
AVALIAÇÃO DO USO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS NA PRODUÇÃO DE ADOBE

Obede Borges Faria

(UNESP-Bauru / PROTERRA)

Prof. Dr. do Depart° de Engenharia Civil, da Faculdade de Engenharia de Bauru, UNESP-Bauru

Av. Eng. Luiz E. C. Coube, s/n° - Vargem Limpa CEP 17033-360 BAURU-SP – Brasil

Tel.: +55 14 230 2154 y +55 14 9792 5525 obede@feb.unesp.br

Resumen

Este trabajo busca optimizar el empleo de biomasa de macrófitas acuáticas en la producción de adobe, basado en la determinación y estudio de sus características físicas y mecánicas, así como en las características físicas y químicas de estas plantas. La pesquisa fue desarrollada en la represa de Salto Grande (Americana-SP, Brasil), localizada en un sitio careciente de viviendas de interés social, con elevados índices de urbanización y industrialización, lo que resulta en su avanzado proceso de eutrofización artificial. Las macrófitas acuáticas más abundantes en la represa (*Brachiaria arrecta*, *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*) presentan elevadas concentraciones de metales pesados y nutrientes (N y P). La utilización de esta biomasa en materiales de construcción es presentada como una alternativa de manejo integrado del lago, además esto posibilita la autoconstrucción de viviendas de bajo costo. Otra función de la biomasa es la estabilización del suelo, que presenta alto tenor de arcilla (59%). La biomasa añadida contribuyó con la reducción de fisuras y peso volumétrico del adobe. Los resultados demostraron que esta utilización es perfectamente viable, con expresiva retirada de biomasa del sistema acuático, además de significativas mejoras en la calidad del adobe, principalmente su resistencia a la compresión. Las investigaciones han mostrado que, no obstante el adobe ser quizá lo más antiguo material de construcción manufacturado, su aplicación se muestra perfectamente viable, en el ámbito de la sustentabilidad, se presentando como un material de construcción plenamente ecológico y adecuado a las regiones tropicales.

Palabras-clave: tierra cruda; adobe; macrófitas acuáticas.

Abstract

This work intends to optimise the utilization of aquatic macrophyte biomass in the adobe (a sun-dried mud brick) production, based on the study of the physical and mechanical characteristics of these bricks and the macrophytes biomass estimate as well as their chemical characteristics. The research was developed in the Salto Grande Reservoir region, in Americana (a town in São Paulo State, Brazil). This lake is located in an area of high urbanization and industrialization level, with common dwelling deficit. The aquatic macrophytes found in that place (*Brachiaria arrecta*, *Eichhornia crassipes* and *Pistia stratiotes*) present a high level of heavy metals and nutrients. The biomass utilization in the construction of materials appears here as an alternative of integrated management of the lake, in addition to the fact that it makes possible the self-building of low cost dwellings. The other biomass function is to stabilize the soil that has a high clay concentration (59%). This biomass addition was made to reduce the fissures and specific mass of the bricks. Besides, the research results show that, even though the adobe bricks are perhaps the oldest manufactured building material, their application persists practicable mainly in the sustainability hopes for being a completely ecological building material and adequate for the tropical regions.

Key words: uncooked earth, adobe, aquatic macrophytes

1. INTRODUÇÃO

Com o processo de eutrofização artificial e acelerada da Represa de Salto Grande, em Americana (Estado de São Paulo, Brasil), houve uma proliferação descontrolada de macrófitas aquáticas, “plantas herbáceas que crescem na água, em solos cobertos por água ou em solos saturados com água” (Esteves 1988). Na **Fig. 1** é mostrado um dos aspectos deste problema. O reservatório, com mais de 50 anos de idade, tem superfície de 13 km², comprimento máximo de 17 km, perímetro de 64 km, profundidade média de 8m e volume de 1,06 x

10^8 m^3 . Sua finalidade é a produção de energia elétrica e oferecer uma opção de lazer à população do seu entorno, que inclusive se alimenta com os peixes que fazem parte do seu ecossistema. A situação é agravada pelo alto índice de contaminação das águas por efluentes urbanos e industriais, inviabilizando a utilização destas plantas como fertilizantes ou forragem, assim como o seu controle químico (com herbicidas), que potencializaria esta contaminação. Na década de 70 foi feita uma tentativa de erradicação destas plantas por herbicidas porém, sem sucesso. A recolonização foi imediata. A remoção mecânica também foi tentada, igualmente sem sucesso por inadequação do destino da biomassa coletada, que era disposta às margens do corpo d'água e rapidamente tinha seus nutrientes devolvidos ao sistema, agravando ainda mais o processo de eutrofização. Como parte do conjunto de alternativas para solução do problema, este trabalho apresenta o estudo da otimização do uso da biomassa destas plantas na produção de adobe (tijolos de terra crua, secos ao sol), de forma a garantir a sustentabilidade, promovendo um manejo integrado das mesmas, além de se contribuir com a diminuição do déficit habitacional da região (altamente urbanizada). O adobe foi amplamente estudado pelo arquiteto egípcio Hassan Fathy (Fathy 1976) e se mostra perfeitamente adequado para climas tropicais e regiões pobres, inclusive com sua prática ainda em uso em algumas regiões do Brasil. Foram utilizadas as três espécies predominantes de macrófitas aquáticas presentes na represa, *Eichhornia crassipes* (**jacinto d'água** ou **aguapé**), *Pistia stratiotes* (**alface d'água**) e *Brachiaria arrecta* (**braquiária**), identificadas taxonômicamente também por Lopes (2000) e apresentadas na **Fig. 2**.



Figura 1: Vista da superfície da represa, completamente coberta por macrófitas (predominando *B. arrecta*), a 50m da barragem. Tomada da margem direita, vendo-se ao fundo a margem esquerda (a). Proliferação de macrófitas aquáticas, próximo à entrada da represa (predominando *E. crassipes* e *P. stratiotes*) (b).

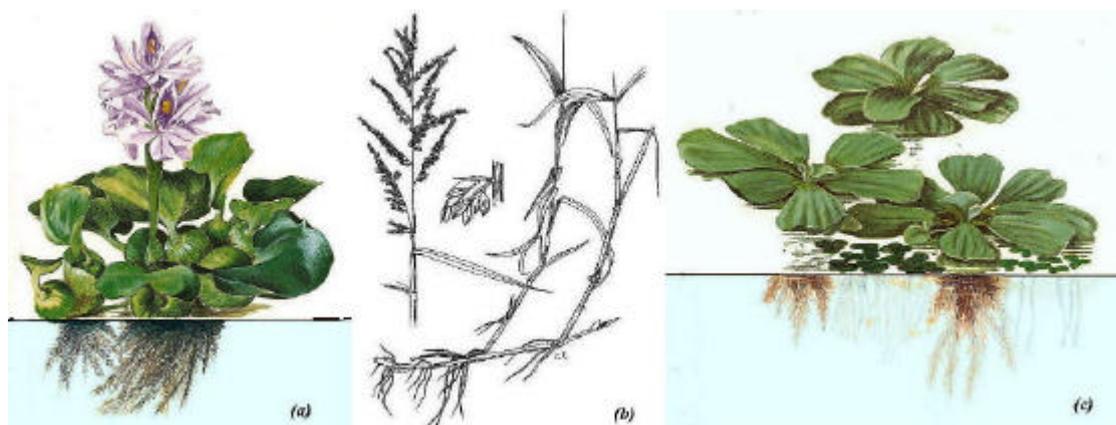


Figura 2: Ilustrações botânicas das três espécies de macrófitas aquáticas estudadas [a) *Eichhornia crassipes*; b) *Brachiaria arrecta*; c) *Pistia stratiote*], adaptado de Hoyer y Canfield (1997).

Foi utilizado solo proveniente do entorno do reservatório, com alto teor de argila; mais um motivo para se utilizar as fibras fornecidas pelas macrófitas. Segundo Borges (2002), o solo ideal para a produção de adobe deve ser arenoso (cerca de 30% de argila), caso contrário, ocorrerão fissuras excessivas e queda de resistência mecânica, havendo a necessidade de correção deste problema com adição de algum estabilizante.

2 METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido em quatro etapas: 1- coleta e preparação das macrófitas; 2- caracterização físico-química da biomassa; 3- produção e secagem dos tijolos e, 4- ensaios de caracterização física e mecânica dos tijolos. A seguir, são descritos os procedimentos adotados em cada uma destas etapas.

2.1. Coleta e preparação das macrófitas.

As macrófitas foram coletadas em vários pontos, distribuídos ao longo do reservatório, com auxílio de um pequeno barco motorizado e acondicionadas em sacos plásticos de 100 L, para o transporte até Bauru (outra cidade do Estado de São Paulo, a 230 km de Americana). Na coleta, a amostragem foi feita pelo método do quadrado de 0,25 m². Em seguida, foram espalhadas sobre manta plástica, para secagem ao sol e perda do excesso de umidade. Para o cálculo da biomassa (massa de vegetal seco por unidade de área de cobertura da lâmina d'água), as plantas foram colocadas em estufa (60 °C, por 72h), atingindo 0% de umidade e pesadas em balança eletrônica, com precisão de 10⁻⁵ Kg. Este material foi fragmentado em um triturador forrageiro, com peneira de ϕ 12 mm para utilização na produção dos tijolos.

2.2. Caracterização físico-química da biomassa

Após a etapa anterior, foi medida a densidade aparente da biomassa picada, para que se pudesse transformar o traço inicial (proporção entre biomassa e solo utilizados) de volume para massa e também foi medida a

umidade higroscópica do material, que em seguida foi acondicionado em sacos plásticos e identificado por espécie.

Para as análises químicas, parte do material anterior foi triturada em um moinho do tipo WILLEY (modelo TE340), com peneira de $\phi 0,5$ mm. A determinação da concentração de fósforo total (**P-TOT**) foi determinada pelo método do ácido ascórbico e molibdato, com leitura em espectrofotômetro de absorção atômica (à 880 nm), de acordo com Andersen (1976). A concentração de nitrogênio total (**NKT**) foi determinada em conjunto analisador “BÜCHI”, conforme o método proposto por Standard Methods (1971). A concentração de cada um dos dez metais analisados foi determinada em espectrofotômetro de absorção atômica por chama, de acordo com Standard Methods (1971).

2.3. Produção e secagem dos tijolos.

O solo utilizado na produção dos tijolos (cerca de 5 m^3) foi extraído da margem esquerda da represa, com auxílio de uma máquina retro-escavadeira e transportado para Bauru em caminhão basculante, onde foram realizados os seguintes ensaios de caracterização do solo: massa específica aparente em estado solto e umidade natural; massa específica dos sólidos; distribuição granulométrica; consistência; limite de contração; adsorção de azul de metileno; determinação de pH e ensaios de MCT, além dos mesmos ensaios de determinação de concentração de nutrientes e metais, realizados para as macrófitas.

Como um dos objetivos deste trabalho, para o futuro, é divulgar o material e sua técnica de produção junto a populações carentes (visando a autoconstrução), optou-se por produzir os tijolos com o mínimo possível de máquinas, ou seja, o barro foi amassado com os pés (técnica tradicional) e os tijolos foram moldados manualmente, em formas de madeira para 4 unidades com dimensões de $0,10\text{m} \times 0,12\text{m} \times 0,25\text{m}$, cada. Foram produzidas 16 séries de 20 tijolos cada uma, sendo uma série apenas com solo (sem biomassa, tomada como padrão de referência) e as demais com adição de biomassa picada de cada uma das três espécies de macrófitas, em 5 traços diferentes de cada espécie, variando de 10 a 70%, em volume (relação entre volume de biomassa triturada e volume de solo). Em seguida, os tijolos (identificados pelo traço e pela espécie) foram postos a secar, inicialmente (por 1 semana) à sombra e depois, ao sol até se atingir a umidade higroscópica (**Fig. 3**).



Figura 3: Amassamento do barro com os pés (a); moldagem (b) e secagem dos tijolos (c).

2.4. Caracterização física e mecânica dos tijolos.

Todos os tijolos secos foram medidos e pesados para se determinar as densidades aparentes médias, as retrações lineares e os teores de umidade higroscópica. Em seguida foram realizados os ensaios de absorção de água, com 3 tijolos de cada série e os ensaios de resistência à compressão, com corpos de prova preparados à partir de 10 tijolos de cada série, serrados ao meio e as duas metades unidas por pasta de cimento. Estes ensaios foram realizados de acordo com as normas brasileiras disponíveis para tijolos cerâmicos maciços, procedimento adotado anteriormente pelo autor e detalhadamente descrito em Borges (2002), como mostrado na **Fig. 4**.



Figura 4: Preparação do corpo de prova (a); corpos de prova prontos (b) e ruptura de um corpo de prova (c).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na impossibilidade de se apresentar e discutir neste artigo todos os resultados, de todos os ensaios realizados, serão apresentados e discutidos apenas os mais significativos deles.

Na **Tabela 1** são apresentados os resultados da estimativa de biomassa das três macrófitas, assim como a concentração e o estoque de nitrogênio, fósforo e 10 metais presentes nelas. O estoque se refere à massa de

elemento químico armazenado pela planta, por unidade de área da superfície do lago. Analisando-se estes dados, pode-se observar que *Brachiaria arrecta* é a espécie que fornece maior quantidade de biomassa e a que mais retira fósforo do sistema. A *Eichhornia crassipes* é a mais eficiente na retirada de nitrogênio. Já *Pistia estratiotes* é a menos eficiente para P-TOT e intermediária para NKT, porém seu crescimento é o mais acelerado.

Tabela 1 : Concentração e estoque de metais e nutrientes nas macrófitas aquáticas (com indicação da biomassa por unidade de área da superfície do lago, abaixo do título de cada espécie).

	<i>B. arrecta</i>	<i>E. crassipes</i>	<i>P. stratiotes</i>	<i>B. arrecta</i> (1.770 g/m ²)	<i>E. crassipes</i> (1.068 g/m ²)	<i>P. stratiotes</i> (235 g/m ²)
METAIS	Concentração (Kg/Kg) x 10⁻³			Estoque (Kg/m²)x 10⁻³		
Cálcio	35,590	95,775	113,077	62,99	99,41	26,57
Ferro	22,977	39,646	39,656	40,67	41,15	9,32
Magnésio	14,856	26,858	30,127	26,30	27,88	7,08
Manganês	3,419	17,439	21,250	6,05	18,10	4,99
Zinco	0,939	0,945	1,414	1,66	0,98	0,33
Chumbo	0,308	0,381	0,396	0,55	0,40	0,09
Níquel	0,166	0,282	0,318	0,29	0,29	0,07
Cromo	0,350	0,272	0,254	0,62	0,28	0,06
Cobre	0,158	0,247	0,280	0,28	0,26	0,07
Cádmio	0,019	0,020	0,022	0,03	0,02	0,01
NUTRIENTES	Concentração (Kg/Kg) x 10⁻⁵			Estoque (Kg/m²)x 10⁻³		
P-TOT	0,00845	0,01028	0,01138	0,15	0,11	0,03
NKT	420	3.900	4.420	7,43	41,65	10,39

Continuando com a análise destes dados, pode-se observar que *Eichhornia crassipes* é a mais eficiente na estocagem de cálcio e manganês e se equipara à *Brachiaria arrecta*, na estocagem de ferro e magnésio. Quanto à estocagem dos demais metais, todas as três espécies são pouco eficientes. No entanto, para uma conclusão mais definitiva seria preciso conhecer o aporte destes metais no sistema.

Os resultados dos ensaios de mecânica dos solos indicaram a presença de um solo argiloso laterítico rijo; medianamente plástico; com classificação H. R. B. (Highway Research Board) A-7-6; presença de argilo-minerais ativos e índice Ph de 5,07, portanto, com capacidade de retenção de cátions. A curva de distribuição granulométrica do solo indica 59% de argila, 21% de silte e 20% de areia. Na **Tabela 2** são apresentados os resultados médios de umidade higroscópica (U_h); retração relativa; traço em volume (usado na produção dos tijolos); traço em massa (calculado); densidade aparente e de resistência à compressão.

Da observação dos dados da **Tabela 2** pode-se concluir que, de uma forma geral, a influência das três espécies de macrófitas foi semelhante, com variações de amplitude nesta influência, de uma espécie para outra. Por exemplo, a umidade higroscópica teve um acréscimo com a adição da biomassa ao barro. Isto se deu porque a biomassa absorve mais umidade do ar que o solo. Por outro lado, a retração relativa apresentou redução, em todos os casos. A densidade aparente também apresentou redução significativa, o que indica a obtenção de um material mais leve e com menor sobrecarga nas estruturas da edificação. Os dados relativos à resistência à compressão estão representados graficamente na **Fig. 5**, onde é mostrada sua variação em função do traço em massa, para as três espécies e o padrão de referência (**R**).

Da observação das curvas apresentadas na **Fig. 5** pode-se perceber que a adição de biomassa provocou inicialmente (até a quantidade de 1,0%) um acréscimo de resistência à compressão, comparada com o padrão de referência. Isto se deve ao fato das fibras contribuírem com a redução da retração porque absorvem parte da água, o que também resulta em redução das fissuras, devido ao ganho de coesividade do barro, de acordo com (Minke 1995).

Tabela 2 : Resumo das características físicas e mecânicas médias dos tijolos, em função dos traços, com indicação da densidade aparente da biomassa picada (abaixo de cada espécie) e os valores relativos ao padrão de referência (R).

		MISTURA N°	R	1	2	3	4	5
<i>B. arrecta</i>	$(g_{ap} = 670 \text{ N/m}^3)$	U_h (%)	3,34	5,66	4,65	6,32	5,80	4,71
		Traço (% volume)	0	10	20	30	40	50
		Traço (% massa)	0,00	1,07	2,15	3,22	4,29	5,37
		Retração (%)	9,51	7,73	7,67	7,04	6,75	7,23
		g_{ap} ($\times 10^4 \text{ N/m}^3$)	1,78	1,69	1,58	1,61	1,57	1,51
		$f_c \pm sd$ (MPa)	2,48 \pm 0,31	2,65 \pm 0,31	2,18 \pm 0,17	2,04 \pm 0,10	1,97 \pm 0,12	1,94 \pm 0,08
<i>E. crassipes</i>	$(g_{ap} = 690 \text{ N/m}^3)$	U_h (%)	3,34	6,29	5,88	5,84	7,08	5,63
		Traço (% volume)	0	10	20	30	50	70
		Traço (% massa)	0,00	1,11	2,21	3,32	5,53	7,74
		Retração (%)	9,51	7,77	7,38	8,73	7,93	8,14
		g_{ap} ($\times 10^4 \text{ N/m}^3$)	1,78	1,67	1,58	1,60	1,51	1,43
		$f_c \pm sd$ (MPa)	2,48 \pm 0,31	2,76 \pm 0,19	2,58 \pm 0,18	2,47 \pm 0,17	2,32 \pm 0,07	2,14 \pm 0,09
<i>P. stratiotes</i>	$(g_{ap} = 1.270 \text{ N/m}^3)$	U_h (%)	3,34	4,73	4,27	2,69	7,22	5,90
		Traço (% volume)	0,00	4,44	8,88	13,33	23,33	33,33
		Traço (% massa)	0,00	0,90	1,81	2,71	4,75	6,78
		Retração (%)	9,51	8,06	7,79	7,83	8,06	7,81
		g_{ap} ($\times 10^4 \text{ N/m}^3$)	1,78	1,72	1,63	1,57	1,54	1,39
		$f_c \pm sd$ (MPa)	2,48 \pm 0,31	2,68 \pm 0,20	2,45 \pm 0,15	2,29 \pm 0,08	2,01 \pm 0,20	1,89 \pm 0,09

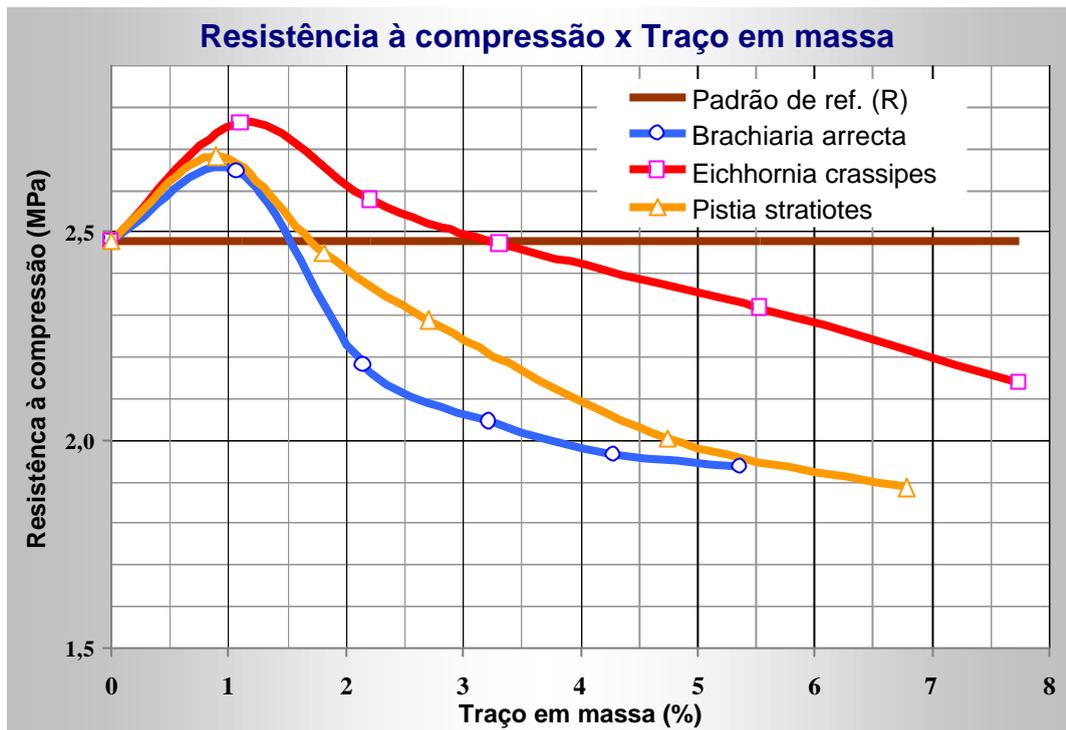


Figura 5: Resistência à compressão em função do traço em massa.

Nota-se que *Eichhornia crassipes* é sensivelmente a mais eficiente, do ponto de vista da resistência à compressão. Por exemplo, é possível se acrescentar cerca de 3,3% de biomassa de *E. crassipes* ao barro e se manter o mesmo nível de resistência do padrão de referência (2,48MPa). Para a mesma situação só é possível se utilizar cerca da metade da biomassa de *P. stratiotes* (1,7%) ou de *B. arrecta* (1,5%).

4 CONCLUSÕES

Para se decidir sobre qual a espécie de macrófita mais indicada e em que quantidade utilizá-la, deve-se levar em conta a situação real do reservatório no momento, em função da sazonalidade do aporte e concentração de nutrientes, assim como a finalidade de uso dos tijolos (se apenas para vedação ou autoportante). De uma forma geral, analisando-se as curvas apresentadas na **Fig. 5**, pode-se concluir que é possível inserir uma quantidade considerável de biomassa aos tijolos, sem que haja grande perda de resistência mecânica. Por exemplo, pode-se utilizar até 7,7%, em massa (ou 70% em volume) de *Eichhornia crassipes* e obter resistência à compressão superior a 2,1MPa, valor razoável e bem superior aos encontrados para os tijolos cerâmicos alveolares brasileiros que, além de tudo, consomem muita energia no processo produtivo, pois são queimados a altas temperaturas.

Do ponto de vista da retirada de nutrientes, *E. crassipes* também se mostrou a mais eficiente, no caso do

nitrogênio. Já para o fósforo, é superada pela *B. arrecta* (**Tabela 1**). Dos 10 metais analisados, *E. crassipes* também é a mais eficiente na retirada dos 4 mais expressivos (ferro, cálcio, manganês e magnésio, de acordo com a **Tabela 1**). A estabilidade e a eficiência desse encapsulamento de nutrientes e metais pelos tijolos, deverá ser analisada em trabalhos futuros, quando deverão ser construídas paredes com esse adobe e as mesmas deverão ser submetidas a ensaios de intemperismo acelerado, para análise química do material lixiviado.

Como comentário final, cabe salientar que o adobe, apesar de ser um dos mais antigos materiais de construção manufaturados, ainda se mostra atual e perfeitamente viável como material de construção totalmente ecológico, uma preocupação imperativa neste novo milênio, onde se busca a sustentabilidade do planeta, em todos os níveis da atuação humana. Sua utilização pode ser inserida em programas de manejo integrado de lagos eutrofizados, ou em vias de eutrofização, como alternativa de retirada e encapsulamento (ou solidificação/estabilização) de nutrientes e metais indesejados no ecossistema, além de se constituir como alternativa de autoconstrução de habitações de interesse social (baixo custo), cujo déficit é preocupante no Brasil.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSEN, J. M (1976): *An ignition method for determination of total phosphorus in lake sediments*. Water Research; 10(4): 329-331.

BORGES FARIA, Obede (2002): *Utilização de macrófitas aquáticas na produção de adobe: um estudo de caso no reservatório de Salto Grande (Americana-SP)*. São Carlos. 200p. Tese (doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

ESTEVES, Francisco Antônio (1988): *Fundamentos de limnologia*. Rio de Janeiro: Interciência.

FATHY, Hassan (1976): *Architecture for the poor: an experiment in rural Egypt*. Chicago: University of Chicago.

HOYER, Mark V., CANFIELD JR, Daniel E., editores (1997): *Aquatic plant: management in lakes and reservoirs* [livro online] Washington: North American Lake Management Society and Aquatic Plant Management Society. [capturado 1998 Jul 03]; Disponível em: <http://aquat1.ifas.edu/photos.html>

LOPES FERREIRA, Celina (2000): *Estudo de uma área alagada do rio Atibaia visando a elaboração de proposta de manejo para melhoria da qualidade da água no reservatório de Salto Grande (Americana-SP)*. São Carlos. Tese (doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

MINKE, Gernot (1995): **Lehmbau-handbuch**: der baustoff lehm und seine anwendung. Staufen bei Freiburg: Ökobuch.

STANDARD METHODS (1971): *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 13th edition. New York.

AGRADECIMENTOS

À Luci, Marcelo e Amândio, técnicos de laboratório do CRHEA/EESC/USP-São Carlos; ao Sr. Felisberto e Israel, técnicos dos laboratórios de Mecânica dos Solos e Construção Civil, da FEB/UNESP-Bauru; À PROPP/UNESP, pela bolsa de Incentivo à Capacitação Docente e ao Projeto PROTERRA/CYTED (na pessoa de sua coordenadora, Célia M. M. Neves), pelo financiamento da viagem e apresentação.