

Rafael Taminato Hirata

**Relação da distribuição espacial de *Egeria densa*
com as variáveis do ambiente, na represa
Guarapiranga - SP**

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, para a obtenção de Título de Mestre em Ciências, na Área de Ecologia de Ecossistemas Terrestres e Aquáticos.

Orientador: Dr. Marcelo L. M. Pompêo

São Paulo

2011

Taminato Hirata, Rafael

Relação da distribuição espacial de
Egeria densa com as variáveis do ambiente,
na represa Guarapiranga - SP

41 p.

Dissertação (Mestrado) - Instituto de
Biociências da Universidade de São Paulo.
Departamento de Ecologia.

1. Palavra- *Egeria densa* 2. macrófita
3. plantas aquáticas. I. Universidade de São
Paulo. Instituto de Biociências.
Departamento de Ecologia.

Comissão Julgadora:

Prof(a). Dr(a).

Prof(a). Dr(a).

Prof(a). Dr.(a). Marcelo L. M. Pompêo

Orientador

Dedicatória

Aos meus pais, Mari e Mario

minha irmã, Priscila

e a Camila

Por toda a paciência, amor e incentivo .

Obrigado

Agradecimentos

Agradeço ao prof. Marcelo Pompêo, pela orientação e dedicação e os papos intermináveis durante a orientação.

A todo o pessoal do laboratório, tanto os que já passaram quanto os atuais, e em especial ao grupinho das macrófitas que são os melhores.

Aos técnicos e secretárias do departamento de Ecologia e da Pós Graduação, pela ajuda no campo e pelos bons momentos no departamento.

As professoras Ana Lúcia Brandimarte, Marisa Bittencourt e Cristina Nordi pelas sugestões na banca de qualificação.

Aos bombeiros da base da Guarapiranga, por serem muito prestativos e nos resgatar quando o tempo mudava.

A Capes, pela bolsa de mestrado.

Índice

Introdução Geral	06
Bibliografia	08
Capítulo 1	
I – Resumo	11
II – Abstract	12
III – Introdução	13
IV – Material e Métodos	13
V – Resultados	16
VI – Discussão	21
VII – Bibliografia	23
Capítulo 2	
I – Resumo	26
II – Abstract	27
III – Introdução	28
IV – Material e Métodos	29
V – Resultados	32
VI – Discussão	36
VII – Bibliografia	38

Introdução geral

Reservatórios são sistemas aquáticos artificiais formados, geralmente, na base das bacias de drenagem de rios e que podem receber grandes cargas de nutrientes e sedimentos, devido a grande bacia de drenagem dos rios que os formam (Wetzel, 1990). A formação de reservatórios propicia a colonização deste ambiente por diversos organismos, como as macrófitas aquáticas.

Macrófitas aquáticas são definidas como vegetais visíveis a olho nu, cujas partes fotossintetizantes estão ativas permanentemente, ou por diversos meses, todos os anos, total ou parcialmente submersas em água doce ou salobra, ou ainda flutuantes na mesma (Irgang & Gastal Jr., 1996). As macrófitas aquáticas apresentam várias adaptações morfológicas e fisiológicas que as tornam consideravelmente plásticas e capazes de colonizar ambientes com diferentes características físicas e químicas (Thomaz & Bini 1999; Camargo et al., 2003), dessa forma é possível classificá-las quanto a suas formas de vida, como flutuantes livres, enraizadas, submersas, emergentes e enraizadas com folhas flutuantes (Esteves 1998).

O gênero *Egeria* compreende apenas três espécies de macrófitas aquáticas, sendo *Egeria densa* Planchon, *Egeria heterostemon* S.Koehler & C.P.Bove (Koehler & Bove 2001) e *Egeria najas* Planchon, todas nativas da América do Sul. *E. densa* macrófita aquática submersa enraizada que foi introduzida em diversos países no final do século XIX e atualmente apresenta grande área de distribuição, compreendendo desde os climas tropicais quentes a subtropicais frios (Cook & Urmi-König 1984). *E. densa* pode ser encontrada nos mais diferentes ambientes, como em rios (Feijoó et al. 1996), lagos (de Winton & Clayton 1996), represas (Dutartre et al., 1999), canais de irrigação (Haramoto & Ikusima 1988), wetlands (Marín et al. 2009) e em ambientes com diferentes graus de trofia, como ambientes oligotróficos (Pistori et al., 2004) e eutróficos (Bini & Thomaz, 2005).

A grande capacidade de tolerância ambiental de *E. densa* pode causar prejuízos ao homem, sendo registrados no mundo todo problemas de proliferação indesejada e remoção de espécies nativas do ambiente (Haramoto & Ikusima, 1988; Wells et al., 1997, de Winton & Clayton, 1996) , no Brasil esta espécie também tem causado prejuízos aos reservatórios destinados a produção de eletricidade e abastecimento público (Thomaz & Bini, 1999). Os reservatórios destinados à produção elétrica podem

ser muito prejudicados pelas plantas submersas, como a situação onde a companhia CHESF (Companhia Hidro Elétrica do São Francisco), no sistema Moxotó-Paulo Afonso (BA), despendeu recursos para retirar *E. densa*, retida nas grades de proteção de entrada de água das turbinas e consequente interrupção das turbinas (Pompêo, 1999).

Diversas abordagens para controle do crescimento de macrófitas aquáticas podem ser empregadas, controle físicos, mecânicos, biológicos e químicos. Os métodos podem ser aplicados tanto para casos de infestações quanto controle e gerenciamento de macrófitas aquáticas, sendo importante conhecer a biologia da planta e realizar o seu monitoramento para que a população não atinja proporções alarmantes (Pompêo, 2008).

As macrófitas aquáticas fazem parte da biodiversidade e contribuem positivamente com diversos processos ecológicos dos sistemas, aumentando a produtividade e a retenção de nutrientes nos ecossistemas (Engelhardt & Ritchie, 2001), podem alterar a dinâmica e a estrutura do fitoplâncton (Fonseca & Bicudo, 2009, Takamura et al., 2003), podem elevar a riqueza de peixes (Pelicice et al., 2005), e servir de hábitat para diversos organismos aquáticos, como o zooplâncton (Geraldés & Boavida, 2004) e peixes (Pelicice et al., 2005). As macrófitas aquáticas podem ser utilizadas na remoção de nutrientes e controle da eutrofização, por meio do seu crescimento controlado (Pompêo, 2008), como na remoção de nitrogênio e redução da turbidez da água em cultivos de peixes (Ng et al., 1990; Henry-Silva & Camargo, 2008).

A grande capacidade de proliferação de macrófitas aquáticas foi registrada em diversos locais da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), sendo registrados eventos de proliferação de *Salvinia* sp. na represa Rio Grande em 2004-2005 e represa Paiva Castro 2008, proliferação de *Polygonum lapathifolium* na represa Guarapiranga em 2005 (Andrade, 2009) e em 2008 foi observado um grande crescimento de *E. densa* na represa Guarapiranga (observação pessoal).

A represa Guarapiranga possui 134 espécies de macrófitas aquáticas (Rodrigues 2011) e abastece cerca de 3,7 milhões de habitantes (cerca de 20% da população da RMSP) (Whately & Cunha, 2006), assim a presente dissertação foi motivada pela capacidade de proliferação de *E. densa* neste importante reservatório urbano. Os objetivos desta dissertação foram analisar a distribuição espacial de *E. densa* em relação às variáveis ambientais da água e a relação das variáveis físicas e morfométricas do ambiente com a zonação e a abundância de *E. densa*. O conhecimento dos fatores limitantes à produção

de macrófitas aquáticas são fundamentais em estratégias de monitoramento de espécies potencialmente infestantes (Thomaz, 2002; Camargo et al., 2003; Pompêo, 2008).

O primeiro capítulo da dissertação tratou da descrição de uma heterogeneidade espacial da água da represa na região média, assim como da maior frequência de colonização e abundância de *E. densa* no lado oeste da represa. O segundo capítulo tratou da relação da declividade do litoral com a colonização e abundância de *E. densa*. Em ambos os capítulos, *E. densa* foi registrada em grande profundidade no corpo principal da represa, apesar da baixa transparência da água encontrada. Assim a colonização por *E. densa* pode ser um fator preocupante que pode prejudicar os múltiplos usos do sistema.

Bibliografia

ANDRADE, A. A. S. Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas em represas brasileiras - Controle de macrófitas em represas da RMSP. Ciclo de Conferências de Gestão Ambiental – SABESP, São Paulo, 2009.

BINI, L. M. & THOMAZ, S. M. Prediction of *Egeria najas* and *Egeria densa* occurrence in a large subtropical reservoir (Itaipu Reservoir, Brasil – Paraguay). *Aquat. Bot.*, v. 83, n. 3, p. 227-238, 2005.

CAMARGO, A.F.M.; et al. Fatores limitantes à produção primária de macrófitas aquáticas. In: THOMAZ, S.M. & BINI, L.M. Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas. Ed. Universidade Estadual de Maringá, 2003.

COOK, C.D.K. & URMI-KÖNIG, K. A revision of the genus *Egeria* (Hydrocharitaceae). *Aquat. Bot.* 19, 73–96, 1984.

de WINTON, M. D.; CLAYTON, J. S., The impact of invasive submerged weed species on seed banks in lake sediments. *Aquatic Bot.*, v. 53, p. 31-45, 1996.

DUTARTRE, A., HAURY, J., JIGOREL, A. Succession of *Egeria densa* in a drinking water reservoir in Morbihan (France). *Hydrobiologia*, 415, 243-247, 1999.

ENGELHARDT, K. A. M. & RITCHIE, M. E. Effects of macrophyte species richness on wetland ecosystem functioning and services. *Nature* 411, 687-689, 2001.

ESTEVEZ, F. de A.; Fundamentos de Limnologia; Interciência; Rio de Janeiro, 2ª ed. p. 602, 1998.

FEIJOÓ, C.S., MOMO, F.R., BONETTO, C.A., TUR, N.M., Factors influencing biomass and nutrient content of the submersed macrophyte *Egeria densa* Planch. in a pampasic stream. *Hydrobiologia* 341, 21–26, 1996.

- FONSECA, B.M. & BICUDO, C.E.M. How important can the presence/absence of macrophytes be in determining phytoplankton strategies in two tropical shallow reservoirs with different trophic status? *Journal of Plankton Research*, vol. 32, no. 1, p. 31-46, 2010.
- GERALDES, A.M. & BOAVIDA, M.J. Do littoral macrophytes influence crustacean zooplankton distribution? *Limnetica* 23, 57–64, 2004.
- HARAMOTO, T. & IKUSIMA, I. Life-cycle of *Egeria densa* Planch, an aquatic plant naturalized in Japan. *Aquat. Bot.* 30, 389–403, 1988.
- HENRY-SILVA, G. G. & CAMARGO, A. F. M. Impacto das Atividades de Aquicultura e Sistemas de Tratamento de Efluentes com Macrófitas Aquáticas. *Boletim do Instituto de Pesca*, v. 34, p. 165-175, 2008.
- IRGANG, B. E. & GASTAL JR., C.V.S. Macrófitas aquáticas da planície costeira do RS. Porto Alegre, p.290, 1996.
- KOEHLER, S. & BOVE, C.P. Hydrocharitaceae from Central Brazil: A New Species of *Egeria* and a Note on *Apalanthé granatensis* Novon Vol. 11, No. 1 (Spring), pp. 63-66, 2001.
- MARÍN, V. H. et al. On the sudden disappearance of *Egeria densa* from a Ramsar wetland site of Southern Chile: a climatic event trigger model. *Ecological Modelling*. 220, 1752-1763, 2009.
- NG, W.J. et al. The effect of *Elodea densa* on aquaculture water quality. *Aquaculture*, 87: 267-276, 1990.
- PELICICE, F.M. et al. Fish assemblages associated with *Egeria* in a tropical reservoir: investigating the effects of plant biomass and diel period. *Acta Oecologica (Montrouge)*, v. 27, p. 9-16, 2005.
- PISTORI, R. E. T. et al. Relative growth rate and doubling time of the submerged aquatic macrophyte *Egeria densa* Planch.. *Acta Limnologica Brasiliensis*, Botucatu, v. 16, n. 1, p. 77-84, 2004.
- POMPÊO, M.L.M. *Perspectivas da limnologia no Brasil*. São Luís: Gráfica e Editora União, 191 pg, 1999.
- POMPÊO, M. L. M. Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas. *Oecologia Brasiliensis*, v. 12, p. 406-424, 2008.
- RODRIGUES, M.E.F. Levantamento florístico e distribuição de macrófitas aquáticas na Represa Guarapiranga, São Paulo, Brasil. 203 f. Dissertação em preparação (mestrado em Botânica), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- TAKAMURA, N. et al. Effects of aquatic macrophytes on water quality and phytoplankton communities in shallow lakes. *Ecol. Res.*, 18, 381–395, 2003.

THOMAZ, S.M. & BINI, L.M. A expansão das macrófitas aquáticas e implicações para o manejo de reservatórios: um estudo na Represa de Itaipu. In: HENRY, R. (Ed.). Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais. Botucatu, FUNDIBIO: FAPESP, p.597-626, 1999.

THOMAZ, S.M. Fatores ecológicos associados à colonização e ao desenvolvimento de macrófitas aquáticas e desafios de manejo. Planta daninha, Viçosa, v. 20, n. spe, 2002

Wells, R.D.S. et al. Successive macrophyte invasions within the submerged flora of Lake Tarawera, Central North Island, New Zealand. N. Z. J. Mar. Freshwater 31, 449–459, 1997.

WETZEL, R. G. Reservoir ecosystems: conclusions and speculations. In: THORNTON, K. W.; KIMMEL, B. L. PAYNE, F. E. Reservoir limnology: ecological perspectives. New York, John Wiley & Sons Inc, p.227-238, 1990.

WHATELY, M. & CUNHA, P. M. Guarapiranga 2005 - Como e por que São Paulo está perdendo este Manancial: resultados do diagnóstico socioambiental participativo da bacia hidrográfica da Guarapiranga. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2006.

Capítulo 1

Distribuição espacial de *Egeria densa* (Hydrocharitaceae) em um reservatório urbano eutrofizado

Resumo

As macrófitas aquáticas possuem grande importância no ambiente aquático, contribuindo em diversos processos ecológicos. No entanto, o seu crescimento exagerado pode causar problemas aos sistemas aquáticos. Dessa maneira, o objetivo do estudo é analisar a distribuição espacial de *Egeria densa* em relação às variáveis ambientais da água. O estudo foi realizado na represa Guarapiranga (São Paulo – SP), na região média do corpo principal, onde se encontra a maior abundância de *E. densa*. Foi utilizada uma grade de pontos regularmente distribuída no corpo principal, sendo constituída de 133 pontos de coleta, onde foram medidos a profundidade máxima, profundidade máxima de colonização, o oxigênio dissolvido, o pH, a condutividade elétrica e a transparência da água (SD). O coeficiente de atenuação de luz (k) foi calculado utilizando um modelo não-linear proposto para ecossistemas neotropicais, utilizando a transparência da água, e por meio do k foi calculada a zona fótica. A presença de *E. densa* foi verificada utilizando um rastelo e sua abundância medida por uma escala de abundância visual. A coleta de água superficial foi realizada em nove pontos, sendo analisados o nitrogênio e o fósforo total. A profundidade máxima de colonização foi de 7,65 m e *E. densa* ocorreu em 32% do total de pontos amostrados, sendo 11% no lado leste e 21% no lado oeste. Uma heterogeneidade espacial foi observada para a água entre os lados leste e oeste, sendo também observada na análise de componentes principais (PCA). A heterogeneidade espacial encontrada na represa pode ser responsável pela maior presença de *E. densa* no lado oeste, devido a menor profundidade, maior zona fótica e menor grau de trofia encontrado nesta região. A flutuação do nível da represa também pode ser um fator que determine a maior presença de *E. densa* no lado oeste, assim como a grande profundidade de colonização encontrada na represa Guarapiranga.

Palavras-chave: *Egeria densa*, macrófita, reservatório, plantas aquáticas, disco de Secchi.

Spatial distribution of *Egeria densa* (Hydrocharitaceae) in a eutrophic urban reservoir

Abstract

Aquatic macrophytes have great importance in the aquatic environment, contributing in various ecological processes. However, their excessive growth can cause problems for aquatic systems. The objective of the study is to analyze the spatial distribution of *Egeria densa* in relation to environmental variables of water. The study was conducted in Guarapiranga (São Paulo - SP), in the middle of the main body, where the highest abundance of *E. densa*. A grid of points regularly distributed in the main body was used, composed of 133 points, which was measured the maximum depth, maximum depth of colonization, dissolved oxygen, pH, electrical conductivity and water transparency (SD). The light attenuation coefficient (k) was calculated using a nonlinear model proposed for neotropical ecosystems using water transparency, and through k the photic zone was calculated. The presence of *E. densa* was verified using a rake and its abundance measured by a visual scale of abundance. The collection of surface water was performed in nine points, and analyzed for total nitrogen and phosphorus. The maximum depth of colonization was 7.65 m. *E. densa* occurred in 32% of the total number of points sampled, 11% on the east side and 21% on the west side. A spatial heterogeneity was observed for the water between the east and west sides, and is also observed in the principal component analysis (PCA). The spatial heterogeneity found in the dam can be responsible for the increased presence of *E. densa* on the west side due to less depth, the greater the photic zone and a lower degree trophic state found in this region. The fluctuation in the level of the dam can also be a factor determining the increased presence of *E. densa* on the west side, and the great depth of colonization found in Guarapiranga.

Key Words: *Egeria densa*; macrophyte, reservoir, aquatic plants, Secchi disk .

Introdução

As macrófitas aquáticas possuem grande importância no ambiente aquático, pois realizam um papel chave nos processos ecológicos desses sistemas. Elas aumentam a produtividade e a retenção de nutrientes nos ecossistemas (Engelhardt & Ritchie, 2001), alteram a dinâmica e a estrutura do fitoplâncton (Fonseca & Bicudo, 2010, Takamura et al., 2003), elevam a riqueza de peixes (Pelicice et al., 2005), e servem de hábitat para diversos organismos aquáticos, como o zooplâncton (Geraldos & Boavida, 2004). As macrófitas aquáticas também podem ser utilizadas na remoção de nitrogênio e redução da turbidez da água em cultivos de peixes (Ng et al., 1990; Henry-Silva & Camargo, 2008).

As macrófitas aquáticas têm sido alvo de diversos estudos, devido a sua capacidade de produzir biomassa (Carrillo et al., 2006, Pompêo et al., 2009) e colonizar grandes áreas nos ambientes aquáticos (Novo et al., 2010) e acabam interferindo nos múltiplos usos dos sistemas aquáticos (Thomaz, 2002). *Egeria densa* Planch. (Hydrocharitaceae) é uma espécie de macrófita aquática submersa que tem causado muitos prejuízos no Brasil, como o entupimento da tubulação de hidroelétricas (Pompêo, 1999; Thomaz & Bini, 1999) e também onde foi introduzida, causando restrições à navegação e perda de habitats de macrófitas nativas (Roberts et al., 1999).

Devido aos diversos problemas que as macrófitas aquáticas (principalmente as espécies submersas) podem causar nos ambientes aquáticos, o estudo dos fatores ambientais que podem limitar essa população é de grande importância para o monitoramento e manejo desses ambientes (Pompêo, 2008). Dessa maneira, o objetivo do estudo é analisar a distribuição espacial de *Egeria densa* em relação às variáveis ambientais da água.

Material e Métodos

Área de estudo

O estudo foi realizado na represa Guarapiranga, localizada na região metropolitana de São Paulo (RMSP) (23° 43' S e 46° 32' O), que possui 134 espécies de macrófitas

aquáticas (Rodrigues, 2011) e abastece aproximadamente 3,7 milhões de habitantes da RMSP (Whately & Cunha, 2006). O reservatório possui uma área de 33 Km², tempo de residência médio de 90 dias e profundidade máxima de 13 m (CETESB, 2009; Morais et al., 2010). O nível da água do reservatório oscilou entre 2006 a 2010 em 4,59 m (máximo= 731,81 m mínimo= 736,40 m, média= 734,71 m; n= 1674) (EMAE dados não publicados¹). A região amostrada é considerada eutrófica, segundo índice de estado trófico de Carlson modificado por Lamparelli (CETESB, 2009). O nível da represa no momento do estudo foi de 736,21 m. Estudos anteriores dos parâmetros da água realizados em locais distribuídos na represa Guarapiranga (Padial, 2008; Rodrigues, 2011 e Godoi, comunicação pessoal²) indicam grande variabilidade dos parâmetros analisados (Tabela 1).

Tabela 1 - Estatística descritiva dos dados obtidos para as variáveis físicas e químicas estudadas durante o período de 2007 a 2010 na represa Guarapiranga (d.p. = desvio padrão).

Variável	Mínimo	Máximo	Média	d.p.	n
Condutividade elétrica (µS.cm ⁻¹)	32,00	562,00	128,00	70,66	216
pH	5,87	10,06	7,66	0,84	217
Transparência (m)	0,22	2,15	0,99	0,42	209
Nitrogênio Total (mg.L ⁻¹)	0,56	54,75	20,64	14,23	38
Fósforo Total (mg.L ⁻¹)	0,03	3,52	0,51	0,64	37

Amostragem dos dados

A amostragem foi realizada em novembro de 2009 na região média do corpo principal da represa Guarapiranga (Figura 1), priorizando a região da ilha dos eucaliptos, onde se observa uma região com maior abundância de *E. densa*. A amostragem dos pontos de coleta foi realizada em dois dias consecutivos, utilizando-se de uma grade de pontos regularmente distribuída na represa. A grade de pontos foi constituída de 133 pontos, sendo distantes entre si no sentido latitudinal por 250 m e no sentido longitudinal

¹Empresa Metropolitana de Águas e Energia S.A. – EMAE

² Godoi, E.L. USP, IB, depto. Ecologia

distantes entre si a cada 50 m ou 100 m. Os pontos localizados próximos a margem distavam entre si a cada 50 m e os pontos localizados no corpo principal a cada 100 m (Figura 1). O cálculo da área do reservatório foi realizado pelo programa Google Earth 6.0. A coleta de água superficial foi dada em nove estações distribuídas na região de coleta, sendo analisados o nitrogênio total (Valderrama, 1981 e HACH protocolo nitrato 8192) e o fósforo total (Valderrama, 1981).

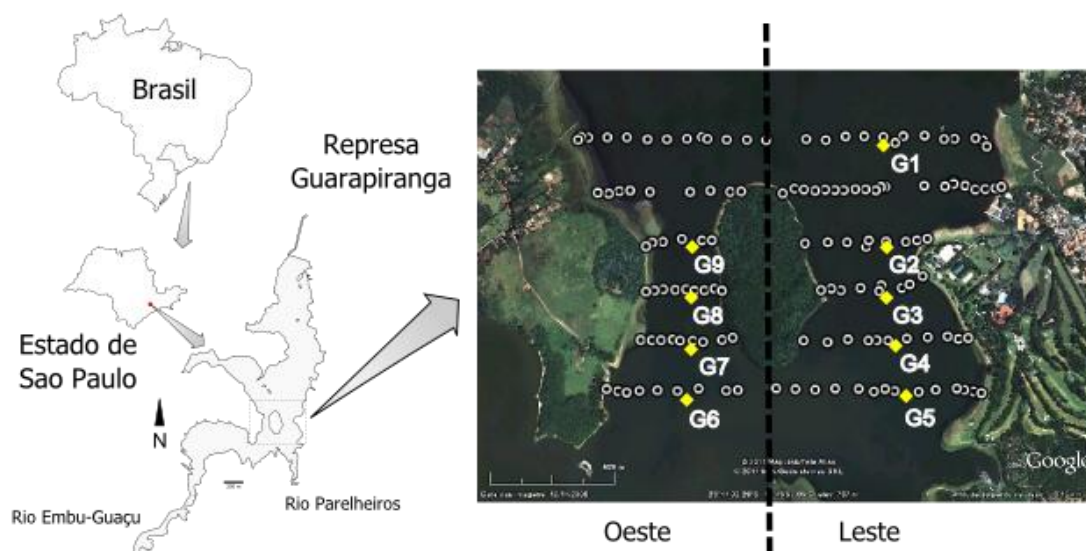


Figura 1. Localização da Represa Guarapiranga (SP) e ampliação da região média onde foi realizada a amostragem dos dados, com uma divisão em lados leste e oeste. Os pontos de coleta de *E. densa* estão indicados no mapa pelo círculo branco e preto e os pontos de coleta de água indicados pelo losango.

Em cada ponto de coleta foram medidos a profundidade máxima, a transparência da água (SD), por meio de um disco de Secchi de 15 cm, e o oxigênio dissolvido, o pH e a condutividade elétrica medidos por meio de sonda multiparâmetros (YSI 556 MPS). A partir do valor da transparência da água foi calculado o coeficiente de atenuação de luz (k), utilizando um modelo não-linear proposto para ecossistemas neotropicais, dado pela equação $k = 2,00 \times SD^{-0,76}$ (Padial & Thomaz, 2008). A zona fótica (Z_{eu}) (1% da radiação sub-aquática) foi calculada por meio do k, segundo a lei de Lambert-Beer, através da equação $Z_{eu} = \ln(0,01)/-k$. A razão zona fótica/profundidade máxima foi

utilizada devido a interpretação de chegada de luz até o sedimento, quanto mais próximo o valor da razão chegar a um.

A presença e a abundância de *E. densa* em cada ponto foi registrada por meio do arraste no fundo de dois rastelos juntos e amarrados a uma corda (Kenow et al., 2007). Kenow et al., (2007) utilizou uma escala de abundância visual com cinco índices de preenchimento do rastelo, sendo o valor 1 correspondente a 1-20%, o valor 2 de 21-40%, o valor 3 de 41 – 60%, o valor 4 de 61-80% e o valor 5 de 81-100% de preenchimento do rastelo. No entanto, neste estudo optou-se por modificar a quantificação visual para três índices, devido a dificuldade em campo de discernir o preenchimento do rastelo. Assim, foi utilizado uma escala visual com três índices, sendo o valor 0 correspondente a ausência de planta, o valor 1 correspondente a 1-20% de preenchimento, o valor 2 correspondente a 21-100%. Foi medida a profundidade máxima de colonização (Z_c) de *E. densa*, sendo definida como sendo a profundidade máxima que *E. densa* foi registrada no ponto (Spears et al., 2009).

Análise estatística

Uma análise de componentes principais (PCA) foi realizada visando quantificar a estrutura dos dados, utilizando as variáveis nitrogênio total, fósforo total, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, pH e transparência da água, utilizando o programa MVSP 3.1. A frequência de ocorrência *E. densa* foi calculada pela fórmula $(s/N)*100$, onde s corresponde ao número de pontos onde a espécie estava presente e N é o total de pontos amostrados.

Resultados

As variáveis físicas e químicas da água apresentam valores baixos para todos os parâmetros, em relação ao histórico da represa, exceto a transparência da água que apresentou um valor superior à média histórica (Tabela 2).

Tabela 2. Estatística descritiva das variáveis físicas e químicas da água na região média da represa Guarapiranga.

Variáveis	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
Condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	95,00	124,00	108,95	7,12
Fósforo total ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) *	0,17	0,48	0,30	0,10
Nitrogênio total ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) *	4,33	11,31	8,24	1,91
Oxigênio dissolvido ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	2,67	7,70	5,04	1,50

pH	6,85	7,68	7,21	0,26
Transparência (m)	1,13	1,60	1,33	0,20

*n=9

A amostragem não foi efetuada em profundidades menores que 2 m, devido à utilização de uma grade de pontos regularmente distribuída na represa. A maior frequência de ocorrência de *E. densa* foi no intervalo de profundidade de 5-6 m (Tabela 3), e a profundidade máxima com presença de *E. densa* registrada no estudo foi de 7,65 m. A presença de *E. densa* ocorreu em 32% do total de pontos amostrados, sendo o índice de abundância 1 registrado em 8% dos pontos e para o índice de abundância 2 registrado em 25% dos pontos (Figura 2) e 11% dos pontos encontravam-se no lado leste e 21% no lado oeste da represa (Tabela 4).

Tabela 3. Frequência de ocorrência de *Egeria densa* em relação à profundidade máxima do ponto de coleta, na represa Guarapiranga (SP).

Profundidade (m)	frequência de ocorrência
0-1	0
1-2	0
2-3	7
3-4	11
4-5	7
5-6	12
6-7	3
7-8	2

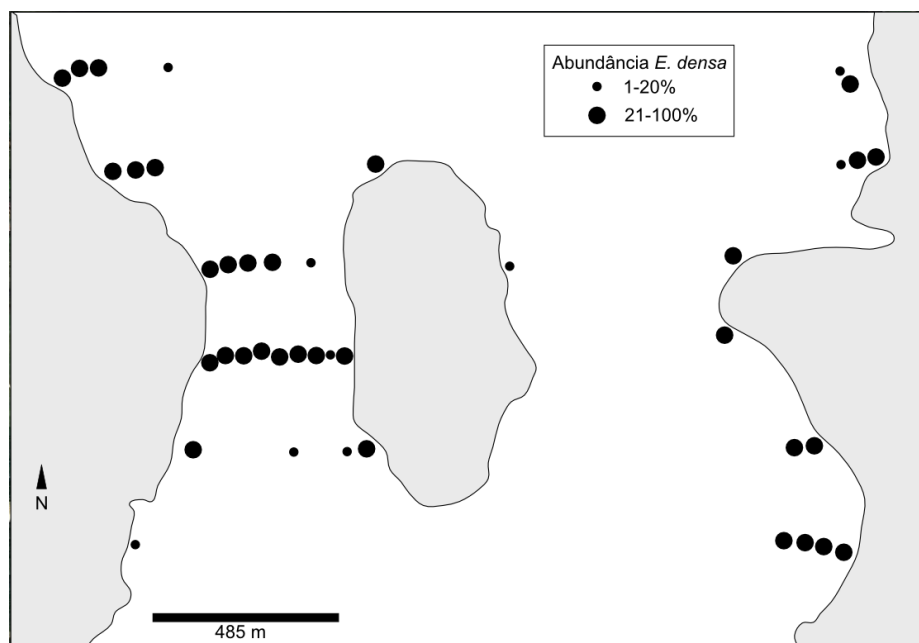


Figura 2. Distribuição de abundância de *Egeria densa* na região média da represa Guarapiranga em novembro de 2009.

Para comparar proporcionalmente os dois lados da represa, foi calculada a área aproximada de cada lado da represa e comparada com a quantidade de pontos coletados. Dessa maneira, o lado leste da represa possui 77 pontos de coleta e uma área aproximada 1,28 Km² possuindo uma razão de 60,16 pontos por Km² e o lado esquerdo 55 pontos por 0,89 Km², possuindo uma razão de 61,8 pontos por Km². Como a razão entre os dois lados é muito próxima, o esforço amostral entre as áreas é semelhante.

Analisando a frequência de ocorrência de *E. densa* separadamente entre os lados da represa, podemos verificar que o lado leste apresenta 18% de presença e o lado oeste 49% de presença. A estatística descritiva da Z_c entre os as regiões analisadas encontra-se na tabela 4. Não houve diferença significativa entre a Z_c entre as regiões analisadas. As menores abundâncias foram registradas em poucos pontos e a maior profundidade registrada nessa abundância foi de 7,65 m. As maiores abundâncias de *E. densa* ocorreram tanto nas regiões mais rasas quanto nas mais profundas, sendo registrado a profundidade de 2,13 m até 6,30 m (Figura 3).

Tabela 4. Estatística descritiva da profundidade máxima de colonização (Z_c) por região de coleta, na represa Guarapiranga (SP).

Variável	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão	n
Z_c Leste	2,98	6,70	4,63	1,20	15
Z_c Oeste	2,13	7,65	4,45	1,43	28

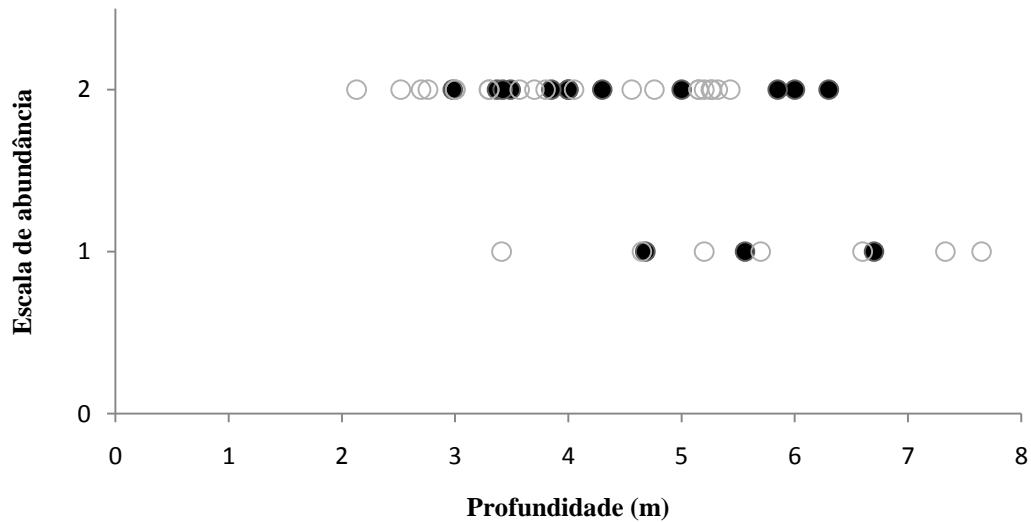


Figura 3. Gráfico de dispersão entre a profundidade de colonização e a escala de abundância de *Egeria densa*, os círculos vazios representam a região oeste e os círculos cheios a região leste da represa Guarapiranga.

O primeiro eixo da PCA explicou 50% dos dados, sendo formado pelas variáveis transparência da água (0,419), e condutividade elétrica (-0,469), o segundo eixo da PCA aumentou a explicabilidade para 77%, sendo compostos pelo pH (0,706) e fósforo total (-0,573). No gráfico da análise de PCA foi observada a formação de dois grupos, sendo um grupo composto pelos pontos G5, G6, G7, G8, relacionados a maior Transparência, pH e fósforo total e o outro grupo formados pelos pontos G1, G2, G3, G4 e G9, relacionados a maior condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e nitrogênio total (Figura 4).

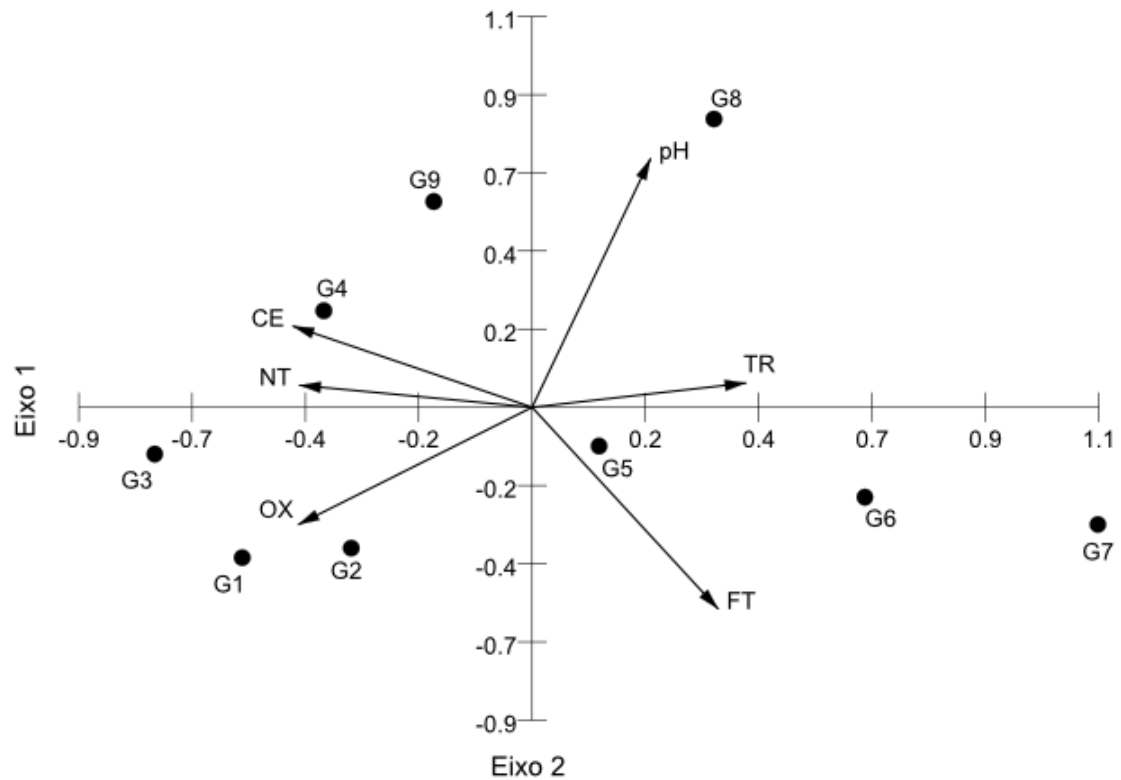
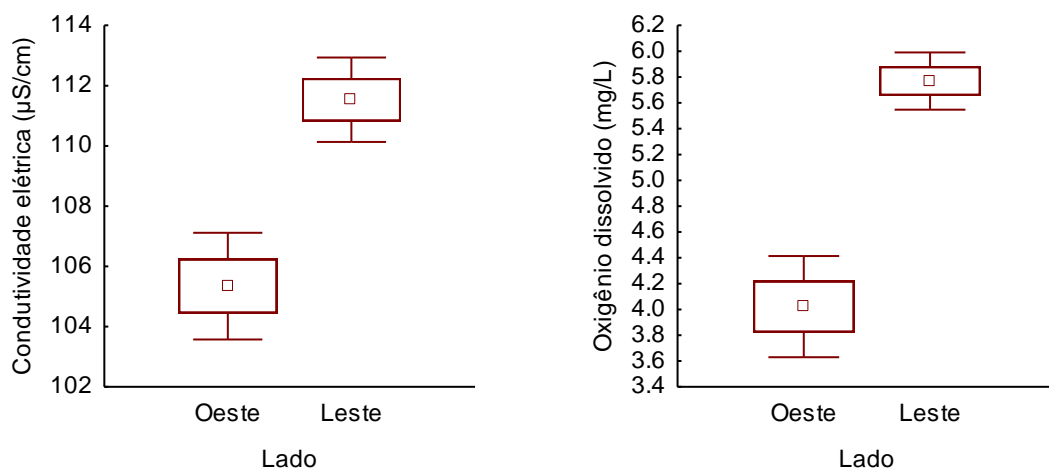


Figura 4. Análise de Componentes Principais (PCA) das variáveis condutividade elétrica (CE), fósforo total (FT), nitrogênio total (NT), oxigênio dissolvido (OX), pH e transparência da água (TR), segundo as estações de coleta de água.

Analisando as variáveis físicas e químicas da água entre os dois lados da represa separadamente, observou-se que para todas as variáveis houve diferença ($p > 0,001$) entre os lados, usando um teste-t (Figura 5).



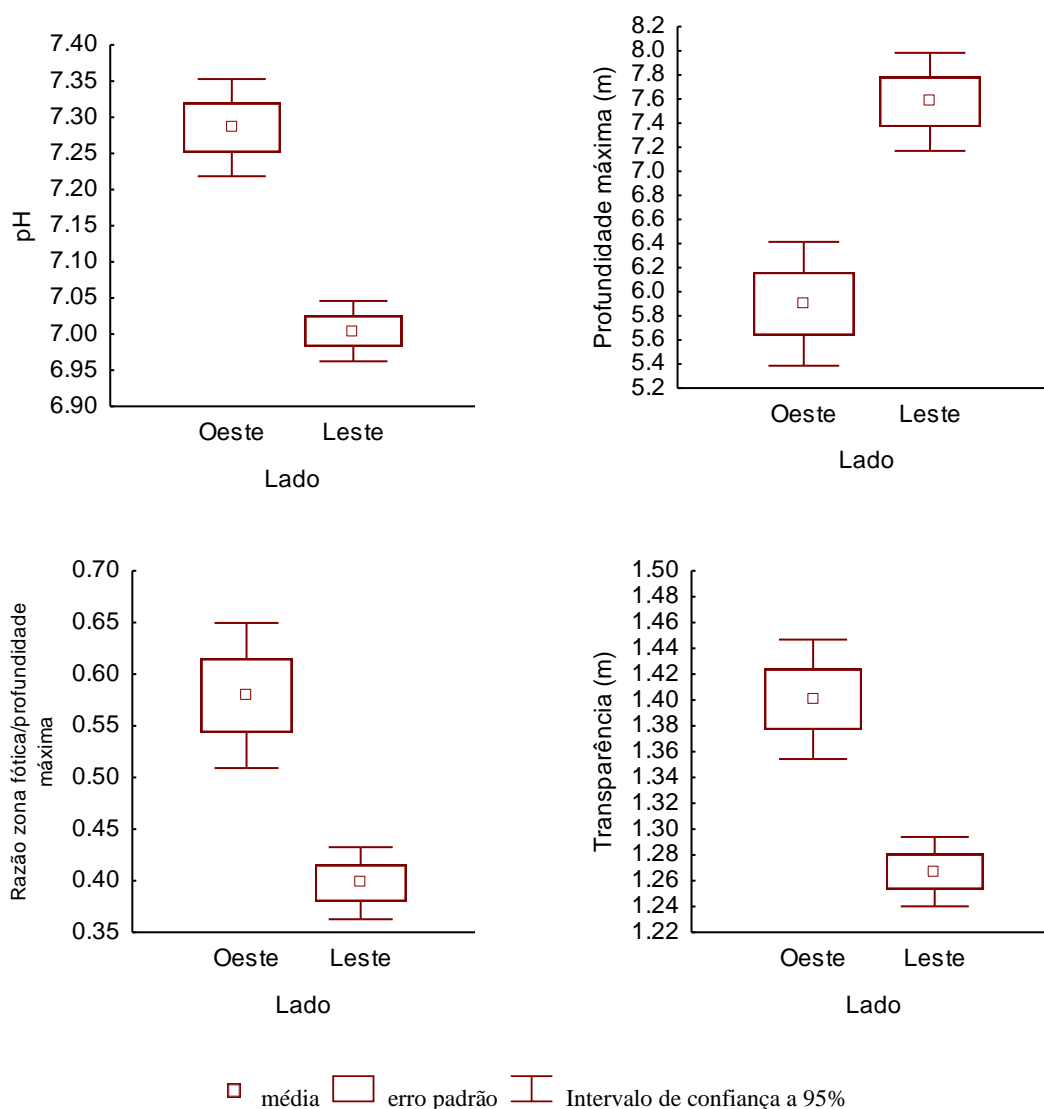


Figura 5. Teste t para as variáveis condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, pH, profundidade máxima, razão zona fótica/profundidade máxima e transparência entre os leste e oeste analisados da represa Guarapiranga.

Discussão

A heterogeneidade espacial da água na represa Guarapiranga já foi observada por Cardoso-Silva (2008) ao estudar a qualidade das águas superficiais, que observou a existência de quatro compartimentos na represa Guarapiranga, sendo dois compartimentos com característica fluvial, próximo a entrada do rio Parelheiros e rio Embu-Guaçu. A região média do presente estudo se caracterizaria como uma zona de transição e o último compartimento, próximo a barragem, caracterizado como zona lântica, segundo Cardoso-Silva, (2008). Os compartimentos próximos aos tributários

seriam distintos entre si, devido ao grau de eutrofização destes tributários, sendo o rio Parelheiros eutrófico e o rio Embu-Guaçu mesotrófico (CETESB, 2009).

O menor grau de trofia do rio Embu-Guaçu, em comparação com o rio Parelheiros, pode explicar a maior transparência da água, a menor condutividade elétrica e o maior pH na região oeste do presente estudo. A condutividade elétrica está intimamente associada com o conteúdo de íons bicarbonato, em ambientes de água doce (Vestergaard & Sand-Jensen, 2000). Como *E. densa* pode empregar o íon bicarbonato como fonte de carbono (Pierini & Thomaz, 2004), a maior condutividade elétrica encontrada no lado oeste pode explicar uma frequência maior de *E. densa* do que no lado leste da represa. Bini & Thomaz (2005) encontraram que a probabilidade de ocorrência de *E. najas* aumenta positivamente com a condutividade elétrica.

Em regiões menos eutróficas espera-se que a transparência da água seja maior do que em ambientes eutróficos, devido à menor quantidade de fósforo disponível para o fitoplâncton, ocasionando maior penetração de luz na coluna de água (Esteves, 1998). A luminosidade é considerada um importante fator limitante para as macrófitas aquáticas submersas (Bini & Thomaz, 2005, Camargo et al., 2003, Tavechio & Thomaz, 2003), assim a maior transparência da água no lado oeste pode explicar a maior quantidade de *E. densa* neste lado.

A maior razão zona fótica/profundidade máxima no lado oeste indica que a possibilidade de luz chegar até o sedimento é maior do que no lado leste, devido a maior zona fótica e menor profundidade neste trecho do reservatório. Como flutuação do nível da represa pode atingir até 4,60 m, devido ao regime de precipitação e retirada de água para abastecimento público, em determinados trechos da região oeste a zona fótica pode ser suficiente, nestes períodos de seca, para propiciar a colonização e o crescimento em trechos mais profundos. Com o aumento do nível da água, essas populações de *E. densa* podem permanecer nestes locais devido a capacidade de tolerar baixas condições de luminosidade, devido ao baixo ponto de compensação de luz, e a capacidade de alongar os entrenós nestas condições (Rodrigues & Thomaz, 2010), escapando da limitação por luz nestes ambientes.

Como *E. densa* pode estar limitada pela luminosidade na região média da represa Guarapiranga, este fator pode ser utilizado na elaboração de planos de manejo por técnicos ambientais, já que a colonização do corpo principal e regiões próximas aos

tributários (observação pessoal) pode ser um fator preocupante que prejudique os múltiplos usos do sistema, como a captação de água para abastecimento público. Um fator que pode propiciar o crescimento excessivo na represa Guarapiranga é a grande profundidade de colonização que *E. densa* pode atingir, em relação a outros reservatórios, como Itaipu. No reservatório de Itaipu as espécies de *Egeria* spp. atingem uma profundidade de até 2 m (Thomaz et al., 2003), em um reservatório com transparência de 1 m, valor que está próximo da média encontrada na represa Guarapiranga. No reservatório de Jupia, onde a transparência da água pode atingir até 4 m a *E. densa* pode atingir profundidades de colonização de 5 m (Marcondes et al., 2003), diferentemente do observado na represa Guarapiranga. O manejo da vegetação aquática é um grande desafio, no entanto a implementação de um programa de monitoramento das macrófitas aquáticas, com o estudo dos fatores limitantes e dos potenciais locais de colonização, é de grande importância, evitando o crescimento descontrolado (Pompêo, 2008).

Bibliografia

- BINI, L.M. & THOMAZ, S.M. Prediction of *Egeria najas* and *Egeria densa* occurrence in a large subtropical reservoir (Itaipu Reservoir, Brasil – Paraguay). *Aquatic Botany*, v.83, n. 3, p.227-238, 2005
- CARDOSO-SILVA, S. Heterogeneidade espacial e a qualidade das águas superficiais do reservatório Guarapiranga (São Paulo- SP- Brasil). 113 f. Dissertação (mestrado em ecologia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- CAMARGO, A.F.M.; PEZZATO, M.M.; HENRY-SILVA, G.G. Fatores limitantes à produção primária de macrófitas aquáticas. In: S.M. Thomaz & L.M. Bini, (eds.), *Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas*. EDUEM, Maringá. 341 p. 2003.
- CARRILLO Y, GUARÍN, A. & GUILLOT, G. Biomass distribution, growth and decay of *Egeria densa* in a tropical high-mountain reservoir (NEUSA, Colombia). *Aquatic Botany* 85: 7-15, 2006.
- CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2008. São Paulo: CETESB, Secretaria do meio ambiente, 2009. 528 p.
- ENGELHARDT, K.A.M. & RITCHIE, M.E. Effects of macrophyte species richness on wetland ecosystem functioning and services. *Nature*, v.411, 687-689, 2001.
- ESTEVEZ, F. de A. *Fundamentos de Limnologia*; Interciência; Rio de Janeiro, 2ª ed. p. 602, 1998.
- FONSECA, B.M. & BICUDO, C.E.M. How important can the presence/absence of macrophytes be in determining phytoplankton strategies in two tropical shallow

reservoirs with different trophic status? *Journal of Plankton Research*, vol. 32, no. 1, p. 31-46, 2010.

GERALDES, A.M. & BOAVIDA, M.J. Do littoral macrophytes influence crustacean zooplankton distribution? *Limnetica* 23, 57–64, 2004.

HENRY-SILVA, G. G. & CAMARGO, A. F. M., 2008. Impacto das Atividades de Aqüicultura e Sistemas de Tratamento de Efluentes com Macrófitas Aquáticas. *Boletim do Instituto de Pesca*, v. 34, p. 165-175, 2008.

KENOW, K.P. et al. Estimating biomass of submersed vegetation using a simple rake sample technique. *Hydrobiologia* v.575, p.447–454, 2007.

MARCONDES, D.A.S.; MUSTAFÁ, A.L.; TANAKA, R.H. Fatores limitantes à produção primária de macrófitas aquáticas. In: S.M. Thomaz & L.M. Bini, (eds.), *Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas*. EDUEM, Maringá. 341 p. 2003.

MORAIS, M.A.; CASTRO, W.A.C.; TUNDISI, J.G. Climatologia de frentes frias sobre a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), e sua influência na limnologia dos reservatórios de abastecimento de água. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, v.25, n.2, Junho 2010.

NG, W.J. et. al. The effect of *Elodea densa* on aquaculture water quality. *Aquaculture*, 87: 267-276, 1990.

NOVO, E. M. L. M. et al. Relationship between macrophyte stand variables and radar backscatter at L and C band, Tucuruí reservoir, Brazil, *International Journal of Remote Sensing*, 23: 7, 1241-1260, 2002.

PADIAL, P.R. Qualidade, heterogeneidade espacial e biodisponibilidade de metais no sedimento de um reservatório tropical urbano eutrofizado (Reservatório Guarapiranga, SP) 120 f. Dissertação (mestrado em ecologia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

PADIAL, A.A. & THOMAZ, S.M. Prediction of the light attenuation coefficient through the Secchi disk depth: empirical modeling in two large Neotropical ecosystems. *Limnology*, vol. 9, p.143-151, 2008.

PELICICE, F.M. *et al.* Fish assemblages associated with egeria in a tropical reservoir: investigating the effects of plant biomass and diel period. *Acta Oecologica* (Montrouge), v. 27, p. 9-16, 2005.

PIERINI, S.A. & THOMAZ, S.M. Effects of inorganic carbon source on photosynthetic rates of *Egeria najas* Planchon and *Egeria densa* Planchon (Hydrocharitaceae). *Aquat. Bot.* 78, 135–146, 2004.

POMPÊO, M.L.M. *Perspectivas da limnologia no Brasil*. São Luís: Gráfica e Editora União, 191 pg, 1999.

POMPÊO, M.L.M. Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas. *Oecologia Brasiliensis* V.12, n.3, p.406-424, 2008.

- POMPÊO, M.L.M.; MOSCHINI-CARLOS, V. & HENRY, R. Annual balance of biomass, nitrogen, and phosphorus stocks of the tropical aquatic macrophyte *Echinochloa polystachya* (H.B.K.) Hitchcock (Poaceae) in the Jurumirim Reservoir (São Paulo, Brazil). *Acta Hydrobiol.*, v. 41, n. 2, p. 179-186, 1999.
- ROBERTS, D.E. et al. Invasion of *E. densa* into the Hawkesbury-Nepean River, Australia. *Journal of Aquatic Plant Management* 37: 31-34, 1999.
- RODRIGUES, M.E.F. Levantamento florístico e distribuição de macrófitas aquáticas na Represa Guarapiranga, São Paulo, Brasil. 203 f. Dissertação em preparação (mestrado em Botânica), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- RODRIGUES, R.B. & THOMAZ, S.M. Photosynthetic and growth responses of *Egeria densa* to photosynthetic active radiation. *Aquatic Botany*, v.92, p.284-287, 2010.
- SPEARS, B.M. et al. An evaluation of methods for sampling macrophyte maximum colonisation depth in Loch Leven, Scotland. *Aquatic Botany* v.91, n.2, p.75–81, 2009.
- TAKAMURA, N. et al. Effects of aquatic macrophytes on water quality and phytoplankton communities in shallow lakes. *Ecol. Res.*, 18, 381–395, 2003.
- TAVECHIO, W. L. G.; THOMAZ, S. M. The effects of light on the growth and photosynthesis of *Egeria densa* Planchon. *Brazil. Arch. Biol. Technol.*, v. 46, p. 203-209, 2003.
- THOMAZ, S.M. Fatores ecológicos associados à colonização e ao desenvolvimento de macrófitas aquáticas e desafios de manejo. *Planta daninha, Viçosa*, v. 20, n. spe, 2002
- THOMAZ, S.M. & BINI, L.M. A expansão das macrófitas aquáticas e implicações para o manejo de reservatórios: um estudo na represa de Itaipu. In: RAOUL, H. (Ed.), *Ecologia de Reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais*. Botucatu, São Paulo, pp. 597–625, 1999.
- THOMAZ, S.M.; BINI, L.M.; PAGIORO, T.A. Fatores limitantes à produção primária de macrófitas aquáticas. In: S.M. Thomaz & L.M. Bini, (eds.), *Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas*. EDUEM, Maringá. 341 p. 2003.
- VALDERRAMA, J. C. The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters. *Marine chemistry*, v.10, p.109-222. 1981.
- VESTERGAARD, O. & SAND-JENSEN, K. Alkalinity and trophic state regulate aquatic plant distribution in Danish lakes. *Aquat. Bot.* 67, 85–107, 2000.
- WHATELY, M. & CUNHA, M.P. Guarapiranga 2005: como e porque São Paulo está perdendo este manancial: resultados do diagnóstico socioambiental participativo da bacia hidrográfica da Guarapiranga. São Paulo. Instituto Sociambiental. 2006.

Capítulo 2

Efeito da declividade do litoral e transparência da água na distribuição e abundância de *Egeria densa* em um reservatório urbano

Resumo

Egeria densa é uma espécie de macrófita aquática submersa que tem causado muitos problemas de infestação no Brasil e no mundo todo. O conhecimento dos fatores limitantes é importante para o monitoramento e manejo dessa espécie. O objetivo do estudo foi determinar a relação da declividade do litoral e a transparência da água na zonação e abundância de *E. densa* em um reservatório urbano (represa Guarapiranga, São Paulo-SP). Foram utilizadas regressões lineares múltiplas para descrever quais variáveis podem explicar a largura dos bancos, a profundidade máxima de colonização (Z_C) e a abundância de *E. densa*. Os maiores valores da largura dos bancos e maior abundância de *E. densa* foram encontradas em declividades baixas (<5%). A transparência da água não foi correlacionada com nenhuma variável. A zona fótica máxima foi de 2,68 m, no entanto, a Z_C máxima foi 5,61 m. O acúmulo de partículas ricas em nutrientes e tamanho das partículas podem explicar a elevada abundância de *E. densa* em baixas declividades do litoral. A tolerância à baixa intensidade de luz, alongamento de entrenós e formação de dossel podem explicar a presença de *E. densa* em regiões abaixo da zona fótica.

Palavras-chave: *Egeria densa*, macrófita, reservatório, plantas aquáticas, declividade do litoral.

Effect of littoral slope and water transparency in the distribution and abundance of *Egeria densa* in an urban reservoir

Abstract

Egeria densa is a species of submerged macrophyte that has been caused many problems of infestation in Brazil and worldwide. Knowledge of limiting factors is important for monitoring and management of this species. The aim of this study was to determine the relationship of the littoral slope and water transparency in the zonation and abundance of *E. densa* in an urban reservoir (Guarapiranga dam, São Paulo-SP). Multiple linear regressions were used to describe which variables can explain the width of the stands, the maximum depth of colonization (Z_C) and the abundance of *E. densa*. The highest values of the width stands and abundance of *E. densa* were found in lower slopes (<5%). Water transparency was not correlated with any variable. The maximum photic zone was 2.68 m, but the maximum Z_C was 5.61 m. The accumulation of particles rich in nutrients and sediment stability may explain the high abundance of *E. densa* in lower slopes. The low light tolerance, elongation of internodes and canopy formation may explain the presence of *E. densa* in regions below the photic zone.

Key Words: *Egeria densa*; macrophyte, reservoir, aquatic plants, littoral slope .

Efeito da declividade do litoral e transparência da água na distribuição e abundância de *Egeria densa* em um reservatório urbano

Introdução

As macrófitas aquáticas possuem grande importância para os ecossistemas aquáticos (Thomaz, 2002), pois podem afetar as características químicas da água (Bini et al., 2010), a ciclagem de nutrientes (Esteves & Camargo, 1986), o zooplâncton (Geraldes & Boavida, 2004), a comunidade de peixes (Pelicice et al., 2005) e aumentar produtividade e a retenção de nutrientes em ambientes alagados (Engelhardt & Ritchie, 2001). *Egeria densa* Planch. (Hydrocharitaceae) é uma espécie de macrófita aquática submersa, formadora de dossel, nativa da América do Sul (Cook & Urmi-König, 1984) que, em grande quantidade, pode causar prejuízos aos usos múltiplos dos ecossistemas aquáticos. Existem registros no mundo todo de diversos problemas de proliferação e remoção de espécies nativas em locais onde *E. densa* foi introduzida (Haramoto & Ikusima, 1988; Winton & Clayton, 1996; Wells et al., 1997; Dutartre et al., 1999). Mesmo em regiões nativas, esta espécie tem causado prejuízos aos reservatórios, causando entupimento de tubulações (Thomaz, 2002), tantos àqueles destinados à produção de eletricidade (Tanaka et al., 2002; Bini & Thomaz, 2005) quanto aos que são destinados ao abastecimento público (Thomaz & Bini, 1999).

Diversos fatores do ambiente já foram descritos como sendo responsáveis por afetar as populações de macrófitas aquáticas submersas (Camargo et al., 2003; Bornette & Puijalón, 2010). Uma variável importante a ser considerada nos estudos é a escala espacial, sendo as variáveis físicas e morfométricas do ambiente, como a transparência da água e a declividade do litoral descritas como importantes na determinação da abundância em escalas locais (Duarte & Kalff, 1986; Pierini & Thomaz, 2009). Um indicador importante da área potencial que pode ser colonizada por macrófitas aquáticas submersas é a profundidade máxima de colonização (Z_C), sendo considerada uma variável robusta da abundância de macrófitas aquáticas submersas e reconhecida como um importante parâmetro de avaliação em estudos de avaliação ambiental (Rea et al., 1998; Yin et al., 2000; Spears et al., 2009; May & Carvalho, 2010).

Apesar da grande importância de *E. densa* nos reservatórios, poucos estudos foram realizados nas regiões tropicais e sub-tropicais em relação aos fatores que determinam a

distribuição e a abundância de *E. densa* (Biudes & Camargo, 2008). O conhecimento dos fatores limitantes ao crescimento de macrófitas aquáticas são fundamentais em estratégias de monitoramento de espécies potencialmente infestantes (Thomaz, 2002; Pompêo, 2008). Assim o objetivo deste estudo foi descrever, em escala local, a relação das variáveis físicas e morfométricas do ambiente com a zonação e a abundância de *E. densa*.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi realizado na represa Guarapiranga, localizada na região metropolitana de São Paulo (RMSP) (23° 43' S e 46° 32' O), possui 134 espécies de macrófitas aquáticas (Rodrigues, 2011) e abastece cerca de 3,7 milhões de habitantes da RMSP (Whately & Cunha, 2006). O reservatório possui uma área de 33 Km², tempo de residência médio de 90 dias, profundidade máxima de 13 m (CETESB, 2009; Moraes et al., 2010) e nível da água oscilando de 731,81 a 736,40 m (média= 734,71 m; n= 1674) (EMAE dados não publicados³ - 2006 a 2010). A região amostrada é considerada eutrófica, segundo índice de estado trófico de Carlson modificado por Lamparelli (CETESB, 2009). O nível da represa no momento do estudo foi de 735,65 m. Estudos anteriores dos parâmetros da água realizados em locais distribuídos na represa Guarapiranga, entre os períodos de 2007 a 2010, (Padial, 2008, Rodrigues, 2011 e Godoi, comunicação pessoal⁴) indicam valores de condutividade elétrica da água variando de 32 a 562 µS cm⁻¹, pH de 5,87 a 10,06, transparência da água de 0,22 a 2,15 m, nitrogênio total de 56,12 a 5474,57 µg L⁻¹ e fósforo total de 2,72 a 351,69 µg L⁻¹ (Tabela 1).

Tabela 1 - Estatística descritiva dos dados obtidos para as variáveis físicas e químicas estudadas durante o período de 2007 a 2010 na represa Guarapiranga (d.p. = desvio padrão).

³ Empresa Metropolitana de Águas e Energia S.A. – EMAE

⁴ Godoi, E.L. USP, IB, depto. Ecologia

Variável	Mínimo	Máximo	Média	d.p.	n
Condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	32,00	562,00	128,00	70,66	216
pH	5,87	10,06	7,66	0,84	217
Transparência (m)	0,22	2,15	0,99	0,42	209
Nitrogênio Total ($\mu\text{g L}^{-1}$)	56,12	5474,57	2063,52	1423,44	38
Fósforo Total ($\mu\text{g L}^{-1}$)	2,72	351,69	51,28	63,52	37

Amostragem dos dados

A amostragem foi realizada em março de 2010 na região média do corpo principal da represa Guarapiranga (Figura 1), priorizando a região da ilha dos eucaliptos, onde se observa uma região com maior abundância de *E. densa*, segundo um levantamento inicial da área ocorrido em novembro de 2009 (Taminato & Pompêo capítulo 1). A amostragem dos pontos de coleta de *E. densa* foi realizada utilizando-se transeções perpendiculares à margem, distribuídas em intervalos variando de 200 a 300 m, totalizando 14 transeções na região de coleta (Figura 1). Os pontos de coleta foram indicados pelos códigos C (continente), I (ilha), E (esquerda) e D (direita).

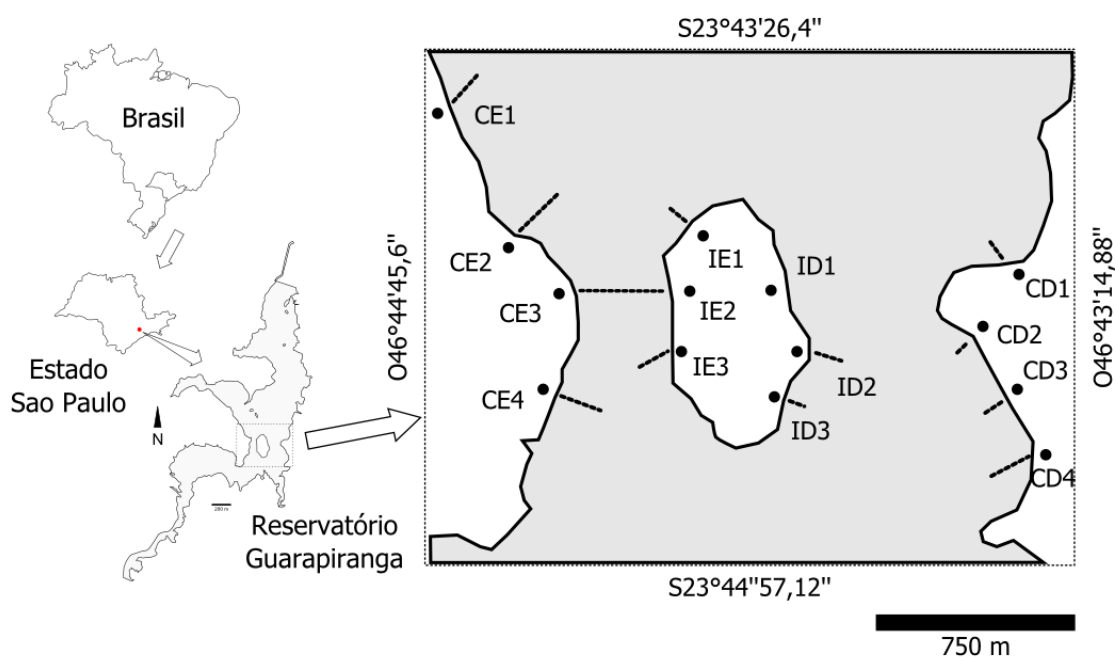


Figura 1. Represa Guarapiranga (SP) e ampliação da região média onde foi realizada a amostragem dos dados. As transeções estão marcadas pelas linhas pontilhadas e os pontos de coleta indicados no mapa pelos códigos C (continente), I (ilha), E (esquerda) e D (direita).

Cada transeção era iniciada na margem e navegada em direção a região limnética até a ausência de *E. densa*, sendo cada ponto da transeção amostrada registrada em GPS (Garmin, SAD69). A presença e a abundância de *E. densa* em cada ponto da transeção foi registrada por meio do arraste no fundo de dois rastelos juntos e amarrados a uma corda (Kenow et al., 2007). Kenow et al., (2007) utilizou uma escala de abundância visual com cinco índices de preenchimento do rastelo, sendo o valor 1 correspondente a 1-20%, o valor 2 de 21-40%, o valor 3 de 41 – 60%, o valor 4 de 61-80% e o valor 5 de 81-100% de preenchimento do rastelo. No entanto, neste estudo optou-se por modificar a quantificação visual para quatro índices, devido a dificuldade em campo de discernir o preenchimento do rastelo, assim foi utilizado uma escala visual com três índices, sendo o valor 0 correspondente a ausência de planta, o valor 1 correspondente a 1-20% de preenchimento, o valor 2 correspondente a 21-80% e o valor 3 correspondente a 81-100% de preenchimento. A abundância total da transeção foi calculada como a mediana dos índices de abundância da transeção.

Durante a transeção também foram medidos a profundidade máxima de colonização (Z_c) de *E. densa*, sendo definida como sendo a profundidade máxima que *E. densa* foi registrada na transeção (Spears et al., 2009). A transparência da água foi medida pelo Disco de Secchi (DS), em regiões fora do banco de *E. densa*. A largura total (L_T) dos bancos de *E. densa* foi considerada como a distância da margem até a Z_c . A declividade do litoral, em porcentagem, foi determinada pela seguinte fórmula:

$$\text{tg } \alpha = Z_c/L_T \times 100$$

A partir do valor da transparência da água foi calculado o coeficiente de atenuação de luz (k), utilizando um modelo não-linear proposto para ecossistemas neotropicais, dado pela equação $k = 2,00 \times \text{SD}^{-0,76}$ (Padial & Thomaz, 2008). A zona fótica (Z_{eu}) (1% da radiação sub-aquática) foi calculada por meio do k , segundo a lei de Lambert-Beer, através da equação $Z_{eu} = \ln(0,01)/-k$.

Análise estatística

Uma análise de componentes principais (PCA) foi realizada com as variáveis Z_C , DS , L_T e declividade do litoral, visando quantificar a estrutura dos dados, utilizando o programa MVSP 3.1. Regressões múltiplas foram realizadas para testar quais variáveis independentes ou a sua combinação (declividade do litoral e/ou transparência), podem explicar as variáveis dependentes (L_T , Z_C e Abundância) mensuradas no estudo. As regressões foram realizadas no programa “R” (R Development Core Team 2009).

RESULTADOS

As estatísticas descritivas das variáveis medidas encontram-se na tabela 2. Dentre as 14 transeções investigadas, apenas na transeção ID1 não foi registrado a presença de *E. densa*, não sendo considerados os valores para a Z_C e L_T deste local. Na transeção ID1 foi obtido o valor de 1,15 m para a transparência da água e o valor de 31% para a declividade do litoral. A declividade do litoral na transeção ID1 foi calculada a partir de um ponto a 15 m de distância da margem e profundidade de 4,60 m. Na transeção CE3 foi registrada a presença de *E. densa* em todo o trecho analisado, da margem até a ilha, dessa maneira os pontos CE3 e IE2 formaram uma transeção única, não sendo registrado a L_T para estes locais. A profundidade máxima nos locais CE3 e IE2 foi de 5,14 m.

As variáveis L_T e Z_C foram as variáveis que apresentaram maior amplitude dos dados, variando de 2 a 155 m de largura do banco de *E. densa* e de 0,47 a 5,61 m de profundidade (Tabela 2). As menores abundâncias de *E. densa* ocorreram tanto nas regiões mais rasas quanto nas mais profundas, e as maiores abundâncias registradas nas regiões médias a profundas de profundidades, variando de 1,26 a 5,41 m (Figura 2). A zona fótica apresentou valores de até 2,88 m, no entanto *E. densa* foi registrada em profundidade maiores do que a zona fótica no momento de coleta (Tabela 2).

Tabela 2. Estatística descritiva das variáveis obtidas na represa Guarapiranga (d.p. = desvio padrão).

Variáveis	Mínimo	Máximo	Média	d.p.	n
Declividade (%)	2,0	35,0	11,3	9,7	13
L_T (m)	2,0	155,0	56,5	51,3	11
Transparência (m)	0,80	1,34	1,09	0,13	14
Z_C (m)	0,47	5,60	3,98	1,69	13
Zona fótica (m)	1,96	2,88	2,49	0,29	14
k (m^{-1})	1,60	2,35	1,87	0,24	14

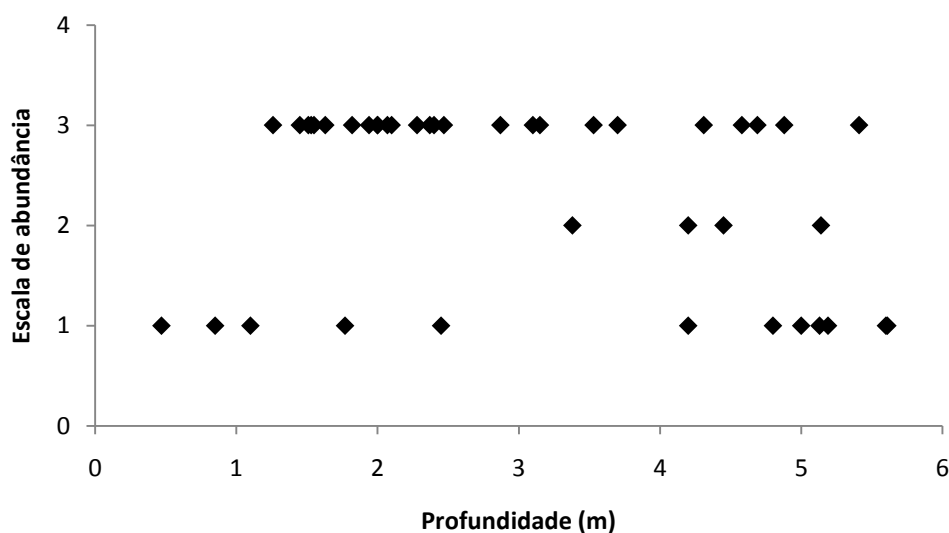


Figura 2. Gráfico de dispersão com base na profundidade de colonização e a escala de abundância de *Egeria densa*.

O primeiro eixo da PCA explicou 51% dos dados, sendo formado pelas variáveis abundância (0,549), e declividade do litoral (-0,483), o segundo eixo da PCA aumentou a explicabilidade para 72%, sendo compostos pela transparência (0,808) e abundância (-0,248). No gráfico da análise de PCA foi observada a formação de um grupo composto pelos pontos com maior Z_C , L_T e abundância, opostos ao eixo da declividade do litoral (Figura 3).

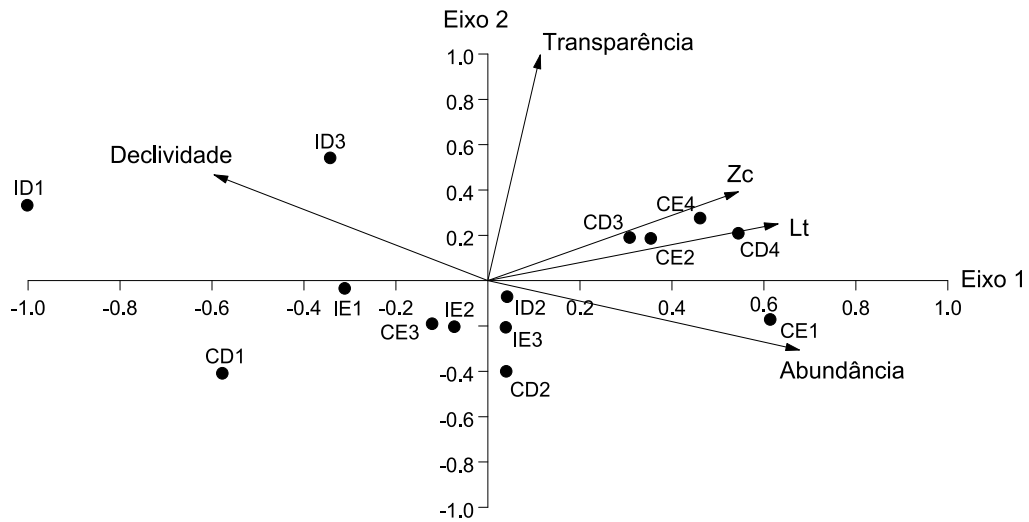
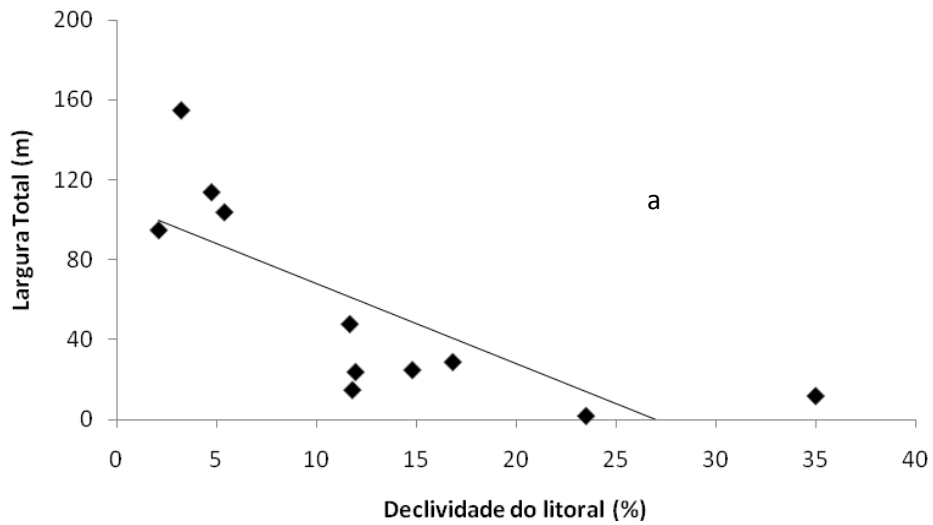


Figura 3. Análise de componentes principais dos pontos amostrados. Região circulada formada pelo agrupamento dos pontos relacionados a profundidade máxima de colonização (Z_C), Largura total dos bancos (L_T) e abundância de *Egeria densa*.



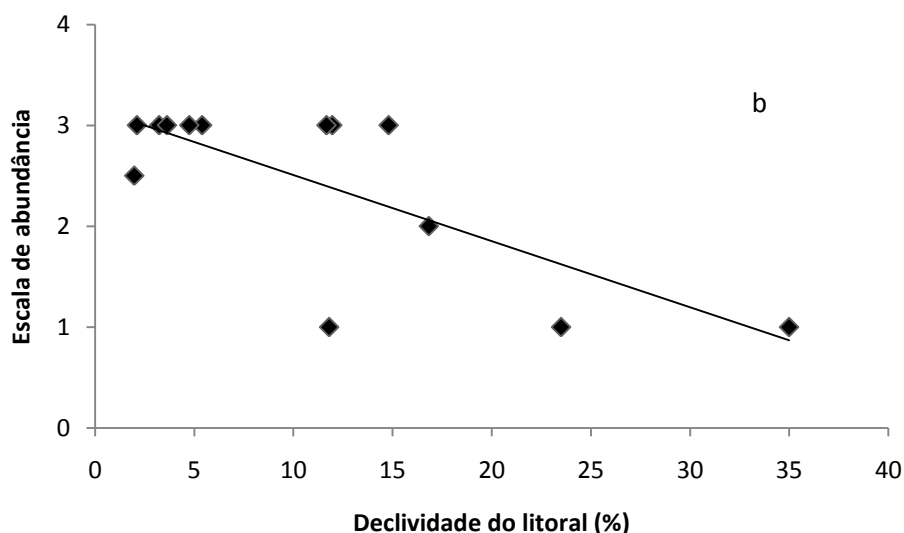


Figura 4. Relação entre a largura total (L_T) e a declividade do litoral (a) e a abundância de *E. densa* e a declividade do litoral (b).

De acordo com a análise de regressão múltipla, apenas a declividade do litoral esteve relacionada com a variável L_T ($n= 11$; $F= 6,37$; $p<0,01$) e o modelo gerado pode explicar 61% da variabilidade dos valores encontrados, já a inclusão da transparência da água não contribuiu na melhora do modelo (Tabela 3). O gráfico de dispersão entre a L_T e a declividade do litoral descreve uma relação negativa entre essas variáveis (Figura 4a), sendo descrita pelo seguinte modelo: $L_T= 3,16-0,0655*(declividade)$ e $r^2= 54,16$.

A variável Z_C não foi relacionada com as variáveis analisadas (Tabela 3). A abundância de *E. densa* correlacionou-se com a declividade do litoral ($n= 11$; $F= 10,23$; $p<0,01$) e o modelo pode explicar 65% da variabilidade dos valores, sendo que a transparência da água não contribuiu na melhora do modelo. O gráfico de dispersão entre a abundância de *E. densa* e a declividade do litoral descreve uma relação negativa entre essas variáveis (Figura 4b), sendo descrita pelo seguinte modelo: $Abundância= 108,06 - 4,0114*(declividade)$ e $r^2= 58,52$.

Os maiores valores registrados da L_T e da abundância de *E. densa* foram registrados para valores da declividade do litoral menores do que 5%, evidenciado tanto na PCA (Figura 4) quanto nas regressões múltiplas (Tabela 3) e também no gráfico de dispersão (figura 4). Dessa maneira, os dados indicam que a declividade do litoral pode ser um preditor da abundância de *E. densa* no reservatório da Guarapiranga.

Tabela 3. Resultados das regressões múltiplas testando o efeito da variável declividade do litoral e transparência da água sobre as variáveis largura total (L_T), profundidade máxima de colonização (Z_C) e Abundância de *E. densa*. t = teste t para avaliar a significância dos coeficientes parciais.

	Coeficientes	t	p
L_T			
Intercepto	1,580	0,796	0,449
Log declividade	-18,642	-3,598	<0,001
Log transparência	4,530	1,757	0,117
Z_C			
Intercepto	0,486	0,330	0,750
Log declividade	-2,396	-0,624	0,550
Log transparência	2,118	1,108	0,300
Abundância			
Intercepto	3,041	1,695	0,118
Log declividade	-11,912	-4,347	<0,001
Log transparência	0,198	0,084	0,935

DISCUSSÃO

A declividade do litoral é considerada uma importante variável na descrição da ocorrência de macrófitas aquáticas submersas em regiões temperadas (Feldmann & Nöges, 2007; Duarte & Kalff, 1986). O modelo produzido por Duarte & Kalff (1986) pode explicar 72% da variabilidade utilizando apenas a declividade do litoral para prever a biomassa máxima de macrófitas submersas, no entanto este modelo subestima a biomassa em regiões tropicais e lagos hipertróficos, onde a transparência da água é menor do que 2 m.

Em regiões tropicais, a declividade do litoral também é uma importante descritora da biomassa de espécies de *Egeria*. Pierini & Thomaz (2009) estudaram duas espécies de *Egeria* no reservatório de Rosana (PR/SP) e observaram que a maior largura dos bancos dessas espécies foram registradas em locais com declividades do litoral menores do que 5%, valor muito próximo ao encontrado na relação da L_T com declividade do litoral do presente estudo.

A declividade do litoral pode afetar diversos aspectos do litoral, alterando processos de erosão, estabilização e acumulação do sedimento, alterando dessa maneira o conteúdo

de matéria orgânica do sedimento disponível para as macrófitas submersas enraizadas (Spence, 1982; Blais & Kalff, 1995; Cyr, 1998). Esta relação pode ser verificada no modelo de Duarte & Kalff (1986), após a incorporação da matéria orgânica do sedimento no modelo de declividade do litoral, aumentando a explicabilidade dos dados para 88%. Carignan & Kalff (1980) consideram o sedimento como a principal fonte de fósforo para as macrófitas aquáticas. Em um trabalho de revisão, Barko et al. (1991) considerou o sedimento como a fonte primária de nutrientes, como o nitrogênio e o fósforo, para as macrófitas aquáticas enraizadas.

A Z_C não foi correlacionada com a transparência da água e com a declividade do litoral, apesar da correlação encontrada por outros autores (Pierini & Thomaz, 2009; Hudon et al., 2000; Canfield et al., 1985). A transparência da água e a declividade do litoral pode não ser tão importante para a Z_C , de *E. densa*, no reservatório da Guarapiranga. Esta espécie apresenta grande tolerância a falta de radiação sub-aquática, podendo evitar a limitação da luz pelo alongamento de entrenós em lagos com baixa transparência da água, utilizando reservas de energia acumuladas e formando dosséis em regiões iluminadas da superfície (Middelboe & Markager, 1997).

De acordo com Sculthorpe (1967), o ponto de compensação fotossintético de várias espécies submersas é de 1 a 4% da luz subaquática, valor muito próximo da zona fótica (1% da luz radiante). Assim para o valor máximo da média histórica da transparência da água na represa Guarapiranga (2,15 m) a zona fótica seria de 4,12 m. Como o nível da represa Guarapiranga pode oscilar em até 4,60 m, a Z_C encontrada no momento do estudo pode refletir os regimes anteriores de luminosidade que atingiram os bancos de *E. densa*. A queda do nível da água pode propiciar luminosidade suficiente para as plantas, propiciando a colonização e o seu desenvolvimento em maiores profundidades. Experimentos em laboratório com *E. densa* confirmam o alongamento dos entrenós em baixas condições de luz e revelam que esta espécie apresenta baixos pontos de compensação fótica, sendo capazes de explorar ambientes de baixa luminosidade (Rodrigues & Thomaz, 2010).

Tanner et al. (1993) e Bini & Thomaz (2005) encontraram que a ocorrência de *E. densa* é improvável em ambientes com coeficientes de atenuação de luz de cerca de 2 m^{-1} , no entanto no presente estudo *E. densa* pode atingir grande abundância e colonizar grandes profundidades, apesar do k encontrado na represa Guarapiranga ser muito próximo de 2.

Dessa maneira, a luz pode não ser um fator primordial para prever a abundância e largura dos bancos de *E. densa* na represa Guarapiranga, como outras variáveis físicas e morfométricas do habitat (Koch, 2001).

Parâmetros físicos e morfométricos do ambiente, como a declividade do litoral indicam que estes parâmetros podem ser importantes na determinação da comunidade de macrófitas aquáticas submersas, no entanto, poucos trabalhos relacionam os parâmetros físicos, geológicos e geoquímicos com a distribuição e abundância das macrófitas aquáticas. Koch (2001) em uma revisão da literatura, confirma este viés, sendo que a maior parte dos trabalhos relacionam as macrófitas aquáticas com a luz e apenas 18% destes trabalhos relacionam a parâmetros hidrodinâmicos e em 17% em características do sedimento.

Concluindo, parâmetros simples como a declividade do litoral e a Z_C podem ser fatores determinantes para explicar a abundância de *E. densa*, sendo as áreas com menor declividade do litoral as áreas mais propensas a terem os maiores bancos de *E. densa* e juntamente com a informação da Z_C podem dar uma previsão da área potencial de colonização e infestação por *E. densa*, juntamente com outras variáveis morfométricas (Neiff et al., 2000). A formação de dossel próximo à superfície da água pode explicar a colonização e formação de grandes bancos de *E. densa* em grandes profundidades. Estudos futuros utilizando macrófitas aquáticas submersas deveriam considerar outras variáveis ambientais, além da radiação subaquática, que podem explicar a sua presença, como as variáveis morfométricas do reservatório e formulação de experimentos visando testar os fatores que podem controlar as populações de macrófitas aquáticas submersas.

Bibliografia

BARKO, J.W. et al. Sediment interactions with submersed macrophyte growth and community dynamics. *Aquatic Botany*, v41, p.41-65, 1991.

BLAIS, J.M. & KALFF, J. The influence of lake morphometry on sediment focusing. *Limnology and Oceanography*. v.40, p.582-588, 1995.

BINI, L. M. Dinâmica populacional de *Egeria najas* Planchon (Hydrocharitaceae): sobrevivência de uma espécie submersa subtropical em um ambiente com elevada turbidez (reservatório de Itaipu Binacional, Brasil-Paraguai). Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2001.

- BINI, L.M. et al. Limnological effects of *Egeria najas* Planchon (Hydrocharitaceae) in the arms of Itaipu Reservoir (Brazil, Paraguay). *Limnology*, v. 11, p. 39-47, 2010.
- BINI, L.M. & THOMAZ, S.M. Prediction of *Egeria najas* and *Egeria densa* occurrence in a large subtropical reservoir (Itaipu Reservoir, Brasil – Paraguay). *Aquatic Botany*, v.83, n. 3, p.227-238, 2005
- BIUDES, J. F. V. & CAMARGO, A. F. M. Estudos dos fatores limitantes à produção primária por macrófitas aquáticas no Brasil. *Oecologia Brasiliensis*. v.12: p.7-19, 2008.
- BORNETTE, G & PUIJALON, S. Response of aquatic plants to abiotic factors: a review. *Aquatic Sciences - Research Across Boundaries*, p.1-14, 2010
- CAMARGO, A.F.M. et al. Fatores limitantes à produção primária de macrófitas aquáticas. In: S.M. Thomaz & L.M. Bini, (eds.), *Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas*. EDUEM, Maringá. 341 p. 2003.
- CANFIELD, D.E. et al. Relations between water transparency and maximum depth of macrophyte colonization in lakes. *Journal of Aquatic Plant Management* v.23, p.25-28, 1985.
- CARIGNAN, R. & R. KALFF. Phosphorus sources for aquatic weeds: Water or sediment? *Science*, 207: 987-989, 1980.
- CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2008. São Paulo: CETESB, Secretaria do meio ambiente, 2009. 528 p.
- COOK, C.D.K. & URMI-KÖNIG, K. A. revision of the genus *Egeria* (Hydrocharitaceae). *Aquatic Botany*, v. 19, n. 1-2, p. 73-96, 1984.
- CYR, H. Effects of wave disturbance and substrate slope on sediment characteristics in the littoral zone of small lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. v.55, p.967-976 1998.
- DUARTE, C. M.& KALFF, J. Littoral slope as a predictor of the maximum biomass of submerged macrophyte communities. *Limnology and Oceanography*, v.31, p.1072-1080, 1986.
- DUTARTRE, A. et al. A succession of *Egeria densa* in a drinking water reservoir in Morbihan (France). *Hydrobiologia*, v.415, p.243-247, 1999.
- ENGELHARDT, K.A.M. & RITCHIE, M.E. Effects of macrophyte species richness on wetland ecosystem functioning and services. *Nature*, v.411, 687-689, 2001.
- ESTEVEZ, F.A. & CAMARGO, A.F.M. Sobre o papel das macrófitas aquáticas na estocagem e ciclagem de nutrientes. *Acta Limnológica Brasiliensis*, v.1, 273-298, 1986.
- FELDMANN, T. & NÖGES, P. Factors controlling macrophyte distribution in large, shallow Lake Vörtsjärvi. *Aquatic Botany* v.87, p.15–21, 2007.
- GERALDES, A.M. & BOAVIDA, M.J. Do littoral macrophytes influence crustacean zooplankton distribution? *Limnetica* 23, 57–64, 2004.

- HARAMOTO, T & IKUSIMA, I. Life-cycle of *Egeria densa* Planch., an aquatic plant naturalized in Japan. *Aquatic Botany*, v.30, p.389–403, 1988.
- HUDON, C. et al. Ranking the effects of site exposure, plant growth form, water depth, and transparency on aquatic plant biomass. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, v.57(Suppl 1), p.31–42, 2000.
- KENOW, K.P. et al. Estimating biomass of submersed vegetation using a simple rake sample technique. *Hydrobiologia* v.575, p.447–454, 2007.
- KOCH, E.W. Beyond light: physical, geological and geochemical parameters as possible submersed aquatic vegetation habitat requirements. *Estuaries* v.24, p.1–17, 2001.
- MAY, L. & CARVALHO, L. Maximum growing depth of macrophytes in Loch Leven, Scotland, United Kingdom, in relation to historical changes in estimated phosphorus loading. *Hydrobiologia*, v.646 n.1, p.123-131, 2010.
- MIDDELBOE, A. L. & MARKAGER, S. Depth limits and minimum light requirements of freshwater macrophytes. *Freshwater Biology*, v.37, p.553–568, 1997.
- MORAIS, M.A. de Climatologia de frentes frias sobre a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), e sua influência na limnologia dos reservatórios de abastecimento de água. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, v.25, n.2, June 2010.
- PADIAL, P.R. Qualidade, heterogeneidade espacial e biodisponibilidade de metais no sedimento de um reservatório tropical urbano eutrofizado (Reservatório Guarapiranga, SP) 120 f. Dissertação (mestrado em ecologia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- PADIAL, A.A. & THOMAZ, S.M. Prediction of the light attenuation coefficient through the Secchi disk depth: empirical modeling in two large Neotropical ecosystems. *Limnology*, vol. 9, p.143-151, 2008.
- PELICICE, F.M. et al. Fish assemblages associated with egeria in a tropical reservoir: investigating the effects of plant biomass and diel period. *Acta Oecologica (Montrouge)*, v. 27, p. 9-16, 2005.
- PIERINI, S.A. & THOMAZ, S.M. Effects of limnological and morphometric factors upon Zmin, Zmax and width of *Egeria* spp stands in a tropical reservoir. *Brazilian Archives of Biology and Technology* [online], v.52, n.2, p.387-396. ISSN 1516-8913, 2009.
- POMPÊO, M. Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas. *Oecologia Brasiliensis* V.12, n.3, p.406-424, 2008.
- R Development Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>, 2009.

- REA, T E., et al. The relative effects of water depth, fetch and other physical factors on the development of macrophytes in a small southeastern US pond. *Aquatic Botany*, v.61, p.289-299, 1998.
- RODRIGUES, M.E.F. Levantamento florístico e distribuição de macrófitas aquáticas na Represa Guarapiranga, São Paulo, Brasil. 203 f. Dissertação em preparação (mestrado em Botânica), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- RODRIGUES, R.B. & THOMAZ, S.M. Photosynthetic and growth responses of *Egeria densa* to photosynthetic active radiation. *Aquatic Botany*, v.92, p.284-287, 2010.
- SCULTHORPE, C.D. The biology of aquatic vascular plants. Edward Arnold, London, 1967.
- SPEARS, B.M. et al. An evaluation of methods for sampling macrophyte maximum colonisation depth in Loch Leven, Scotland. *Aquatic Botany* v.91, n.2, p.75–81, 2009.
- SPENCE, D. H. N. The zonation of plants in freshwater lakes. In: MacFADYEN, A.; FORD, E. D. *Advances in ecological research*. London: Academic Press, p.37-125, 1982.
- TANAKA, R.H. et al. Avaliação de herbicidas para o controle de egéria em laboratório, caixa d'água e represa sem fluxo de água. *Planta daninha*, Viçosa, v.20, n. spe, 2002
- TANNER, C.C. et al. Effects of suspended-solids on the establishment and growth of *Egeria densa*. *Aquatic Botany*, v.45, p.299–310, 1993.
- THOMAZ, S.M. Fatores ecológicos associados à colonização e ao desenvolvimento de macrófitas aquáticas e desafios de manejo. *Planta daninha*, Viçosa, v. 20, n. spe, 2002
- THOMAZ, S.M. & BINI, L.M. A expansão das macrófitas aquáticas e implicações para o manejo de reservatórios: um estudo na represa de Itaipu. In: RAOUL, H. (Ed.), *Ecologia de Reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais*. Botucatu, São Paulo, pp. 597–625, 1999.
- WHATELY, M. & CUNHA, M.P. Guarapiranga 2005: como e porque São Paulo está perdendo este manancial: resultados do diagnóstico socioambiental participativo da bacia hidrográfica da Guarapiranga. São Paulo. Instituto Sociambiental. 2006.
- WELLS, R.D.S et al. Successive macrophyte invasions within the submerged flora of Lake Tarawera, Central North Island, New Zealand. *New Zealand Journal of Marine & Freshwater Research*, v.31, p.449–459, 1997.
- WINTON, M.D. & CLAYTON, J.S. The impact of invasive submerged weed species on seed banks in lake sediments. *Aquatic Botany*, v.53, p.31-45, 1996.
- YIN, Y. et al. Long Term Resource Monitoring Program procedures: Aquatic vegetation monitoring: U. S. Geological Survey, Upper Midwest Environmental Sciences Center, La Crosse, Wisconsin, April 2000, LTRMP 95-P002-7, 2000. 8 p.