

## Atenuação vertical da irradiância descendente na coluna de água e sua influência sobre a ocorrência de macrófitas submersas – Reservatório de Nova Avanhandava

Luiz Henrique da Silva Rotta<sup>1</sup>  
Enner Herenio de Alcântara<sup>1</sup>  
Nilton Nobuhiro Imai<sup>1</sup>  
Claudio Clemente Faria Barbosa<sup>2</sup>  
Lino Augusto Sander de Carvalho<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual Paulista - UNESP  
Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT  
Caixa Postal 305 – 19060-900 – Presidente Prudente - SP, Brasil  
luizhrotta@yahoo.com.br; {enner, nnimai}@fct.unesp.br

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
claudio@dpi.inpe.br; lino@dsr.inpe.br

**Abstract.** Submerged macrophytes are a serious problem in water reservoirs. The radiation availability is among the main factors related with the occurrence of this vegetation. Therefore, this study aimed to survey the vertical attenuation for downward irradiance and their influence on submerged macrophytes occurrence. The work was made in a region of Tietê river arm, in Nova Avanhandava reservoir. Data about the river depth and plant height were collected using an echosounder BioSonics DT-X. Downward irradiance data were collected in different depths using TriOS – Optical sensor. It was noted that the downward irradiance decreases exponentially with depth. The vertical attenuation coefficient and the euphotic zone depth were calculated. Therefore, the behavior of submerged aquatic vegetation with different radiations quantities was evaluated. Up to 1 meter depth submerged macrophytes had not a strong development. It happened due to excessive radiation and waves. Between 1 and 5 meter the macrophytes height increase with the depth. Between 5 and 8 meter the macrophytes are highest because the lower light intensities make the higher elongation of the occurred species (*E. densa* and *E. najas*). To leave the euphotic zone (9,7 meter) the submerged aquatic vegetation occurrence is completely interrupted. Finally, the study of vertical attenuation for downward irradiance in the water column can contribute to the understanding of the behavior of submerged aquatic vegetation in different aquatic environments.

**Palavras-chave:** vertical attenuation coefficient, submerged aquatic vegetation, photosynthetically active radiation, euphotic zone, coeficiente de atenuação vertical, vegetação aquática submersa, radiação fotossinteticamente ativa, zona eufótica.

### 1. Introdução

Reservatórios artificiais vêm sendo construídos para diversas finalidades ao longo da história; dentre os usos destacam-se: irrigação, prevenção de cheias, irrigação, navegação, abastecimento de água potável, pesca, recreação e geração de energia elétrica. Os principais produtores primários em reservatórios são os mesmos dos rios e lagos, são eles: fitoplâncton, bactérias fotoautotróficas, algas do perifíton e macrófitas flutuantes emersas ou submersas ou fixas enraizadas (TUNDISI e TUNDISI, 2008).

Marcondes et al. (2003) em seu estudo, mostrou que no período chuvoso, o aumento da vazão do reservatório provoca a fragmentação das plantas aquáticas submersas (macrófitas submersas) e com isso, essa vegetação é arrastada pelo reservatório em direção à usina hidrelétrica, prejudicando a navegação, a pesca, a captação e o lazer. Essas plantas geralmente acumulam-se nas grades de proteção da tomada de água das unidades geradoras provocando o entupimento dessas grades e conseqüentemente diminui a captação da água e provoca oscilação de potência da turbina. A maior pressão nas grades pode provocar deformações ou

rompimentos das mesmas, tornando necessária a interrupção do funcionamento da unidade geradora para substituir as grades danificadas.

Thomaz (2006), ao estudar a cascata de reservatórios do rio Tietê, observou que a ocorrência de macrófitas submersas ocorreu em reservatórios com maior disponibilidade de radiação subaquática. Constatou-se que as maiores infestações de plantas flutuantes ocorrem em reservatório de montante, enquanto as espécies submersas ocorrem nos reservatórios de jusante do rio Tietê. O reservatório de Nova Avanhandava é o penúltimo da série de reservatórios no rio Tietê, o que indica um predomínio na ocorrência de macrófitas submersas.

Dentre os principais fatores limitantes da ocorrência da vegetação aquática submersa (VAS) está a disponibilidade de radiação (TAVECHIO e THOMAZ, 2003; RODRIGUES e THOMAZ, 2010; BIUDES e CAMARGO, 2008). Fato que torna o estudo da atenuação vertical da radiação em corpos de água necessário para avaliar a disponibilidade de radiação subaquática.

O objetivo do trabalho é avaliar a atenuação vertical da irradiância descendente no reservatório em estudo e sua influência sobre a ocorrência de macrófitas submersas.

## 2. Metodologia de Trabalho

O presente trabalho foi realizado na foz do rio Bonito, afluente do rio Tietê e pertencente ao reservatório de Nova Avanhandava (Figura 1 – a). A área de estudo compreende uma região de aproximadamente 5,3 km<sup>2</sup> (Figura 1 – b).

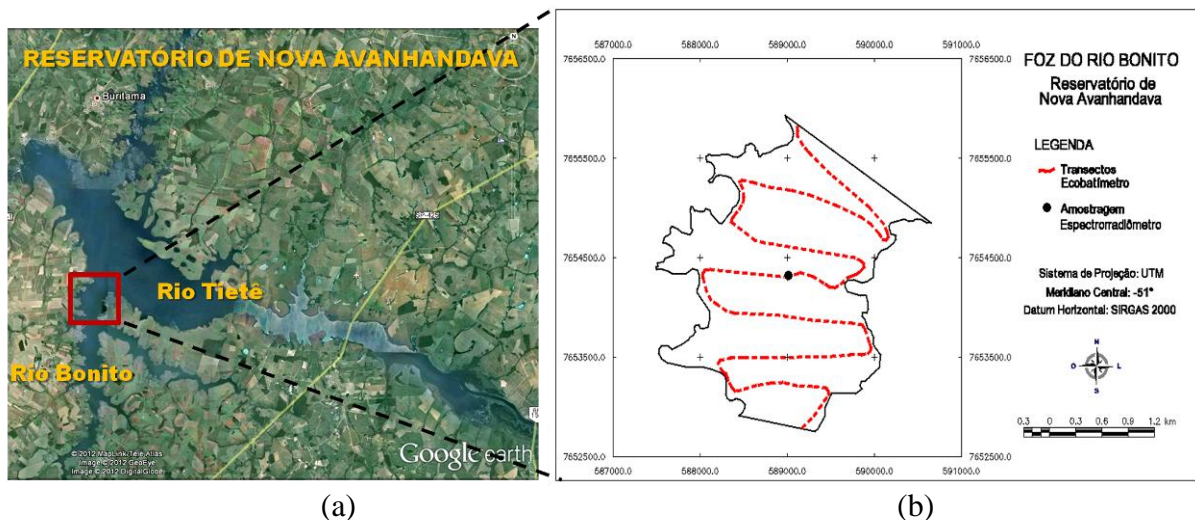


Figura 1. Área de estudo. Foz do rio Bonito – Reservatório de Nova Avanhandava

Para obtenção dos dados hiperespectrais foi utilizado o sensor óptico *RAMSES-TriOS* (<http://www.trios.de>). Esses dados foram adquiridos em uma campanha de campo realizada no dia 19 de setembro de 2012. Na configuração de aquisição utilizada é possível obter dados tanto de radiância ascendente quanto de irradiância descendente. Foram adquiridos dados hiperespectrais na superfície (Figura 2 – a) e em diferentes profundidades (Figura 2 – b): 0 m – medida de subsuperfície, 1 m, 2 m, 3 m, 5 m e 7 m. Essa amostragem foi realizada em um único ponto no centro da área de estudo (Figura 1 – b), a uma profundidade suficiente para não sofrer influência do fundo do corpo d'água, ou seja, foram feitas medidas em águas opticamente profundas.

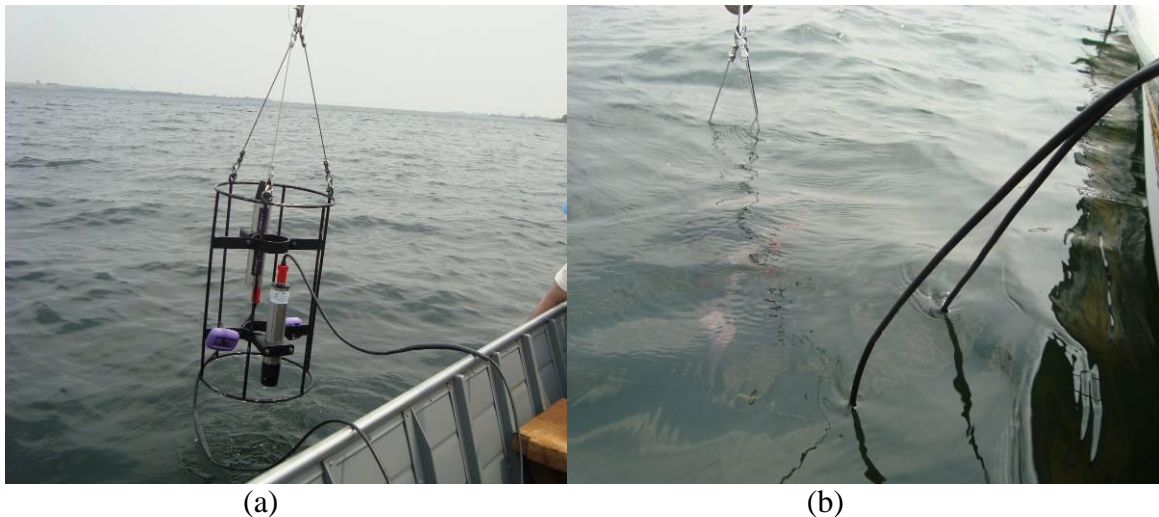


Figura 2. TriOS – Sensor Óptico. Amostragem na superfície (a) e submersa (b).

O sensor óptico *RAMSES-TriOS* obtém dados entre os comprimentos de onda 320 e 950 nm, porém, a região do espectro de interesse é a correspondente à radiação fotossinteticamente ativa. Assim, utilizou-se dados entre os comprimentos 400 e 700 nm.

Em cada posição do perfil medido foi feita a média aritmética dos valores de irradiância descendente entre os comprimentos 400 e 700 nm.

A irradiância descendente ( $E_d$ ) diminui de maneira exponencial com a profundidade. Essa relação pode ser representada pela Equação 1 (KIRK, 2011).

$$E_d(z) = E_D(0)e^{-K_d z} \quad (1)$$

Sendo que  $E_d(z)$  é a irradiância descendente em uma profundidade  $z$ ,  $E_d(0)$  é a irradiância descendente logo abaixo da superfície da água e  $K_d$  é o coeficiente de atenuação vertical médio entre as profundidades 0 e  $Z$ . Fazendo a derivação da Equação 1 para isolar a variável de interesse ( $K_d$ ) obtém-se:

$$K_d = \ln E_d(0) - \ln E_d(z) \quad (2)$$

Posteriormente obteve-se, por meio da equação 2, valores de  $K_d$  para as profundidades 1 m, 2 m, 3 m, 5 m e 7 m. Com o valor do coeficiente de atenuação vertical médio é possível obter a profundidade óptica ( $\zeta$ ) (KIRK, 2011):

$$\zeta = K_d Z \quad (3)$$

A porção iluminada da coluna de água, denominada zona eufótica, pode variar de alguns centímetros até dezenas de metros. O limite inferior da zona eufótica é geralmente assumido onde a intensidade da radiação corresponde a 1 % da intensidade que atinge a superfície – normalmente é utilizado o valor da radiação de subsuperfície, ou seja, o valor de  $E_d(0)$  (ESTEVEZ, 2011).

Onde a atenuação da irradiância descendente atinge 1% da irradiância descendente de subsuperfície ( $E_d(0)$ ), o valor da profundidade óptica é igual a 4,6 (KIRK, 2011). Com isso, é possível obter o valor da profundidade no limite da zona eufótica ( $Z_{\text{zona eufótica}}$ ).

Para coleta dos dados referentes à profundidade e altura da vegetação aquática submersa – VAS utilizou-se o sonar digital científico BioSonics DT-X (ecobatímetro) (<http://www.biosonicsinc.com/>). Esses dados foram adquiridos em uma campanha de campo realizada entre os dias 3 e 5 de outubro de 2012. A amostragem foi feita por transectos de uma margem à outra (Figura 1 – b).

O transdutor do ecobatímetro foi posicionado verticalmente a uma profundidade de 0,5 m em uma das laterais do barco, e na extremidade da mesma haste foi colocada a antena do GPS. Por meio do notebook, os dados obtidos pelo ecobatímetro são visualizados em tempo real e armazenados em arquivos individuais para cada transecto. O sistema é controlado a partir do software Visual Acquisition. Esse software mostra um ecograma, que descreve a profundidade do relevo submerso em tempo real e a presença ou ausência de macrófitas aquáticas submersas (Figura 3).

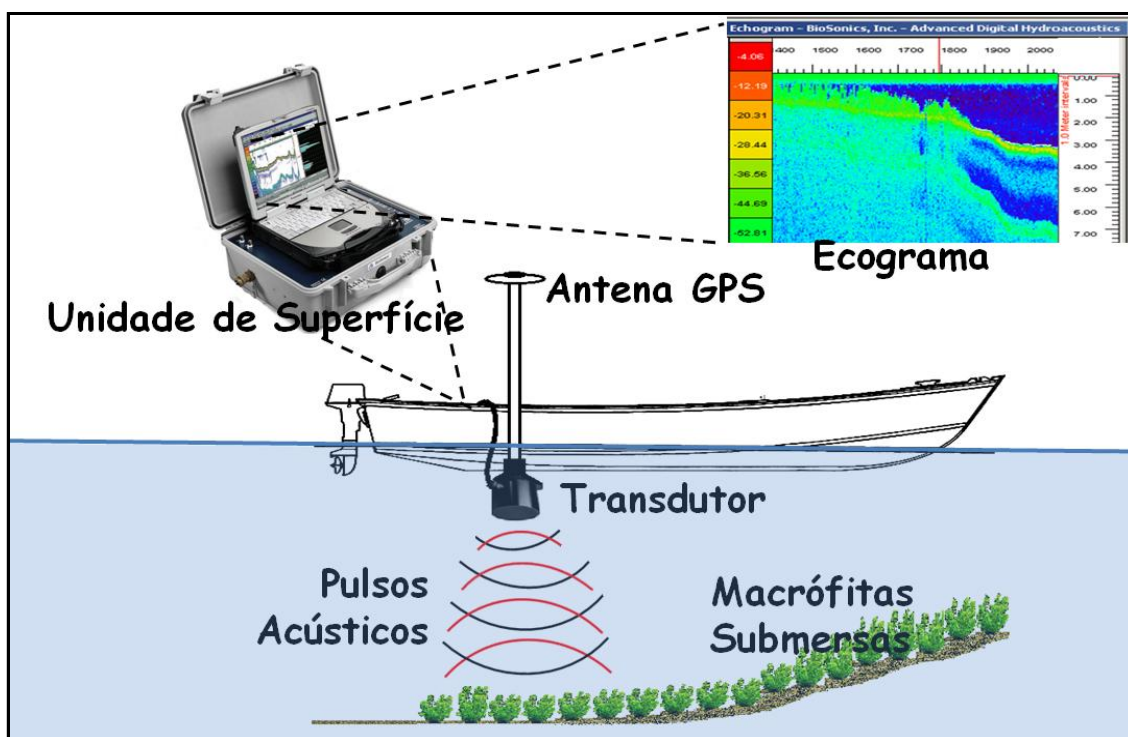


Figura 3. Esquema de aquisição de dados com o ecobatímetro.

Fonte: Rotta et al. (2012)

Depois de armazenados, os dados foram processadas por meio do software EcoSAV (BIOSONICS, 2008).

Os dados tanto do ecobatímetro como do espectrorradiômetro foram importados e manipulados em uma planilha *Excel*. Posteriormente, foram feitos cálculos e gerados gráficos referentes à atenuação da irradiância descendente e ocorrência da VAS.

### 3. Resultados e Discussão

A figura 4 mostra os valores de irradiâncias descendentes ao longo do espectro no visível (entre 400 e 700 nm) medidas em diferentes posições no perfil vertical.

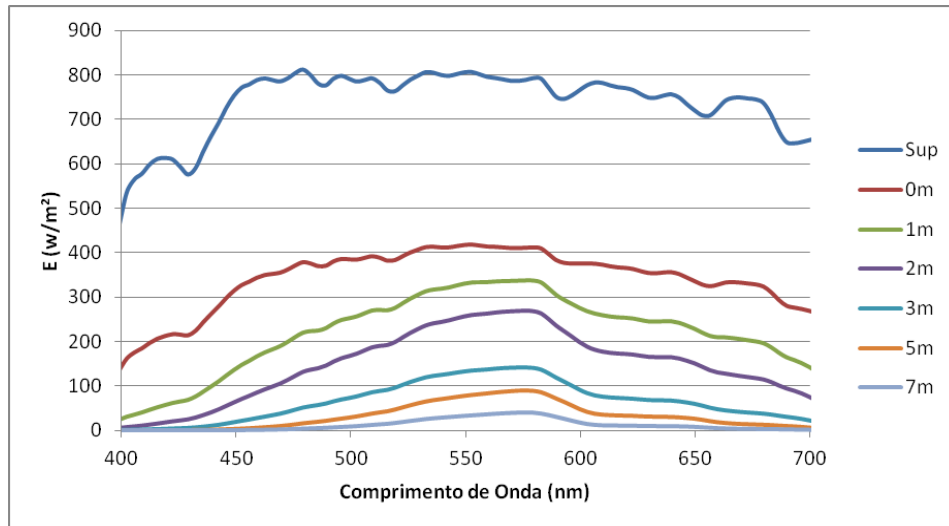


Figura 4. Curva espectral da irradiância descendente em diferentes profundidades.

Observa-se uma forte redução da irradiância descendente medida logo abaixo da superfície da água (0m) quando comparada a irradiância medida acima da superfície (Sup). Além disso, nota-se a diminuição no valor da irradiância conforme se aumenta a profundidade.

Com o valor da média de cada curva foi possível observar a atenuação vertical da irradiância descendente. A figura 5 ilustra a diminuição exponencial dessa irradiância descendente através da coluna de água. A equação exponencial obtida com base nos dados coletados em campo (Equação 4) apresentou um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 99,2%.

$$E_d(z) = 343,36e^{-0.484z} \quad (4)$$

Essa equação representa a atenuação vertical da irradiância descendente através do corpo de água e nota-se que essa equação adéqua-se com a Equação 1.

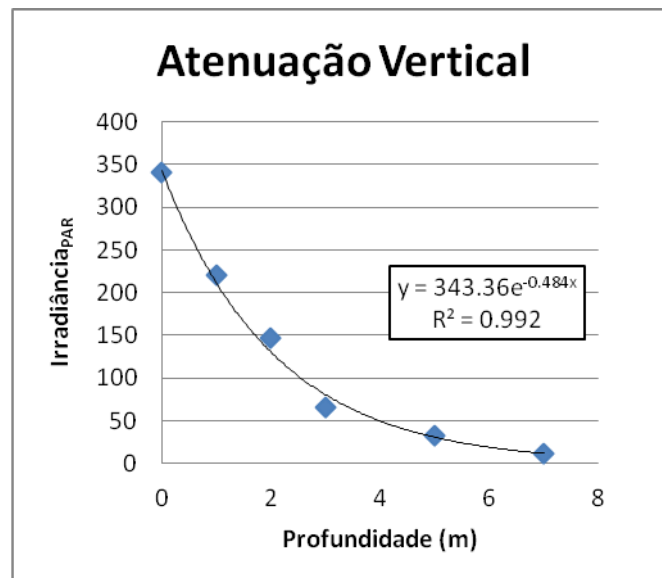


Figura 5. Atenuação vertical da Irradiância descendente em função da profundidade.



Com os valores de irradiância descendente em diferentes profundidades, os coeficientes de atenuação vertical foram calculados, para as profundidades 1, 2, 3, 5 e 7 metros, além do  $K_d$  médio (Tabela 1).

Tabela 1. Coeficientes de atenuação vertical

	<b>Irradiância Média (<math>w/m^2</math>)</b>	<b>Profundidade (m)</b>	<b><math>K_d</math> (<math>m^{-1}</math>)</b>
$E_d(\text{Sup})$	738,42	Superfície	-
$E_d(0)$	340,42	0	-
$E_d(1)$	219,83	1	0,437
$E_d(2)$	147,08	2	0,420
$E_d(3)$	64,94	3	0,552
$E_d(5)$	32,07	5	0,472
$E_d(7)$	11,85	7	0,480
Média =			<b>0,472</b>

Com base na equação (3) e substituindo os valores de  $K_d$  e  $\zeta$  por 0,472 e 4,6, respectivamente, obtém-se a profundidade da zona eufótica ( $Z_{\text{zona eufótica}} = 9,74$  m). Substituindo o valor de  $Z_{\text{zona eufótica}}$ ,  $E_d(0)$  e  $K_d$  na equação (1) obtém-se o valor da irradiância descendente na profundidade limite da zona eufótica ( $E_d(9,74) = 3,4$ ), ou seja, 1% do valor de  $E_d(0)$ . A atenuação da irradiância descendente em porcentagem, considerando  $E_d(0) = 100\%$ , em função da profundidade pode ser vista na figura 6.

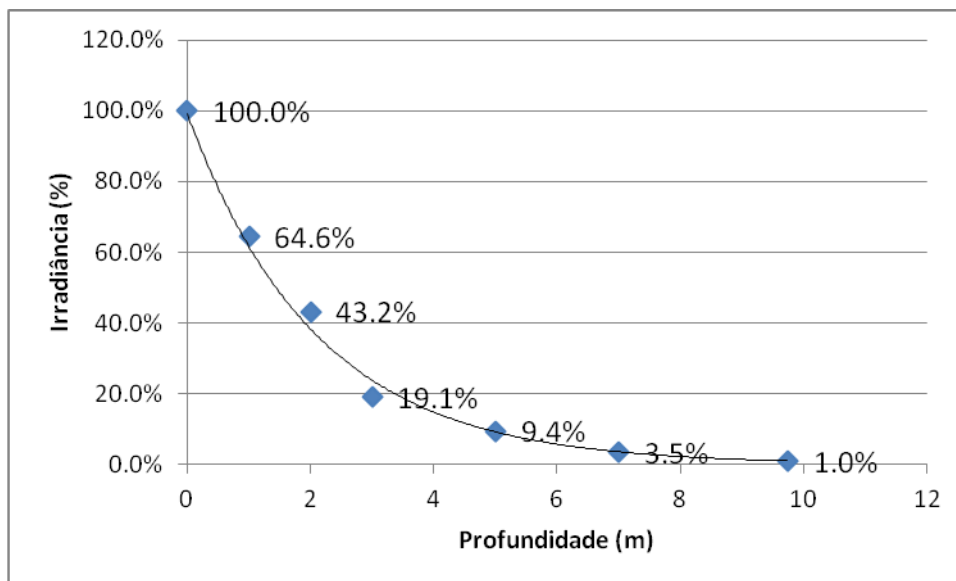


Figura 6. Atenuação da irradiância descendente em função da profundidade

A figura 7 mostra a distribuição da altura da vegetação aquática submersa em função da profundidade. Além disso, é possível visualizar o comportamento dessa vegetação sobre a influência de diferentes disponibilidades de radiação.

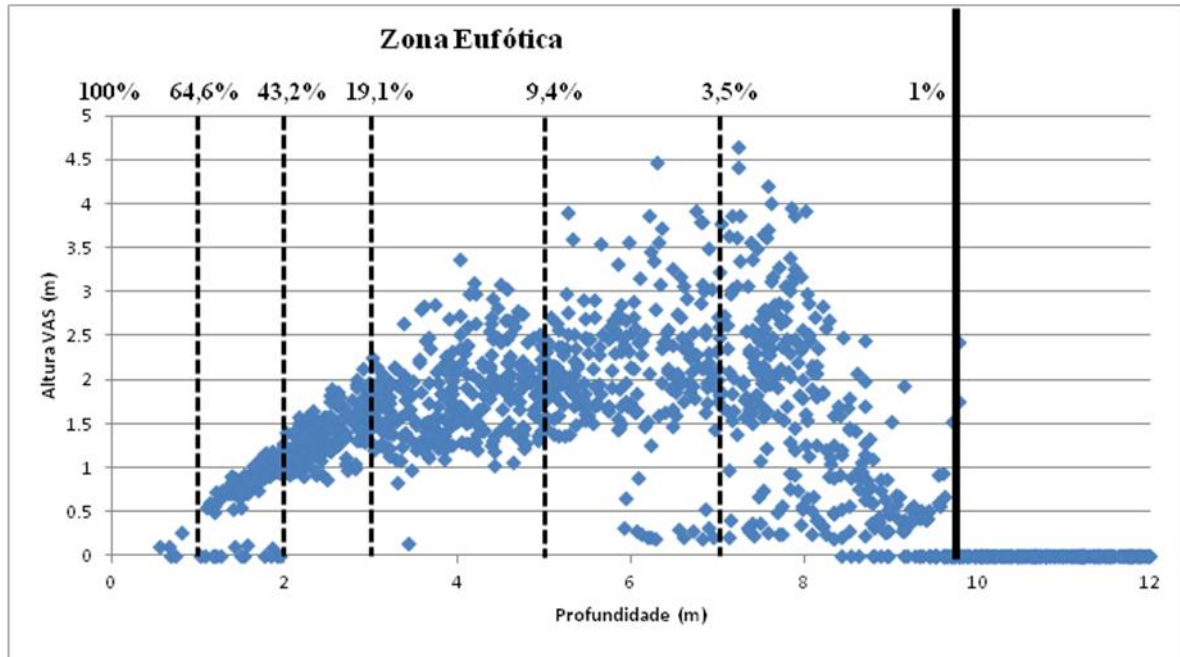


Figura 7. Distribuição da altura da vegetação aquática submersa em função da profundidade.

Observa-se um aumento gradual nos valores de altura da VAS à medida que a profundidade aumenta. Esse padrão é interrompido ao se aproximar do limite da zona eufótica, ou seja, quando a irradiação descendente se aproxima de 1 % da irradiação descendente de subsuperfície.

Observa-se um aumento gradual nos valores de altura da VAS à medida que a profundidade aumenta. Esse padrão é interrompido na região cuja profundidade aproxima-se do limite da zona eufótica, ou seja, onde a irradiação descendente se aproxima de 1 % da irradiação descendente de subsuperfície. Apesar disso, os valores de altura mais altos estão concentrados em uma faixa entre 9,4 – 2,3% da irradiação.

#### 4. Conclusões

Considerando a faixa com profundidade de até 1 metro ( $E_d(z)/E_d(0)$  entre 100% e 64,6%) observa-se que as macrófitas submersas, apesar da alta disponibilidade de radiação, não ocupam toda a coluna de água. Isso pode ocorrer pelo excesso de radiação disponível para a vegetação aquática, já que a espécie presente (*E. densa* e *E. najas*) necessita de baixa disponibilidade de radiação para se desenvolver e o excesso da mesma pode dificultar seu desenvolvimento (RODRIGUES e THOMAZ, 2010; TAVECHIO E THOMAZ, 2003) e também pela forte ação dos ventos (ondas) próximos às margens (THOMAZ, 2006).

Entre as profundidades 1 e 5 metros ( $E_d(z)/E_d(0)$  entre 64,6% e 9,4%), os valores da altura da VAS aumentam com o aumento da profundidade e, conseqüentemente, com a diminuição da disponibilidade de radiação. Apesar de diminuir a quantidade de radiação, esta ainda é suficiente para o crescimento das espécies presentes nessa região, pois necessitam de baixa quantidade de radiação. Com o aumento da profundidade e com disponibilidade de radiação suficiente, a vegetação submersa tem espaço para crescer.

A partir dos 5 metros de profundidade até aproximadamente 8 metros ( $E_d(z)/E_d(0)$  entre 9,4% e 2,3%) não é observado uma tendência de aumento ou diminuição na altura da VAS, porém, é nessa faixa em que se encontram os maiores valores de altura. Isso provavelmente ocorre pela característica da espécie de macrófita que tende a se alongar até encontrar radiação suficiente para seu desenvolvimento (RODRIGUES e THOMAZ, 2010).

Na região final da colonização, próxima da profundidade da zona eufótica ( $E_d(z)/E_d(0)$  próximo de 1%), observa-se uma diminuição nos valores de altura da VAS. Em profundidades maiores que a zona eufótica não houve registro de ocorrência dessa vegetação aquática submersa.

Finalmente, pode-se dizer que o estudo da atenuação vertical da irradiância descendente na coluna de água pode contribuir para o entendimento do comportamento da vegetação aquática submersa em diferentes ambientes aquáticos.

### Agradecimentos

À FEPAF – Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais pelo financiamento dos trabalhos de campo e ao PPGCC – Programa de Pós Graduação em Ciências Cartográficas pela estrutura fornecida.

### Referências Bibliográficas

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

BIUDES, J. F. V.; CAMARGO, A. F. M. Estudos dos fatores limitantes à produção primária por macrófitas aquáticas no Brasil. **Oecol. Bras.**, 12 (1): 7-19, 2008.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 3ª Edição. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

KIRK, J. T. O. **Light and photosynthesis in aquatic ecosystems**. 3rd ed. New York: Cambridge University Press, 2011.

MARCONDES, D. A. S.; MUSTAFÁ, A. L.; TANAKA, R. H. Estudos para manejo integrado de plantas aquáticas no reservatório de Jupia. In: Thomaz, S. M.; Bini, L. M. (Editores). **Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas**. Maringá: EDUEM, 2003.

RODRIGUES, R. B.; THOMAZ, S. M. Photosynthetic and growth responses of *Egeria densa* to photosynthetic active radiation. **Aquatic Botany**, v. 92, p. 281-284, 2010.

ROTTA, L. H. S.; IMAI, N. N.; BATISTA, L. F. A.; BOSCHI, L. S.; GALO, M. L. B. T.; VELINI, E. D. Sensoriamento remoto hidroacústico no mapeamento de macrófitas aquáticas submersas. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 30, n. 2, p. 229-239, 2012.

TAVECHIO, W. L. G.; THOMAZ, S. M. Effects of Light on the Growth and Photosynthesis of *Egeria najas* Planchon. **Brazilian Archives of Biology and Technology**. Vol.46, n. 2 : p. 203-209, 2003.

THOMAZ, S. M. Fatores que afetam a distribuição e o desenvolvimento de macrófitas aquáticas em reservatórios: uma análise em diferentes escalas. In: **Ecologia de reservatórios: impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascata**. 2ª Edição. Org.: NOGUEIRA, M. G.; HENRY, R.; JORCIN, A. São Carlos – SP: Editora RiMa, 2006.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.