

UFRRJ

INSTITUTO DE AGRONOMIA

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

FITOTECNIA

DISSERTAÇÃO

**ADIÇÃO DE BIOMASSA DE MACRÓFITAS NO
SOLO: CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES**

MONICKE OLIVEIRA VIEIRA

2015



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
FITOTECNIA**

**ADIÇÃO DE BIOMASSA DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS NA
SUPERFÍCIE DO SOLO: CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES**

MONICKE OLIVEIRA VIEIRA

Sob a Orientação do Professor
Jorge Jacob Neto

Dissertação submetida como
requisito parcial para obtenção do
Grau de **Mestre em Fitotecnia** no
Curso de Pós- Graduação em
Fitotecnia, Área de Concentração
em Produção Vegetal.

Seropédica, RJ
Fevereiro, 2015

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada com os dados
fornecidos pelo (a) autor (a)

V657a VIEIRA, MONICKE OLIVEIRA, 1980-
ADIÇÃO DE BIOMASSA DE MACRÓFITAS NO SOLO:
CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES / MONICKE OLIVEIRA VIEIRA.
- 2015.
193 f.: il.

Orientador: JORGE JORGE NETO.
Dissertação(Mestrado). -- Universidade Federal Rural
do Rio de Janeiro, FITOTECNIA, 2015.

1. Análise de nutrientes no perfil do solo. 2.
deposição direta no solo de biomassa de macrófitas
aquáticas. 3. adubação com de matéria orgânica vegetal.
I. JORGE NETO, JORGE , 1955-, orient. II Universidade
Federal Rural do Rio de Janeiro. FITOTECNIA III.
Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO

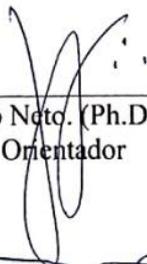
INSTITUTO DE AGRONOMIA

CURSO DE POS GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

MONICKE OLIVEIRA VIEIRA

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Fitotecnia**, no Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal.

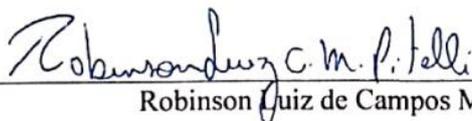
DISSERTAÇÃO APROVADA EM 09/02/2015.



Jorge Jacob Neto. (Ph.D.) UFRRJ
Orientador



Robinson Antônio Pitelli. (Dr.) UNESP



Robinson Luiz de Campos Machado Pitelli (Dr.) UNESP

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela oportunidade de estudar, pela saúde para batalhar, pela determinação necessária para encarar a vida de frente, sempre de forma independente, mas sempre reconhecendo que sem Ele nada sou.

À minha família, que mesmo em meio às dificuldades que passamos um dia, sempre esteve ao meu lado e até hoje me incentiva com as palavras “não pare nunca de estudar, seus estudos são seus, ninguém te tira isso”. Obrigada aos meus pais, essa é a melhor herança que vocês podem me deixar, o ensino, os valores e os princípios que preciso para caminhar.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, por um dia ter aberto as suas portas para que eu tivesse um ensino de qualidade e renomado no Brasil e que hoje me abre as portas para que esse ensino seja aperfeiçoado.

Ao programa de Pós-Graduação em Fitotecnia e sua equipe, que a mim dedicou compreensão com meu ritmo de vida, sobretudo por trabalhar e estudar e com toda paciência me orientou em todo o processo do curso.

Ao meu orientador Prof. Dr. Jorge Jacob Neto, que desde o primeiro dia de curso me apoiou e me incentivou a prosseguir na caminhada, reconhecendo com muita compreensão e carinho minhas limitações e acreditando em meu potencial. A você Prof. Jorge, devo muito de mais essa conquista em minha vida. Obrigada por não me deixar desistir, por me ajudar a acreditar que era possível, e é!

Ao prof. Dr. Robinson Antônio Pitelli, que sempre esteve ao meu lado no ambiente profissional e é para mim uma referência.

Ao Prof. Dr. Robinson Luiz Pitelli, que tal como o pai, sempre me incentivou e auxiliou em minhas pesquisas, compartilhando seus conhecimentos e experiência.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia.

Ao corpo técnico da UFRRJ, em especial a S^{ra}. Maria Elena e ao Sr. Marcos, pela grande ajuda em meus experimentos.

À equipe da Light Energia S.A, junto ao seu Programa de Pesquisa e Desenvolvimento, por ter me concedido autorização e oportunidade de aperfeiçoamento profissional aliado às minhas atribuições profissionais.

Enfim, a todos aqueles que, de alguma forma, deram sua parcela de contribuição. Muito obrigada!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 (Portaria N 206, de 4 de setembro de 2018 da CAPES).

RESUMO

VIEIRA, Monicke Oliveira. Adição de Biomassa de Macrófitas Aquáticas na Superfície do Solo: Concentração de Nutrientes. 2015. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2015.

O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito da deposição de macrófitas depositadas na superfície de um substrato de um solo Latossolo vermelho Amarelo, nas concentrações de nutrientes minerais nas camadas subsuperficiais e também analisar seu efeito no crescimento de mudas da espécie arbórea Pau-formiga (*Triplaris americana* L.) da família Polygonaceae. Foram realizados 2 experimentos, sendo o primeiro instalado em colunas de cimento de 2 metros até 1,5 metros, com um substrato de solo Latossolo vermelho amarelo que foi homogeneizado e peneirado. Neste experimento foi utilizado o delineamento experimental completamente casualizado com três repetições e seis tratamentos (T_1 - sem adição de biomassa de macrófitas (testemunha), T_2 - 26,36, T_3 - 52,71, T_4 - 79,06, T_5 - 105,42 e T_6 - 131,80, respectivamente em $t\ ha^{-1}$). A massa depositada correspondeu respectivamente a 0, 10, 20, 30, 40 e 50 cm de altura de macrófitas nas colunas, partindo do nível do solo adicionado. Aos 60 dias do início do experimento foi realizada a primeira coleta das amostras utilizando cápsulas porosas dispostas nas colunas de cimento. Após 60 dias de pousio, foi então adicionado o equivalente a $75,3\ t\ ha^{-1}$ em todos os tratamentos sendo nova coleta de substrato de solo realizada com trado aos 120 dias após plantio. Posteriormente, para a realização da terceira amostragem foi depositado macrófitas *in natura*, repondo até 50 cm de altura, que corresponde em massa, a $75,30\ t\ ha^{-1}$ de biomassa em todas as colunas. Os tratamentos consistiram em repor a cada 20 dias o volume de biomassa de macrófitas rebaixados, adicionando novamente material até completar 50 cm de altura de plantas. No experimento 1, foram realizadas 3 amostragens, aos 60, 120 e 220 dias, nas profundidades de 0,5, 1,0 e 1,5 m. No experimento 2, foi avaliado o desenvolvimento da espécie Pau-formiga, crescidas em vasos com 190 Kg de solo, com delineamento experimental completamente casualizado, com 6 tratamentos de biomassa: tratamento 1 -sem adição (testemunha); tratamento 2 - $4,9\ t/ha$, tratamento 3 - $9,8\ t\ ha^{-1}$; tratamento 4 - $14,8\ t\ ha^{-1}$; tratamento 5 - $19,7\ t\ ha^{-1}$; tratamento 6 - $24,7\ t\ ha^{-1}$ e 5 repetições. Nos dois experimentos foram realizadas as análises de macro e micronutrientes, MO, CTC, V%, pH, H + Al e metais pesados. Após a adição da biomassa de macrófitas, ocorreu maior concentração dos elementos químicos na camada de avaliação de 50 cm da coluna de solo, especialmente de Ca e K. Não foi detectada a presença de metais pesados nas doses de macrófitas de até $207,10\ t\ ha^{-1}$, apenas traços. Os valores de pH, Al + H e MO encontrados indicaram que mesmo a adição de biomassa em valores superiores a $207,10\ t\ ha^{-1}$, não provocou alteração significativa destes parâmetros, mas ocorreu aumento da CTC. Os dados sugeriram que doses de biomassa de macrófitas adicionadas de até $24\ t\ ha^{-1}$, na fase inicial de mudas de Pau-formiga (*Triplaris americana* L.), não influenciaram significativamente seu crescimento e desenvolvimento e não foram encontrados metais pesados no tecido vegetal.

Palavras-chave: Análise de nutrientes no perfil do solo, deposição direta no solo de biomassa de macrófitas aquáticas, adubação com matéria orgânica vegetal.

ABSTRACT

Addition of Aquatic Macrophyte Biomass on Soil Surface: Nutrient Concentration. 2015. Dissertation (Master's degree in Agronomy, Plant Science). Institute of Agronomy, Department of Plant Science, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2015.

The objective of this work was to study the effect of the deposition of macrophytes deposited on the surface of a substrate of a red yellow Latosol soil in the concentrations of mineral nutrients in the subsurface layers and also to analyze its effect on the growth of the tree species Pau-ant (*Triplaris Americana* L.) of the family Polygonaceae. Two experiments were carried out, the first one being installed in cement columns from 2 meters up to 1.5 meters, with a soil substrate of red yellow Latosol soil that was homogenized and sieved. In this experiment, a completely randomized design with three replicates and six treatments (T1 - without addition of macrophyte biomass (control), T2 - 2 t ha⁻¹, T3 - 5 t ha⁻¹, T4 - 1 t ha⁻¹, T5 - 1 t ha⁻¹, T6 - 2 t ha⁻¹ and T7 - 1 t ha⁻¹, respectively in t ha⁻¹). The deposited mass corresponded respectively to 0, 1, 2, 3, 4 and 5 cm of height of macrophytes in the columns, starting from the level of the soil added. At 12 days after the start of the experiment, the samples were first collected using porous capsules arranged in the cement columns. After 12 days of fallow, the equivalent of 5 t ha⁻¹ was added in all treatments, and a new soil substrate collection was carried out at 12 days after planting. Subsequently, in order to carry out the third sampling, it was deposited in nature macrophytes, replacing up to 5 cm in height, corresponding in mass, to 5 t ha⁻¹ of biomass in all columns. The treatments consisted of replenishing the biomass volume of the macrophytes on a 2 - day basis, adding material to the plant height of 5 cm. In experiment 1, samples were taken, at 0, 12 and 22 days, at the depths of 0.5, 1.0 and 1.5 m. In the experiment 2, the development of the Pau-ant species, grown in pots with 1 kg of soil, with a completely randomized design, with treatments of biomass were evaluated treatment 1 - no addition (control) treatment 2 - 2 t ha⁻¹, treatment 3 - 5 t ha⁻¹, treatment 4 - 1 t ha⁻¹, treatment 5 - 1 t ha⁻¹, treatment 6 - 2 t ha⁻¹, respectively in t ha⁻¹ and 5 replicates. In the two experiments the macro and micronutrients analyzes, O₂, T, percentage, p, Al and heavy metals were performed. After the addition of the macrophyte biomass, a higher concentration of the chemical elements occurred in the 5 cm evaluation layer of the soil column, especially Ca and Mg. No heavy metals were detected at macrophytes doses up to 2 t ha⁻¹, only trace. The values of p, Al and O₂ found that even the adding biomass above 2 t ha⁻¹ did not cause a significant change in these parameters, but an increase in T occurred. The data suggested that macrophyte biomass doses of up to 2 t ha⁻¹ in the early stages of (*Triplaris americana* L.) seedlings did not significantly influence its growth and development and no heavy metals were found in the plant tissue.

Key words Nutrient analysis in the soil profile, direct deposition in the soil of aquatic macrophytes biomass, fertilization with vegetal organic matter.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Macrófitas após trituração. Experimento 1.....	7
Figura 2. Base de dreno comendo o último anel das colunas de cimento. Experimento 1.....	7
Figura 3. Colunas dispostas na área experimental. Experimento 1.....	8
Figura 4. Cãnula inserida na cápsula porosa. Experimento 1.....	9

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise química da fertilidade do solo utilizado como substrato para implantação do experimento. Experimento 1.....	9
Tabela 2. Valores médios das três repetições da concentração dos elementos químicos da solução do solo coletadas em diferentes doses e profundidades nas colunas de solo aos 100 dias após implantação do experimento. Amostragem 1. Experimento 1.....	12
Tabela 3. Comparação dos valores médios da concentração de nitrogênio no experimento em relação à profundidade de amostragem. Experimento 1.....	13
Tabela 4. Comparação dos valores médios da concentração de Sódio em relação à dose. Experimento 1.....	13
Tabela 5. Comparação dos valores médios da concentração de sódio em relação à profundidade. Experimento 1.....	13
Tabela 6. Comparação dos valores médios da concentração de Cálcio em relação à dose. Experimento 1.....	14
Tabela 7. Comparação dos valores médios da concentração de Cálcio em relação à profundidade. Experimento 1.....	14
Tabela 8. Comparação dos valores médios da concentração de magnésio em relação à dose. Experimento 1.....	14
Tabela 9. Comparação dos valores médios da concentração de magnésio em relação à profundidade. Experimento 1.....	14
Tabela 10. Comparação dos valores médios da concentração de Enxofre em relação à profundidade. Experimento 1.....	15
Tabela 11. Comparação dos valores médios da concentração de ferro em relação à profundidade. Experimento 1.....	15
Tabela 12. Comparação dos valores médios da concentração de Manganês em relação à dose. Experimento 1.....	15
Tabela 13. Comparação dos valores médios da concentração de manganês em relação à profundidade. Experimento 1.....	16
Tabela 14. Comparação dos valores médios da concentração de manganês em relação à interação dose x profundidade. Experimento 1.....	16
Tabela 15. Amostragem 2. Análises químicas do solo coletado utilizando trado de rosca nas diferentes profundidades, aos 160 dias após a adição de macrófitas trituradas, antes das adições sucessivas das macrófitas. Os dados são médias de 3 repetições.....	18

Tabela 16. Média de três repetições das concentrações dos elementos químicos do solo retirado em três profundidades na coluna de concreto já contendo a biomassa triturada para a amostragem 1 mais as dosagens adicionadas para a amostragem 2, com macrófitas “ <i>in natura</i> ”, ou seja após adição sucessivas das macrófitas. A coleta foi realizada aos 100 dias após o início da amostragem 2. Amostragem 3. Experimento 1.....	20
Tabela 17. Análise de variância dos dados da matéria orgânica (%) do experimento 2 analisados conjuntamente. As duas amostragens são referentes ao experimento 1, nas profundidades de amostragem (50, 100 e 150 cm) e com dosagens de biomassa. Experimento 1.....	21
Tabela 18. Tabela da interação entre os valores da matéria orgânica (%) nas profundidades de amostragens X experimentos. Experimento 1.....	21
Tabela 19. Análise de variância dos dados do pH dos experimentos 1 e 2 analisados conjuntamente. As duas épocas de amostragens são referentes ao experimento, amostragens 1 e 2, nas profundidades da amostragem (50, 100 e 150 cm) e dosagens de biomassa. Experimento 1.....	22
Tabela 20. Tabela dos valores médios de pH nas profundidades de amostragem, resultante da análise de variância das duas amostragens.....	22
Tabela 21. Tabela da interação entre os valores de pH nas profundidades de amostragens e os experimentos.....	22
Tabela 22. Análise de variância dos dados da concentração de potássio (mmolc dm^{-3}) dos experimentos 1 e 2 analisados conjuntamente. As duas épocas de amostragens são referentes ao experimento 1 e 2, nas profundidades da amostragem (50, 100 e 150 cm) e com dosagens de biomassa. Experimento 1.....	23
Tabela 23. Tabela dos valores médios de potássio (mmolc dm^{-3}) nos experimentos resultantes da análise de variância conjunta das duas amostragens. Experimento 1.....	23
Tabela 24. Tabela dos valores médios de potássio (mmolc dm^{-3}) nos experimentos resultantes da análise de variância conjunta dos dois experimentos, nas profundidades de amostragens. Experimento 1.....	23
Tabela 25. Tabela dos valores médios de potássio (mmolc dm^{-3}) resultante da análise de variância conjunta dos dois experimentos, nas diferentes dosagens de biomassa aplicadas. Experimento 1.....	24
Tabela 26. Tabela da interação entre os valores da concentração de potássio (mmolc dm^{-3}) nas profundidades de amostragens x experimentos. Experimento 1.....	24
Tabela 27. Tabela da interação entre os valores da concentração de potássio (mmolc dm^{-3}) nos experimentos x dosagens de biomassa. Experimento 1.....	24

Tabela 28. Tabela da interação entre os valores da concentração de potássio (mmolc dm^{-3}) nas profundidades de amostragens X doses de biomassa. Experimento 1.....	25
Tabela 29. Análise de variância dos dados da concentração de cálcio (mmolc dm^{-3}) dos experimentos 1 e 2 analisados conjuntamente. As duas épocas de amostragens são referentes ao experimento 01 e 02, nas profundidades da amostragem (50, 100 e 150 cm) e com dosagens de biomassa. Experimento 1.....	25
Tabela 30. Tabela dos valores médios de cálcio (mmolc dm^{-3}) resultante da análise de variância conjunta das duas amostragens. Experimento 1.....	25
Tabela 31. Tabela dos valores médios de cálcio (mmolc dm^{-3}) resultante da análise de variância conjunta dos dois experimentos, nas diferentes profundidades de amostragem. Experimento 1.....	25
Tabela 32. Tabela da interação entre os valores da concentração de cálcio (mmolc dm^{-3}) nos experimentos X profundidades de amostragem. Experimento 1.....	26
Tabela 33. Análise de variância dos dados da concentração de magnésio (mmolc dm^{-3}) dos experimentos 1 e 2 analisados conjuntamente. As duas épocas de amostragens são referentes ao experimento 1 e 2, nas profundidades da amostragem (50, 100 e 150 cm) e com dosagens de biomassa. Experimento 1.....	26
Tabela 34. Valores das concentrações de magnésio (mmolc dm^{-3}) resultante da análise de variância conjunta dos dois experimentos, nas diferentes profundidades de amostragem. Experimento 1.....	26
Tabela 35. Análise de variância dos dados da concentração de manganês (mg dm^{-3}) dos experimentos 1 e 2 analisados conjuntamente nas profundidades da amostragem (50, 100 e 150cm) e com dosagens de biomassa. Experimento 1.....	27
Tabela 36. Tabela dos valores médios da concentração de manganês (mg dm^{-3}) resultante da análise de variância conjunta dos dois experimentos, nas diferentes profundidades de amostragens. Experimento 1.....	27
Tabela 37. Tabela dos valores médios da concentração de nutrientes no tecido vegetal, resultante da análise de variância da amostragem 2, nas diferentes dosagens de biomassa incorporadas. Experimento 2.....	28
Tabela 38. Tabela dos valores médios da concentração de nutrientes na parte aérea das plantas de Pau-formiga, resultante da análise de variância do experimento, nas diferentes dosagens de biomassa incorporadas. Experimento 2.....	2

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	1
2.1 Macrófitas Aquáticas.....	1
2.2 Utilização Ambientalmente Sustentável de Resíduos Orgânicos Vegetais.....	3
2.3 Mobilidade de Cátions no Perfil do Solo.....	4
2.4 Contaminação dos Recursos Hídricos.....	5
2.5 Contaminação do Solo.....	5
2.6 Extração da Solução do Solo.....	6
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	7
3.1 Experimento 1 – Análise da concentração e mobilidade de nutrientes no perfil do solo a partir da decomposição da biomassa de macrófitas aquáticas.....	7
3.1.1 Amostragem 1.....	8
3.1.2 Amostragens 2 e 3.....	10
3.2 Experimento 2. Avaliação do desenvolvimento da espécie nativa florestal Pau-formiga (<i>Triplaris americana</i>) em solo enriquecido com diferentes dosagens de composto de macrófitas aquáticas.....	11
4. RESULTADOS.....	11
4.1 Resultados do Experimento 1 - Amostragem 1.....	11
4.1.1 Nitrogênio.....	13
4.1.2 Fósforo e Potássio.....	13
4.1.3 Sódio.....	13
4.1.4 Cálcio.....	13
4.1.5 Magnésio.....	14
4.1.6 Enxofre.....	15
4.1.7 Boro e Cobre.....	15
4.1.8 Ferro.....	15
4.1.9 Manganês.....	15
4.1.10 Zinco.....	16
4.2 Resultados do Experimento 1 - Amostragens 2 e 3.....	16
4.3 Resultados do Experimento 2.....	27
5. DISCUSSÃO.....	29
6. CONCLUSÕES.....	32
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	33

1. INTRODUÇÃO

O regime lântico de reservatórios, devido ao represamento, pode causar problemas como a proliferação descontrolada de macrófitas aquáticas, sobretudo se aliado à elevada concentração de nutrientes no corpo hídrico.

Reservatórios situados próximos a áreas urbanas tendem a sofrer maiores danos, como a eutrofização, com a proliferação descontrolada destas plantas, uma vez que recebem maior contribuição de nutrientes no corpo hídrico, sendo a ausência de sistema de saneamento básico fato comum em grande parte dos municípios do Brasil.

Para a gestão operacional de reservatórios de usinas hidrelétricas, visando maior eficácia na produção de energia, grandes volumes de biomassa de macrófitas aquáticas são retirados diariamente dos mesmos, sendo, em sua maior parte, descartados de forma inadequada, muitas das vezes por indisponibilidade de áreas adequadas para esta atividade, sobretudo de forma ambientalmente sustentável. A proliferação de macrófitas aquáticas em reservatórios de hidrelétricas, muitas das vezes está associada à insuficiência ou ausência de sistema de saneamento básico nos municípios adjacentes, à utilização de defensivos químicos em propriedades rurais de entorno, associadas ao regime lântico dos reservatórios.

Dentre os nutrientes removidos do corpo hídrico estão os metais pesados, o que é muito comum de ocorrer, uma vez que corpos hídricos desta natureza recebem carga orgânica de lançamento de efluentes líquidos (esgoto doméstico, industriais e outras fontes) diariamente de municípios e propriedades rurais adjacentes. O crescimento de áreas ocupadas com agricultura e pecuária e o crescimento do uso de fertilizantes também permitem maior ingresso de nutrientes nos corpos hídricos.

A problemática proliferação de macrófitas aquáticas é o descontrole populacional destas plantas, o qual confere o passivo. Mas esta vegetação pode atuar como fonte nutricional para cultivo de plantas, entre elas as espécies arbóreas, uma vez adicionadas ao solo, tanto em superfície quanto por incorporação em covas pré-plantio. Ainda que a concentração de nutrientes na biomassa por unidade de área não seja elevada, o retorno destes nutrientes ao solo pode lhe conferir um ganho ambiental, tanto em estrutura quanto em composição química, propiciando o melhor desenvolvimento de espécies vegetais, conforme foi avaliado neste trabalho.

O objetivo deste estudo foi analisar a contribuição da biomassa de macrófitas aquáticas depositada na superfície de um solo ácido, sobre as concentrações de macro e micronutrientes em diferentes profundidades de uma coluna de solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Macrófitas Aquáticas

As condições químicas, físicas e bióticas dos corpos hídricos lóticos são transformadas com a construção dos reservatórios em sistemas lânticos, propiciando alterações importantes nas biocenoses, com as instalações de novas populações ou drásticos aumentos das densidades populacionais de algumas espécies autóctones (THOMAZ & BINI, 2003). Dentre as quais, segundo Pitelli et al., (2008), as populações favorecidas pela construção de reservatórios, destacam-se as macrófitas aquáticas.

A eutrofização é uma importante modificação provocada pelo homem em ambientes aquáticos, que altera vários atributos da estrutura das comunidades, tais como a riqueza, a equitabilidade e as relações de dominância das populações, podendo levar à exclusão de determinadas espécies e elevando o crescimento populacional de outras (WATSON et al., 1997) principalmente determinadas algas e macrófitas (VALENTE et al., 1997; VELINI, 2000).

As macrófitas exercem papel de destaque nos ecossistemas aquáticos, onde podem apresentar intenso crescimento, tornando-se potencialmente prejudiciais à geração de energia, no caso do represamento de corpos hídricos realizado pelas hidrelétricas. Estes prejuízos são maiores quando somados aos custos envolvidos na interrupção temporária da geração de energia elétrica pela paralisação das turbinas (POMPEO, 2008). As infestações elevadas de macrófitas nos reservatórios de usinas hidrelétricas e outros corpos hídricos geram situações em que a necessidade de executar uma medida de controle torna-se indispensável (MARTINS et al., 2003).

Segundo Thomaz e Bini (2003), no período chuvoso, notadamente entre os meses de janeiro e abril, ocorre aumento de vazão em alguns reservatórios, provocando uma fragmentação das plantas aquáticas submersas, a formação de ilhas flutuantes de taboa (*Typha latifolia*) e aguapé-de-cordão (*Eichhornia azurea*) e o deslocamento de plantas flutuantes como o aguapé (*Eichhornia crassipes*) e alface-d'água (*Pistia stratiotes*).

As macrófitas têm sido utilizadas de várias maneiras, tais como fonte de carboidratos ou proteínas para alimentação animal, para construção de casas ou tapumes, na produção de papel e outros usos industriais variados, para alimentação de organismos aquáticos, como peixes consumidos pelo homem, para remoção de nutrientes e poluentes de águas eutrofizadas e de efluentes, na produção de energia (biogás metano ou como substituto de carvão) e como fertilizante (MURPHY, 1988). A biomassa das macrófitas, rica em macro e micronutrientes, é uma alternativa para uso em solos desprovidos de húmus e matéria orgânica (LUTZENBERGER, 1985), desde que não leve ao acúmulo de substâncias nocivas e metais pesados.

O material orgânico destas plantas, quando incorporado ao solo, pode exercer influência sobre numerosas propriedades físicas, químicas e biológicas, as quais acabam por alterar sua dinâmica no mesmo e, conseqüentemente, sua fertilidade. Nakagawa (1992) afirmou que todo e qualquer resíduo orgânico animal e vegetal, incorporado ou amontoado no solo, é degradado devido a ação de microrganismos que se alimentam das substâncias presentes, principalmente o carbono orgânico, e os nutrientes são liberados para a biota terrestre, incluindo raízes de plantas superiores.

A importância ecológica das macrófitas aquáticas se deve a fatos como o de atuarem como fontes de energia e de matéria orgânica no primeiro nível trófico das cadeias alimentares em ecossistemas aquáticos, promoverem abrigo para a reprodução e proteção de organismos aquáticos e terrestres, retirarem o excesso de substâncias tóxicas da água, proporcionarem expressiva superfície para desenvolvimento do perifiton, que alimenta fases jovens de peixes e outros organismos aquáticos, promoverem heterogeneidade espacial e temporal no corpo hídrico, favorecendo a biodiversidade biológica e protegerem as margens dos corpos hídricos contra processos erosivos, entre outros efeitos benéficos à vida em águas continentais (POMPÊO, 1999).

Quando se trata da elevada proliferação desta vegetação em reservatórios de hidrelétricas, a alternativa para esta situação no Brasil é o controle mecânico, com a retirada das plantas do corpo hídrico e tem sido utilizada principalmente pelas restrições ambientais a outros métodos (VELINI, 2005). O controle mecânico se dá em quatro etapas: retirada das plantas dos rios, canais ou lagos; transporte das plantas ainda no corpo hídrico; transferência desse material para o ambiente terrestre, transporte e descarte do material coletado (VELINI, 2000). O controle mecânico apresenta alguns problemas relacionados à forma de destino da biomassa vegetal coletada. Normalmente, os volumes removidos são muito grandes e as plantas são provenientes de águas enriquecidas com diferentes concentrações de nutrientes e metais pesados, além de poluídas com o lançamento de lixo, presença de organismos patogênicos ou vetores de doenças e, em sua decomposição, podem liberar grandes quantidades de substâncias químicas e contaminar solos e águas superficiais localizados em

quotas mais baixas. Esse é o problema do descarte desta biomassa, que é passível de licenciamento ambiental, seguir os mesmos procedimentos requeridos para o depósito de lixo urbano, embora se reconheça que as macrófitas aquáticas constituem um material muito mais nobre e longe de ser incluído na categoria de resíduo urbano, sob o ponto de vista agrônômico (NAKAGAWA, 1992).

Estes grandes benefícios ecológicos das macrófitas aquáticas podem ser observados em áreas ainda incólumes ou com baixa intervenção antrópica (PITELLI & PITELLI, 2004). Em corpos hídricos sob forte intervenção humana, as características do entorno são alteradas e também há fortes modificações nas características originais de fluxo, profundidade e características da água, incluindo os segmentos bióticos e abióticos. Nestas condições, algumas populações de macrófitas são favorecidas e passam a desenvolver densas colonizações, praticamente mono-específicas, em detrimento de outras espécies que são prejudicadas ou não favorecidas pelas alterações promovidas pelo homem (VELINI, 2005).

Praticamente todas as características químicas da água são afetadas pela presença de densas colonizações de macrófitas, pois plantas de diferentes hábitos de crescimento alteram de forma diversa as condições de oxirredução do meio.

É importante que se avalie destinos mais nobres a serem dados a esta biomassa, uma vez que não há perspectivas de curto prazo de que o crescimento das macrófitas aquáticas seja reduzido pela melhoria na qualidade da água ou pela introdução de outro processo de controle destas populações, uma vez que o controle químico ainda não é legalmente permitido no Brasil (VELINI, 2005).

2.2 Utilização Ambientalmente Sustentável de Resíduos Orgânicos Vegetais.

Material orgânico ou resíduo orgânico podem ser classificados em produtos de origem animal, vegetal, agroindustrial e industrial, mas independentemente dessa classificação, a origem do resíduo está ligada ao seu processo de produção. Os resíduos orgânicos com maior potencial de aproveitamento são os esterco animais, o lodo de esgoto, o composto de lixo, os subprodutos da fabricação de açúcar e álcool e os restos de cultura (SILVA, 2008). A instrução normativa nº 25 do MAPA (2009), a relação C/N deve ser de até 20 e o teor de nitrogênio total deve ser no mínimo de 5,0 g kg⁻¹ para compostos orgânicos.

A preocupação com a degradação ambiental provocou maior interesse dos agricultores pelo uso de adubos orgânicos ou resíduos, principalmente pela agricultura sustentável (STEWART & ROBINSON, 1997; BRUMMER, 1998; SIQUEIRA & FRANCO, 1988), pois, além do fornecimento de nutrientes, destacam-se por um papel fundamental e mais importante, o fornecimento de matéria orgânica para melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (RAIJ, 1991).

Os aspectos relacionados à produção de resíduos têm relação direta com a sua quantidade, com os locais de geração do material, com os processos que regulam a composição e com as propriedades químicas e físicas desses materiais. Existe uma grande diversidade de fontes de resíduos orgânicos que podem ser usados (SILVA, 2008).

Segundo Eira (1992), a decomposição da matéria orgânica é a principal fonte de ácidos orgânicos no solo, mas a lavagem direta da palha dos resíduos vegetais e a produção de exsudados radiculares e microbianos também são outras importantes fontes desses ácidos e vários gêneros de bactérias e fungos produzem exsudações ativas e constantes de ácidos. Dentre as plantas, algumas apresentam grandes produções ou acumulações desses compostos no tecido vegetal, como as do gênero *Lupinus*, um dos mais estudados, por possuir alta capacidade de exsudar ácido cítrico por meio de seu sistema radicular, o que pode resultar em maior disponibilização de nutrientes no solo por competição nos sítios de retenção (GUPPY et al., 2005). Os compostos orgânicos do solo são formados por ácidos húmicos e fúlvicos,

ácidos orgânicos de baixa massa molecular (AO), ácido tânico, aminas, compostos aromáticos, dentre outros. Todos podem fazer parte do C orgânico solúvel do solo. Na solução do solo, a concentração normal de C orgânico solúvel varia de 0,2 a 2,5 mmol L⁻¹. A concentração de ácidos orgânicos no tecido das plantas é de 10 a 100 vezes maior que a encontrada no solo, em virtude da sua ação nos processos metabólicos celulares. Ainda de acordo com este autor citado acima, a adição de material vegetal no solo resulta em rápido aumento da concentração de ácidos orgânicos com aproximadamente de 2 a 10 % do C orgânico solúvel do solo sendo composto por estes ácidos, e os mais comuns são: acetato, formato, lactato, oxalato, malato e citrato.

A importância dos ácidos orgânicos no solo se deve ao fato de formarem grupos funcionais, principalmente dos tipos carboxílicos e fenólicos, que participam em várias reações químicas no solo, a saber: complexação ácido orgânico-metal, redução da toxidez por Al (ROSSIELLO&JACOB NETO, 2006), adsorção de íons e constituição química da rizosfera (JACOB NETO, 1993; FRANCHINI et al., 2003). Dessa forma, além de complexarem o Al tóxico, esses compostos aumentam a mobilidade, no perfil do solo, dos produtos originados da dissolução do calcário aplicado em superfície. Dentre os mecanismos responsáveis pela melhoria das características químicas do solo com a aplicação de resíduos vegetais, destacam-se: a sorção de H e Al na superfície do material vegetal, a complexação do Al por compostos orgânicos, a troca de ligantes entre os grupos funcionais OH⁻ dos oxihidróxidos de Fe e Al e os ânions orgânicos, e o aumento do potencial de oxidação biológica de ânions orgânicos (FRANCHINI et al., 1999, ROSSIELLO & JACOB NETO, 2006).

2.3 Mobilidade de Cátions no Perfil do Solo

Com a adoção crescente do plantio direto, aumentou a necessidade de se conhecer a mobilidade vertical de cada nutriente no solo, porque nesse sistema os fertilizantes são aplicados nos centímetros superficiais, sem incorporação posterior e com a massa vegetal também sobre o solo. A mobilidade dos nutrientes no perfil pode afetar a disponibilidade destes aos vegetais (KEPKLER & ANGHINONI, 1996) e também as perdas por lixiviação (CERETTA et al., 2003). Os nutrientes necessitam estar na solução do solo e em contato com as raízes para serem absorvidos pelas plantas. Em solos com predomínio de cargas variáveis, a concentração de K na solução, por exemplo, é influenciada, sobretudo pela liberação do K de formas não-trocáveis e pela reação de adsorção eletrostática (SPARKS & HUANG, 1985). O contato com as raízes, por sua vez, depende da distância entre elas e os nutrientes, assim como dos fatores de solo e de planta que afetam a movimentação dos íons no solo (CHEN & GABELMAN, 2000). O movimento radial de K em direção às raízes ocorre por fluxo de massa e principalmente por difusão (ARAÚJO et al., 2013), porém o movimento vertical ocorre fundamentalmente por fluxo de massa. Dependendo das condições, o K pode ser carregado para profundidades além daquelas ocupadas pelas raízes, perdendo-se por lixiviação (SANZONOWICZ & MIELNICZUK, 1985). Nutrientes com alta mobilidade no solo, a exemplo do N, atingem o volume de solo explorado pelas raízes rapidamente, porém se perdem facilmente por lixiviação e, se manejados incorretamente, podem contaminar as águas subterrâneas. Nutrientes com baixa mobilidade, a exemplo do P, normalmente são lixiviados em quantidades insignificantes (SOPRANO & ALVAREZ, 1989; SAARIJARVI et al., 2004), porém, quando aplicados sobre a superfície, podem não atingir as camadas de solo onde se encontra a maior parte das raízes, as quais, para a maioria das espécies anuais, se concentram nos 20 cm superficiais (FANTEJR. et al., 1994; SEIXAS et al., 2005).

A mobilidade vertical dos nutrientes no solo é afetada por fatores físicos e químicos do solo (DIEROLF et al., 1997). Os principais atributos físicos é a porosidade que influencia a saturação de água que percola no perfil (BASSOI & CARVALHO, 1992). A velocidade de

percolação depende da intensidade das chuvas e da capacidade de retenção deste solo. Os principais aspectos químicos são: a concentração da solução do solo (ISHIGURO et al., 1992), o pH (CHAVES & LIBARDI, 1995; ERNANI et al., 2001), a capacidade de troca de cátions (AKINREMI & CHO, 1991; CHAVES & LIBARDI, 1995), as reações de dissolução/precipitação (SANZONOWICZ & MIELNICZUK, 1985; ERNANI & BARBER, 1993) e as trocas iônicas entre os nutrientes que estão na solução com aqueles da fase sólida durante o processo de descida (AKINREMI & CHO, 1991). Ernani et al., (2004) observaram maior lixiviação de Ca após aplicação de gesso do que de calcário calcítico, em razão da maior concentração de Ca na solução do solo tratado com gesso em relação àquele que recebeu a mesma quantidade de Ca na forma de calcário. A elevação do pH nas camadas subjacentes à aplicação de carbonato de cálcio, acompanhado de aumentos nos teores de cálcio e, ou, magnésio trocáveis também tem sido observada (QUAGGIO et al., 1995, MARTINS, 1991, BELKACEM & NYS, 1997). A descida de Ca^{+2} junto ao aumento de pH relaciona-se à permanência de ânions bicarbonato no sistema (MARTINS, 1991; WADT, 1991). O ânion bicarbonato seria responsável, também, pela neutralização do alumínio na camada subjacente (WADT, 1991).

2.4 Contaminação dos Recursos Hídricos

Estes exsudatos, compostos principalmente por aminoácidos, açúcares simples, ácidos orgânicos, carboidratos, enzimas e gases, como o dióxido de carbono e etileno influenciam diretamente nas comunidades microbianas do corpo hídrico e sua atuação nas reações químicas e bioquímicas que ocorrem na água.

Segundo Pedralli (2003), em corpos hídricos com densas colonizações de macrófitas aquáticas ocorrem maiores formações de gases tóxicos (H_2S , CH_4 , etc.) e a diminuição do pH da água, quando comparados com áreas sem macrófitas ou com colonizações moderadas.

De acordo com as melhores práticas de uso e manejo do solo, recomenda-se favorecer a infiltração da água em áreas agrícolas, o que permite ao solo desempenhar sua função de filtro e, conseqüentemente, reduzir o potencial de poluição das águas via escoamento superficial (JURY et al., 1991). No entanto, é fundamental estudar a capacidade de retenção dos elementos na matriz do solo (JURY et al., 1991), a fim de evitar problemas de contaminação das águas subterrâneas (PARRY, 1998; HOODA et al., 2000). Entre as várias estratégias para melhorar a qualidade da água, sistemas de terraceamento têm se apresentado como uma alternativa tecnicamente viável. Os terraços diminuem a velocidade do escoamento superficial e permitem que a água acumule no canal, aumentando sua infiltração (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990; PARANÁ, 1994; GRIEBELER et al., 2005) e possibilitando, assim, a retenção dos poluentes no perfil do solo em vez de serem lançados diretamente nas águas superficiais.

Os adubos apresentam comportamentos distintos quanto à solubilização de seus constituintes, o que diretamente influencia o processo de transporte do solo para o sistema aquático. Adubos minerais, com elevada solubilidade em água, favorecem as perdas de nutrientes solúveis em curto prazo (McDOWELL & SHARPLEY, 2001), enquanto adubos orgânicos, por dependerem da mineralização da fração orgânica, tornam-se uma fonte de nutrientes de longo prazo (SHIGAKI et al., 2006; BERENGUER et al., 2008; TAKALSON e LEYTEM, 2009).

2.5 Contaminação do Solo

Vários fatores podem causar impactos negativos a um ecossistema, tais como atividades de mineração, construção de empreendimentos como usinas hidrelétricas, áreas de aterros sanitários, entre outras, que produzem impactos que podem limitar o uso do solo.

A poluição do solo e do subsolo consiste na deposição, descarga, infiltração, acumulação, injeção ou enterramento no solo ou no subsolo de substâncias ou produtos poluentes, em estado sólido, líquido ou gasoso (RAIJ et al, 1982). A degradação do solo pode ocorrer por meio da desertificação que pode ocorrer por atividades naturais ou por fatores antrópicos (RAIJ et al, 1987).

Um fator causador da contaminação dos solos são os efluentes provenientes de atividades agrícolas, nas quais se destacam aquelas que apresentam um elevado risco de poluição, como sendo, as agropecuárias intensivas e o uso inadequado de fertilizantes e pesticidas. A retenção, no perfil do solo, de elementos minerais aplicados em sua superfície é fundamental para diminuir prejuízos econômicos e ambientais (WADT et al, 1991).

2.6 Extração da Solução do Solo

A caracterização das fases sólida (mineral e orgânica) gasosa e líquida do solo é de grande relevância para que se possa inferir sobre os atributos físicos, químicos e biológicos do solo e, conseqüentemente, na adoção de práticas de manejo adotadas.

Dentre as técnicas desenvolvidas para extração da solução do solo encontrados na literatura, destacam-se os métodos do deslocamento (ELKHATIB et al., 1986), centrifugação (ADAMS et al., 1980; MIRANDA et al., 2006), pasta de saturação do solo (SOUZA et al., 2012); cápsulas extratoras porosas (ALT, 2001; LAO et al., 2004; LIMA, 2009;) e extratos aquosos em diferentes relações solo: água (CHOWDHURY et al., 2011). O método da pasta saturada é um método destrutivo, o que acarreta mudanças na estrutura do solo e, em consequência, em sua porosidade, além de ser subjetivo com relação ao ponto indicador de saturação do solo e de lenta extração; entretanto, ainda é um dos métodos tidos como referência no Brasil, sobretudo quanto aos estudos de solos propensos à contaminação ambiental e bastante usado na calibração dos demais métodos. Um método que vem ganhando destaque é o de extração da solução do solo por meio de cápsulas porosas (LAO et al., 2003; DIAS et al., 2005; BLANCO et al., 2008; LIMA, 2009; SILVA JÚNIOR et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2011; MARQUES et al., 2012) uma vez que representa as condições reais de umidade e concentrações dos elementos disponíveis às plantas, além de possibilitar a coleta da fase líquida diretamente em campo e não ser destrutivo, propiciando a repetição de coleta da solução do solo no mesmo local, favorecendo monitoramentos por longos períodos. Os métodos que usam extratos aquosos em diferentes relações solo: água tem gerado discussões estimulando investigações científicas a respeito da proporção solo: água, uma vez que são adotadas quantidades diferenciadas de água, causando mudanças na diluição dos íons presentes na solução. Além disto, discute-se a necessidade ou não do processo de filtragem das amostras após a extração. Neste contexto é importante frisar a carência de estudos comparativos entre métodos de extração da solução do solo (SCHLOTTER et al., 2012). GLOAGUEN et al. (2009) enfatizam, ao propor um método simples de extração sequencial utilizando um sistema de vácuo, que diante das diversas técnicas de amostragem a diferença de volume e de composição da solução tem sido fonte constante de discussões; esses autores discorrem, ainda, que os tipos de solo e de manejo exercem grande influência na porosidade do solo e, conseqüentemente, na disponibilidade da solução no solo; neste sentido é necessário que seja avaliado o desempenho de diferentes métodos em classes de solos distintas tentando entender a dinâmica da composição da solução do solo.

No Brasil, cerca de 70% dos solos cultivados apresentam alguma limitação séria de fertilidade. A baixa disponibilidade de P, N, Ca, Mg dentre outros nutrientes são os fatores químicos que limitam processos metabólicos nas plantas (SANTOS et al., 2006). Por essas razões, substratos alternativos devem ser estudados. Os resíduos orgânicos surgem então como uma opção para diminuir os custos com a adubação química, como no presente caso, para mitigar efeito de poluição pelo excesso de descarte da biomassa de macrófitas. Neste

sentido, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de verificar os efeitos da adição de biomassa de macrófitas adicionadas na superfície de um solo Latossolo e verificar a lixiviação de macro e micronutrientes nas diferentes camadas de uma coluna de solo. Também foi estudado o efeito desta adição de biomassa no crescimento inicial de mudas de uma espécie florestal (NAKAGAWA, 1992).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Experimento 1 - Análise da concentração e mobilidade de nutrientes no perfil do solo a partir da decomposição da biomassa de macrófitas aquáticas.

O experimento 1 foi conduzido em colunas de concreto com três metros de altura e um metro de diâmetro. Essas colunas foram constituídas por anéis de manilha de cimento sobrepostas, unidas por uma camada de cimento para vedação. Na base das colunas de cimento foram colocadas pedras de brita número 1, com granulometria de 12,5 mm, juntamente com areia média 0,02mm. Esta mistura teve a função de um dreno, em formato afunilado para saída do material percolado em profundidades maiores que 1,5 m.

Na figura 1, podem ser observadas as macrófitas após a trituração.



Figura 1- Macrófitas após trituração

Na figura 2, pode ser observado o último anel das colunas de cimento, compondo sua base de dreno, conforme descrito.



Figura 2 - Base de dreno compondo o último anel das colunas de cimento

Na figura 3, podem ser observadas as colunas, já dispostas no local, localizadas em área experimental situada nas usinas de Fontes, parte alta, nas dependências da concessionária de energia elétrica Light Energia S.A., no Município de Pirai - RJ.



Figura 3 - Colunas dispostas na área experimental

3.1.1 Amostragem 1.

Nas profundidades de 0,5, 1,0 e 1,5m foram instalados extratores para coleta do material percolado (solução do solo) nas colunas descritas anteriormente. Os extratores foram construídos mediante o acoplamento de uma cápsula porosa na extremidade de um tubo de PVC com $\frac{1}{2}$ polegada de espessura. O tubo foi fechado na extremidade oposta com uma vedação de PVC, a qual apresentava um furo de 0,2 mm de diâmetro. A cápsula porosa foi introduzida nas diferentes profundidades experimentais, até 50 cm de seu diâmetro. Uma cânula de 0,5 m de comprimento foi inserida no orifício até atingir a cavidade interna da cápsula porosa (vide figura 04). Uma bomba a vácuo modelo *New Pump* foi utilizada para criar uma pressão negativa na câmara porosa de forma a forçar a entrada de água proveniente da solução do solo em contato com a cápsula. A solução do solo foi bombeada para fora da cápsula porosa e armazenada em frascos plásticos de 200 ml, posteriormente vedados, os quais ficaram sob refrigeração por 12h até o encaminhamento para análise química da solução do solo, no laboratório Dinardo Miranda Laboratório de Análises Agrícolas (DMLab), em Ribeirão Preto.



Figura 4 - Cãnula inserida na cãpsula porosa

Para o preenchimento das colunas de cimento, foram coletados para constituir o substrato, os primeiros 1,5m de solo de um talude, correspondendo a todo horizonte A e parte do B, utilizando-se uma retro escavadeira. O solo coletado foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, com as características químicas descritas na tabela 1.

Tabela 1 - Análise química da fertilidade do solo utilizado como substrato para implantação do experimento. Experimento 1.

Na	Ca	Mg	K	H+Al	Al	S	T	V	m	n	pH _{água}	Corg	P	K
----- Cmol _c / dm ³ -----											1:2,5	%	----- mg/L -----	
0,020	0,7	0,4	0,02	5,1	0,6	1,14	6,24	18	34,4219	0	4,6	0,05	14	9

Com relação às propriedades físicas, o solo possuía as seguintes características: 26% de argila total, 49 % de areia total e 25% de silte.

Posteriormente, o solo foi peneirado em peneira de aço, utilizada na construção civil, com malha de 55 cm de diâmetro. O solo peneirado foi colocado nas colunas de cimento até o preenchimento do penúltimo anel de manilha. As plantas que compuseram a biomassa utilizada no experimento foram coletadas por sistema mecanizado (*clamshel*) na barreira de remoção do reservatório de Santana, *in natura*, sendo deixadas em repouso por 24 horas ao ar livre, antes de serem trituradas e adicionadas às colunas. As espécies que constituíram a biomassa das plantas foram em sua maioria, mais de 95% pelas espécies *Eichhornia crassipes*, *Salvinia molesta*, *Brachiaria subquadripara*, *Pistia stratiotes* e *Paspalum repens*, entre outras menos importantes em termos de biomassa. O reservatório de Santana, situado no Município de Piraí - RJ foi escolhido para o experimento por ter maior importância em diversidade de macrófitas, bem como e diretamente proporcional, à riqueza em nutrientes. A biomassa colhida foi triturada numa picadeira de forragem da marca Nogueira, modelo Sertaneja *Master*. A biomassa triturada foi adicionada na superfície do solo do penúltimo anel de manilha das colunas de concreto, sem incorporação, em diferentes doses, sendo que a mesma foi deixada em repouso de 24 horas sobre baias de concreto, a fim de drenar naturalmente, antes de ser colocada nas colunas. Após a trituração ocorreu uma redução de cerca de 70% no volume das macrófitas.

A biomassa de macrófitas adicionada às colunas de cimento não sofreram qualquer tipo de irrigação artificial, mas sim ficaram expostas às condições naturais de precipitação do local.

O delineamento experimental utilizado para a realização da primeira amostragem do experimento 1 (amostragem 1) foi um fatorial inteiramente casualizado, com seis tratamentos e três repetições. Os tratamentos utilizados foram T₁- sem adição de biomassa de macrófitas (testemunha), T₂ - 26,36, T₃ - 52,71, T₄ - 79,06, T₅ - 105,42 e T₆ -131,80, respectivamente em t ha⁻¹. Esta massa correspondeu respectivamente a 0, 10, 20, 30, 40 e 50 cm de altura de macrófitas nas colunas, partindo do nível do solo adicionado. Sessenta dias após a adição da biomassa, foram realizadas as coletas do material percolado por uma bomba a vácuo, sendo o material armazenado em frascos plásticos, previamente identificados. Os frascos foram vedados com tampa e mantidos sob refrigeração até o momento da transferência para o Laboratório de Análise de Água do IAC, em Campinas, SP. Sendo neste momento também, coletadas amostras de solo para análise química, utilizando-se um trado de rosca, com penetrações nas respectivas profundidades utilizadas no experimento (0,5, 1,0 e 1,5 metros).

Os parâmetros analisados foram: matéria orgânica (MO), pH, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), H+Al, enxofre (S), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), valor V, boro (B), cobre (Cu), manganês (Mn). Ferro (Fe) e zinco (Zn).

Ao final do experimento 01, a biomassa adicionada foi removida e descartada.

Os dados referentes aos nutrientes foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste estatístico de Tukey a 5% de probabilidade.

3.1.2 Amostragens 2 e 3.

A segunda amostragem do experimento 1 (amostra 2) foi realizada após um período de pousio de 60 dias da primeira amostragem (solução do solo) e 120 do início do experimento, após a remoção do material residual da primeira adição de biomassa de macrófitas depositadas no experimento. Para a sua realização, foram utilizadas as mesmas colunas de cimento e também o mesmo solo adicionado inicialmente no experimento. Foram coletadas amostras de solo para análise química, utilizando-se um trado de rosca, com penetrações nas respectivas profundidades utilizadas no experimento (0,5, 1,0 e 1,5 m).

Antes da realização da terceira amostragem as macrófitas *in natura* foram depositadas, repondo até 50 cm de altura, que corresponde em massa a 75,30 t ha⁻¹ de biomassa em todas as colunas, independente do rebaixamento do solo nos tratamentos. Os tratamentos consistiram em repor a cada 20 dias o volume de biomassa de macrófitas rebaixados, adicionando novamente material até completar e 50 cm de altura de plantas.

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, com três repetições e seis tratamentos, nos quais os tratamentos foram: T1 (testemunha - sem adição de biomassa), T2 (adição de 75,3 t ha⁻¹ de biomassa no início), T3 (adição de 75,3 t ha⁻¹ de biomassa no início + 1 reposição), T4 (adição de 75,3 t ha⁻¹ de biomassa no início + 2 reposições), T5 (adição de 75,3 t ha⁻¹ de biomassa no início + 3 reposições), T6 (adição de 75,3 t ha⁻¹ biomassa no início 4 reposições).

Após a última reposição de biomassa, que se deu aos 220 dias após o início do experimento, foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0,5 m, 1,0 e 1,5 m, por meio de cortes feitos nas colunas de concreto com o auxílio de uma serra de mármore da marca Makita, modelo 4100NH2Z. Com o auxílio de uma cavadeira, foram retiradas as amostras de solo do centro do anel das manilhas, as quais foram enviadas para análise química no Laboratório de Análises Agrícolas do IAC, São Paulo. Foram realizadas as seguintes análises: concentrações de matéria orgânica, pH, concentrações de P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, S, B, Cu, Mn, Fe, Zn, Cd, Cr e Pb, soma e saturação de bases e capacidade de troca catiônica. Foi realizada também a análise física do solo nas três profundidades de coleta.

Os dados referentes aos nutrientes foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste estatístico de Tukey a 5% de probabilidade.

3.2 Experimento 2. Avaliação do crescimento e desenvolvimento da espécie nativa florestal Pau-formiga (*Triplaris americana*) em solo enriquecido com diferentes dosagens de biomassa de macrófitas.

O experimento 2 foi conduzido em área experimental localizada na parte alta das Usinas de Fontes, Light Energia S.A., no Município de Pirai - RJ. O experimento foi conduzido em um delineamento experimental inteiramente casualizado com seis tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos utilizados foram: Tratamento 1 sem adição de biomassa (testemunha); tratamento 2 (4,9 t/ha de biomassa), tratamento 3 (9,8 t ha⁻¹ de biomassa); tratamento 4 (14,8 t ha⁻¹ de biomassa); tratamento 5 (19,7 t ha⁻¹ de biomassa); tratamento 6 (24,7 t ha⁻¹ de biomassa). O experimento foi conduzido em manilhas de cimento com 1,5 metros de altura e 0,4 metros de diâmetro. Os tubos foram preenchidos com 190 kg de um solo Latossolo Vermelho Amarelo coletados seguindo a mesma metodologia do experimento 1. A biomassa adicionada foi triturada como descrito no experimento 1.

Após a incorporação da biomassa no solo presente nas colunas com as respectivas doses de biomassa, uma muda da espécie Pau-formiga (*Triplaris americana*) foi plantada em cada coluna. As mudas foram produzidas no viveiro experimental da Light, e apresentavam uma altura média de 30 cm quando plantadas. O experimento foi conduzido por 90 dias. No final do período experimental, as plantas foram retiradas dos tubos e sua biomassa separada em folhas, caule e raízes, e acondicionada em sacos de papel. Os sacos contendo o material vegetal foram submetidos à estufa de circulação forçada de ar, a 60°C, até que atingissem a massa atingisse peso constante. Os tecidos foram então pesados em balança analítica e as folhas foram enviadas para o laboratório de análise de solo e planta do IAC para análise completa de nutrientes.

A biomassa incorporada nas covas das colunas no experimento 2 foi composta pelas mesmas espécies que compuseram a biomassa do experimento 1.

Os dados referentes à matéria seca e nutrientes foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste estatístico de Tukey a 5% de probabilidade.

Em nenhum dos dois experimentos realizados, foi utilizado sistema de irrigação, estando às colunas expostas às condições pluviométricas características da região durante a realização do experimento.

4 - RESULTADOS

4.1 Resultados do Experimento 1 - Amostragem 1.

Um aspecto de avaliação das colunas foi a constatação da redução do volume de solo e de biomassa de macrófitas ocorridas durante o período de vigência do experimento. Na tabela 2, podem ser observados os valores médios da concentração dos elementos químicos das soluções de solo coletadas em diferentes doses e profundidades nas colunas de solo aos 100 dias após implantação do experimento 1, amostragem 1.

Nesta tabela pode ser observado que não foi possível detectar a presença de fósforo em nenhuma dose de biomassa adicionada e em qualquer profundidade amostrada e também não foram encontrados metais pesados em níveis detectáveis pela análise química realizada. As concentrações dos elementos, em sua maioria aumentaram com as doses de biomassa adicionadas, com exceção do nitrogênio que no tratamento sem adição de biomassa apresentou seu maior valor de 6,20 g Kg⁻¹. Os resultados foram discutidos utilizando as análises estatísticas realizadas, comparando as médias pelo teste de LSD.

Tabela 2. Amostragem 1. Valores médios das três repetições da concentração dos elementos químicos da solução do solo coletadas em diferentes doses e profundidades nas colunas de solo aos 60 dias após o início do experimento. Experimento 1.

Profundidade da coleta da solução do solo (cm)	Tratamentos t ha ⁻¹	N	P	K	Na	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		g kg ⁻¹								mg kg ⁻¹			
50	Sem adição	6,20	0	3,10	2,70	4,80	0,77	5,57	0,03	0,00	2,60	0,00	0,00
	26,36	4,70	0	12,57	5,87	7,23	2,00	6,40	0,13	0,07	11,8	0,10	0,10
	52,71	4,30	0	15,07	5,27	4,60	1,07	9,87	0,07	0,03	16,87	0,10	0,00
	79,06	4,93	0	15,37	5,63	9,60	2,20	6,93	0,10	0,30	7,30	0,13	0,13
	105,42	5,20	0	26,03	6,73	9,80	3,27	5,03	0,10	0,00	7,93	0,23	0,03
	131,80	4,70	0	36,70	11,63	10,83	1,83	11,1	0,10	0,47	2,77	0,03	0,17
100	Sem adição	22,80	0	3,10	3,23	7,93	0,80	4,63	0,10	0,03	0,00	0,17	0,07
	26,36	22,83	0	10,43	9,60	28,73	3,77	5,50	0,07	0,00	0,00	0,17	0,00
	52,71	22,30	0	10,10	6,97	10,13	1,30	5,20	0,10	0,00	0,00	0,33	0,00
	79,06	22,83	0	17,30	10,80	29,10	6,93	4,73	0,10	0,07	0,00	1,97	0,13
	105,42	23,83	0	36,27	18,33	36,60	12,7	6,10	0,13	0,00	1,10	5,23	0,00
	131,80	23,30	0	21,87	35,07	41,17	6,77	6,53	0,10	0,03	0,20	1,63	0,00
150	Sem adição	24,33	0	2,70	4,20	9,53	0,60	5,43	0,10	0,17	0,07	0,07	0,20
	26,36	21,77	0	13,80	14,33	26,77	3,33	6,57	0,10	0,00	0,00	0,60	0,00
	52,71	23,30	0	6,10	11,90	13,83	1,67	5,50	0,13	0,10	0,30	0,33	0,30
	79,06	22,27	0	26,97	9,13	36,37	7,80	4,57	0,07	0,17	0,33	2,27	0,03
	105,42	20,23	0	34,33	15,70	33,70	11,43	4,00	0,10	0,00	0,77	5,27	0,00
	131,80	21,27	0	16,07	28,47	34,67	5,50	6,00	0,13	0,00	0,13	0,80	0,00

4.1.1 Nitrogênio

Com relação à concentração de nitrogênio na solução do solo somente foi verificado efeito significativo da profundidade, não havendo, portanto, efeito da dose de resíduos de macrófitas depositados no solo. Houve uma maior concentração de nitrogênio nas profundidades de 100 e 150 cm, mas que não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 3), apenas diferindo da amostra realizada mais na superfície.

Tabela 3. Comparação dos valores médios da concentração de nitrogênio no experimento em relação à profundidade de amostragem. Experimento 1.

Profundidade (cm)	Média	LSD
50	5,00	B
150	22,19	A
100	22,98	A

4.1.2 Fósforo e Potássio

Não foi detectada a presença de fósforo em nenhuma amostra coletada. Com relação ao potássio só ocorreu efeito significativo estatisticamente entre as dosagens de macrófitas aplicadas. A dose de 105,42 t ha⁻¹ de massa de macrófitas apresentou concentrações estatisticamente superiores às doses de 26,36 t ha⁻¹ e 52,71 t ha⁻¹ cm. As demais doses não diferiram entre si.

4.1.3 Sódio

No caso das concentrações de sódio, houve um efeito significativo da dose de biomassa de macrófitas aquáticas e da profundidade de amostragem. A dose de 79,06 t ha⁻¹ foi estatisticamente superior às demais, com exceção da dose de 105,42 t ha⁻¹, que ficou em valores intermediário, as demais doses não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 4).

Tabela 4. Comparação dos valores médios da concentração de Sódio em relação à dose. Experimento 1.

Doses (t ha ⁻¹)	Média	LSD
Sem adição de biomassa	3,38	B
52,71	8,04	B
79,06	8,52	B
26,36	9,93	B
105,42	13,58	AB
131,80	25,05	A

As profundidades de 100 e 150 foram maiores que a de 50, mas não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 5).

Tabela 5. Comparação dos valores médios da concentração de sódio em relação à profundidade. Experimento 1.

Profundidade	Média	LSD
50	6,30	B
150	13,95	A
100	14,00	A

4.1.4 Cálcio

No caso do cálcio, houve efeito significativo da dose de plantas e da profundidade de amostragem. O cálcio na maior dose de macrófitas de 131,80 t ha⁻¹, foi estatisticamente

superior às doses 52,71 t ha⁻¹ e Testemunha (Tabela 6). As doses 26,36 t ha⁻¹, 52,71 t ha⁻¹ e 79,06 t ha⁻¹, não diferiram estatisticamente da testemunha.

Tabela 6. Comparação dos valores médios da concentração de Cálcio em relação à dose. Experimento 1.

Dose	Média	LSD
Sem adição	7,42	C
52,71	9,52	BC
26,36	20,91	ABC
79,06	25,02	ABC
105,42	26,70	AB
131,80	28,88	A

As profundidades de 100 e 150 cm acumularam maiores teores de cálcio (Tabela 7) do que profundidade de 50 cm.

Tabela 7. Comparação dos valores médios da concentração de Cálcio em relação à profundidade. Experimento 1.

Profundidade	Média	LSD
50	7,81	B
100	25,61	A
150	25,81	A

4.1.5 Magnésio

O magnésio foi influenciado pela dose de plantas e pela profundidade de amostragem. A dose que causou maior acúmulo foi a de 105,42 t ha⁻¹, que não diferiu estatisticamente das doses de 79,06 t ha⁻¹ e 131,80 t ha⁻¹. Somente as doses de 79,06 t ha⁻¹ e 105,42 t ha⁻¹ foram estatisticamente superiores à testemunha (Tabela 8).

Tabela 8. Comparação dos valores médios da concentração de magnésio em relação a dose. Experimento 1.

Dose	Média	LSD
Sem adição	0,72	C
52,71	1,34	BC
26,36	3,03	BC
131,80	4,70	ABC
79,06	5,64	AB
105,42	9,13	A

Nas maiores profundidades foram encontradas as maiores concentrações de magnésio (Tabela 9).

Tabela 9. Comparação dos valores médios da concentração de magnésio em relação à profundidade. Experimento 1.

Profundidade	Média	LSD
50	1,85	B
150	5,05	A
100	5,37	A

4.1.6 Enxofre

O enxofre somente foi afetado pela profundidade de amostragem. Neste caso, houve maior acúmulo na profundidade de 50 cm, sendo este estatisticamente superior às demais, que não diferiram entre si (Tabela 10).

Tabela 10. Comparação dos valores médios da concentração de Enxofre em relação a profundidade. Experimento 1.

Profundidade (cm)	Média	LSD
150	5,34	B
100	5,45	B
50	7,48	A

4.1.7 Boro e Cobre

Não houve efeito significativo da concentração da biomassa das macrófitas e também efeito da profundidade de avaliação, tanto para boro quanto para cobre.

4.1.8 Ferro

No caso das concentrações de ferro, houve efeito significativo da profundidade e da interação dose x profundidade, neste último caso *p* com alto valor. Houve uma concentração significativamente superior de ferro na camada de 50 cm, diferindo das amostragens realizadas em maiores profundidades (Tabela 11).

Tabela 11. Comparação dos valores médios da concentração de ferro em relação a profundidade. Experimento 1.

Profundidade	Média	LSD
100	0,21	B
150	0,26	B
50	8,21	A

4.1.9 Manganês

O manganês sofreu influência da dose de macrófitas, da profundidade de amostragem e da interação destes fatores. A dose de 105,42 t ha⁻¹ foi estatisticamente superior às demais, que não diferiram entre si (Tabela 12).

Tabela 12. Comparação dos valores médios da concentração de Manganês em relação à dose. Experimento 1.

Dose	Média	LSD
Sem adição	0,08	B
52,71	0,25	B
26,36	0,29	B
131,80	0,82	B
79,06	1,45	B
105,42	3,58	A

As maiores profundidades (100 e 150 cm) apesar de não diferirem entre si apresentaram concentrações estatisticamente superiores de manganês em relação à profundidade de 50 cm (Tabela 13).

Tabela 13. Comparação dos valores médios da concentração de manganês em relação à profundidade. Experimento 1.

Profundidade	Média	LSD
50	0,10	B
150	1,55	A
100	1,58	A

Na tabela 14, pode ser visto que as doses de 105,42 t ha⁻¹ nas profundidades de 100 e 150 cm apresentaram concentrações superiores às demais, com exceção das doses de 79,06 t ha⁻¹ e 131,80 t ha⁻¹ nas profundidades 100 e 150 cm.

Tabela 14. Comparação dos valores médios da concentração de manganês em relação a interação dose x profundidade. Experimento 1.

Dose (t ha ⁻¹)	Profundidade	Média	LSD
0	50	0,00	B
131,80	50	0,03	B
0,00	150	0,07	B
52,71	50	0,10	B
26,36	50	0,10	B
79,06	50	0,13	B
26,36	100	0,17	B
0,00	100	0,17	B
105,42	50	0,23	B
52,71	150	0,33	B
52,71	100	0,33	B
26,36	150	0,60	B
131,80	150	0,80	B
131,80	100	1,63	AB
79,06	100	1,97	AB
79,06	150	2,27	AB
105,42	100	5,23	A
105,42	150	5,26	A

4.1.10 Zinco

Não houve efeito significativo de qualquer parâmetro na concentração de Zinco.

4.2 Resultados do Experimento 1 – Amostras 2 e 3 coletadas respectivamente aos 120 e 220 dias após o início do experimento.

Nas datas das amostras 2 e 3 realizadas, respectivamente aos 120 e 220 dias após o início do experimento 1, não foi realizada uma análise estatística individual de cada elemento químico avaliado ou parâmetro. Entretanto, devido ao visível aumento dos valores dos parâmetros analisados na data da amostragem 3 (220 dias), foi realizada uma análise estatística conjunta de todos os dados obtidos nas amostras 2 e 3, para melhor visualização dos ganhos da adição da biomassa de macrófitas. Portanto, os dados da tabela 15 não foram analisados pormenorizadamente.

Na tabela 15 encontram-se os resultados das concentrações dos elementos químicos do solo retirado em três profundidades na coluna de concreto, após 60 dias da amostragem 1 e a 120 dias do início do experimento, denominada amostragem 2. Foi utilizado neste

experimento o trado de rosca para realizar as amostragens para as análises químicas. As concentrações de P, K, Ca, B, Cu, Fe, Zn e Mn encontradas no solo nas diferentes profundidades de amostragens 50, 100 e 150 cm, foram similares. A concentração de S e os valores de Al + H, foram maiores nas camadas mais profundas de 100 e 150 cm. As concentrações de Mg foram maiores na camada de 50 cm. Os valores de SB, CTC, V% diminuíram com a profundidade. Os valores de pH e da MO, não alteraram seus valores significativamente com a profundidade de amostragem na coluna de solo. A adição de macrófitas não alterou os valores destas análises de forma significativas em nenhuma profundidade. Os valores de pH, Al + H, CTC, SB e V demonstraram que apesar da adição de biomassa as concentrações dos elementos encontradas se situou na faixa para este tipo de solo.

Tabela 15. Amostragem 2. Análises químicas do solo coletado utilizando trado de rosca nas diferentes profundidades, aos 120 dias após a adição de macrófitas trituradas, antes das adições sucessivas das macrófitas. Os dados são médias de 3 repetições. Experimento 1.

Profundidade da amostragem do solo (cm):	Adição de biomassa (t ha ⁻¹)	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	S	B	Cu	Mn	Fe	Zn	MO	CTC	pH	H +Al	SB	V
		mg dm ⁻³		mmolc dm ⁻³		mg dm ⁻³		mg dm ⁻³		mg dm ⁻³		g dm ⁻³	mmolc dm ⁻³		mmolc dm ⁻³		%
50	Sem adição	1,67	1,26	3,34	7,63	49,33	0,24	0,27	1,47	2,33	0,53	5,00	47,90	4,30	35,67	12,24	26,46
	26,36	1,00	1,16	3,05	4,33	101,00	0,20	0,17	0,97	2,00	0,43	5,00	40,20	4,30	31,67	8,54	20,28
	52,71	1,67	1,37	3,25	4,28	100,67	0,25	0,17	0,70	1,33	0,40	5,00	43,24	4,30	34,33	8,90	19,95
	79,06	2,00	0,99	4,65	5,13	87,00	0,21	0,13	0,73	2,00	0,20	5,00	44,10	4,36	33,33	10,77	26,14
	105,42	1,00	0,76	1,90	4,17	96,33	0,25	0,27	1,20	2,00	0,60	5,00	39,43	4,26	32,67	6,83	15,40
	131,80	1,00	1,06	3,71	5,92	63,33	0,24	0,17	0,90	2,33	0,30	5,00	45,01	4,30	34,33	10,68	23,22
100	Sem adição	1,33	1,80	1,15	0,87	129,33	0,22	0,17	1,10	1,00	1,40	5,00	31,81	4,20	28,00	3,81	12,00
	26,36	1,00	1,68	3,61	1,30	145,67	0,21	0,13	1,07	1,33	0,50	5,00	36,92	4,30	30,33	6,58	17,52
	52,71	1,00	2,02	4,95	1,25	122,33	0,23	0,13	0,93	1,67	0,93	5,00	34,21	4,50	26,00	8,21	23,12
	79,06	1,00	1,81	4,26	1,81	122,00	0,20	0,17	1,87	7,67	0,37	6,00	36,87	4,30	29,00	7,87	20,19
	105,42	1,33	1,10	6,65	1,51	134,33	0,19	0,23	1,67	4,00	0,90	5,66	35,59	4,40	26,33	9,25	25,47
	131,80	2,33	1,23	5,19	2,15	121,67	0,20	0,17	2,13	5,00	0,63	6,66	38,22	4,26	29,67	8,56	20,72
150	Sem adição	1,00	1,60	2,10	0,62	123,33	0,19	0,20	1,13	1,00	1,40	5,00	30,65	4,23	26,33	4,32	13,47
	26,36	1,00	1,28	4,13	1,09	153,00	0,21	0,13	1,17	1,67	0,63	5,33	31,83	4,33	25,33	6,50	19,99
	52,71	1,33	1,21	9,27	2,42	110,67	0,20	0,17	2,17	3,67	2,10	5,66	35,57	4,60	22,67	12,90	34,71
	79,06	1,00	1,50	4,62	1,51	149,67	0,19	0,10	1,00	1,67	0,83	5,00	32,30	4,30	24,67	7,63	24,20
	105,42	1,67	1,16	4,79	1,41	139,33	0,18	0,23	1,77	3,00	1,10	5,00	31,36	4,36	24,00	7,37	23,54
	131,80	1,33	0,92	3,15	1,47	118,33	0,21	0,17	1,33	3,00	1,40	5,66	34,54	4,23	29,00	5,55	16,09

Na tabela 16 pode ser visto o resultado das análises químicas dos elementos da amostragem 3, realizadas aos 220 dias. Nela já continha a biomassa do início do experimento, mais as doses adicionadas. Este somatório deve ser considerado, entendendo que a massa triturada adicionada para a amostragem 1 não foi totalmente decomposta no solo neste período sendo o restante, não decomposto, retirado no momento do início da deposição sucessiva de biomassa. Portanto, não é possível uma análise quantitativa dos dados. Entretanto, como foram adicionadas 75,30 t ha⁻¹ de biomassa *in natura* em cada cilindro, isto possibilita uma análise quantitativa muito próxima da realidade no tratamento sem reposição.

Os resultados das concentrações de P, K, Ca diminuiram com a profundidade de amostragem especialmente a de Mg. As concentrações de S, Cu e B permaneceram com valores muito parecidos, independente da profundidade da amostragem, já Zn, Fe e Mn diminuiram. Os valores para CTC, pH, SB, H + Al e V% permaneceram praticamente iguais nas diferentes profundidades. A percentagem de M.O não foi muito alterada com a profundidade.

Tabela 16. Amostragem 3. Análises químicas do solo coletado através de corte na coluna de cimento nas diferentes profundidades, aos 220 dias após a adição sucessiva de macrófitas. Os dados são médias de 3 repetições. Experimento 1.

Profundidade (cm):	Adição exp1/Adição exp2/ e reposição de biomassa (t ha ⁻¹)	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Fe	Zn	MO	CTC	pH	H + Al	SB	V
		mg dm ⁻³	mmolc dm ⁻³		mg dm ⁻³	mg dm ⁻³			g dm ⁻³	mmolc dm ⁻³		mmolc dm ⁻³	%				
50	Sem adição	3,67	11,75	11,57	5,45	116,67	0,27	0,10	2,13	4,67	0,63	6,00	52,11	4,30	23,33	28,77	54,60
	¹ 26,36 / ² 75,30 / sem reposição	4,33	15,91	16,66	6,70	141,67	0,28	0,10	2,57	8,00	0,80	7,00	59,26	4,50	20	39,26	66,15
	52,71 / 75,30 / 1 reposição ³	2,33	13,66	9,51	4,56	181,00	0,25	0,10	2,03	4,67	0,43	7,00	50,39	4,46	22,67	27,72	55,09
	79,06 / 75,30 / 2 reposições	4,67	17,48	16,97	6,70	176,33	0,33	0,10	3,33	7,33	0,63	6,00	60,15	4,53	19	41,15	68,50
	105,42 / 75,30 / 3 reposições	6,33	20,93	13,38	7,25	159,00	0,31	0,10	1,80	3,33	0,47	6,33	60,55	5,30	19	41,55	65,90
	131,80 / 75,30 / 4 reposições	5,33	26,97	18,77	8,40	189,00	0,24	0,10	1,87	4,00	0,27	5,00	68,81	5,13	14,67	54,14	78,53
100	Sem adição	2,00	1,66	3,52	1,50	146,67	0,25	0,10	1,83	8,33	0,43	6,66	33,67	4,13	27,00	6,67	16,56
	26,36 / 75,30 / sem reposição	2,67	2,38	3,90	2,40	154,00	0,20	0,10	0,83	2,33	0,47	5,00	35,00	4,16	26,33	8,67	24,90
	52,71 / 75,30 / 1 reposição	2,00	2,45	3,62	2,45	139,33	0,24	0,10	0,87	2,00	0,27	5,00	34,18	4,03	25,67	8,51	24,00
	79,06 / 75,30 / 2 reposições	2,00	2,23	2,75	1,42	199,33	0,23	0,10	0,63	2,00	0,13	5,00	30,72	4,00	24,33	6,40	20,47
	105,42 / 75,30 / 3 reposições	2,00	1,40	4,23	1,62	151,33	0,25	0,10	1,03	2,67	0,27	5,00	30,57	4,26	23,33	7,24	24,16
	131,80 / 75,30 / 4 reposições	2,00	2,04	3,90	2,56	162,67	0,20	0,13	2,20	5,67	0,37	6,00	35,83	4,20	27,33	8,50	22,86
150	Sem adição	5,67	2,11	0,61	0,35	157,00	0,23	0,10	0,33	1,00	0,30	5,00	31,07	4,10	28,00	3,07	9,95
	26,36 / 75,30 / sem reposição	2,67	0,70	3,93	1,26	168,67	0,17	0,10	0,60	1,67	0,2	5,00	28,89	4,10	23,00	5,89	19,93
	52,71 / 75,30 / 1 reposição	2,67	0,72	9,22	1,82	186,67	0,21	0,10	0,73	2,33	0,17	5,00	33,09	4,43	21,33	11,76	33,30
	79,06 / 75,30 / 2 reposições	3,33	1,02	1,76	0,55	177,00	0,21	0,10	0,50	1,67	0,23	5,00	26,99	4,16	23,70	3,32	12,03
	105,42 / 75,30 / 3 reposições	2,33	0,68	1,92	0,62	139,67	0,24	0,10	0,57	1,67	0,13	5,00	26,55	4,20	23,33	3,21	12,33
	131,80 / 75,30 / 4 reposições	2,33	0,76	2,82	0,90	155,00	0,17	0,13	1,30	6,33	0,43	6,00	31,48	4,10	27	4,48	13,18

Obs.: A biomassa adicionada não foi incorporada ao solo. No momento da amostragem **2**, os restos da biomassa triturada remanescente e proveniente da adição inicial, foram retiradas e descartadas. ¹Massa de biomassa triturada, ²Massa de biomassa *in natura*. ³ Reposição de macrófitas até 50 cm.

Diante dos resultados analíticos obtidos nas datas das coletas das amostragens 1, 2 e 3, com diferentes métodos de extração do solo para análise, foi decidido realizar uma análise estatística mais detalhada comparando conjuntamente os valores das amostragens 2 e 3. Foram avaliados as datas das amostragens (2 e 3), as profundidades de coleta de solos (50, 100 e 150 cm) as dosagens de biomassa (6 dosagens) e as interações amostragem x profundidade de coleta de solos, profundidade de coleta de solos x biomassa e amostragem x profundidade x biomassa.

A análise de variância da matéria orgânica (%), das épocas de amostragem do experimento 1, demonstrou que só ocorreu efeito da interação das datas das coletas das amostras x profundidade de coleta de solos. Nenhum outro parâmetro analisado, a data da amostragem, a profundidade de coleta de solos e nem a massa da biomassa utilizada influenciou o percentual de matéria orgânica (Tabela 17).

Tabela 17. Análise de variância dos dados da matéria orgânica das amostragens 2 e 3. Experimento 1.

FV	GL	SQ	QM	F
Amostragens	1	3.00000	3.00000	2.9725 ns
Profundidade	2	2.88889	1.44444	1.4312 ns
Biomassa	5	1.88889	0.37778	0.3743 ns
Amostragens x Profundidade	2	10.66667	5.33333	5.2844 **
Amostragens x Biomassa	5	3.11111	0.62222	0.6165 ns
Profundidade x Biomassa	10	13.55556	1.35556	1.3431 ns
Amostragens x Profundidade x Biomassa	10	8.88889	0.88889	0.8807 ns

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$) * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 < p < .05$), ns não significativo ($p >= .05$). C.V. = 18,45%.

Na interação da entre as amostragens e as profundidades de coleta de solos mostrados na tabela 18, pode ser visto que só ocorreu diferença no percentual de matéria orgânica na coleta de solos realizada em 50 cm de profundidade, sendo maior na amostragem 3. Na amostragem 2, a matéria orgânica foi considerada igual pelo teste Tukey 5%, em todos os níveis de profundidades de coleta, o que não ocorreu na amostragem 3, cuja profundidade de coleta de solos de 50 cm foi maior e diferente da profundidade de 150 cm.

Tabela 18. Tabela da interação entre os valores da matéria orgânica (%) nas profundidades de coleta de solos X amostragens. Experimento 1.

	Profundidade de coleta de solos (cm)		
	50	100	150
Amostragem 2	5.0 bA	5.5 aA	5.3 aA
Amostragem 3	6.2 aA	5.4 aAB	5.2 aB

Números seguidos pelas mesmas letras minúsculas na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste Tukey 5%.

Já para o pH a análise dos efeitos dos parâmetros, amostragens, profundidades de coleta de solos, toneladas de biomassa aplicada, a análise de variância mostrou efeito significativo para a profundidade de coleta e para amostragens x profundidade de coleta (Tabela 19).

Tabela 19. Análise de variância dos valores dos dados do pH das amostragens 2 e 3. Experimento 1.

FV	GL	SQ	QM	F
Amostragens	1	0.00750	0.00750	0.0669 ns
Profundidade	2	1.64241	0.82120	7.3237 **
Biomassa	5	0.74602	0.14920	1.3306 ns
Amostragens x Profundidade	2	1.98722	0.99361	8.8613 **
Amostragens x Biomassa	5	0.66528	0.13306	1.1866 ns
Profundidade x Biomassa	10	1.04648	0.10465	0.9333 ns
Amostragens x Profundidade x Biomassa	10	0.88833	0.08883	0.7922 ns

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 01$) * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($01 \leq p < 05$), ns não significativo ($p \geq 0.05$). C.V.= 7,73%.

Os valores de pH foram diferentes em função da profundidade da coleta de solo como demonstra a tabela 20. Só ocorreu diferença entre a amostragem de 50 cm e as outras duas, indicando maior valor de pH na camada superficial.

Tabela 20. Tabela dos valores médios de pH nas profundidades de amostragem, resultante da análise de variância das duas amostragens. Experimento 1.

Profundidade de Coleta de Solos (cm)	Valores de pH
50	4.50 ^a
100	4.20 ^b
150	4.26 ^b

Números seguidos pelas mesmas letras minúsculas nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste Tukey 5%.

Na tabela 21, a interação entre as profundidades de coleta de solos x pH, as amostragens que receberam diferentes dosagens de biomassa usando diferente metodologia de colocação seguiu o mesmo comportamento dos resultados obtidos para o percentual de matéria orgânica, só havendo diferenças pelo teste Tukey 5% entre as coletas de solos realizadas na profundidade de 50 cm. Na amostragem 2, não ocorreu diferença entre as profundidades de coleta de solos, já no experimento 3, ocorreu diferença só da coleta localizada mais na superfície (50 cm) onde foi encontrado maior valor de pH, das demais profundidades de 100 e 150 cm. Ocorreu maior valor de pH na amostragem 3.

Tabela 21. Tabela da interação entre os valores de pH nas profundidades de coleta de solo e as amostragens. Experimento 1.

Amostragem	Profundidade de Coleta de solo (cm)		
	50	100	150
Amostragem 2	4.30 bA	4.32 aA	4.34 aA
Amostragem 3	4.70 aA	4.13 aB	4.18 aB

Números seguidos pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas na linha não diferem estatisticamente pelo teste Tukey 5%.

Neste trabalho, análise estatística mais detalhada dos resultados das concentrações dos elementos químicos no solo só foi realizada com desdobramentos, para o K, Ca e Mg. Com relação aos micronutrientes, a maioria mostrou um comportamento semelhante em relação à dose de biomassa aplicada, profundidade de coleta de solos, do parâmetro amostragens, embora não tenha sendo realizada a análise. Análise estatística mais detalhada só foi realizada para o elemento Mn.

O potássio, dentre os macronutrientes foi o único elemento que sofreu influência de todos os parâmetros testados na análise conjunta das duas amostragens como pode ser observado na tabela 22. Ocorreu efeito das datas das amostras, da profundidade de amostragem, da biomassa e da interação entre estes fatores.

Tabela 22. Análise de variância dos dados da concentração de potássio (mmolc dm^{-3}) das amostragens 2 e 3. Experimento 1.

FV	GL	SQ	QM	F
Amostragens	1	850.92521	850.92521	302.6625 **
Profundidade	2	1533.40525	766.70263	272.7057 **
Biomassa	5	51.64828	10.32966	3.6741 **
Amostragens x Profundidade	2	1656.35687	828.17843	294.5718 **
Amostragens x Biomassa	5	82.86390	16.57278	5.8947 **
Profundidade x Biomassa	10	173.70518	17.37052	6.1785 **
Amostragens x Profundidade x Biomassa	10	157.18794	15.71879	5.5910 **

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 01$) * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($01 \leq p < 05$), ns não significativo ($p \geq 05$). C.V.= 40,63%.

Analisando os desdobramentos, pode ser observado na tabela 23 que a concentração de potássio na amostragem 3 (220 dias) foi superior a encontrada na amostragem 2 (120 dias), com diferença estatisticamente significativa pelo teste Tukey 5%.

Tabela 23. Tabela dos valores médios de potássio (mmolc dm^{-3}) nos experimentos resultantes da análise de variância conjunta das duas épocas de amostragem. Experimento 1.

Concentração de K	
Amostragem 2	1,32 b
Amostragem 3	6,93 a

Números seguidos pelas mesmas letras minúsculas nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste Tukey 5%.

Pelos dados das profundidades de coleta de solo (Tabela 24) a maior concentração de potássio foi encontrada em 50 cm de profundidade, que foi diferente pelo teste Tukey 5% das profundidades 100 e 150 cm.

Tabela 24. Tabela dos valores médios de potássio (mmolc.dm^{-3}) nos experimentos resultantes da análise de variância conjunta das duas amostras, nas profundidades de amostragens. Experimento 1.

Profundidade de amostragem (cm)	Concentração de K
50	9,44 a
100	1,80 b
150	1,14 b

Números seguidos pelas mesmas letras minúsculas nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste Tukey 5%.

Quando se analisa o efeito da dosagem de biomassa (Tabela 25) deve ser observado que no caso desta metodologia proposta a massa de macrófitas adicionada é o somatório dos efeitos das coletas das amostras realizadas nas datas de amostragem 2 e 3, que neste caso devido às reposições não mensuradas é apenas qualitativa. Assim observado pode ser visto que a maior dosagem que corresponde ao tratamento que recebeu a maior quantidade de biomassa adicionada, a dosagem 6, foi estatisticamente igual a 5 e 4 pelo teste Tukey 5% e diferente das dosagens 1, 2 e 3. Entre as dosagens 1 e 5 também não ocorreu diferenças, indicando que a dosagem de biomassa só causou efeito real na dosagem 6, que possuiu valores acima de $207,1 \text{ t ha}^{-1}$.

Tabela 25. Tabela dos valores médios de potássio (mmolc dm^{-3}) resultante da análise de variância conjunta das duas amostragens de coletas, nas diferentes dosagens de biomassa aplicadas. Experimento 1.

Dosagens de biomassa	Concentração de K
1	3,36 b
2	3,85 b
3	3,57 b
4	4,17 ab
5	4,31 ab
6	5,49 a

Números seguidos pelas mesmas letras minúsculas nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste Tukey 5%.

A interação entre profundidades de coleta do solo x amostragens (Tabela 26) só foi significativa quando a comparação foi realizada na profundidade de coleta de solo de 50 cm para efeito das amostragens, muito superior na análise realizada aos 220 dias. Para efeito da profundidade da coleta de solos, na amostragem 2, elas foram iguais mas foram diferentes na amostragem 3, sendo muito superior na profundidade de coleta de solos de 50 cm das demais 100 e 150 cm, pelo teste Tukey 5%.

Tabela 26. Tabela da interação entre os valores da concentração de potássio (mmolc dm^{-3}) nas profundidades de coleta de solo x amostragens. Experimento 1.

	Profundidade de coleta de solos (cm)		
	50	100	150
Amostragem 2	1,10 bA	1,58 aA	1,28 aA
Amostragem 3	17,78 aA	2,02 aB	0,99 aB

Números seguidos pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas na linha não diferem estatisticamente pelo teste Tukey 5%.

Os resultados da interação das amostragens X dosagens de biomassa (Tabela 27), demonstrou que na data da amostragem 2, a dosagem de biomassa não exerceu nenhum efeito na concentração de potássio, diferente data da amostragem 3, onde a maior concentração foi encontrada na dosagem 6, que foi diferente de todas as demais dosagens pelo teste Tukey 5%.

Na data da amostragem 3 foram sempre encontradas as maiores concentrações de potássio, indicando efeito da biomassa adicionada até esta data.

Tabela 27. Tabela da interação entre os valores da concentração de potássio (mmolc dm^{-3}) nas amostragens X dosagens de biomassa. Experimento 1.

	Doses de biomassa					
	1	2	3	4	5	6
Amostragem 2	1,55 bA	1,37 bA	1,53 bA	1,43 bA	0,96 bA	1,07 bA
Amostragem 3	5,17 aC	6,32 aBC	5,61 aBC	6,91 aBC	7,67 aBC	9,91 aA

Números seguidos pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas na linha não diferem estatisticamente pelo teste Tukey 5%.

As maiores concentrações de potássio dentro de cada dosagem de biomassa (Tabela 28) sempre foram encontradas na primeira profundidade de coleta de solo (50 cm), diferindo das outras 100 e 150 cm, pelo teste Tukey 5%. Indicando que de modo geral a liberação do potássio da matéria orgânica das macrófitas não provocou sua percolação.

Quando se analisa o K dentro da profundidade, só ocorreu efeito da biomassa adicionada na profundidade de 50 cm, sendo a maior concentração encontrada na maior dosagem de 6.

Tabela 28. Tabela da interação entre os valores da concentração de potássio (mmolc dm^{-3}) nas profundidades de coleta de solo X doses de biomassa. Experimento 1.

Profundidade	Biomassa					
	1	2	3	4	5	6
50	6,50 aC	8,53 aBC	7,53 aC	9,23 aBC	10,84 aB	14,02 aA
100	1,73 bA	2,03 bA	2,23 bA	2,02 bA	1,17 bA	1,62 bA
150	1,85 bA	0,99 bA	0,97 bA	1,26 bA	0,92 bA	0,84 bA

Números seguidos pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas na linha não diferem estatisticamente pelo teste Tukey 5%.

Diferente do que aconteceu para as concentrações de potássio, com cálcio (Tabela 29) foram encontrados efeitos significativos ($F \leq 0,05$) na análise de variância para o efeito das amostragens, profundidade de coleta de solo e para a interação amostragens x profundidade de coleta de solo.

Tabela 29. Análise de variância dos valores dos dados da concentração de cálcio (mmolc dm^{-3}) das amostragens 2 e 3. Experimento 1.

FV	GL	SQ	QM	F
Amostragens	1	263.60938	263.60938	15.4582 **
Profundidade	2	584.94243	292.47121	17.1506 **
Biomassas	5	94.90490	18.98098	1.1131 ns
Amostragens x Profundidade	2	874.74610	437.37305	25.6477 **
Amostragens x Biomassa	5	31.32955	6.26591	0.3674 ns
Profundidade x Biomassa	10	271.04443	27.10444	1.5894 ns
Amostragens x Profundidade x Biomassa	10	82.84289	8.28429	0.4858 ns

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$) * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$), ns não significativo ($p \geq .05$). C.V. = 73,64

As concentrações de cálcio foram maiores significativamente quando comparadas pelo teste Tukey 5%, na data de amostragem 3, na análise geral (Tabela 30).

Tabela 30. Tabela dos valores médios de cálcio (mmolc dm^{-3}) resultante da análise de variância conjunta das duas amostragens. Experimento 1.

Concentração de Ca	
Amostragem 2	4,04 b
Amostragem 3	7,17 a

Números seguidos pelas mesmas letras minúsculas nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste Tukey 5%.

Assim como ocorreu para o potássio, as maiores concentrações de cálcio também foram encontradas na profundidade de coleta de solo de 50 cm, sendo diferente significativamente das profundidades de amostragens realizadas em 100 e 150 cm (Tabela 31).

Tabela 31. Tabela dos valores médios de cálcio (mmolc dm^{-3}) resultante da análise de variância conjunta das duas amostragens nas diferentes profundidades de coleta de solo. Experimento 1.

Profundidade de coleta de solo (cm)	Concentração de Cálcio
50	8,89 a
100	3,89 b
150	4,02 b

Números seguidos pelas mesmas letras minúsculas nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste Tukey 5%.

Também para cálcio a interação entre as amostragens X profundidade de coleta de solo (Tabela 32) mostrou que não ocorreram diferenças entre as concentrações deste elemento, quando analisado na data da amostragem 2, nas diferentes profundidades de coleta de solo. As maiores concentrações de cálcio foram encontradas na profundidade de coleta de solo de 50 cm e foram diferentes estatisticamente das outras 100 e 150 cm pelo teste Tukey 5% no caso da data da amostra 3. Somente ocorreram diferenças entre as datas das amostragens 2 e 3, dentro da profundidade de 50 cm, sendo a concentração de cálcio muito superior (4,36 vezes) na amostragem 3. Significando também que o cálcio não percolou no solo.

Tabela 32. Tabela da interação entre os valores da concentração de cálcio (mmolc dm^{-3}) nas amostragens X profundidades de coleta de solo. Experimento 1.

	Profundidade da coleta de solo (cm)		
	50	100	150
Amostragem 2	3,31 bA	4,14 aA	4,67 aA
Amostragem 3	14,48 aA	3,65 aB	3,38 aB

Números seguidos pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas na linha não diferem estatisticamente pelo teste Tukey 5%.

As análises químicas do elemento magnésio mostraram-se diferente do potássio e do cálcio. A análise de variância indicou que só ocorreu efeito significativo no parâmetro profundidade de coleta do solo (Tabela 33).

Tabela 33. Análise de variância dos valores dos dados da concentração de magnésio (mmolc dm^{-3}) das amostragens 2 e 3. Experimento 1.

FV	GL	SQ	QM	F
Amostragens	1	5.38680	5.38680	1.1425 ns
Profundidade	2	478.53954	239.26977	50.7461 **
Biomassa	5	9.46158	1.89232	0.4013 ns
Amostragens x Profundidade	2	14.33311	7.16655	1.5199 ns
Amostragens Amostra x Biomassa	5	9.87179	1.97436	0.4187 ns
Profundidade x Biomassa	10	30.30472	3.03047	0.6427 ns
Amostragens x Profundidade x Biomassa	10	22.24851	2.22485	0.4719 ns

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 01$) * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($01 \leq p < .05$), ns não significativo ($p \geq .05$). C.V. =74,46

As maiores concentrações de magnésio foram também encontradas na amostragem realizada mais na superfície, 50 cm, sendo diferente estatisticamente das demais profundidades (Tabela 34).

Tabela 34. Valores das concentrações de magnésio (mmolc dm^{-3}) resultante da análise de variância conjunta das amostragens, nas diferentes profundidades de coleta de solo. Experimento 1.

Profundidade (cm)	Concentração de Mg
50	5,88 a
100	1,70 b
150	1,17 b

Números seguidos pelas mesmas letras minúsculas nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste Tukey 5%.

O micronutriente manganês teve o mesmo comportamento do magnésio neste experimento, só foi encontrado efeito do parâmetro testado profundidade de coleta de solo quando analisado pela análise de variância considerando as duas datas de amostragem (Tabela 35).

Tabela 35. Análise de variância dos dados da concentração de manganês (mg dm^{-3}) das duas datas de amostragem do experimento 1, analisados conjuntamente nas profundidades da amostragem (50, 100 e 150 cm) e com dosagens de biomassa. Experimento 1.

FV	GL	SQ	QM	F
Amostragens	1	0.403333	0.403333	0.478 ns
Profundidade	2	6.317963	3.158981	3.747 ns
Biomassa	5	2.028519	0.405704	0.481 ns
Amostragens x Profundidade	2	20.081667	10.040833	11.911**
Amostragens x Biomassa	5	1.391111	0.278222	0.330 ns
Profundidade x Biomassa	10	9.338704	0.933870	1.108 ns
Amostragens x Profundidade x Biomassa	10	7.757222	0.775722	0.920 ns

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$) * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$), ns não significativo ($p \geq .05$). C.V. =74,46

A maior concentração de manganês foi encontrada na camada de 150 cm, embora não diferindo estatisticamente das outras duas profundidades (Tabela 36).

Tabela 36. Tabela dos valores médios da concentração de manganês (mg dm^{-3}) resultante da análise de variância conjunta das duas datas de amostragem, nas diferentes profundidades de amostragem. Experimento 1.

Profundidade de amostragem (cm)	Concentração de Mn
50	0,99 a
100	1,40 a
150	1,42 a

Números seguidos pelas mesmas letras minúsculas nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5%.

4.3 Resultados do Experimento 2

Neste experimento a biomassa foi adicionada na cova, incorporada no plantio. Os resultados do experimento 2 mostraram que houve efeito significativo das dosagens de biomassa de macrófitas adicionadas nas concentrações de cobre, manganês e zinco de acordo com as análises químicas das plantas de Pau-formiga colhidas ao final do experimento (Tabela 37). Para o cobre na dosagem de $24,7 \text{ t ha}^{-1}$ de biomassa adicionada foi encontrada a maior concentração no tecido, sendo as diferenças significativas estatisticamente pelo teste Tukey 5% das dosagens $14,9$ e $19,7 \text{ t ha}^{-1}$. Para manganês só foi encontrado diferenças significativas estatisticamente entre as dosagens $9,8$ e $19,7 \text{ t ha}^{-1}$ e para o zinco entre as dosagens de $4,9$ e $19,7 \text{ t ha}^{-1}$.

Tabela 37. Tabela dos valores médios da concentração de nutrientes no tecido vegetal (Folha + Caule), resultante da análise de variância do experimento 02, nas diferentes dosagens de biomassa incorporadas. Experimento 2.

Tratamentos (t ha ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg	S					
							B	Cu	Fe	Mn	Zn
			g kg ⁻¹				mg kg ⁻¹				
Sem adição	17,48 a	1,66 a	13,76 a	17,48 a	1,94 a	1,38 a	34,00 a	8,80 ab	1187,40 a	478,00 ab	39,00 ab
4,9	17,90 a	1,66 a	11,88 a	14,34 a	2,30 a	1,26 a	30,80 a	8,20 ab	545,80 a	364,8 ab	34,60 b
9,8	17,90 a	1,72 a	15,54 a	15,36 a	2,14 a	1,42 a	32,80 a	8,40 ab	628,80 a	589,60 a	43,60 ab
14,8	16,86 a	1,58 a	12,40 a	13,78 a	2,60 a	1,30 a	29,20 a	7,00 b	538,60 a	464,00 ab	50,60 ab
19,7	16,50 a	1,48 a	13,20 a	14,40 a	2,56 a	1,28 a	32,00 a	7,20 b	597,00 a	292,60 b	58,40 a
24,7	17,86 a	1,36 a	16,38 a	15,48 a	2,40 a	1,48 a	34,60 a	11,40 a	688,80 a	491,20 ab	44,80 ab

Obs.: Números seguidos pelas mesmas letras nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste Tukey 5%.

Quando foi analisado os dados morfológicos da planta, em massa, ficou evidenciado pelo teste Tukey 5% que a adição de biomassa diminuiu os peso das massas das matérias frescas da raiz e caule (Tabela 38), não exercendo efeito sobre a massa das folhas. As dosagens de biomassa adicionadas diminuíram o peso de raiz, sendo que na maior dosagem foi encontrado o menor valor de massa de raiz, diferente estatisticamente de todas as demais doses. A mesma lógica foi encontrada para a massa de caule, menores valores nas maiores dosagens de biomassa. Mesmo que não sendo significativo na folha ocorreu a mesma tendência.

Tabela 38. Tabela dos valores médios das massas frescas das diferentes partes da planta de Pau-formiga, resultante da análise de variância do experimento, nas diferentes dosagens de biomassa incorporadas. (g/planta). Experimento 2.

Tratamentos (t ha⁻¹)	Raiz	Caule	Folha
Sem adição	134,40 a	63,24 a	30,49 a
4,9	122,82 a	70,11 a	35,07 a
9,8	108,97 a	59,68 a	30,16 a
14,8	126,84 a	62,00 a	31,30 a
19,7	111,69 a	53,65 ab	26,98 a
24,7	47,11 b	23,26 b	24,12 a

5. DISCUSSÃO

De modo geral os valores das concentrações nutrientes minerais obtidas nas amostragens 1, 2 e 3 foram baixos quando comparados com os valores determinados na literatura para fertilidade de solo para a agricultura (RAIJ et al., 1987; RAIJ, 1991). Significando que mesmo nas dosagens maiores de macrófitas adicionadas não ocorreu incremento de fertilidade. É preciso mencionar que o termo solo usando ao longo deste trabalho refere-se na verdade a um substrato de crescimento visto que foi usando uma mistura dos horizontes A, B e C do perfil, misturados e com sua composição física determinada. O conhecimento da composição da fase líquida, comumente denominada solução do solo, é de fundamental importância para o monitoramento da disponibilidade de nutrientes para as plantas, processos de contaminação ambiental e aqueles relacionados ao entendimento da dinâmica da caracterização e avaliação de solos afetados por sais (ERNANI et al, 1993). Para a extração da solução do solo realizada na amostragem 1, foram utilizadas cápsulas extratoras porosas, às quais foram acopladas cânulas para posterior sucção a vácuo, do material percolado no perfil do solo. No experimento 1, amostragem 2 foi usado para coletar as amostras um trado e na amostragem 3 foi coletado solo diretamente das colunas de cimento após a realização de um corte na mesma. Não foi a intenção de este trabalho comparar métodos de extração de solo para análises químicas (SCHLOTTER et al., 2012). Entretanto as amostragens 2 e 3 foram comparadas pois foram usados o substrato coletado na coluna preenchida com solo e não a solução coletada pelas cápsulas porosas.

Na amostragem 1 do experimento 1, foi encontrado maior concentração de nitrogênio nas camadas mais profundas. Os nutrientes com alta mobilidade no solo, a exemplo do N, podem atingir o volume de solo explorado pelas raízes rapidamente, porém se perdem facilmente por lixiviação e, até, podem contaminar as águas subterrâneas (SIQUEIRA & FRANCO, 1988). Nutrientes com baixa mobilidade, a

exemplo do P, normalmente são lixiviados em quantidades insignificantes, porém, quando aplicados sobre

a superfície, podem não atingir as camadas de solo onde se encontra a maior parte das raízes (SIQUEIRA & FRANCO, 1988; QUAGGIO et al., 1995), talvez isso explique não ter sido detectado fósforo na amostragem 1.

Quando foi realizada a primeira análise de solo utilizando trado de rosca, na amostragem 2, foi observado baixos níveis de fertilidade, assim como foi observado no resultados químicos obtidos utilizando a cápsula porosa. O valores das concentrações de N, P, K, Ca e Mg foram baixas do ponto de vista de fertilidade (NOVAIS et al., 2007). Entretanto níveis de fertilidade são variáveis de planta para planta assim como é correlacionado com os teores de argila e areia do solo (CANTARELLA et al., 2007; NOVAIS et al., 2007). Portanto, é difícil afirmar, mesmo na amostragem 3, que os níveis de fertilidade encontrados foram baixos pois depende do uso e manejo para determinado vegetal. Observação “*in loco*” das macrófitas crescidas sobre o solo na área experimental indicou que o desenvolvimento do capim *Brachiaria decumbens* e da erva daninha corda de viola (*Ipomea purpurea*) cresceram mais vigorosas que na área que recebeu biomassa de macrófitas.

Para o elemento enxofre, os teores foram mais elevados para todas as profundidades e tratamentos, apresentando menores teores aos 50 cm de profundidade no tratamento sem adição. Quanto aos valores de V (%) e de pH, estes apresentaram-se com valores variando entre muito baixos e baixos e os valores de matéria orgânica (MO), foram baixos para todos os tratamentos e profundidades, apresentando-se no valor médio de 6 g dm⁻³. Para os elementos zinco, boro, cobre, ferro e manganês, os valores também foram considerados de médio a baixo independente da profundidade amostrado, assim como para os valores encontrados para a CTC e V (%), entretanto os valores de H+Al foram diminuindo a medida que as amostragens foram realizadas em profundidades mais elevadas (CANTARELLA et al., 2007). Resultados apresentados por Franchini *et al.*, (2003) permitem constatar que, sob sistemas com alto aporte de resíduos orgânicos, os cátions polivalentes (Ca, Mg e Al) são preferencialmente lixiviados no perfil do solo, em relação aos monovalentes (K). Estes autores comentaram que a preferência na lixiviação poderia ser explicada pela carga nula ou negativa dos complexos orgânicos formados entre os ânions orgânicos dos extratos de plantas e os cátions polivalentes. E muito comum a literatura citar que solos altamente intemperizados, como os Latossolos, apresentam mineralogia com marcante presença de caulinita, que participa ativamente na retenção de cátions (CTC), em razão da presença de cargas negativas de superfície (FONTES et al., 2012). A matéria orgânica devido a sua natureza coloidal com a presença de grupos funcionais carboxílicos e fenólicos participa da retenção de nutrientes no solo em razão de possuir CTC geralmente muito superior à dos argilominerais. A natureza mineralógica dos Latossolos, associada às propriedades coloidais da matéria orgânica, quando presente, estabelece nesse solo um complexo de cargas negativas, proporcionando elevada CTC. A reatividade de elementos químicos, como o Ca e o Mg, com os constituintes minerais e orgânicos do solo também contribui para retenção desses elementos na matriz do solo; essa reatividade acentua-se com o aumento do teor de argila (SIMS et al., 1998). Além disso, solos com elevado intemperismo são geralmente profundos, o que igualmente contribui para a retenção de íons (FONTES et al., 2012). Entretanto, estes resultados da literatura com relação a retenção destes metais, contribuem para explicar a baixa contribuição da massa de macrófitas no aumento destes nutrientes na solução do solo neste presente trabalho, embora os metais tenha tido a tendência de ficarem retidos na camada de 50 cm e não nas profundidades mais elevadas de 100 e 150 cm.

Nas amostragens 1 e 2 do experimento 1 não foram encontrados efeitos marcantes das doses de biomassa adicionada nos parâmetros avaliados. Entretanto, na amostragem 3, ocorreu aumento nos valores dos níveis de fertilidade de solo. Vale ressaltar que a amostragem 3 foi realizada após sucessivas reposição de massa de macrófitas que começaram a ocorrer aos 120 dias após o início do experimento 1. Foram adicionadas as dosagens de 101,66, 128,01, 154,36, 180,72 e 207,10 toneladas por hectare de massa de macrófitas “*in natura*” em cada tratamento respectivamente, sendo que à medida que ocorreu a decomposição da macrófitas no solo, nova massa foi sendo adicionada. Entretanto, não foi possível quantificar estas novas adições de macrófitas, pode ser afirmado que no tratamento sem reposição foi adicionada 101,66 toneladas de massa de macrófitas por hectare, e nos outros tratamentos dosagens superiores.

Quando se compara os resultados da análise estatística conjunta realizadas nas amostras coletadas aos 120 dias com a de 220 dias, fica evidenciado que as dosagens de biomassa de macrófitas adicionadas não influenciaram os teores de Ca, Mg e Mn e os valores da MO, embora tenha influenciado a concentração de K. As épocas de amostragem (120 e 220 dias) não exerceram influência nas concentrações de Mg e Mn e no teor da M.O, influenciando apenas K e Ca.

O potássio foi o elemento mais afetado, sofrendo influência de todos os parâmetros testados, épocas de amostragem (120 e 220 dias), doses de biomassa (seis doses), profundidade de amostragem (50, 100 e 150 cm) e das interações entre eles. É um resultado difícil de ser explicado se considerado todos os parâmetros.

Devido possuir cargas que podem ser neutralizadas pelos complexos orgânicos, alguns cátions como Ca, Mg e Al podem ser lixiviados facilmente no perfil do solo, até mais que os monovalentes como o K (FRANCHINI et al., 2003) em determinadas condições. A adição de matéria orgânica liberando ácidos orgânicos de baixo peso molecular, ao complexar o Al, abaixa o pH do solo, funcionando como poder tamponador do sistema (FRANCHINI et al., 2003; DUIKER & BEEGLE, 2006). Entretanto, esse efeito tamponador não é muito estudado quando a biomassa é colocada sobre o solo, não incorporada, como no caso deste trabalho, especialmente, quando se trata dos efeitos na translocação de nutrientes, conforme aconteceu no presente estudo. A manutenção dos resíduos de plantas na superfície do solo, sem incorporação, dificulta a ação microbiana em virtude do menor contato com o solo resultando numa decomposição mais lenta. Embora houvesse um constante aporte de resíduos na superfície do solo, neste trabalho, isso poderia provocar uma produção contínua de compostos orgânicos de baixa massa molecular, sendo seu efeito contínuo na fertilidade (FRANCHINI et al., 1999).

No experimento 2, quando foi usada a biomassa de macrófitas incorporada em covas os resultados mostraram que houve efeito nas concentrações nutricionais das plantas de Pau-formiga apenas para os elementos cobre, manganês e zinco. Entretanto não ocorreu de forma linear o aumento da concentração dos elementos nos tecidos à medida que aumentou as dosagens de biomassa adicionadas. Entretanto, vale observar que as dosagens de biomassa de macrófitas adicionadas neste segundo experimento foram muito menores do que as utilizadas no experimento 1. A espécie Pau-formiga (*Triplaris americana* L.) pode ser encontrada na mata atlântica que possui geralmente solos ácidos, portanto adaptada a uma condição de baixa fertilidade natural, isso talvez explique os resultados aqui obtidos que sugeriram que a dose de biomassa de macrófitas adicionada para o crescimento desta planta, na sua fase inicial, não influenciou significativamente o seu desenvolvimento.

Quando se trata da elevada proliferação desta vegetação em reservatórios de hidrelétricas, a alternativa para esta situação no Brasil é o controle mecânico, com a retirada das plantas do corpo hídrico e tem sido utilizada principalmente pelas restrições ambientais a outros métodos (VELINI, 2005). O controle mecânico se dá em quatro etapas: retirada das plantas dos rios, canais ou lagos; transporte das plantas ainda no corpo hídrico; transferência desse material para o ambiente terrestre, transporte e descarte do material coletado (VELINI, 2000). Normalmente, os volumes removidos são muito grandes e as plantas são provenientes de águas enriquecidas com diferentes concentrações de nutrientes e metais pesados, além de poluídas com o lançamento de lixo, presença de organismos patogênicos ou vetores de doenças e, em sua decomposição, podem liberar grandes quantidades de substâncias químicas e contaminar solos e águas superficiais localizados em quotas mais baixas

O comportamento dos nutrientes no solo e a não detecção de metais pesados nas análises de solo sugerem segurança ambiental na adoção dessa metodologia de descarte, a caminho de soluções ambientalmente sustentáveis para o manejo dessa biomassa. No presente trabalho, em todas as amostragens, mesmo nas maiores dosagens de macrófitas adicionadas na superfície do solo ($> 207,10 \text{ t ha}^{-1}$), não foram encontradas os elementos químicos considerados pesados em níveis detectáveis pelas análises realizadas, sendo encontrados apenas traços. A adição de volumes consideráveis de macrófitas na superfície do solo, como demonstrado no presente trabalho, utilizando colunas de cimento com substrato de solo, sugere que até a dosagem de $207,10 \text{ t ha}^{-1}$ de biomassa de macrófitas, não provocaria de forma significativa danos ambientais relevantes até a profundidade de 150 cm aqui estudada. O problema do descarte desta biomassa, que é passível de licenciamento ambiental, seguir os mesmos procedimentos requeridos para o depósito de lixo urbano, embora se reconheça que as macrófitas aquáticas constituem um material muito mais nobre e longe de ser incluído na categoria de resíduo urbano, sob o ponto de vista agrônomo (NAKAGAWA, 1992).

Do ponto de vista agrônomo, a deposição direta sobre a superfície do solo, de biomassa recém-colhida de macrófitas, nas concentrações testadas, não confere impactos à área de deposição, podendo aumentar os níveis de fertilidade de alguns elementos. Isso confere uma alternativa aplicável ao manejo de reservatórios e lagos, com demandas de extensas áreas de descarte para destinação da biomassa removida diariamente, que pode ser depositada sobre o solo. Entretanto, mais estudos devem ser realizados utilizando diferentes dosagens de biomassa de macrófitas aplicadas sob o solo e sua interação com outras espécies de planta.

6. CONCLUSÕES

A adição da biomassa de macrófitas aumentou a concentração dos elementos químicos K e Ca, especialmente de K, na camada de 50 cm da coluna de solo.

Não foi detectada a presença de metais pesados nas doses de macrófitas de até $207,10 \text{ t ha}^{-1}$, apenas traços.

Os valores de pH, Al + H e M.O., encontrados indicaram que mesmo após a adição de biomassa de macrófitas em valores superiores a $207,10 \text{ t ha}^{-1}$, não ocorreu alteração significativa dos valores destes parâmetros, apenas ocorreu aumento da CTC.

Os dados sugeriram que as doses de biomassas de macrófitas adicionadas para o crescimento da espécie Pau-formiga (*Triplaris americana* L.), na fase inicial de mudas de até 24 t ha^{-1} , não influenciou significativamente seu crescimento e desenvolvimento.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, F.; BURMESTER, C., HUE, N.V. e LONG, F.L., 1980. Comparison of column-displacement and centrifuge methods for obtaining soil solutions. **Soil Science Society of American Journal**, v.44, p.733-735, 1980.

AKINREMI, O.O. & CHO, C.M. Phosphate transport in calcium-saturated systems: II. Experimental results in a model system. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 55:1282-1287, 1991.

ALT, D. Advantages and advantages of CAT-method for chemical analysis of horticultural substrates as compared to several other extraction solutions. **Acta Horticulturae**, 548, p. 655-661, 2001.

ARAÚJO, C. S. T. et al, 2013. Bioremediation of Waters contaminated with heavy metals using *Moringaoleifera* seeds as biosorbent. Applied Bioremediation - Active and Passive Approaches, Dr. Yogesh Patil(Ed.), ISBN: 978-953-51-1200-6, Inech, DOI: 10.5772/56157, 2013.

BASSOI, L.H. & CARVALHO, A.M. Lixiviação de macronutrientes em um solo cultivado com milho com e sem irrigação suplementar. **R. Bras. Ci. Solo**, 16:283-287, 1992.

BELKACEM, S.; NYS, C. Effects des formes et doses d'amendements et de gypsesurles caracteristiques chimiques et les percolats d'un sol forestier acide. **Annales des Sciences Forestieres**, v.54, p.169-180, 1997.

BERENGUER, P.; SANTIVERI, F.; BOIXADERA, J. et al. Fertilisation of irrigated maize with pig slurry combined with mineral nitrogen. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v.28, n.4, p.635-645, may 2008.

BERTONI, J.; LOMBARDI, NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo: Editora Ícone, 1990.

BLANCO et al., 2008. Doses de N e K no tomateiro sob estresse salino: I. Concentração de nutrientes no solo e na planta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, p.26-33, 2008.

BRUMMER, E. C. Diversity, stability and sustainable American agriculture. **Agronomy Journal**, Madison, v. 90, p. 1-2, 1998.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. p. 375-470. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2007. 1017p.

CHAVES, L.H.G. & LIBARDI, P.L. Lixiviação de potássio e cálcio mais magnésio influenciada pelo pH. **R. Bras. Ci. Solo**, 19:145-148, 1995.

CHEN, J. & GABELMAN, W.H. Morphological and physiological characteristics of tomato roots associated with potassium acquisition efficiency. **Sci. Hortic.**, 83:213-225, 2000.

CERETTA, C.A.; DURIGON, R.; BASSO, C.J.; BARCELLOS, L.A.R. & VIEIRA, F.C.B. Características químicas de solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural. **Pesq. Agropec. Bras.**, 38:729-735, 2003.

CHAVES, L.H.G. & LIBARDI, P.L. Lixiviação de potássio e cálcio mais magnésio influenciada pelo pH. **R. Bras. Ci. Solo**, 19:145-148, 1995.

CHOWDHURY, N.; MARSCHNER, P.; BURNS, R. G. Soil microbial activity and community composition: Impact of changes in matric and osmotic potential. **Soil Biology & Biochemistry**, v.43, p.1229-1236, 2011.

DIAS et al., 2005. Manejo da fertirrigação e controle da salinidade do solo sob ambiente protegido, utilizando-se extratores de solução do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.496-504, 2005.

DIEROLF, T.S.; ARYA, L.M. & YOST, R.S. Water and cation movement in an Indonesian Ultisol. **Agron. J.**, 89:572- 579, 1997.

DUIKER, S.W. & BEEGLE, D.B. Soil fertility distributions in long-term no-till, chisel/disk and moldboard plow/disk systems. **SoilTill. Res.**, 88:30-41, 2006.

EIRA, A.F. Solubilização microbiana de fosfatos. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M. & NEVES, M.C.P. Microbiologia do solo. Campinas, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 1992. p.243-255.

ELKHATIB et al., 1986. A centrifuge method for obtaining soil solution using an immiscible liquid. **Soil Science Society of American Journal**, v.50, p.297-299, 1986.

ERNANI, P.R. & BARBER S.A. Composição da solução do solo e lixiviação de cátions afetadas pela aplicação de cloreto e sulfato de cálcio em um solo ácido. **R. Bras. Ci. Solo**, 10:41- 46, 1993.

ERNANI, P.R.; BAYER, C. & RIBEIRO, M.F.S. Chemical modifications caused by liming below the limed layer in a predominantly variable charge acid soil. **Comm. SoilSci. Plant Anal.**, 35:889-901, 2004.

ERNANI, P.R.; RIBEIRO M.F.S. & BAYER, C. Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos da acidez e de gesso agrícola. **Sci. Agric.**, 58:825-831, 2001.

ERNANI, P.R.; MANTOVANI, A.; SCHEIDT, F.R. & NESI, C. Mobilidade de nutrientes em solos ácidos decorrentes da aplicação de cloreto de potássio e calcário. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, 29, Ribeirão Preto, 2003. Resumos expandidos. Ribeirão Preto, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. CD-ROM

FANTE JÚNIOR, L.; REICHARDT, K.; JORGE, L.A.C.; CRESTANA, S. Distribuição do sistema radicular do milho em terra roxa estruturada latossólica: I. Comparação de metodologias. **Scientia Agrícola**, v.51, p.513-518, 1994.

FONTES, P.C.R.; NUNES, J.C.S.; MOREIRA, M.A. Produção classificada de batata em resposta ao espaçamento e critério de recomendação da adubação. **Bioscience Journal**, v.28, p.404-412, 2012.

FRANCHINI, J.C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. & MALAVOLTA, E. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. **Pesq. Agropec. Bras.**34:2267-2276, 1999.

FRANCHINI, J.C.; HOFFMANN-CAMPO, C.B.; TORRES, E.; MIYAZAWA, M. & PAVAN, A. Organic composition of green manure during growth and its effect on cation mobilization in an acid Oxisol. **Comm. SoilSci. Plant Anal.**, 34:2045-2058, 2003.

GLOAGUEN et al.,2009. Sistema de extração sequencial da solução na macro e microporosidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.544-550, 2009.

GOMES, J.A., KAWAI, H., JAHNEL, M.C. Estudo piloto sobre obtenção de composto orgânico a partir de aguapé. **Ambiente**, v.1, n.1, p 12-17, 1987.

GRIEBELER, N.P.; PRUSKI, F.F.; TEIXEIRA, A.F. & SILVA, D.D. Modelo para o dimensionamento e a locação de sistemas de terraceamento em nível. **Eng. Agríc.**, 25:696-704, 2005.

GUPPY, C.N.; MENZIES, N.W.; MOODY, P.W. & BLAMEY, F.P.C. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: A review. **Austr. J. Soil Res.**, 43:189-202, 2005.

HOODA, P.S.; EDWARDSB, A.C.; ANDERSONB, H.A. & MILLER, A. A review of water quality concerns in livestock farming areas. **Sci. Total Environ.**, 250:143-167,2000.

ISHIGURO, M.; SONG, K.C. & YUITA, K. Ion transport in an Allophanic Andisol under the influence of variable charge. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 56:1789-1793, 1992.

JACOB-NETO, J. The interaction of H⁺/OH⁻ exchanges between roots and rhizosphere with plant nutrition and aluminium effects. 1993. 310 leaves. **Thesis (Ph.D. in Soil Science) University of Dundee**, Dundee, 1993.

JURY, W.A.; GARDNER, W.R. & GARDNER, W.H. **Soil physics**. 5.ed. New York, John Wiley & Sons, 1991. 328p.

KLEPKER, D. & ANGHINONI, I. Modos de adubação, absorção de nutrientes e rendimento de milho em diferentes preparos de solo. **Pesq. Agropec. Gaúcha**, 2:79-86, 1996

LAO et al., 2003. Determination of spatial variability of nutrient composition of soil solutions in greenhouses by using suction cups. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.34, p.865-879, 2003.

LAO et al., 2004. Nutrient levels of the solution obtained by means of suction cups in intensive tomato cultivation. **Phyton**, v.4, p.29-37, 2004.

LIMA, 2009. Calibração e manejo de extratores de cápsulas porosas e transdutores de pressão para monitoramento de íons na fertirrigação. Piracicaba: **ESALQ**, 2009. 109p. Dissertação Mestrado.

LUTZENBERGER, J. Em defesa do aguapé. **Ecologia – Do Jardim ao Poder**. Porto Alegre: L&PM Editores Ltda., 1985.

McDOWELL R W, SHARPLEY A N. 2001. Approximating phosphorus release from soils to surface runoff and subsurface drainage. **J. Environ. Qual.** 30: 508-520

MARQUES et al., 2012. Variações do carbono orgânico dissolvido e de atributos físicos do solo sob diferentes sistemas de uso da terra na Amazônia Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.611-622, 2012.

MARTINS, D.; COSTA, N. V.; TERRA, M. A.; MARCHI, S. R.; VELINI, E. D. Caracterização química das plantas aquáticas coletadas no reservatório de Salto Grande (Americana - SP). **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 21, p. 21-25, 2003.

MURPHY, K. J. Aquatic weed problems and their management: a review I. The worldwide scale of the aquatic weed problem. **Crop Protection**, Kidlington, v. 7, n. 4, p. 232-244, 1988.

NAKAGAWA, J. Compostagem: obtenção e uso. In: ENCONTRO SOBRE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO – PROBLEMAS E SOLUÇÕES, 1992, Botucatu. **Anais...** Botucatu: UNESP, FCA, 1992. p. 159-187.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. & NUNES, F.N. Fósforo In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2007. p.471-550.

OLIVEIRA et al., 2011. Calibração de extratores providos de cápsula porosa para monitoramento da salinidade e da concentração de íons. **Engenharia Agrícola**, v.31, p.520-528, 2011.

PARANÁ. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento – SEAB. Embasamento técnico do subprograma de manejo e conservação do solo. In: **MANUAL Técnico do Subprograma de Manejo e Conservação do Solo**. 2.ed. Londrina, Instituto Agrônomo do Paraná, 1994. 306p.

PARRY, R. Agricultural phosphorus and water quality: A U.S. environmental protection agency perspective. **J. Environ. Qual.**, 27:258-261, 1998.

PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T. & PRATT, P.F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium and aluminum following lime and gypsum applications to a Brazilian Oxisol. **SoilSci. Soc. Am. J.**, 48:33-38, 1984.

PEDRALLI, G., Macrófitas aquáticas como bioindicadores da qualidade de água: alternativa para usos múltiplos de reservatórios. In: THOMAZ, S. M.; BINI, L. M., **Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas**, 1ª Ed., Maringá PR, Editora EDUEM, 2003, p. 171-188.

PITELLI, R. A.; PITELLI, R. L. C. M. Biologia e Ecofisiologia das Plantas Daninhas. In: VARGAS, L.; ROMAN, E.S. (Eds.). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas. Bento Gonçalves**: Embrapa Uva e Vinho, 2004. p. 29-56.

PITELLI, R. L. C. M.; TOFFANELI, C. M.; VIEIRA, E. A.; PITELLI, R. A.; VELINI, E. D. Dinâmica da comunidade de macrófitas aquáticas no reservatório de Santana, RJ. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 473-480, 2008.

POMPÊO, M.L.M. (ed.) **Perspectivas da Limnologia no Brasil**, São Luís: Gráfica e Editora União, 198pg., 1999.

POMPÊO, M.L.M. Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas. **Ecologia Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 12, p. 406-424, 2008.

QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. van; GALLO, P.B. & MASCARENHAS, H.A.A. Agronomic efficiency of limestones with different acid-neutralizing capacity, under field condition. In: **SYMPOSIUM ON PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW pH**, 3., 1995, Brisbane. Proceeding. Dordrecht, KluwerAcademicPublishers, 1995. p.491-496.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; CAMARGO, A.P. & SOARES, E. Perdas de cálcio e magnésio durante cinco anos em ensaio de calagem. **R. Bras. Ci. Solo**, 6:33-37, 1982.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, O.C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170p.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Ceres, 1991. 343 p.

RAIJ, B. van; FURLANI, P.R.; QUAGGIO, J.A. & PETTINELLI JR., A. Gesso na produção de cultivares de milho com tolerância diferencial a alumínio em três níveis de calagem. **R. Bras. Ci. Solo**, 22:101-108, 1998.

REEVE, N.G.; SUMNER, M.E. Amelioration of subsoil acidity in Natal oxisols by leaching of surface-applied amendments. **Agrochemophysica**, v.4, p.1-5, 1972.

RITCHEY, K.D.; SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. & CORREIA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian Savannah Oxisol. **Agronomy Journal**, Madison, 72:40-44, 1980.

ROSSIELO, R.O.P.; JACOB NETO, J. Toxidez de alumínio em plantas: novos enfoques para um velho problema. In: FERNANDES, M.S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 375-418.

SANZONOWICZ, C. & MIELNICZUK, J. Distribuição do potássio no perfil de um solo, influenciado pela planta, fontes e métodos de aplicação de adubos. **R. Bras. Ci. Solo**, 9:45-50, 1985.

SAARIJARVI, K.; VIRKAJARVI, P.; HINONEN-TANSKI, H. & TAIPALINEN, I. N and P leaching and microbial contamination from intensively managed pasture and cut sward on sandy soil in Finland. **Agric. Ecosys. Environ.**, 10:621-630, 2004.

SANTOS A.A. Implantação do Pinhão-Manso em Solo Degradado Inoculado e Acrescido de Macrófitas, Cinza e Hidrogel - **Tese apresentada à Faculdade de Engenharia** - UNESP – Campus de Ilha Solteira, para obtenção do título de Doutor em Agronomia. Especialidade: Sistemas de Produção. Orientador: Prof. Dr. Ana Maria Rodrigues 77 páginas.2006.

SANZONOWICZ, C. & MIELNICZUK, J. Distribuição do potássio no perfil de um solo, influenciada pela planta, fontes e métodos de aplicação de adubos. **R. Bras. Ci. Solo**, 9:45-50, 1985.

SCHLOTTER et al., 2012. Equivalence or complementarity of soil-solution extraction methods. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.175, p.236-244, 2012.

SEIXAS, J.; ROLOFF, G. & RALISCH, R. Tráfego de máquinas e enraizamento do milho em plantio direto. **Ci. Rural**, 35:794-798, 2005.

SHIGAKI, F.; SHARPLEY, A. & PROCHNOW, L.I. Source-related transport of phosphorus in surface runoff. **J. Environ. Qual.**, 35:2229-2235, 2006.

SILVA, C. A. Uso de resíduos orgânicos. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2 ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. 654 p.

SILVA JÚNIOR et al., 2010. Resposta do meloeiro à fertirrigação controlada através de íons da solução do solo: Desenvolvimento vegetativo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.715-722, 2010.

SIMS J T and Sharpley A N 1998 Managing agricultural phosphorus for waterqualityprotection: future challenges. In Soil Testing for Phosphorus: Environmental Uses and Implications. Ed. J T Sims. pp. 41–43. **Southern Cooperative Series Bulletin No. 389**, SERA-IEG 17, University of Delaware, Newark, DE.

SILVA, C. A. Uso de resíduos orgânicos. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2 ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. 654 p.

SIQUEIRA, J.O., FRANCO, A.A. **Biotechnologia do Solo**. MEC/ESAL/FAEPE/ABEAS, Brasília, 1988, p. 125-177.

SISTANI, K. R.; Adeli, A.; McGowen, S. L.; Tewolde, H.; Brink, G. E. A. Laboratory and field evaluation of broiler litter nitrogen mineralization. **Bioresource Technology**, v.99, p.2603-2611, 2008.

SOPRANO, E. & ALVAREZ V, V.H. Nutrientes lixiviados de colunas de solo tratadas com diferentes sais de cálcio. **R. Bras. Ci. Solo**, 13:25-29, 1989.

SOUZA et al., 2012. Biomass, anatomical changes and osmotic potential in *Atriplexnummularia* Lindl. cultivated in sodic saline soil under water stress. **Environmental and Experimental Botany**, v.82, p.20-27, 2012.

SPARKS, D.L. & HUANG, P.M. The physical chemistry of soil potassium. In: MUNSON, R.E., ed. Potassium in agriculture. Madison, **Soil Science Society of America**, 1985. p.201-276.

STEWART, B. A.; ROBINSON, C. R. Are agroecosystems sustainable in semiarid regions? **Advances in Agronomy**, Newark, v. 60, p. 191-228, 1997.

SUMNER, M.E.; SHAHADNDEH, H.; BOUTON, J.; HAMMEL, J. Amelioration of an acid soil profile through deep liming and surface application of gypsum. **Soil Science Society of America Journal**, v.50, p.1254-1258, 1986.

TAKALSON, D.D. & LEYTEM, A.B. Phosphorus mobility in soil columns treated with dairy manures and commercial fertilizer. **SoilSci.**, 174:73-80, 2009.

THOMAZ, S.M. & BINI, L.M. **Ecologia e Manejo de Macrófitas Aquáticas**. Editora da Universidade Estadual de Maringá, 2003.

VALENTE, J. P.; PADILHA, P. M.; SILVA, A. M. M. Contribuição da cidade de Botucatu- SP com nutrientes (fósforo e nitrogênio) na eutrofização da represa de Barra Bonita. **Eclética.Química**, Araraquara, v. 22, p. 31-48, 1997.

VELINI, E. D. Controle de plantas daninhas aquáticas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 22., 2000, Foz do Iguaçu. Palestras. Foz do Iguaçu: **Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas**, 2000. p.137-147.

VELINI, E. D. **Desenvolvimento de técnicas e equipamentos para o monitoramento e controle de plantas aquáticas**. 2005. 238 f. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

WATSON, S.; McCAULEY, E.; DOWNING, J. A. Patterns in phytoplankton taxonomic composition across temperate lakes of different nutrient status. **Limnology and Oceanography**, Alberta, v. 42, p. 487-495, 1997.

WADT, P.G.S. **Movimentação de cátions em latossolo vermelho-amarelo, álico, incubado com carbonato e sulfato de cálcio, isolados ou misturados.** Itaguaí, 1991. 174 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.