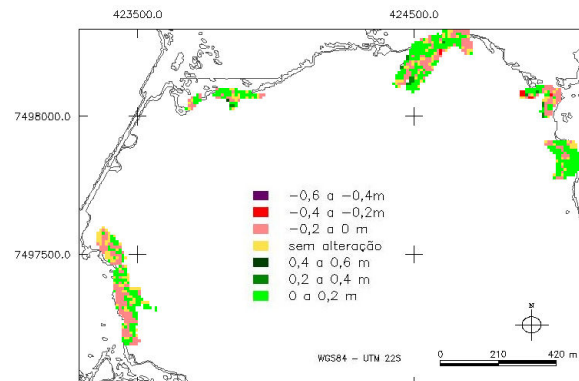


Figura 5 – Carta de variação da vegetação no intervalo  $i_4$  com resolução de 10m.

Na Figura 6 está ilustrada a distribuição espacial do erro gerado, em valores absolutos, dado pela diferença entre as resoluções, para o intervalo  $i_4$ .

Percebe-se que a maior parte da área possui erro menor que 5 cm, corroborando a avaliação visual feita anteriormente.

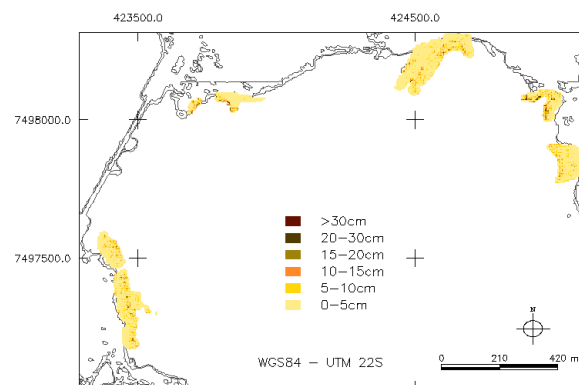


Figura 6 – Carta da diferença entre as superfícies interpoladas das resoluções 2 e 10 m.

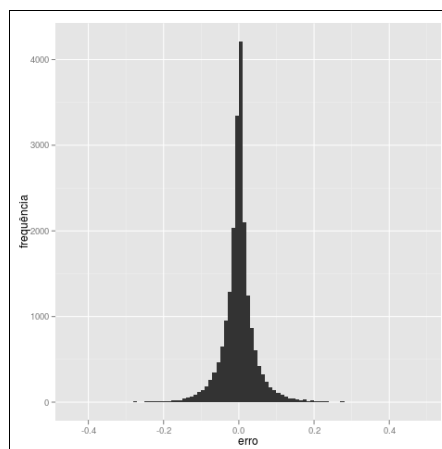


Figura 7 – Histograma dos valores de erro.

Na Figura 7, tem-se o histograma dos valores de erro, na qual pode-se perceber que a maior parte da área tem valores próximos a zero.

Para complementar essa avaliação, a Tabela 1 apresenta os percentuais de erro, calculados por área, para as mesmas faixas de valores do mapa temático da Figura 6. Pelos valores apresentados, tem-se que aproximadamente 95% da área apresenta erro de até 10 cm, correspondentes às duas primeiras faixas de valores.

Tabela 1 – Percentuais de erro (área) por faixa de valores.

Faixa	Percentual
0 a 5 cm	82,1 %
5 a 10 cm	12,7 %
10 a 15 cm	3,3 %
15 a 20 cm	1,0 %
20 a 30 cm	0,5 %
mais de 30 cm	0,1 %

É importante ressaltar que a possibilidade de representar uma superfície com uma resolução mais grosseira sem grandes perdas nos resultados tem grande importância em estudos temporais, haja vista que o custo do processamento computacional de resoluções finas é maior, além do espaço de armazenamento necessário para cada um dos planos de informação de uma sequência temporal.

## 5 CONCLUSÕES

Percebeu-se, com este trabalho, que as diferentes resoluções avaliadas não modificaram significativamente as avaliações de crescimento. Concluiu-se, assim, que uma resolução menor poderia ser adotada, facilitando o processamento dos dados, sem grande prejuízo para a análise de resultados.

As diferenças observadas no último intervalo demonstram a necessidade de trabalhos futuros para ampliar esse tipo de análise. Dados de uma sequência temporal maior possibilitariam verificar a hipótese formulada, de que a resolução afeta os resultados nas estações do ano em que predomina o crescimento da vegetação submersa. Além disso, é importante ainda, determinar a resolução mínima que pode ser adotada com esse tipo de dado sem que haja perda de informação relevante.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Programa de Pós-graduação em Ciências Cartográficas, pelo apoio para realização do trabalho e à Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina.

## REFERÊNCIAS

BIOSONICS. **User Guide: EcoSAV™ 1.** BioSonics Inc: Seattle, 2008. 48 p.

CÂMARA, G. et al. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395–403, May-Jun 1996.

CHAMBERLAIN, R. et al. Comparison of manual and hydroacoustic measurement of seagrass distribution in the Caloosahatchee estuary, Florida. **Florida Scientist**, chnep.org, 2009.

GIBSON, C. C.; OSTROM, E.; AHN, T. K. The concept of scale and the human dimensions of global change: a survey. **Ecological Economics**, v. 32, n. 2, p. 217 – 239, 2000.

KOK, K.; VELDKAMP, A. Evaluating impact of spatial scales on land use pattern analysis in central america. Agriculture, **Ecosystems and Environment**, v. 85, n. 1-3, p. 205 – 221, 2001.

LOUCKS, D. P.; BEEK, E. van. **Water Resources Systems Planning and Management**. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2005. (Studies and Reports in Hydrology).

SABOL, B. M., MELTON JR., R.E., CHAMBERLAIN, R., DOERING, P., HAUNERT, K. Evaluation of a digital echo sounder system for detection of submersed aquatic vegetation. **Estuaries**, v. 25, n.1, p.133–141, 2002.

SABOL, B. M.; KANNENBERG, J.; SKOGERBOE, J. G. Integrating acoustic mapping into operational aquatic plant management: a case study in Wisconsin. **Journal of Aquatic Plant Management**, v. 47, p. 44–52, 2009.

THOMAZ, S. M.; BINI, M. (Ed.). **Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas**. Maringá: EDUEM, 2003.

VALLEY, R. D.; DRAKE, M. T. **Accuracy and precision of hydroacoustic estimates of aquatic vegetation and the repeatability of whole-lake surveys: field tests with a commercial echosounder**. St. Paul, MN, December 2005.

VALLEY, R. D.; DRAKE, M. T.; ANDERSON, C. S. Evaluation of alternative interpolation techniques for the mapping of remotely-sensed submersed vegetation abundance. **Aquatic Botany**, v. 81, n. 1, p. 13 – 25, 2005.

ZHU, B., FITZGERALD, D.G., HOSKINS, S.B., RUDSTAM, L.G., MAYER, C.M., MILLS, E.L. Quantification of historical changes of submerged aquatic vegetation cover in two bays of Lake Ontario with three complementary methods. **Journal of Great Lakes Research**, v. 33, n.1, p. 122-135, 2007.