

Avaliação do Controle Mecânico de Macrófitas Aquáticas na Remoção de Nutrientes da Água e como Bio-Fertilizante na Recuperação de Áreas Degradadas na Light Energia SA.

Robinson A. Pitelli, Luis A. B. Grande, Monicke O. Vieira, Robinson L. C. M. Pitelli e Claudia M. T. Fiorillo.

Resumo – O crescimento vigoroso das macrófitas ocupando o reservatório de Santana é consequência da qualidade da água bombeada do Rio Paraíba do Sul, da ausência de importantes inimigos naturais e do assoreamento deste corpo hídrico. Estas plantas causam problemas aos usos múltiplos da água e do reservatório e têm sido controladas mecanicamente. Como resíduo deste processo há grande biomassa de plantas aquáticas para ser descartada. Assim um dos objetivos mais importantes deste Projeto de P&D 0382-0014/2006 foi avaliar a viabilidade do uso ambientalmente correto e sustentado deste processo, avaliando a composição química destas plantas e os efeitos de suas incorporações sobre características químicas, físicas e biológicas de solos degradados. Os resultados mostram variação sazonal da quantidade de biomassa colhida em função de variáveis climáticas e operacionais, diferenças entre as composições químicas entre as espécies, diferenças entre os efeitos sobre as características de solos degradados e nas respostas de plantas nativas.

Palavras-chave – colheita mecânica, manejo sustentado plantas aquáticas, recuperação da vegetação, solo degradado.

I. INTRODUÇÃO

Desde o início do enchimento do complexo de Ribeirão das Lajes, o reservatório de Santana apresentou problemas com o crescimento excessivo de macrófitas aquáticas. Este crescimento inicialmente estava relacionado à formação de um sistema lêntico associado à água eutrofizada bombeada do Rio Paraíba do Sul. Nesta época, predominavam plantas flutuantes e marginais. Com o passar do tempo, outros fatores agravantes na proliferação da comunidade de macrófitas foram sendo introduzidos, como: assoreamento do corpo

hídrico, introdução de plantas exóticas invasoras, redução da diversidade e quantidade de inimigos naturais das macrófitas e, além disso, a qualidade da água piorou expressivamente. Atualmente, o reservatório de Santana apresenta uma comunidade de macrófitas aquáticas densa, diversificada e agressiva, com grande proporção de plantas exóticas [1, 2]. Historicamente, o controle desta vegetação tem sido necessária para manter o funcionamento da Estação Elevatória de Vigário, para promoção do bem estar da população ribeirinha, para prevenção de enchentes e para outros usos múltiplos da água e do corpo hídrico [3].

Várias formas de controle foram tentadas para a contenção do crescimento destas plantas e atualmente se utiliza uma modalidade de retirada mecânica das macrófitas aquáticas em que há (i) o deslocamento das plantas de seus bancos fixados no sedimento ou retidos por outras plantas, (ii) locação nas áreas lóticas, onde são carregadas até barreira flutuante e, daí, são (iii) retiradas por braços mecânicos, (iv) depositadas sobre plataforma de concreto e, depois (v) transportada para área de descarte.

Os impactos ambientais deste processo de colheita mecânica sempre foram preocupações da Light Energia SA, especialmente com o destino da biomassa de macrófitas e sua disposição de forma ambientalmente compatível. Deste modo, foi conduzido um programa de pesquisa e desenvolvimento com o título “Dinâmica e Manejo Integrado de Macrófitas Invasoras nos Reservatórios das Usinas Hidrelétricas da Light Serviços de Eletricidade”. Os principais objetivos deste programa foram: (i) avaliação das populações presentes das comunidades de macrófitas aquáticas nos reservatórios da Light, (ii) desenvolvimento de um sistema de avaliação das quantidades de macrófitas colhidas em Santana e Vigário, (iii) avaliação das quantidades de elementos químicos removidas da água junto com as plantas aquáticas e (iv) avaliação da biomassa de macrófitas aquáticas como biofertilizante para recuperação de áreas degradadas.

Os resultados permitiram o desenvolvimento de um sistema simples e confiável de avaliação quantitativa e qualitativa biomassa de macrófitas colhida em Santana e Vigário e mostraram que as espécies de plantas aquáticas variam bastante com relação aos teores de elementos químicos e que influenciam de forma diferenciadas as qualidades de solo degradado, permitindo rápido crescimento de espécies nati-

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL e consta dos Anais do VI Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (VI CITENEL), realizado em Fortaleza/CE, no período de 17 a 19 de agosto de 2011.

Este trabalho foi apoiado pelo Programa de Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL, financiado pela Light Energia SA.

R. A. Pitelli e C. M. T. Fiorillo trabalham na Unesp Jaboticabal (e-mails: rapitelli@ecosafe.agr.br ; claudia.fiorillo@fcav.unesp.br).

R. L. C. M. Pitelli trabalha na Ecosafe A.M.A. Ltda (e-mail: rlpitelli@ecosafe.agr.br)

L. A. B. Grande e M. O. Vieira trabalham na Light Energia SA (e-mail: luiz.grande@light.com.br e monicke.vieira@light.com.br)

vas utilizadas em reflorestamento.

Para a Light Energia SA, os resultados do P&D proporcionaram subsídios ao setor de geração para programação da colheita das macrófitas aquáticas e para a EGM proporcionaram fortes subsídios para licenciamento da colheita mecânica mostrando que este processo reduz a contaminação da água por elementos químicos e fornece bio-fertilizante para a recuperação de áreas degradadas.

II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

As quantidades de biomassa de macrófitas colhidas no reservatório de Santana foram realizadas no pontão de Santana e na Estação Elevatória de Vigário. As máquinas de remoção das plantas foram orientadas no sentido de acumular toda a biomassa em apenas um local, ajeitando-a para formação de um cone ou uma leira. Imediatamente antes do carregamento do caminhão de transporte estes cones ou leira foram uniformizadas e medidas quanto a (i) altura e diâmetro dos cones e (ii) altura, diâmetro das extremidades e comprimento das leiras. Os volumes foram medidos aplicando fórmulas tradicionais para estas formas geométricas.

Durante o carregamento do caminhão foram dadas notas de participação volumétrica de cada espécie de macrófita na biomassa carregada.

Estudos de campo, utilizando amostradores quadrados (1,0 m²) e flutuantes permitiram determinar o volume e biomassa presente por unidade de área nos bancos das principais macrófitas aquáticas presentes do reservatório de Santana. Em virtude das condições de assoreamento e dificuldade de acesso a determinadas partes do reservatório as espécies avaliadas foram *E. crassipes*, *P. stratiotes*, *S. herzogii*, *P. lapathifolium* e *B. subquadripara*. Para cada espécie foram realizadas cinco amostragens. Amostras das plantas foram tomadas para cálculos dos teores de água nos tecidos, por meio de pesagens antes e após a secagem em estufa de renovação forçada de ar (65-75°C, por quatro dias).

Durante os meses de abril e outubro de 2008 foram tomadas amostras das principais macrófitas aquáticas presentes em Santana [2], que foram *Brachiaria subquadripara* (BRASU), *Eichhornia azurea* (EICAZ), *Egeria densa* (ELDDE), *Pistia stratiotes* (PIIST), *Polygonum lapathifolium* (POLLA), *Pontederia cordata* (PONFC), *Sagittaria montevidensis* (SAGMO) e *Salvinia herzogii* (SALHE). Em cada campanha foram coletadas amostras de plantas em cinco locais do reservatório e as quais sofreram rápida lavagem para retirar restos de outras plantas e de sedimento, visando melhor simular as condições da colheita mecânica. A seguir, as macrófitas foram secas em estufa, moídas e analisadas no Instituto Agrônomo de Campinas.

Dois experimentos foram conduzidos em condições de casa de vegetação visando avaliar os efeitos das incorporações de diferentes quantidades de biomassa de macrófitas aquáticas coletadas nos reservatório de Santana sobre as características químicas do solo consideradas nas análises de rotina para recomendação de adubação e os mais importantes metais pesados.

A amostra de solo para realização dos estudos foi coletada na camada de 1,0 a 2,0 metros de um solo Podzólico Vermelho Amarelo Distrófico. Esta opção de profundidade visou simular um solo degradado com baixo teor de matéria orgânica e pobre em nutrientes. As amostras de solo foram conduzidas ao laboratório, secas à sombra, peneiradas em malhas de 5 mm e armazenadas em local fresco e seco até o momento da utilização.

As amostras de plantas foram coletadas nos reservatório de Santana, levadas ao Núcleo de Estudos e Pesquisas Ambientais em Matologia da Unesp Jaboticabal, onde foram picadas, secadas em estufa de circulação forçada de ar (60-70°C) e moídas em moinho tipo "Wiley" mesh 20.

Em um primeiro experimento foram avaliadas as incorporações das doses de 10, 20, 30 e 40 t.ha⁻¹ da biomassa seca de *Echinochloa polystachya* (ECHPO), SALHE, PIIST e *Typha latifolia* (TYLHA). O experimento foi instalado no delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro repetições e cada vaso contendo 500 g de solo foi considerada como uma parcela experimental. O período de incubação foi de 28 dias.

No segundo experimento foram avaliadas as incorporações das doses de 20 e 40 t.ha⁻¹ de BRASU, ECHPO, EICAZ, EICCR, *Hymenachne amplexicaulis* (HYMAM), PIIST, POLLA, SAGMO, SALHE e TYPHA. O experimento foi instalado no delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro repetições e o período de incubação foi de 35 dias.

A incubação foi levada a efeito em sala climatizada a 25±1°C, sendo mantida a umidade entre 60-70% do poder de embebição do solo original (sem incorporação de macrófitas).

Ao final do período de incubação, o solo foi seco à sombra e enviado para análise das principais características químicas supra-comentadas no Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Solos e Adubos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Unesp Jaboticabal [4].

A final do período de incubação do segundo experimento foram avaliados os efeitos de biomassa de macrófitas sobre a atividade heterotrófica global e o poder de retenção de umidade pelo solo degradado [5].

A atividade heterotrófica global foi estimada pela evolução de CO₂ pelas amostras de solo. As avaliações foram realizadas em todas as parcelas, a cada 48 horas.

Para a avaliação da evolução de CO₂ foi adotado o seguinte procedimento [6]. Alíquotas de 200 g do solo de cada tratamento foram colocadas, individualmente, em potes de vidro transparente, boca larga, tampa rosqueada com fechamento hermético e capacidade de 3,0 L. A umidade do substrato foi ajustada para 60% do poder de embebição. Em cada frasco foram colocados um frasco contendo 20 ml de água e outro com 20 ml de NaOH 1mol.L⁻¹, para retenção do CO₂ liberado. Foram preparados dois potes de vidro contendo apenas os frascos com 20 ml de água e 20 ml de NaOH 1mol L⁻¹, constituindo assim as provas em branco. Todos os potes foram tampados e incubados no escuro à temperatura de 25 °C (±2). Após cada período de incubação (que dependeu do experimento), o NaOH foi retirado e adicionado 3 ml de solução aquosa saturada de BaCl₂ para precipitação do Na₂CO₃ formado. Em seguida, foram adicionadas três gotas de solução alcoólica de fenolftaleína a 10 g kg⁻¹ como indi-

cador do ponto de viragem, de rosa para branco leitoso e se procedeu a titulometria com HCl 0,65 mol L⁻¹.

Para o cálculo do CO₂ liberado, será utilizada a equação (1)

$$C - CO_2 = \frac{[HClb - HCl a] * 6 * 0.65}{0.2} \quad (1)$$

Onde: **C-CO₂** é a quantidade de carbono constituinte do CO₂ expressa em mg.kg⁻¹ solo; **HClb** é volume de HCl gasto na titulometria do controle (branco); **HCl a** é o volume de de HCl gasto na amostra exposta ao solo; o número **6** é o equivalente grama do carbono; **0,65** é a normalidade do HCl e **0,2** refere-se à quantidade de substrato (200 g). A unidade medida é mg de CO₂/Kg de solo.

Para a avaliação da capacidade de retenção de água no solo (poder de embebição), copos plásticos de 40 ml foram perfurados no fundo e receberam papéis de filtro umedecidos no fundo para bloquear os orifícios. A seguir, foram pesados em balança de precisão de 0.01g (peso P1). Numa próxima etapa foram colocados 25g de solo seco (TFSA) em cada um dos copinhos e, em seguida, colocados em bandeja com água até o nível de dois terços da altura do solo no copo. Este procedimento visou saturar o solo de água e, para tanto, foram mantido na bandeja por 12 horas para a completa saturação.

Terminado o período de saturação, os copinhos foram retirados da água, colocados sobre uma grade com tamis de 5 mm por mais 12 horas para o escoamento da água gravitacional. Neste período os frascos de plásticos foram cobertos com lâmina de plástico para minimizar a evaporação da água da superfície do solo e mantidos por mais 12 horas para o completo escoamento da água por gravidade. Em seguida, os frascos voltaram a ser pesados em balança com precisão de 0,01 g. O poder de embebição do solo foi calculado pela equação (2)

$$PE = \left(\frac{P2 - (P1 + 25)}{25} \right) * 100 \quad (2)$$

Onde: PE = Poder de embebição do solo (%); P1 = peso do copinho + papel filtro umedecido; P2 = peso do copinho + papel filtro umedecido + peso solo seco + peso da água

Para as avaliações das respostas em crescimento de plantas nativas foram eleitas espécies regularmente utilizadas na recuperação de áreas degradadas pela Light Energia SA foram eleitas espécies com elevada taxa de utilização, sendo mutambo (*Guazuma ulmifolia*), aroeira-pimenteira (*Schinus terebentifolius*) e capixungui (*Croton floribundus*).

Nesta fase do trabalho, as macrófitas escolhidas para a incorporação no solo foram aquelas que mais contribuíam para a biomassa retirada do reservatório de Santana na ocasião da instalação dos trabalhos: POLLA e SAGMO.

O solo utilizado foi o mesmo para os estudos dos efeitos das incorporações das macrófitas sobre suas características químicas, físicas e biológicas e sofreu o mesmo preparo de secagem a sombra e peneiramento em matiz de 5,0 mm.

Os experimentos obedeceram ao delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro repetições e os tratamentos experimentais foram distribuídos em esquema fatorial 2 x 4, onde constituíram variáveis duas espécies de macrófitas incorporadas (POLLA e SAGMO) e quatro doses de incorporação (10, 20, 30 e 40 t.ha⁻¹ de biomassa seca). Ainda houve uma testemunha absoluta sem incorporação de biomassa de qualquer macrófita aquática.

Os vasos para o crescimento das macrófitas foram plásticos com volume de cinco litros e a umidade foi mantida por irrigações diárias. Sob os vasos havia um prato plástico e qualquer excesso de água que percolasse numa irrigação era resposto na operação seguinte, evitando perdas de nutrientes solúveis.

As alturas das plantas (desde o colo até a inserção da última folha em expansão) foram avaliadas aos 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56 e 63 dias após o transplante. Período superior a 63 dias poderia levar a mascaramento dos efeitos da adubação, pois o volume de terra poderia limitar as respostas das plantas. Ao final do período experimental foram avaliadas as biomassa secas de folhas e partes aéreas, após secagem em estufa de renovação forçada de ar (60-70°C até peso constante).

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nas Tabelas I e II Estão apresentados os volumes estimados de macrófitas retiradas do reservatório de Santana entre abril de 2007 e junho de 2009. Na barreira flutuante o volume de macrófitas foi muito maior que na Estação Elevatória, cerca de 223,57 vezes. Na barreira, o volume retirado neste período de 28 meses foi 92.689,27 m³ contra 414,63 m³ na elevatória. No entanto é importante considerar o impacto das macrófitas nas duas situações. Na barreira, o objetivo é preventivo e visa impedir que esta macrófitas atinja as grades das bombas que conduzem a água para o reservatório de Vigário. No caso da Estação Elevatória, estas macrófitas já atingiram as grades e, em alguma intensidade, influenciaram no fluxo de água para as bombas. Não foram realizadas medidas deste impacto.

Neste período, as médias mensais de retirada mecânica foram de 3.310,00 m³ na barreira flutuante e 14,80 m³ na Estação Elevatória.

Não foi possível estabelecer um padrão entre parâmetros ambientais regionais e as quantidades de macrófitas retiradas pela colheita mecânica, uma vez que este processo depende de decisões operacionais, controle de altura da lâmina d'água para controle de enchente e vigência de contratos com empreiteiras para o controle destas plantas. Dentre as decisões operacionais pode-se tomar como exemplo a atitude de enviar as máquinas para a colheita de macrófitas aquáticas na barreira flutuante localizada no reservatório de Vigário, reduzindo ou até mesmo parando o processo em Santana.

Tabela I. Volumes mensais de macrófitas (m³) retiradas do reservatório de Santana na barreira flutuante, no período de observações do P&D.

Espécie	2007									
	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
BRASU	38,06	30,69	14,25	0,00	75,83	0,00	27,98	0,00	0,00	0,00
ELDDE	60,75	54,73	15,70	402,39	0,00	0,00	29,72	0,00	0,00	0,00
EICAZ	184,46	325,20	470,58	0,00	529,80	720,55	472,18	745,87	204,91	0,00
EICCR	34,15	23,22	37,07	0,00	87,75	329,23	0,00	85,32	0,00	0,00
PIIST	429,48	737,99	758,63	754,54	1209,36	2246,13	2296,00	2470,15	356,68	0,00
POLLA	0,00	211,15	149,20	169,56	31,09	755,57	380,45	1583,01	171,34	0,00
SAGMO	0,00	0,00	0,00	0,00	298,85	1237,80	176,10	0,00	0,00	0,00
SALSS	582,71	851,26	907,46	600,57	1220,77	3092,99	1768,08	2214,19	330,10	0,00
ALRPH	0,00	0,00	0,00	28,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Espécie	2007	2008							
	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago
BRASU	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	362,97	30,07	123,09	367,87
EICAZ	119,59	553,20	1145,20	1122,83	185,33	438,50	253,87	419,97	579,77
EICCR	0,00	0,00	553,55	411,23	125,19	258,07	19,58	145,47	55,95
PIIST	377,66	1428,10	2834,20	2443,93	546,20	1158,50	531,17	1353,62	1395,93
POLLA	151,06	586,07	516,80	673,84	106,30	320,31	252,47	508,09	347,58
SAGMO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	102,11	241,63	393,04
SALSS	295,83	1391,03	2679,61	2203,35	470,67	986,45	531,17	1369,35	1313,40

Espécie	2008			2009					
	Set	Out	Nov	Nov	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
BRASU	424,51	25,88	51,05	23,78	0,00	76,93	104,90	79,73	253,17
EICAZ	91,62	190,93	283,24	202,47	40,91	442,00	367,52	185,33	822,10
EICCR	27,97	5,59	58,75	55,95	0,00	101,41	43,71	163,65	155,96
PIIST	540,61	345,84	803,22	642,02	119,59	1307,46	1054,29	807,77	2532,05
POLLA	158,06	190,93	295,83	236,73	31,82	493,75	382,55	375,56	916,52
SAGMO	0,00	62,94	194,42	80,08	23,78	176,94	218,20	34,97	362,97
SALSS	540,61	345,84	803,22	652,86	119,59	1324,94	1066,53	814,76	2552,33

Tabela II. Volumes mensais de macrófitas (m³) retiradas do reservatório de Santana na Estação Elevatória de Vigário, no período de observações do P&D.

Espécie	2007											
	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev
BRASU	20,99	20,99	6,57	2,12	28,80	36,23	149,07	53,41	84,98	110,50	110,50	110,50
ELDDE	28,60	28,60	14,82	3,18	4,55	20,85	97,50	10,56	18,33	131,83	131,83	131,83
EICAZ	140,90	140,90	35,27	8,96	9,72	6,71	33,56	51,05	166,37	167,15	167,15	167,15
EICCR	18,04	18,04	0,00	0,00	1,77	0,00	4,24	0,00	8,48	20,98	20,98	20,98
PIIST	407,62	407,62	30,16	6,11	7,68	13,37	55,46	20,36	169,69	258,76	258,76	258,76
POLLA	30,65	30,65	10,44	0,00	0,71	3,77	69,94	64,32	152,67	93,02	93,02	93,02
SALSS	116,38	116,38	16,42	2,44	0,00	0,00	10,60	0,00	27,91	168,90	168,90	168,90
SCPCU	0,00	0,00	0,00	0,00	1,02	1,41	3,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ALRPH	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,44	0,00	9,89	89,27	0,00	0,00	0,00

Espécie	2008											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
BRASU	38,81	46,44	33,23	27,35	57,42	43,43	11,54	16,64	181,90	127,98	127,98	127,98
ELDDE	40,91	45,88	34,55	35,25	52,73	40,49	13,64	17,62	106,93	104,90	104,90	104,90
EICAZ	80,43	86,72	69,24	39,86	46,86	42,31	7,34	15,74	86,72	107,00	107,00	107,00
EICCR	2,80	25,52	33,57	29,37	36,02	28,32	10,84	17,13	38,47	72,03	72,03	72,03
PIIST	99,31	137,77	98,61	66,44	77,78	75,88	19,23	55,95	112,95	164,35	164,35	164,35
POLLA	37,07	68,99	47,11	38,12	37,77	39,86	13,64	43,36	45,11	103,16	103,16	103,16
SALSS	62,24	115,05	96,51	58,05	67,84	70,99	22,38	56,30	98,26	148,96	148,96	148,96
SCPCU	0,00	2,10	5,25	3,15	2,10	4,20	1,05	0,00	0,00	3,15	3,15	3,15
ALRPH	0,00	15,74	6,69	3,15	3,15	4,20	1,05	1,05	1,05	23,08	23,08	23,08

Espécie	2008			2009								
	Nov	Dez	Jan	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
BRASU	30,35	47,77	86,16	70,71	74,13	58,05	64,27	81,27	---	---	---	---
ELDDE	31,89	36,16	76,79	57,98	63,64	51,75	59,52	71,89	---	---	---	---
EICAZ	29,37	34,27	50,00	38,81	54,20	39,86	47,91	52,10	---	---	---	---
EICCR	14,69	20,98	39,51	37,77	51,40	38,47	37,42	49,65	---	---	---	---
PIIST	50,00	59,80	89,17	79,73	107,70	84,97	100,01	108,40	---	---	---	---
POLLA	25,88	29,02	36,37	35,32	55,95	48,61	52,45	52,80	---	---	---	---
SALSS	50,35	53,50	76,23	73,08	95,81	83,22	89,17	92,32	---	---	---	---
SCPCU	2,10	4,20	2,10	2,10	2,10	4,20	5,25	3,15	---	---	---	---
ALRPH	3,15	1,05	5,25	3,15	4,20	2,10	4,20	3,15	---	---	---	---

Um resultado interessante observado é que nos meses mais chuvosos (dezembro a março), o nível do reservatório de Santana é mantido baixo para o controle de cheias. Nesta época, grande parte do sedimento fica exposta e há intensa proliferação de algumas macrófitas como *S. montevidensis*, *P. lapathifolium* e *B. subquadripara*. Estas plantas também formam barreiras e contingenciam colonizações de plantas flutuantes como *P. stratiotes* e *Salvinia* sp. Com o enchimento do reservatório com o início do período seco, grande parte destas plantas é mais intensamente deslocada pela colheita mecânica para a região lótica do reservatório e também liberam as colonizações de plantas flutuantes. Com isso, é possível observar que no período mais seco do ano, as quantidades de biomassa são maiores.

Outro fato, bastante importante a ser observado é a rápida proliferação de *B. subquadripara* com crescimento epifítico sobre as plantas de *E. crassipes* e *P. stratiotes*. A gramínea reduz drasticamente a radiação solar sobre as macrófitas flutuantes, reduz o vigor destas plantas e o conjunto deixa de flutuar. Com isso, passa sob a barreira flutuante e atinge as grades de proteção da Estação Elevatória. Este fato mostra dois comportamentos interessantes que é a (i) redução da importância de *E. crassipes*, historicamente a macrófita mais importante do reservatório, e (ii) a expressiva presença de plantas flutuantes que passaram sob a barreira e atingiram as grades de proteção.

As macrófitas aquáticas diferiram estatisticamente para todos os nutrientes e metais pesados analisados (Tabela III). Os teores de N poucos entre as plantas estudadas (de 22,4 g.kg⁻¹ em *E. azurea* até 33,5 g.kg⁻¹ em *E. densa*). Mas para outros elementos a diferenças entre as espécies foram mais expressivas.

Egeria densa foi a macrófita aquática que apresentou os maiores teores de P (6,8 g.kg⁻¹), S (5,5 g.kg⁻¹), Cu (21,0 mg.kg⁻¹), Mn (9,4 g.kg⁻¹), Zn (308,9 mg.kg⁻¹), Ni (9,2 mg.kg⁻¹) e Pb (0,8 mg.kg⁻¹). *Pistia stratiotes* apresentou os maiores teores de Ca (18,5 g.kg⁻¹), Mg (5,8 g.kg⁻¹) e de Pb (3,5 g.kg⁻¹). *Polygonum lapathifolium* apresentou o maior teor de K (50,5 g.kg⁻¹) e *S. herzogii* foi a que apresentou os maior teor de Fe (11,3 g.kg⁻¹).

Tabela III. Composição química das principais macrófitas aquáticas presentes no reservatório de Santana. Amostras tomadas no ano de 2008.

Espécie	N	P	K	g/Kg			
				Ca	Mg	S	
BRASU	26,4 b	2,5 c	35,9 b	2,0 f	2,0 c	2,7 cd	
EICAZ	22,4 c	3,0 c	37,8 b	7,9 b	2,4 bc	2,7 cd	
ELDDE	33,5 a	6,8 a	34,6 b	7,5 bc	2,6 bc	5,5 a	
PIIST	28,8 b	4,6 b	46,2 a	18,5 a	5,8 a	4,1 b	
POLLA	25,4 bc	2,8 c	36,9 b	5,9 d	3,0 b	2,9 c	
SAGMO	28,6 b	6,1 a	50,5 a	4,4 e	2,1 c	2,2 d	
SALHE	25,5 bc	3,2 c	15,7 c	6,7 cd	2,8 b	3,6 b	
F	8,0	26,6	38,8	227,1	47,0	31,9	
p	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	

Espécie	Cu	Fe	Mn	Zn	Ni	Cd	Pb
BRASU	4,9 de	522,2 c	119,1 e	39,3 d	1,3 c	0,3	0,8
EICAZ	6,5 d	1421,4 c	398,7 cd	67,9 cd	1,1 c	0,3	1,3
ELDDE	21,0 a	7486,3 b	9358,6 a	308,9 a	9,2 a	0,8	2,9
PIIST	10,5 c	6166,6 b	1205,0 bc	133,9 b	6,2 b	0,4	3,5
POLLA	4,0 e	1104,1 c	445,1 cd	51,3 d	0,9 c	0,0	1,2
SAGMO	5,2 de	5435,5 b	876,1 bcd	49,6 d	1,4 c	0,0	0,0
SALHE	18,1 b	11261,4 a	1566,6 b	87,1 c	6,1 b	0,0	9,8
F	84,7	16,6	161,7	105,0	77,6	---	---
p	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	---	---

Considerando as três macrófitas com maiores teores de macronutrientes, sempre *P. stratiotes* esteve incluída. Para as três macrófitas que apresentaram maiores teores de micronutrientes e metais pesados, *E. densa*, *P. stratiotes* e *S. herzogii* estiveram incluídas para todos os elementos, com exceção da samambaia aquática para Cd, em que não foram detectados níveis mensuráveis na biomassa seca.

Estes resultados são importantes para mostrar o potencial desnutrificante que a retirada mecânica das macrófitas proporciona à água do reservatório. A colheita de uma tonelada destas macrófitas retirada entre 22,4 a 28, 8 Kg de N, o que corresponde à faixa de 99,2 a 127,5 Kg de N-NO₃ e de 5,7 a 15,6 Kg de P₂O₅. Esta quantidade de nutrientes deixará de

onerar o tratamento da água para consumo.

Na Tabela IV estão apresentados os dados obtidos nas avaliações de campo relacionando áreas colonizadas, volume, massa fresca e porcentagem de matéria seca na biomassa de macrófitas colhidas no reservatório de Santana. Utilizando estes dados foi possível realizar algumas estimativas sobre quantidades de nutrientes mobilizados do corpo hídrico quando da colheita destas plantas especificamente.

Com os dados da Tabela IV foi possível realizar uma estimativa das quantidades de nutrientes retirados do corpo hídrico pela colheita de um hectare de cada uma destas macrófitas avaliadas e os resultados estão apresentados na Tabela V. É importante destacar que os dados de teores de elementos químicos em *E. crassipes* não foram obtidos neste P&D. Estes dados foram obtidos em outro programa de desta natureza realizada no reservatório de Santana entre 2003 e 2005, também pela equipe do Nepeam.

Pela análise da Tabela V é possível avaliar a grande poder desnutrificante da retirada mecânica de macrófitas aquáticas no reservatório de Santana, embora apenas tenham sido consideradas as espécies em que foi possível realizar a amostragem para as avaliações da Tabela IV.

Uma observação bastante interessante é a pequena quantidade de metais pesados contido na biomassa de macrófitas e os elementos Fe, Mn e Zn são nutrientes essenciais ao crescimento vegetal. O Cd não aparece na Tabela, por questão estética (sete colunas de valores) e porque seus valores foram muito baixos

Tabela IV. Relações entre área colonizada e volume de macrófitas na biomassa colhida, massa verde por unidade de volume e porcentagem de matéria seca para *E. crassipes*, *P. stratiotes*, *S. herzogii*, *P. lapathifolium* e *B. subquadripara* no reservatório de Santana.

Espécie	Superfície/ Volume	Massa/m ³	Teor massa seca %
	m ² m ⁻³	Kg.m ⁻³	
EICCR	12,3 ¹	76,3	17
SALHE	16,3	63,9	14
PIIST	13,8	58,3	12
POLLA	5,3	93,8	24
BRASU	7,1	58,4	27

1. Todos os dados são médias de cinco repetições

Tabela V. Quantidades estimadas de nutrientes e metais pesados retirados do corpo hídrico pela colheita mecânica de um hectare de cada uma das macrófitas citadas no reservatório de Santana. Os dados dos teores dos elementos em *Eichhornia crassipes* foram obtidos em P&D anterior (2003-2005)

Espécie	N	P	K	Ca	Mg	S
	kg.ha-1					
EICCR	136,2	9,7	228,5	108,7	37,4	20,1
SALHE	122,9	16,3	207,2	43,6	13,4	14,9
PIIST	134,0	21,3	214,7	86,2	27,2	19,2
POLLA	764,1	85,2	1108,9	178,2	91,5	87,3
BRASU	456,8	42,6	620,1	33,7	34,9	46,6

Espécie	Cu	Fe	Mn	Zn	Ni	Pb
	kg.ha-1					
EICCR	0,1	8,1	8,5	0,3	>0,1	>0,1
SALHE	>0,1	7,8	2,2	0,4	>0,1	>0,1
PIIST	>0,1	28,7	5,6	0,6	>0,1	>0,1
POLLA	0,1	33,2	13,4	1,5	>0,1	>0,1
BRASU	0,1	9,0	2,1	0,7	>0,1	>0,1

Em função da grande biomassa e do baixo teor de umidade *P. lapathifolium* e *B. subquadripara* foram as macrófitas que permitiram maiores retiradas de nutrientes do corpo hídrico, com exceção de alguns elementos em que seus teores foram muito baixos. *B. subquadripara* apresentou a menor retirada de Ca quando comparada com a outras espécies e apresentou menor retirada de Mg que *E. crassipes*.

Considerando os dois elementos com maior esforço de retirada para desnitrificação da água, N e P, é possível extrapolar que a colheita de um hectare de cada uma destas macrófitas possibilita a retirada de 22, 37, 49, 195 e 95 kg.ha⁻¹ de P-P₂O₅ por *E. crassipes*, *S. herzogii*, *P. stratiotes*, *P. lapathifolium* e *B. subquadripara*, respectivamente. Para estas mesmas macrófitas as quantidades retiradas de N-NO₃ foram. 630, 500, 593, 3383 e 2202 kg.ha⁻¹, respectivamente. É expressivo e digno de registro o poder de colheita mecânica em retirada nutrientes da água, melhorando sua condição para o tratamento pela CEDAE.

No entanto, esta grande quantidade de nutrientes retirada do corpo hídrico e a baixa concentração em metais pesados qualificam esta biomassa para a utilização como biofertilizante, especialmente para recuperação de áreas degradadas, considerando que não há dados sobre contaminações biológicas por microrganismos patogênicos.

Numa primeira etapa foram avaliados os efeitos das incorporações de quantidades crescentes de algumas das principais macrófitas aquáticas presentes no reservatório de Santana apenas sobre propriedades químicas de um solo degradado. As macrófitas estudadas foram *E. polystachya*, *S. herzogii*, *P. stratiotes* e *T. latifolia* nas doses de 10, 20, 30 3 40 t.ha⁻¹ e os resultados estão apresentados na Tabela VI.

Tabela VI - Médias dos valores das principais características químicas de solo degradado após incubação com quatro doses de *Echinochloa polystachya*, *S. herzogii*, *P. stratiotes* e *Typha latifolia*, acompanhadas dos respectivos valores do teste F e das comparações de médias (Duncan 5%)

Variável	P	M.O.	pH	K	Cu	Mg	H+Al	SB	
Espécie (E)	1215,8 <0,01	73,7 <0,01	546,7 <0,01	1919,5 <0,01	544,3 <0,01	428,3 <0,01	291,7 <0,01	1363,07 <0,01	
Dose (D)	204,2 <0,01	212,4 <0,01	60,4 <0,01	914,3 <0,01	138,7 <0,01	239,8 <0,01	82,7 <0,01	603,08 <0,01	
Inter. E x D	150,7 <0,01	5,4 <0,01	8,4 <0,01	144,4 <0,01	34,4 <0,01	28,5 <0,01	9,9 <0,01	91,40 <0,01	
Efeito da espécie									
	mg/kg	µg/g			mmol/dm ³				
ECHPO	1,2 b	13,6 a*	6,0 c*	6,8 b*	4,1 d	2,4 d	11,6 b*	13,3 b*	
PIST	15,8 a*	9,9 c*	6,7 a*	11,1 a*	7,0 c*	5,6 a*	9,4 d*	32,5 a*	
SALHE	1,8 b	12,4 b*	5,7 d	3,0 c*	8,5 b*	3,2 b*	12,7 a	13,1 b*	
TYPLA	1,5 b	13,9 a*	6,4 b*	2,2 d	15,9 a*	2,8 c	10,7 c*	13,4 b*	
Efeito da dose									
10 t/ha	1,9 d	8,9 d*	6,0 c	2,5 d	5,7 d	2,3 d	11,9 a*	10,5 d	
20 t/ha	3,9 c	11,4 c*	6,2 b*	4,7 c*	8,2 c*	3,1 c	11,4 b*	16,0 c*	
30 t/ha	5,7 b	13,5 b*	6,3 a*	6,6 b*	9,8 b*	3,8 b*	10,8 c*	20,2 b*	
40 t/ha	8,8 a*	16,0 a*	6,3 a*	9,2 a*	11,7 a*	4,8 a*	10,2 d*	25,6 a*	
Testemunha	1,0	6,0	5,7	0,3	3,0	2,0	13,0	5,3	
Efeito da espécie									
	CTC	V %	Cu	Fe	Mn	Zn	Pb	Cd	Ni
Espécie (E)	924,12 <0,01	890,67 <0,01	57,20 <0,01	698,42 <0,01	2792,17 <0,01	1167,32 <0,01	27,261 <0,01	nd	nd
Dose (D)	407,48 <0,01	610,94 <0,01	31,05 <0,01	107,47 <0,01	413,35 <0,01	300,35 <0,01	11,324 <0,01	nd	nd
Inter. E x D	89,59 <0,01	13,35 <0,01	6,01 <0,01	31,71 <0,01	141,93 <0,01	84,18 <0,01	10,183 <0,01	nd	nd
Efeito da espécie									
	mmol/dm ³					mg/kg			
ECHPO	24,9 c*	52,3 c*	0,21 c*	6,1 c	3,0 c	0,52 c	0,32 c	nd	nd
PIST	41,9 a*	75,0 a*	0,24 b*	8,8 b*	8,5 b*	1,47 a*	0,39 a*	nd	nd
SALHE	25,8 b*	50,2 d*	0,27 a*	13,8 a*	21,8 a*	0,56 b	0,34 b	nd	nd
TYPLA	24,1 d*	54,7 b*	0,24 b*	5,7 d	4,7 d	0,60 b*	0,41 a*	nd	nd
Efeito da dose									
10 t/ha	22,4 d	46,2 d*	0,22 b*	6,9 c	4,7 d	0,53 d	0,34 c	nd	nd
20 t/ha	27,0 c*	55,4 c*	0,23 b*	7,8 b	7,4 c	0,67 c	0,35 bc	nd	nd
30 t/ha	31,0 b*	62,3 b*	0,25 a*	9,6 a*	10,9 b*	0,91 b*	0,37 b	nd	nd
40 t/ha	35,8 a*	68,2 a*	0,25 a*	10,0 a*	12,5 a*	1,05 *	0,40 a*	nd	nd
Testemunha	18,3	28,9	0,19	5,6	1,6	0,34	0,32	nd	nd

Com exceção de Cd e Ni cujas concentrações estavam abaixo do limite de detecção do método analítico, para todas as características do solo degradado houve efeitos significativos da espécie e da dose incorporadas e da interação dessas duas variáveis. Para as concentrações de matéria orgânica e Cu, soma e saturação de bases e CTC houve efeito significativo da adição de todas as espécies em relação à testemunha.

Comparando as macrófitas avaliadas com a testemunha, *P. stratiotes* elevou as concentrações de todos os elementos estudados, com exceção de H+Al que teve sua concentração reduzida; e também alterou positivamente a soma e saturação de bases, CTC e pH do solo. A adição de *E. polystachya* elevou os teores de matéria orgânica, K, e Cu, reduziu a concentração de H+Al e incrementou os valores do H, CTC e soma e saturação de bases. A adição de *S. herzogii* elevou os teores de matéria orgânica, K, Ca, Mg, Cu, Fe e Mn, não alterou o teor de H+Al nem o pH do solo, mas promoveu incrementos nos valores da CTC e soma e saturação de bases. A adição de *T. latifolia* elevou os teores de matéria orgânica, Ca, Cu, Zn e Pb, os valores pH, soma e saturação de bases e CTC. É interessante observar que apenas *P. stratiotes* logrou influenciar o teor de P no solo.

Comparando as doses de macrófitas com a testemunha sem incorporação, a adição de 10 t.ha⁻¹ apenas foi suficiente para influenciar significativamente os teores de matéria orgânica, K, H+Al e Cu, além o pH, CTC, soma e saturação de bases. Na dose de 20 t.ha⁻¹ houve efeito significativo sobre o pH, soma e saturação de bases e teores de matéria orgânica, K, Ca, Mg, H+Al e Cu. A dose de 30 t/ha proporcionou valores estatisticamente diferentes da testemunha para o pH, soma e saturação de bases e teores de todos os elementos avaliados, com exceção de P e Pb. Todas as características do solo, incluindo teor de P, foram influenciadas pela adição de 40 t.ha⁻¹.

Considerando que para todas as características do solo houve efeitos significativos das interações entre as variáveis principais, dentro do fatorial faz mais sentido a discussão dos desdobramentos dos graus de liberdade dos tratamentos.

Analisando o desdobramento dos graus de liberdade dos tratamentos observa-se, oara o teor de P no solo (Tabela VII), que não houve efeito da dose de incorporação de *E. polystachya*, *S. herzogii* e *T. latifolia*. No entanto, para *P. stratiotes* houve efeito positivo e significativo de cada dose de incorporação. Em todas as doses testadas, os valores da concentração de P no solo que recebeu *P. stratiotes* foi superior às demais espécies.

Tabela VII - Desdobramentos dos graus de liberdade da interação entre espécies e doses de macrófitas aquáticas sobre a soma e saturação de bases, CTC e os teores Mg e H+Al de solo degradado.

Espécie	ECHPO	PIST	SALHE	TYPLA
	P (mg/kg)			
10 t/ha	1,0 aB	4,4 dA	1,2 aB	1,0 aB
20 t/ha	1,0 aB	11,4 cA	1,4 aB	1,4 aB
30 t/ha	1,0 aB	18,4 bA	2,0 aB	1,6 aB
40 t/ha	1,8 aB	29,0 aA	2,4 aB	2,0 aB
	Matéria orgânica (g/kg)			
10 t/ha	9,8 dA	8,0 cB	8,6 dAB	9,0 dAB
20 t/ha	12,0 cAB	9,2 bcC	11,0 cB	13,2 cA
30 t/ha	14,6 bAB	10,2 bC	13,6 bB	15,6 bA
40 t/ha	17,8 aA	12,2 aC	16,4 aA	17,6 aA
	pH			
10 t/ha	5,9 bC	6,4 dA	5,6 cD	6,1 cB
20 t/ha	6,0 aC	6,7 cA	5,7 bcD	6,4 bB
30 t/ha	5,9 abC	6,8 bA	5,8 aD	6,6 aB
40 t/ha	6,0 aC	7,0 aA	5,8 abD	6,5 aB
	K (mmol/dm ³)			
10 t/ha	3,1 dB	4,4 dA	1,6 dC	1,1 dC
20 t/ha	5,2 cB	9,2 cA	2,6 cC	1,9 dC
30 t/ha	7,8 bB	12,8 bA	3,4 bcC	2,5 bD
40 t/ha	11,0 aB	17,9 aA	4,5 aC	3,1 aD
	Ca (mmol/dm ³)			
10 t/ha	4,0 abC	7,8 dA	5,4 cB	5,6 dA
20 t/ha	3,0 bC	15,6 bA	6,6 bcB	7,6 cB
30 t/ha	4,8 aD	18,0 bA	7,2 bcB	9,2 bB
40 t/ha	4,6 aD	22,2 aA	8,6 aC	11,4 aB

Para o teor de matéria orgânica do solo houve efeito positivo das doses avaliadas para as quatro espécies de macrófitas. *T. latifolia* foi a macrófita que teve maior influência sobre o teor de matéria orgânica e (i) na dose de 10 e 40 t.ha⁻¹ apresentou similaridade estatística com *E. polystachya* e *S. herzogii* e (ii) na dose de 20 e 30 t.ha⁻¹ apenas apresentou similaridade estatística com *E. polystachya*; (iii) na dose de 40 t.ha⁻¹. Por outro lado, o menor teor de matéria orgânica no solo sempre foi observado quando a macrófita incorporada foi *P. stratiotes* e, a partir de 20 t.ha⁻¹, sempre foi estatisticamente inferior às demais espécies.

O efeito da dose de incorporação sobre o pH do solo teve efeito diferencial de acordo com a macrófita avaliada: (i) para *P. stratiotes* houve efeito positivo entre todas as doses; (ii) para *E. polystachya* o efeito apenas foi significativa entre a dose mais baixa e as demais e (iii) para *S. herzogii* e *T. latifolia* a resposta à dose ocorreu até 30 t.ha⁻¹. Comparando as espécies, o comportamento estatístico foi similar ocorrendo diferenças estatisticamente significativas entre as quatro espécies, obedecendo a seguinte ordem decrescente de pH: *P. stratiotes* > *T. latifolia* > *E. polystachya* > *S. herzogii*.

Em todas as macrófitas, cada dose de incorporação teve efeito positivo e significativo sobre o teor de K no solo. A comparação entre as espécies mostrou que para todas as doses testadas: (i) concentração de K em *P. stratiotes* foi estatisticamente maior que as demais espécies; (ii) os valores observados para *E. polystachya* também foram estatisticamente superiores às outras duas espécies e (iii) os menores valores foram observados em *T. latifolia* e apenas na dose de 10 t.ha⁻¹ foi estatística similar à *S. herzogii*.

Quanto ao Ca, os efeitos de doses dentro das espécies foram diferenciados: (i) para *E. polystachya* a menor concentração foi observada no solo que recebeu 20 t.ha⁻¹ o qual foi estatisticamente inferior às duas maiores doses; (ii) para *P. stratiotes* houve efeitos significativo e positivo a cada dose; (iii) para *S. herzogii* houve efeito positivo na concentração com o aumento da dose da macrófita, com exceção da similaridade estatística entre os valores observados para as doses intermediárias e (iv) para *T. latifolia* houve efeito crescente significativo do teor de Ca com o aumento da dose.

Houve resposta significativa e positiva da dose de *P. stratiotes* no teor de Mg no solo (Tabela VIII). Para *E. polystachya* as duas maiores doses produziram teores estatisticamente similares e que foram superiores às duas doses meno-

res. Para as incorporações de *S. herzogii* e *T. latifolia*, a dose de 40 t.ha⁻¹ proporcionou teores maiores que a dose de 30 t.ha⁻¹, mas para a samambaia houve semelhança estatística entre as duas doses intermediárias, enquanto para a taboa houve semelhança entre as menores doses.

Tabela VIII- Desdobramentos dos graus de liberdade da interação entre espécies e doses de macrófitas aquáticas sobre os teores Cu, Fe, Mn, Zn e Pb em solo degradado

Espécie	ECHPO	PIST	SALHE	TYPLA
Cu (mg/kg)				
10 t/ha	0,21 aC	0,22 cBC	0,24 cA	0,23 bcB
20 t/ha	0,21 aC	0,24 bB	0,26 bA	0,21 cC
30 t/ha	0,22 aC	0,25 abB	0,29 aA	0,24 bBC
40 t/ha	0,22 aB	0,26 aA	0,27 bA	0,27 aA
Fe (mg/kg)				
10 t/ha	5,7 aC	6,6 dB	9,5 cA	6,0 aBC
20 t/ha	5,8 aC	8,0 cB	12,4 bA	5,0 bC
30 t/ha	6,4 aC	9,9 bB	16,6 aA	5,6 abC
40 t/ha	6,5 aC	10,8 aB	16,6 aA	6,0 aC
Mn (mg/kg)				
10 t/ha	2,6 aC	3,7 dB	10,7 dA	1,9 bC
20 t/ha	2,6 aC	7,0 cB	18,1 cA	1,8 bC
30 t/ha	3,1 aC	10,5 bA	27,9 bA	2,0 abC
40 t/ha	3,6 aC	13,0 aB	30,3 aA	3,0 aC
Zn (mg/kg)				
10 t/ha	0,42 bB	0,75 dA	0,47 bB	0,46 cB
20 t/ha	0,46 bB	1,27 cA	0,52 bB	0,46 cB
30 t/ha	0,59 aB	1,76 bA	0,64 aB	0,65 bB
40 t/ha	0,61 aC	2,11 aA	0,63 aC	0,83 aB
Pb (mg/kg)				
10 t/ha	0,31 aA	0,33 bA	0,35 aA	0,36 bA
20 t/ha	0,31 aB	0,36 bA	0,38 aA	0,36 bA
30 t/ha	0,33 aC	0,42 aA	0,36 aBC	0,39 bAB
40 t/ha	0,32 aC	0,46 aB	0,29 aC	0,52 aA

Em todas as doses, a maior concentração de Ca foi observada no tratamento que recebeu incorporação de *P. stratiotes* e que foi estatisticamente superior à que recebeu *S. herzogii*. Apenas nas doses de 20 e 40 t.ha⁻¹, os teores de Mg observados nas amostras de solo que receberam *T. latifolia* foram inferiores aos observados nas que receberam a samambaia aquática.

Com o aumento das doses de macrófitas aquáticas houve redução do teor de H+Al no solo (Tabela 3.7). A influência mais flagrante foi observada para *P. stratiotes* com a redução significativa a cada dose de macrófita. Para *E. polystachya* apenas houve redução significativa na dose de 40 t.ha⁻¹. Com as adições de *T. latifolia* e *S. herzogii* os efeitos de redução foram significativos acima de 10 e 20 t.ha⁻¹, respectivamente. Nas doses acima de 20 t.ha⁻¹, os valores de H+Al foram significativamente mais baixos com a adição de *P. stratiotes*, seguidos de *T. latifolia*, depois *E. polystachya* e, finalmente, *S. herzogii*. Nestas doses de biomassa houve diferença estatisticamente significativa nas comparações de todas as espécies.

A soma de bases das amostras de solo foi aumentada com o aumento da dose de biomassa de macrófitas aquáticas (Tabela 3.7). Para *P. stratiotes*, *T. latifolia* e *S. herzogii* houve diferença estatística entre todas as doses enquanto para *E. polystachya* as duas menores doses proporcionaram valores estatisticamente similares. Na comparação das espécies dentro de cada dose, foram observados comportamentos estatísticos similares para 10, 30 e 40 t.ha⁻¹ em que *P. stratiotes* proporcionou valor estatisticamente superior às demais espécies, as quais não diferiram entre si. Na dose de 20 t.ha⁻¹, houve diferença estatisticamente significativa entre as quatro espécies.

A CTC do solo que recebeu a incorporação de *P. stratiotes* foi estatisticamente superior à dos solos que receberam qualquer uma das demais espécies (Tabela 3.7). Para dose de 20 t.ha⁻¹ ou acima, os valores observados para os solos que receberam *S. herzogii* apresentaram valores de CTC superiores aos que receberam *T. latifolia*. Apenas para as amostras de solo que receberam *P. stratiotes* e *T. latifolia*

houve diferença estatisticamente significativa entre todas as doses. Para os que receberam *E. polystachya* não houve diferença entre as duas menores doses e para os que receberam *S. herzogii* não houve diferença entre as doses intermediárias.

A saturação de bases foi influenciada significativamente por todas as doses de biomassa para todas as espécies avaliadas (Tabela 3.7). Para todas as doses, os maiores valores foram observados nas amostras de solo que receberam *P. stratiotes*. Nas doses de 10, 30 e 40 t.ha⁻¹, os menores valores foram observados para *S. herzogii*, enquanto que na dose de 20 t.ha⁻¹, o menor valor de saturação de bases foi observado para *E. polystachya*.

Não houve efeitos da dose de incorporação de *E. polystachya* para os teores de Cu, Fe, Mn e Pb e de *S. herzogii* para o teor de Pb no solo degradado (Tabela 3.8). Por outro lado, houve efeito da cada dose de *P. stratiotes* para os teores de Fe, Mn e Zn e de *S. herzogii* para o teor de Mn no solo.

Houve efeito significativo da dose de 40 t.ha⁻¹, quando comparado com as doses mais baixas, para a incorporação de *T. latifolia* sobre os teores de Pb e Cu e de *S. herzogii* sobre o teor de Cu no solo. Com relação ao teor de Fe no solo, com a incorporação de *S. herzogii*, as duas maiores doses foram estatisticamente similares e superiores às doses de 20 e 10 t.ha⁻¹, as quais foram diferentes entre si. Não foram acusadas diferenças estatisticamente significativas entre as duas maiores e as duas menores doses para as incorporações de *E. polystachya* e *S. herzogii*, para Zn, *P. stratiotes*, para Pb e *T. latifolia*, para Mn.

Em todas as doses de incorporação, *S. herzogii* apresentou os maiores teores de Cu, Fe e Mn. Para o teor de Pb, esta macrófita também apresentou os maiores teores de Pb, nas doses de 10 e 20 t/ha; na dose de 30 t.ha⁻¹ o teor de Pb foi maior no solo que recebeu *P. stratiotes* e na dose de 40 t/ha por *P. stratiotes* e *T. latifolia*.

Para o teor de Cu, houve similaridade estatística nos solos que receberam incorporações de *P. stratiotes*, *S. herzogii* e *T. latifolia* na maior dose. Os valores observados para estas macrófitas foram significativamente superiores ao determinado no solo que recebeu *E. polystachya*. Para os teores de Fe e Mn, os comportamentos estatísticos dos dados foram similares na dose de 40 t.ha⁻¹: o teor de elemento no solo que recebeu *Pistia stratiotes* foi estatisticamente superior aos que receberam *E. polystachya* e *T. latifolia*, as quais promoveram valores estatisticamente similares.

Numa segunda etapa foram avaliados os efeitos das incorporações de quantidades de 20 e 40 t.ha⁻¹ de algumas das macrófitas *B. subquadripata*, *E. azurea*, *E. densa*, *P. stratiotes*, *P. lapathifolium*, *P. cordata*, *S. montevidensis* e *S. herzogii* sobre propriedades químicas, físicas e biológicas de um solo degradado.

Os resultados apresentados na Figura 1 mostram que as incorporações de todas as macrófitas estudadas aumentaram a atividade heterotrófica global do solo. Este resultado é esperado quando na biomassa não exista qualquer contaminante que afete a atividade a microbiota do solo, mesmo porque a evolução de CO₂ foi proporcional à dose adicionada dentro de cada espécie.

30 dias de incubação

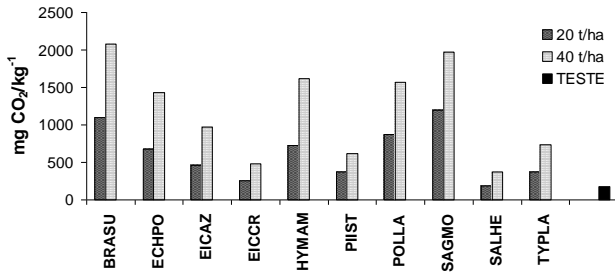


Figura 1. Atividade heterotrófica global de solo degradado adicionado com 20 ou 40 t.ha⁻¹ de diferentes espécies de macrófitas aquáticas coletadas no reservatório de Santana.

É importante ressaltar que as macrófitas flutuantes influenciaram a atividade heterotrófica global em menor intensidade que as marginais e emergentes. A provável explicação para tal comportamento provavelmente está relacionada com a presença resíduo de sedimento na biomassa destas últimas, funcionando como (i) fontes de inóculo ou (ii) de matéria orgânica, como substrato para o crescimento dos microrganismos. Pelos resultados não houve na biomassa das macrófitas fatores limitantes ao crescimento global dos microrganismos do solo. No caso da *T. latifolia*, apenas foram colhidas as folhas, o que reforça a hipótese da influência do sedimento.

Na Figura 02 estão graficamente representados os resultados referentes aos valores do poder de embebição do solo após o período de incubação com as duas doses de diferentes macrófitas.

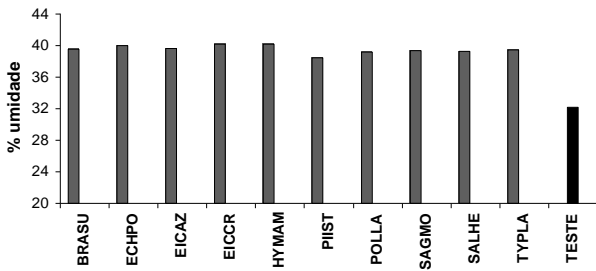


Figura 2. Poder de embebição de amostras de solo degradadas incorporadas com diferentes quantidades de biomassa de macrófitas aquáticas coletadas no reservatório de Santana

As incorporações das biomassas de macrófitas aquáticas elevaram a capacidade de retenção de umidade pelo solo, embora as diferenças entre as espécies não tenham sido expressivas. Esta influência é basicamente física, pois a matéria orgânica humificada tem grande capacidade de absorção de água. Este resultado é importante, pois quando ocorre a incorporação das macrófitas nas covas de plantio de mudas florestais é possível que os pequenos veranicos tenham menores efeitos nos crescimento das plantas.

Na Tabela IX estão apresentados os resultados das análises de variância dos dados relativos às características químicas estudadas e os valores médios obtidos para as variáveis principais do fatorial. Houve efeitos significativos da espécie e da dose de biomassa incorporada para todas as caracterís-

ticas do solo avaliadas.

Tabela IX. Médias dos valores das concentrações de P, matéria orgânica, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn, Pb, Cd e Ni, do pH, soma e saturação de bases e CTC de amostras de solo degradado enriquecidos com duas quantidades de biomassa de macrófitas aquáticas coletadas em Santana e os respectivos resultados das análises de variância e testes de comparação de médias (Duncan 5%).

Variável	P	M.O.	pH	K	Ca	Mg	H + Al	SB	
Espécie (E)	609,1 <0,01	24,6 <0,01	174,3 <0,01	306,3 <0,01	454,9 <0,01	104,7 <0,01	92,3 <0,01	306,5 <0,01	
Doses (D)	782,6 <0,01	467,7 <0,01	290,1 <0,01	912,5 <0,01	388,8 <0,01	288,2 <0,01	96,0 <0,01	844,7 <0,01	
Int. E x D	125,4 <0,01	2,8 <0,01	13,8 <0,01	26,7 <0,01	45,8 <0,01	9,3 <0,01	9,9 <0,01	29,9 <0,01	
Efeitos de espécie									
BRASU	6,1 d	12,2 d*	6,39 c*	17,1 d*	6,3 e	4,5 d*	10,8 d*	27,9 d*	
ECHPO	1,5 f	13,1 e*	6,01 f*	12,4 e*	4,9 f	3,3 e*	11,6 e	20,6 f*	
EICAZ	9,5 e*	13,0 d*	6,21 e*	20,8 a*	12,6 b*	5,2 e*	11,3 d*	38,6 b*	
EICCR	1,7 f	13,3 bc*	6,29 d*	9,6 f*	9,6 e*	4,5 d*	10,4 g*	23,7 e*	
HYMAM	4,3 e	13,3 bc*	5,95 f*	8,1 g*	4,8 f	3,6 e*	12,0 b	16,5 g*	
PIIST	23,1 b*	9,9 f*	6,70 a*	19,7 b*	20,2 a*	7,6 a*	8,8 b*	47,5 a*	
POLLA	5,3 de	14,1 ab*	6,29 d*	17,6 e*	9,2 c*	6,0 b*	10,6 fg*	32,8 c*	
SAGMO	26,5 a*	10,7 e*	6,36 c*	19,8 ab*	8,1 d*	4,5 d*	11,1 de*	32,4 c*	
SALHE	1,2 f	12,5 cd*	5,88 g	4,7 h	6,8 e	3,6 e*	13,0 a*	15,1 g	
TYPLA	1,5 f	14,2 a*	6,46 b*	3,4 i	8,8 c*	3,6 e*	10,4 e*	16,8 g*	
Efeitos de dose									
20 t/ha	4,8 b	10,7 b*	6,12 b*	9,8 b*	7,9 b	3,9 b*	11,4 a	21,6 b*	
40 t/ha	11,4 a*	14,4 a*	6,35 a*	16,9 a*	10,6 a*	5,3 a*	10,6 b*	33,8 a*	
Testemunha	1,0	6,8	5,76	0,7	6,0	2,4	12,2	9,1	
Efeitos de variância									
Variável	CTC	V%	Ca	Fe	Mn	Zn	Pb	Cd	Ni
Espécie (E)	265,6 <0,01	396,0 <0,01	6,7 <0,01	176,8 <0,01	136,0 <0,01	135,8 <0,01	57,6 <0,01	-----	-----
Doses (D)	738,6 <0,01	957,9 <0,01	23,4 <0,01	125,4 <0,01	388,6 <0,01	259,7 <0,01	93,0 <0,01	-----	-----
Int. E x D	25,1 <0,01	3,4 <0,01	0,5 <0,06	13,0 <0,01	16,8 <0,01	10,0 <0,01	1,7 <0,10	-----	-----
Efeitos de espécie									
BRASU	38,7 d*	71,3 e*	0,18 bcd	3,0 g	2,7 f	0,5 de*	0,28 e*	nd	nd
ECHPO	32,2 f*	63,6 e*	0,20 bc	3,7 f	3,2 f*	0,5 de*	0,26 d*	nd	nd
EICAZ	49,9 b*	76,6 b*	0,17 d	3,9 f	6,1 d*	0,7 bc*	0,29 bc*	nd	nd
EICCR	34,1 e*	68,8 f*	0,20 b*	6,7 c*	4,0 e*	0,5 de*	0,22 e	nd	nd
HYMAM	38,9 g*	57,4 f*	0,17 cd	3,1 g	2,6 f	0,6 cd*	0,29 bc*	nd	nd
PIIST	56,3 a*	83,2 a*	0,20 b*	7,9 b*	7,7 c*	1,5 a*	0,29 bc*	nd	nd
POLLA	43,4 e*	75,0 e*	0,19 bc	3,9 f	6,7 d*	0,6 bc*	0,30 ab*	nd	nd
SAGMO	43,5 e*	73,6 de*	0,23 a*	3,1 g	9,8 a*	0,7 b*	0,30 ab*	nd	nd
SALHE	28,1 g*	53,6 j*	0,22 a*	11,6 a*	9,8 b*	0,4 fg*	0,19 f	nd	nd
TYPLA	27,2 g*	61,3 b*	0,18 bcd	4,9 e*	2,5 f	0,4 g*	0,32 a*	nd	nd
Efeitos de dose									
20 t/ha	33,0 b*	63,9 b*	0,18 b	4,4 b	4,0 b*	0,5 b*	0,26 b*	nd	nd
40 t/ha	43,4 a*	73,0 a*	0,21 a*	5,9 a	7,1 a*	0,8 a*	0,29 a*	nd	nd
Testemunha	21,3	42,6	0,16	3,9	1,1	0,2	0,21	nd	nd

Os efeitos das interações entre as variáveis apenas não foram significativos para os teores de Cu e de Pb no solo. Com exceção do teor de H+Al, para todas as demais características avaliadas os valores foram mais elevados no solo que recebeu 40 t.ha⁻¹. Especificamente para a acidez potencial, o valor foi estatisticamente mais baixo no conjunto de tratamentos que recebeu a maior dose de biomassa de macrófitas aquáticas.

Na media das duas doses, maior teor de P foi observado em *S. montevidensis*, seguida de *P. stratiotes* e de *E. azurea*, todas estatisticamente diferentes entre si e superiores à testemunha sem incorporação de macrófitas aquáticas. Os menores teores de P foram observados em *E. crassipes*, *E. polystachya*, *T. latifolia* e *S. herzogii*.

Para todas as macrófitas aquáticas avaliadas, as médias das duas doses de biomassa, promoveram teores de matéria orgânica estatisticamente mais elevado que a testemunha sem incorporação. As espécies que tiveram maiores influências no teor de matéria orgânica no solo foram *T. latifolia* e *P. laphifolium*. O menor valor foi observado para o solo que recebeu *P. stratiotes*.

Os maiores valores de pH foram observados nos solos que receberam incorporações de *P. stratiotes*, *T. latifolia*, *B. subquadripata*, e *S. montevidensis*. Estatisticamente o valor obtido no solo que recebeu *P. stratiotes* foi maior que recebeu *T. latifolia*. Os valores observados nos solos que receberam *B. subquadripata* e *S. montevidensis* foram estatisticamente similares, mas inferiores às duas primeiras espécies. O menor valor de pH foi observado no solo que recebeu a incorporação de *S. herzogii*, sendo estatisticamente similar à testemunha. Outros valores baixos de pH foram observados em solos que receberam *E. polystachya* e *H. amplexicaulis*, mas superiores à testemunha sem incorporação de macrófitas.

Com exceção do solo que recebeu incorporação de *S. herzogii*, em todos os demais os teores de K foram maiores que a testemunha sem incorporação. Os maiores teores de K foram observados no solo que receberam incorporações de

E. azurea e *S. montevidensis*. Para os solos que receberam exata última macrófita, o teor de potássio foi estatisticamente similar ao que recebeu *P. stratiotes*.

O maior teor de Ca no solo foi observado nas amostras em que foi incorporada *P. stratiotes* e *E. azurea* (estatisticamente diferentes). As macrófitas que incorporadas ao solo não lograram elevar o teor de Ca estatisticamente acima da testemunha foram *S. herzogii*, *B. subquadripa*, *E. polystachya* e *H. amplexicaulis*. Todas as demais elevaram o teor de Mg no solo.

Todas as macrófitas influenciaram o teor de Mg no solo ao ponto de torná-lo significativamente maior que a testemunha. Embora estatisticamente diferentes, as plantas que influenciaram mais decisivamente o teor deste cátion no solo foram *P. stratiotes* e *P. laphathifolium*. As macrófitas que menos influenciaram o teor deste elemento no solo foram *T. latifolia*, *S. herzogii*, *H. amplexicaulis* e *E. polystachya*.

A adição da biomassa de macrófitas reduziu o teor de H+Al do solo em relação à testemunha, com exceção de *S. herzogii*, *H. amplexicaulis* e *E. azurea*. A maior redução da acidez potencial do solo foi observada quando foi incorporada *P. stratiotes*.

A soma de base no solo foi influenciada positivamente pela adição de todas as macrófitas aquáticas, com exceção de *S. herzogii*. As duas macrófitas que mais influenciaram positivamente esta característica do solo foram *P. stratiotes* e *S. montevidensis*. As espécies com menor grau de influência foram *T. latifolia*, *H. amplexicaulis* e *S. herzogii*.

Para a CTC do solo, a única espécie que não logrou afetá-la significativamente foi *T. latifolia*. Também tiveram baixas influências *S. herzogii* e *H. amplexicaulis*. Como o ocorrido para a soma de bases, as duas espécies com maior influência foram *P. stratiotes* e *E. azurea*.

A saturação de bases foi afetada positivamente para todas as macrófitas aquáticas incorporadas no solo. As espécies com maiores poderes de influência foram *P. stratiotes* e *E. azurea*, enquanto as de menores poderes de alteração desta característica foram *H. amplexicaulis* e *S. herzogii*.

Os maiores teores de Cu no solo foram observados nos tratamentos com incorporação de *S. montevidensis* e *S. herzogii* e os menores foram observados em solos que receberam *T. latifolia*, *B. subquadripa*, *H. amplexicaulis* e *E. azurea*. Considerando os valores da testemunha, os teores de Cu foram aumentados significativamente apenas pelas incorporações de *S. montevidensis*, *S. herzogii*, *P. stratiotes* e *E. crassipes*.

Embora estatisticamente diferentes, os teores de Fe foram mais elevados nas amostras de solo que receberam *S. herzogii*, *P. stratiotes*, *E. crassipes* e *T. latifolia*, todas com valores estatisticamente superiores à testemunha. Os menores teores foram observados para as incorporações de *E. polystachya*, *S. montevidensis*, *H. amplexicaulis* e *B. subquadripa*.

Os valores observados para os teores de Mn em solos que receberam incorporações de *E. polystachya*, *B. subquadripa*, *H. amplexicaulis* e *T. latifolia* foram os menores dentre os tratamentos testados embora apenas as três últimas espécies produzissem valores estatisticamente similares à testemunha. Todas as demais espécies, quando incorporadas ao solo elevaram o teor de Mn em relação à testemunha, mas

os valores mais elevados foram observados para *S. montevidensis* e *S. herzogii*.

O teor de Zn no solo foi influenciado significativamente por todas as macrófitas testadas, embora as magnitudes dos valores sejam muito baixas. A elevação mais significativa do teor de Zn no solo foi proporcionada por *P. stratiotes*. O mesmo comentário quanto à magnitude pode ser aplicado à análise dos teores de Pb no solo, com a diferença de que a maior influência foi determinada por *T. latifolia*, *S. montevidensis* e *P. laphathifolium* e que não houve diferença entre o valor observado na testemunha e os tratamentos que receberam *E. crassipes*. e *S. herzogii*. Os teores de Ni e Cd no solo estavam abaixo do nível de detecção do método analítico.

No desdobramento dos graus de liberdade das variáveis principais (Tabelas X e XI) não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre as duas doses de biomassa em *E. polystachya* para os teores de P, H+Al, Pb e Fe, além do pH; e, *E. crassipes*. Para os teores de P e Pb; em *S. herzogii* para os teores de P, Ca, H+Al e pH; em *T. latifolia* para os teores de P, K, Fe, Mn e Zn, em *B. subquadripa* para os teores de H+Al e Fe; em *H. amplexicaulis* e *S. montevidensis* para o teor de Fe.

Para avaliação das espécies dentro de cada dose de biomassa, apenas serão considerados os dois valores mais elevados estatisticamente diversos. Para a concentração de P houve entre similaridade estatística entre *S. montevidensis* e *P. stratiotes* apenas na adição de 40 t.ha⁻¹, o que não ocorreu na menor dose

Na dose de 20 t.ha⁻¹ houve diferença estatística entre os valores de teor de matéria orgânica observados para os solos que receberam as incorporações de *P. laphathifolium*, *T. latifolia*, *E. azurea*, *E. polystachya* e *E. crassipes*, enquanto que na dose de 40 t.ha⁻¹ esta similaridade estatística foi observada apenas entre *P. laphathifolium* e *T. latifolia*.

Os valores do pH foram estatisticamente diferentes quando comparados os solos que receberam *P. stratiotes*, *T. latifolia* e *B. subquadripa* na dose de 40 t.ha⁻¹. Na menor dose não houve diferença estatística entre os solos que receberam *T. latifolia* e *B. subquadripa*. Quando são comparados os teores de K, na dose de 40 t.ha⁻¹ houve similaridade estatística entre os solos que receberam *E. azurea*, *S. montevidensis* e *P. stratiotes*, enquanto que na adição de 20 t.ha⁻¹ apenas as duas primeiras espécies foram estatisticamente similares.

Tabela X. Desdobramento dos graus de liberdade das interações entre espécies e doses de macrófitas aquáticas sobre o pH, soma de bases e as concentrações de matéria orgânica, P, Ca, K, Mg e H+Al no solo degradado

Espécie	P (mg/kg)		MO (mg/kg)		pH		K (mg/kg)	
	20 t/ha	40 t/ha	20 t/ha	40 t/ha	20 t/ha	40 t/ha	20 t/ha	40 t/ha
BRASU	3,6 cB	8,6 dA	10,0 cBB	14,4 cA	6,3 bB	6,5 cDA	12,4 cB	21,8 BA
ECHPO	1,0 dA	2,0 fA	11,0 abcB	15,2 bcA	6,0 dA	6,0 fPA	9,3 dB	15,5 CA
EICAZ	5,6 bB	13,4 cA	11,2 abcB	14,8 bcA	6,1 cB	6,3 eA	15,7 AB	26,0 AA
EICCR	1,0 dA	2,4 fA	11,0 abcB	15,6 bcA	6,1 cB	6,5 cDA	7,2 cB	12,9 dBA
HYMAM	2,6 cBB	6,0 eA	11,4 abcB	15,2 bcA	5,9 dA	6,0 gA	5,5 fB	10,7 CA
PIST	13,4 aB	32,8 bA	9,0 dB	10,8 eA	6,5 aB	6,9 aA	13,1 cCB	26,2 AA
POLLA	4,0 cB	6,6 dA	12,2 AB	16,0 abA	6,1 cB	6,4 dA	13,6 cCB	21,5 BA
SAGMO	14,4 ab	38,6 Ab	9,2 cBB	12,2 dA	6,1 cB	6,6 bA	14,3 cBB	25,3 AA
SALHE	1,0 dA	1,4 fA	10,6 cBB	14,4 cA	5,6 eA	5,7 bA	3,8 gB	5,7 fA
TYPHA	1,0 dA	2,0 fA	11,6 abcB	16,8 aA	6,4 bB	6,6 bcA	2,6 gA	4,2 fPA

Espécie	Ca (mg/kg)		Mg (mg/kg)		H + Al (mg/kg)		SB (mg/kg)	
	20 t/ha	40 t/ha	20 t/ha	40 t/ha	20 t/ha	40 t/ha	20 t/ha	40 t/ha
BRASU	5,8 cB	6,8 eA	3,6 dCB	5,4 dA	11,0 cA	10,6 cDA	21,8 cB	34,0 dA
ECHPO	4,8 fA	5,0 fA	3,0 fB	3,6 eA	11,6 bA	11,6 bA	17,5 fB	23,9 fA
EICAZ	10,4 bB	14,8 bA	4,4 cB	6,0 cA	11,6 bA	11,0 cB	30,5 bB	46,8 bA
EICCR	7,8 cB	11,4 cA	4,0 cBB	5,0 dA	10,8 cA	10,0 eB	19,0 fB	28,4 cA
HYMAM	4,8 fA	4,8 fA	3,2 eBB	4,0 eA	12,0 bA	12,0 bA	13,5 fB	19,5 gA
PIST	15,4 ab	25,0 aA	6,0 ab	9,2 aA	10,0 dA	7,6 fB	34,5 ab	60,4 aA
POLLA	8,4 cB	10,0 dA	5,0 bB	7,0 bA	11,0 cA	10,2 dCB	27,0 cBB	38,5 cA
SAGMO	6,8 dB	9,4 dA	3,8 dB	5,2 dA	11,6 bA	10,6 cBB	24,9 cB	39,9 cA
SALHE	6,4 dBA	7,2 eA	3,2 eBB	4,0 eA	13,0 aA	13,0 aA	13,4 gB	16,9 bA
TYPHA	8,2 cB	11,4 cA	3,2 eBB	4,0 eA	11,0 cA	9,8 cB	14,0 dB	19,6 gA

Tabela XI. Desdobramento dos graus de liberdade das interações entre espécies e doses de macrófitas aquáticas sobre a CTC, saturação de bases e as concentrações de Fe, Mn, Zn e Pb no solo degradado.

Espécie	CTC (mg/kg)		V%		Fe (mg/kg)			
	20 t/ha	40 t/ha	20 t/ha	40 t/ha	20 t/ha		40 t/ha	
BRASU	32,8 dB	44,6 dA	66,3 dB	76,2 dA	2,9 cA		3,2 fA	
ECHPO	28,9 eB	35,5 fA	59,8 fB	67,3 fA	3,3 deA		4,0 eFA	
EICAZ	42,1 hB	57,8 hA	72,4 hcB	80,9 hA	3,3 deB		4,4 eA	
EICCR	29,8 eB	38,4 eA	63,7 eB	73,9 eA	5,4 hcB		7,9 cA	
HYMAM	25,5 fB	31,5 ghA	52,9 hB	61,9 gA	3,1 deA		3,1 fA	
PIST	44,5 aB	68,0 aA	77,5 aB	88,8 aA	6,1 hB		9,6 hA	
POLLA	38,0 eB	48,7 eA	71,0 eB	79,0 eA	3,4 deA		4,4 eA	
SAGMO	36,5 eB	50,5 eA	68,2 dB	79,0 hA	3,0 eA		3,3 fA	
SALHE	26,4 fB	29,9 hA	50,6 hB	56,5 hA	9,3 aB		13,8 aA	
TYPHA	25,0 fB	29,4 hA	56,0 gB	66,7 fA	4,6 cA		5,3 dA	

Espécie	Mn (mg/kg)		Zn (mg/kg)		Pb (mg/kg)	
	20 t/ha	40 t/ha	20 t/ha	40 t/ha	20 t/ha	40 t/ha
BRASU	2,1 gB	3,3 gA	0,4 cB	0,6 eFA	0,26 hB	0,30 hA
ECHPO	2,5 fgB	4,0 fgA	0,4 cB	0,6 fgA	0,26 hA	0,27 cA
EICAZ	3,9 deB	8,3 dA	0,4 bcB	0,9 hA	0,27 hB	0,32 abA
EICCR	2,8 efgB	5,1 eA	0,4 cB	0,6 eA	0,21 eA	0,22 dA
HYMAM	2,0 gA	3,1 gA	0,5 bcB	0,7 deA	0,27 abB	0,31 hA
PIST	5,2 cB	10,3 cA	1,2 aB	1,8 aA	0,27 hB	0,31 abA
POLLA	4,8 cdB	8,6 dA	0,4 bcB	0,8 bcA	0,29 abB	0,32 abA
SAGMO	6,5 hB	13,2 aA	0,6 hB	0,8 hcA	0,28 abB	0,33 abA
SALHE	7,6 abB	12,0 hA	0,4 cA	0,5 fghA	0,18 abB	0,20 dA
TYPHA	2,2 gA	2,9 gA	0,3 cA	0,4 hA	0,30 abB	0,33 aA

Na dose de 40 tha houve diferença estatística para os teores de Ca para os solos que receberam *P. stratiotes*, *E. azurea*, *P. lapathifolium* e *T. latifolia*. Na dose de 20 t.ha⁻¹ não ocorreu diferença significativa entre os solos que receberam *P. lapathifolium* e *T. latifolia*. Comportamento similar foi observado para os teores de MG no solo com a diferença das espécies que mais influenciaram a concentração deste elemento no solo. Em 40 t.ha⁻¹, a seqüência decrescente com diferença estatisticamente significativa foi *P. stratiotes*, *P. lapathifolium*, *E. azurea* e *E. crassipes*. Na dose de 20 t.ha⁻¹ houve similaridade estatística entre os valores observados nos solos que receberam as duas Pontederiaceae.

Na dose de 20 t.ha⁻¹ houve menor concentração de H+Al no solo que recebeu *P. stratiotes* em relação aos que receberam *E. crassipes*, *P. lapathifolium* e *B. subquadripara*, todas estatisticamente similares. Na dose de 40 t.ha⁻¹, o comportamento estatístico foi semelhante com a exceção de que houve diferença estatística entre os tratamentos que receberam *E. crassipes* e *B. subquadripara*.

Para a CTC e soma e saturação de bases, as influências diferenciais da dose ocorreram apenas para as macrófitas aquáticas que promoveram pequenas influências sobre estas características do solo. Dentre as macrófitas que tiveram maiores influências sobre estas propriedades do solo, a seqüência decrescente e estatisticamente significativa foi *P. stratiotes* > *E. azurea* > *P. lapathifolium*.

Para os teores de Fe e Pb, para ambas as doses a *S. herzogii* teve maior efeitos que *P. stratiotes* e apenas na dose de 40t.ha⁻¹ os valores observados em *P. stratiotes* sobrepujaram os observados em *E. crassipes*.

As respostas de duas espécies nativas utilizadas em recuperação de áreas degradadas foram avaliadas com a incorporação das duas macrófitas que permitiram maiores retiradas de nutrientes por unidade de área: *P. lapathifolium* e *Brachiaria subquadripara*. A primeira espécie estudada foi o mutambo (*Guazuma ulmifolia*) e os resultados estão apresentados nas Tabelas XII e XIII.

Tabela XII. Médias das alturas das plantas de mutambo em avaliações semanais e os resultados das análises de variância e do teste de comparação de médias (Duncan 5%)

Variável	7 dias		14 dias		21 dias		28 dias		35 dias		42 dias		49 dias	
	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
Espécie (E)	--	--	0,58	0,45	0,12	0,73	0,32	0,57	1,02	0,32	2,06	0,16	3,58	0,07
Dose (D)	--	--	2,14	0,11	4,38	0,01	5,19	0,00	5,95	0,00	7,19	0,00	7,56	0,00
E x D	--	--	1,38	0,27	1,32	0,28	0,62	0,61	0,74	0,53	0,32	0,81	0,25	0,86

Efeito da espécie														
BRASU	--	--	15,75	a	18,18	a	21,83	a	25,50	a*	28,93	a*	30,38	a*
POLLA	--	--	15,30	a	17,95	a	21,35	a	24,55	a	27,28	a	28,08	a*

Efeito da dose														
10 t/ha	--	--	15,55	a	17,95	ab	20,70	b	24,00	b	26,50	b	27,25	b
20 t/ha	--	--	15,80	a	17,95	ab	21,40	ab	24,10	b	26,25	b	27,05	b
30 t/ha	--	--	14,35	a	16,50	b	19,95	b	23,55	b	26,95	b	28,45	b*
40 t/ha	--	--	16,4	a	19,85	a	24,3	a*	28,5	a*	32,7	a*	34,15	a*
Testemunha	--	--	15,5		16,4		18,6		20,8		22		22,7	

Variável	56 dias		63 dias		70 dias		77 dias		84 dias		91 dias		98 dias	
	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
Espécie (E)	3,90	0,06	1,88	0,18	0,46	0,50	0,01	0,94	0,01	0,93	0,00	0,95	0,00	0,97
Dose (D)	8,74	0,00	11,14	0,00	12,19	0,00	13,64	0,00	14,49	0,00	14,80	0,00	14,72	0,00
E x D	0,17	0,92	0,20	0,89	0,48	0,70	0,95	0,43	1,12	0,36	1,21	0,32	1,07	0,38

Efeito da espécie														
BRASU	31,25	a*	32,43	a*	32,70	a*	33,13	a*	33,35	a*	33,68	a*	33,98	a*
POLLA	28,93	a*	30,75	a*	31,80	a*	33,03	a*	33,48	a*	33,78	a*	33,93	a*

Efeito da dose														
10 t/ha	27,65	b	28,30	b	28,45	b	28,70	b	28,80	b	28,95	b	29,15	b
20 t/ha	27,70	b	28,80	b	29,40	b	30,05	b	30,35	b	30,70	b	30,95	b
30 t/ha	29,95	b*	32,10	b*	32,45	b*	33,20	b*	33,40	b*	33,55	b*	33,70	b*
40 t/ha	35,05	a*	37,15	a*	38,7	a*	40,35	a*	41,1	a*	41,7	a*	42	a*
Testemunha	22,7		23,1		23,2		23,4		23,7		23,8		23,9	

Médias acompanhadas de mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si (Duncan 5%) e médias acompanhadas de * diferem estatisticamente da testemunha

O crescimento das plantas de mutambo respondeu de maneira estatística similar para as duas espécies de macrófitas aquáticas adicionadas ao solo. No entanto, para ambas as macrófitas a incorporação proporcionou melhor condição de crescimento da planta nativa e a partir de 56 dias após o transplante, a altura média do mutambo passou a ser estatística superior ao da testemunha sem adição de macrófitas.

Os efeitos de dose de incorporação foram mais evidentes. As doses de 10 e 20 t.ha⁻¹ não alteraram as condições do solo a ponto de incrementar o crescimento do mutambo em relação à testemunha. Embora, a partir da segunda avaliação, não houvesse diferença estatística para os valores observados nas alturas das plantas crescendo nas doses de 10, 20 e 30 t.ha⁻¹, nesta última dose os valores foram estatisticamente superiores à testemunha desde a avaliação de 49 dias. A partir dos 35 dias, as alturas das plantas crescendo em vasos fertilizados com 40 t.ha⁻¹ de biomassa apresentaram altura significativamente superiores às demais doses de biomassa.

Os acúmulos de matéria seca pelas plantas de mutambo não foram afetados diferencialmente pela espécie de macrófita incorporada ao solo, mas ambas proporcionaram valores superiores à testemunha sem adição de biomassa de plantas aquáticas (Tabela XIII).

Tabela XIII. Médias dos valores de peso da matéria seca de caule e folhas de mutambo após 98 dias de crescimento em substratos adubados com diferentes doses e espécies de macrófitas aquáticas e os resultados das análises de variância e do teste de comparação de médias (Duncan 5%)

Variável	Caule		Folhas	
	F	p	F	p
Espécie (E)	0,17	0,68	3,57	0,07
Dose (D)	7,84	0,00	12,52	0,00
E x D	1,08	0,37	1,75	0,18
Efeito da espécie				
BRASU	2,62 a*		4,24 a*	
POLLA	2,53 a*		3,68 a*	
Efeito da dose				
10 t/ha	1,96 b		2,89 b	
20 t/ha	2,36 b*		3,30 b*	
30 t/ha	2,52 b*		4,47 a*	
40 t/ha	3,45 a*		5,19 a*	
Testemunha	1,72		2,05	

Médias acompanhadas de mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si (Duncan 5%) e médias acompanhadas de * diferem estatisticamente da testemunha

Na Tabela XIV estão apresentados os resultados das avaliações de crescimento em altura das mudas de capixingui (*Croton floribundus*).

Tabela XII. Médias das alturas das plantas de capixingui em avaliações semanais e os resultados das análises de variância e do teste de comparação de médias (Duncan 5%)

Variável	14 dias		21 dias		28 dias		35 dias		42 dias		49 dias	
	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
Espécie (E)	0,10	0,75	0,01	0,93	0,22	0,64	0,11	0,74	1,33	0,26	0,99	0,33
Dose (D)	0,63	0,60	0,12	0,94	0,34	0,80	1,37	0,27	1,07	0,38	1,44	0,25
E x D	1,36	0,27	1,16	0,34	0,72	0,55	0,48	0,70	0,35	0,79	0,53	0,66
Efeito da espécie												
BRASU	11,28 a		12,85 a		14,45 a		16,28 a		16,80 a		17,68 a	
POLLA	11,13 a		12,80 a		14,78 a		16,55 a		17,83 a		18,63 a*	
Efeito da dose												
10 t/ha	11,60 a		12,85 a		14,35 a		15,60 a		16,55 a		17,40 a	
20 t/ha	10,75 a		12,55 a		14,35 a		15,90 a		17,00 a		17,60 a	
30 t/ha	11,40 a		13,00 a		14,55 a		16,35 a		17,05 a		17,75 a*	
40 t/ha	11,05 a		12,90 a		15,20 a		17,80 a*		18,65 a*		19,85 a*	
Testemunha	11,30		12,50		13,30		14,50		14,70		14,80	
Efeito da espécie												
BRASU	19,30 a*		20,05 a*		20,83 a*		21,48 a*		22,13 a*		22,73 a*	
POLLA	19,88 a*		20,43 a*		21,05 a*		21,50 a*		22,38 a*		22,95 a*	
Efeito da dose												
10 t/ha	18,70 a		19,50 a*		20,20 a*		20,50 a*		21,05 a*		21,15 a*	
20 t/ha	19,15 a*		19,90 a*		20,65 a*		21,25 a*		21,65 a*		22,25 a*	
30 t/ha	19,25 a*		19,65 a*		20,10 a*		20,85 a*		22,00 a*		22,75 a*	
40 t/ha	21,25 a*		21,90 a*		22,80 a*		23,35 a*		24,30 a*		25,20 a*	
Testemunha	15,50		15,80		16,10		16,30		16,70		17,00	

Médias acompanhadas de mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si (Duncan 5%) e médias acompanhadas de * diferem estatisticamente da testemunha

Também para o capixingui não houve resposta diferencial às adições das duas macrófitas aquáticas como biofertilizante, mas para ambas o crescimento a altura das mudas foi maior que a testemunha sem adição de plantas aquáticas a partir dos 56 dias após o transplante.

De maneira diversa ao ocorrido com o mutambo, o crescimento em altura do capixingui não respondeu de forma estatisticamente diferenciada às doses de biomassa de macrófitas incorporadas ao solo. Este fato mostra que o capi-

xingui aparentemente é uma planta mais rústica que o mutambo e suas necessidades são satisfeitas com menores quantidades de bio-fertilizante.

A melhor evidência deste comentário é que à partir de 63 dias após o transplante, as alturas das plantas foram superiores à testemunha em todas as doses de biomassa incorporadas

Este fato também fica evidente na análise da Tabela XV em que não houve diferença estatisticamente significativa entre as espécies de macrófitas incorporadas, mas tanto para o acúmulo de matéria seca em caule como em folha, os valores foram superiores ao da testemunha.

Tabela XIII. Médias dos valores de peso da matéria seca de caule e folhas de capixingui após 91 dias de crescimento em substratos adubados com diferentes doses e espécies de macrófitas aquáticas e os resultados das análises de variância e do teste de comparação de médias (Duncan 5%)

Variável	Caule		Folhas	
	F	p	F	p
Espécie (E)	0,41	0,52	1,79	0,19
Dose (D)	2,51	0,08	12,44	0,00
E x D	1,12	0,36	5,62	0,00
Efeito da espécie				
BRASU	1,87 a*		2,51 a*	
POLLA	1,99 a*		2,35 a*	
Efeito da dose				
10 t/ha	1,74 a		2,02 b*	
20 t/ha	1,70 a		2,30 b*	
30 t/ha	1,90 a*		2,38 b*	
40 t/ha	2,38 a*		3,02 a*	
Testemunha	0,75		0,73	

Médias acompanhadas de mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si (Duncan 5%) e médias acompanhadas de * diferem estatisticamente da testemunha

O acúmulo de matéria seca em folhas foi afetado pelas doses de biomassa de macrófitas incorporadas com valores obtidos nas plantas de capixingui crescendo em vasos com 40 t.ha⁻¹ sendo maiores que nas doses mais baixas. No entanto, para todas as doses, os valores foram estatisticamente superiores à testemunha.

O uso de macrófitas aquáticas na fertilização de solos degradados é viável e comprovados com resultados de experimentos conduzidos por vários autores utilizando *E. crassipes* e *Azolla caroliniana* [7], *E. crassipes* e *E. densa* [5], *E. crassipes* e *B. mutica* [8], *B. subquadripapa*, *E. densa* e *S. montevidensis* [9] e *E. crassipes* [10]. Embora alguns trabalhos envolvam as mesmas espécies, as formas de aplicação foram diferenciadas.

IV. CONCLUSÕES

O desenvolvimento do presente projeto de pesquisa e desenvolvimento mostrou claramente que a retirada mecânica de macrófitas aquáticas é um importante mecanismo de reti-

radas de substâncias eutrofizantes e de contaminantes da água, tornando-a mais adequada ao tratamento para o uso público.

Também mostrou que a biomassa de macrófitas retirada do corpo hídrico pela colheita mecânica não constitui um passivo ambiental a ser transferido e sim um substrato para utilização no crescimento de plantas em recuperação de áreas degradadas. Os resultados das análises químicas mostraram que outras utilizações poderão ser atribuídas a biomassa de macrófitas e pesquisas posteriores poderão demonstrar este potencial.

Os resultados também mostram que as preocupações ambientais com a biomassa colhida demonstrada por algumas agências reguladoras de meio ambiente devem ser menores com a colheita mecânica de macrófitas e encará-la como um aliado ambientalmente favorável.

Com estes resultados ora obtidos não há dúvidas de que a colheita mecânica e a disposição final da biomassa devem receber pareceres favoráveis no licenciamento, desde que o destino da biomassa colhida seja bem definido.

V. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos especiais devem ser conferidos à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Unesp Jaboticabal e a EGM da empresa Light Energia SA pelo apoio e infraestrutura nas atividades desta pesquisa e para o Viveiro Camará, Ibaté, SP, pelo fornecimento das mudas de mutambo e capixingui.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Esta seção deve apresentar as referências bibliográficas que deram suporte técnico e/ou científico ao trabalho. São apresentados, a seguir, alguns formatos corretos para vários tipos de referências.

- [1] R. L. C. M. Pitelli; C. M. Toffanelli; E. A. Vieira.; R. A. Pitelli e E. D. Velini, " Dinâmica da comunidade de macrófitas aquáticas no reservatório de Santana, RJ " Planta Daninha, v. 26, p. 473-480, Dez. 2008.
- [2] R. L. C. M. Pitelli; A. S. Ferraudo; A. M. C. M. Pitelli, R. A. Pitelli e E. D. Velini, " Utilização de análise multivariada e redes neurais artificiais na determinação do comportamento de colonização de populações de macrófitas aquáticas no reservatório de Santana " Planta Daninha, v. 27, p. 429-439, Set. 2009.
- [3] R. A. Pitelli; G. F. Nachtigal; A. M. Pereira, R. Borsari; E. A. Vieira; R. B. Mello e L. A. B. Grande. "Macrophyte populations changes in Santana Reservoir Rio de Janeiro, Brazil: Fifty Years of History." in *Abstracts, 2000 Annual and International Meeting of Aquatic Plant Management Society*, p. 26.
- [4] B. van Raij, J. C. Andrade, H. Cantarela, H. e J. A. Quaggio. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas, Instituto Agrônomo, 2001. 285p.
- [5] A. M. C. M. Pitelli. "Efeitos da incorporação de biomassa seca de *Egeria densa* e *Eichhornia crassipes* sobre algumas propriedades físicas, químicas e biológicas de um solo degradado" Trabalho de Graduação em Agronomia, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP Jaboticabal, 2003
- [6] E. L. Balota, A. Colozzi-Filho, D. S. Andrade e M. Hungria. "Biomassa microbiana e suas atividades em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas". *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 22, p. 641-649, 1998.
- [7] M. C. Poletto. "Efeitos da incorporação do aguapé (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms.) e da azolla (*Azolla caroliniana* Willd.) sobre algumas características químicas de um Latossol Vermelho Escuro textura média". Trabalho de Graduação em Agronomia, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP Jaboticabal, 1984
- [8] C. S. Rosa. "Efeitos da incorporação de biomassa seca de *Eichhornia crassipes* e *Brachiaria mutica* sobre propriedades químicas e biológicas de um Latossol Vermelho Escuro, textura média, sob uso agrícola". Trabalho de Graduação em Agronomia, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP Jaboticabal, 2004
- [9] R. R. Macedo. "Efeitos da incorporação de biomassa seca de *Brachiaria arrecta*, *Egeria densa* e *Sagittaria montevidensis* sobre propriedades de um solo sob pastagem degradada". Trabalho de Graduação em Agronomia, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP Jaboticabal, 2004
- [10] R. F. D. Antunes. "Efeitos da adição da biomassa seca de *Eichhornia crassipes* sobre algumas propriedades químicas e biológicas de um solo degradado Trabalho de Graduação em Agronomia, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP Jaboticabal, 2004