

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

JOCILENE FERREIRA DA COSTA

**DESEMPENHO DE *WETLANDS* CONSTRUÍDAS (BANHADOS
CONSTRUÍDOS) NO TRATAMENTO DE MANIPUEIRA**

CAMPO GRANDE/MS
2009

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS
AMBIENTAIS

JOCILENE FERREIRA DA COSTA

**DESEMPENHO DE *WETLANDS* CONSTRUÍDAS (BANHADOS
CONSTRUÍDOS) NO TRATAMENTO DE MANIPUEIRA**

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, na área de concentração em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos.

ORIENTADOR: Prof.^a Dr.^a Paula Loureiro Paulo

Aprovada em:

Banca Examinadora:

Prof.^a Dr.^a Paula Loureiro Paulo
Orientadora – UFMS

Prof. Dr. Carlos Nobuyoshi Ide
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Dr.^a Matildes Blanco
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Campo Grande, MS

2009

Ficha catalográfica preparada pela
COORDENADORIA DA BIBLIOTECA CENTRAL/UFMS

Costa, Jocilene Ferreira.
Desempenho de *wetlands* construídas (banhados construídos) no
tratamento de manipueira / Jocilene Ferreira da Costa – Campo
Grande, 2009.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso
do Sul, 2009.

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Paula Loureiro Paulo

1. biomassa verde. 2. feccularia. 3. tangola.

DEDICATÓRIA

Ao meu pai, Crescêncio U. da Costa (in memorian), meu Anjo eterno, meu primeiro e grande professor, infelizmente não foi possível estar ao meu lado em mais essa vitória, mas tenho certeza de que está sempre ao meu lado, cuidando de mim.

A minha mãe Leonina F. da Costa, meu maior exemplo, minha grande rainha, sei que suas orações sustentam meu espírito e me fazem suportar os momentos difíceis da vida.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Prof^a Dr^a Paula Loureiro Paulo, mais que uma orientadora neste trabalho, me ensinou a enxergar as coisas da vida de uma forma mais ampla, me fez confiante e com a certeza de que é possível continuar no caminho quando se tem um objetivo. Obrigada pela paciência e pela excelente orientação.

A Deus que tudo pode e que nos dá a condição, de alcançarmos nossos objetivos.

A Universidade Federal de Mato Grosso do Sul pela infra-estrutura disponibilizada.

Ao Prof. Dr. Carlos Nobuyoshi Ide, prestativo nos momentos de dúvidas e pronto a colaborar a qualquer momento, sempre transmitindo seus conhecimentos.

Ao Secretário de Estado de Meio Ambiente, das Cidades, do Planejamento, da Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul, Eng^o Carlos Alberto Negreiros Said Menezes, pelo apoio, sua preciosa ajuda foi muito importante para a realização das análises do solo desta pesquisa.

Aos funcionários do Laboratório de Solos do Departamento de Hidráulica e Transporte do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da UFMS, pela ajuda e atenção dispensadas.

Aos técnicos do Laboratório de Qualidade Ambiental – LAQUA pelo apoio técnico prestado.

Ao Prof. Mestre José Luiz Gonçalves pelas sugestões e pela colaboração nas amostras do capim Tangola e do solo da Chácara Águia.

A Estagiária aluna do curso de Engenharia Ambiental Aline da Silva Ribeiro pela amizade e auxílio proporcionado.

A todos os professores, colegas e funcionários do PGTA pelo apoio.

Ao Arquiteto Wilson Vieira Felipe, pelo companheirismo, pelo ombro amigo, por enxugar minhas lágrimas nos momentos de tristeza, pelo amor doado, pela alegrias que me proporcionou e incentivo, principalmente, nos momentos de incertezas. Me deu confiança e fortaleza na condução de minha vida.

A minha amiga irmã de coração Eng^a Florestal Adriana dos Santos Damião pelos momentos de alegrias, pelo apoio e força estimuladora. Que a nossa amizade seja eterna.

Ao Gerente de Licenciamento Ambiental do IMASUL Engº P Roberto Aquino pela amizade, compreensão e auxílio.

Ao Prof. Natálio Abrão ^{iv} Meteorologista da UNIDERP pela disponibilização dos dados climatológicos.

A amiga Psicóloga Marley Abdo, pelos conselhos nos momentos difíceis na fase da pesquisa, por me fazer acreditar que posso e que sou uma grande mulher.

Aos meus pais Crescêncio (*in memoriam*) e Leonina, exemplos de trabalho, pelo amor dado, pelos ensinamentos, perseverança e fé em Deus, valores estes, que alicerçaram minha vida.

Aos meus irmãos Jocinele, Joélcio, Jonilce e Joilson, pela nossa união, mesmo longe de mim são fontes inesgotáveis de amor, carinho, apoio e presença constante em minha vida.

Aos meus sobrinhos Vaniélcio, Bruno, Douglas, Vinícius, Jayane, e a pequena Vitória Helena, que mesmo distante, seus beijos e abraços são constante fonte de motivação e entusiasmo.

Aos meus cunhados e cunhadas pela amizade e torcida

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta pesquisa.

v

"A ecologia rasa é antropocêntrica, ou centralizada no ser humano. Ela vê os seres humanos como situados acima ou fora da natureza, como a fonte de todos os valores, e atribui apenas um valor instrumental, ou de "uso", à natureza. A ecologia profunda não separa seres humanos - ou qualquer outra coisa – do meio ambiente natural. Ela vê o mundo não como uma coleção de objetos isolados, mas como uma rede de fenômenos que estão fundamentalmente interconectados e são interdependentes. A ecologia reconhece o valor intrínseco de todos os seres vivos e concebe os seres humanos

*apenas como um fio particular na
da vi*

CAPRA, (1996).

SUMÁRIO

vi

DEDICATÓRIA	iii
AGRADECIMENTOS	iv
EPÍGRAFE	vi
SUMÁRIO	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	x
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xiii
RESUMO.....	xiv
ABSTRACT.....	xiv
CAPÍTULO I	1
1.INTRODUÇÃO GERAL	1
1.1.Industrialização da mandioca.....	1
1.1.1Processos Produtivos	1
1.1.1.1.Processo de obtenção da fécula de mandioca	1
1.1.1.2.Processo de obtenção de farinha de mandioca.....	2
1.1.1.3.Fecularias e Farinheiras no Mato Grosso do Sul.....	3
1.2.Manipueira	4
1.3.Possibilidades de tratamento para uma manipueira	5
1.4. <i>Wetlands</i> construídos	5
1.4.1.Tipos de <i>wetlands</i>	7
1.4.2.Vegetações utilizadas em <i>wetlands</i>	8
1.5.Remoção de poluentes em sistemas de <i>wetlands</i>	9
1.6.Relação Solo-Planta	10
1.6.1.Nutrientes	11
1.7.Evapotranspiração	12
CAPÍTULO II - Artigo	14
Introdução	14
Material e Métodos	16
Resultados e Discussão	2
Conclusão/Referências Bibliográficas)

Figura 1	Fluxograma geral do processo produtivo de fecularias.....	2
Figura 2	Fluxograma geral de uma farinheira.....	3
Figura 1-Art.	Perspectiva das <i>wetlands</i> construídas – Vegetadas.....	17
Figura 2	Corte longitudinal dos <i>wetlands</i> construídos – vegetados.....	18
Figura 3	Relação do volume evapotranspirado, volume aplicado e média de crescimento.....	23
Figura 4	Média de macronutrientes foliares nos períodos.....	26
Figura 5	Média de micronutrientes foliares nos períodos.....	27
Figura 6	Média de macronutrientes no solo (substrato) nos períodos.....	27
Figura 7	Média de micronutrientes no solo (substrato) nos períodos.	28

Tabela 1	Fecularias do Estado de Mato Grosso do Sul com respectivas capacidades nominais de produção por safra.....	3
Tabela 1-Art.	Condições da manipueira aplicada, crescimento, precipitação, parâmetros físico-químicos na entrada e saída das <i>wetlands</i> construídas e percentagem de remoção (todos média dos períodos).....	22

ABAM	-	Associação Brasileira de Produtores de Mandioca
ABES	-	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
APHA	-	American Public Health Association
B	-	Boro
BRANCO	-	Banhado não vegetado (sem Tangola)
(BR ₁ / BR ₂ / BR ₃)		
Ca	-	Cálcio
CH	-	Carga Hidráulica
g.CaCO ₃ L ⁻¹	-	Gramas Carbonato de Cálcio por Litros
CCET	-	Centro de Ciências Exatas e Tecnologia
Cl	-	Cloro
Cm	-	Centímetro
CN	-	Cianeto
Cu	-	Cobre
DBO ₅	-	Demanda Bioquímica de Oxigênio, encubada por cinco dias a 20°C
DQO	-	Demanda Química de Oxigênio
DHT	-	Departamento de Hidráulica e Transportes
EMBRAPA	-	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPA	-	United States Environmental Protection Agency
ETE	-	Estação de Tratamento de Esgoto
Eto	-	Evapotranspiração de Referência
Fe	-	Ferro
g. L ⁻¹	-	Gramas por Litros
g.d ⁻¹	-	Gramas por Dia
h	-	Hora
H	-	Hidrogênio
ha .d ⁻¹	-	Hectare Dia ⁻¹
hab. d ⁻¹	-	Habitante Dia ⁻¹
HAGR	-	Hargreaves
HCN	-	Ácido Cianídrico
IAGRO	-	Agência Estadual de Defesa Sanitária Animal e Vegetal
K	-	Potássio

Kc	-	Coefficiente de Cultura
kg	-	Quilograma
kg. ha ⁻¹	-	Quilograma por Hectare
L.t ⁻¹	-	Litros por Toneladas
LAQUA	-	Laboratório de Qualidade Ambiental do DHT/CCET/UFMS
m	-	Metros
mm	-	Milímetros
m ³ . t ⁻¹	-	Metro Cúbico por Tonelada
mg.L ⁻¹	-	Miligrama por Litro
Mg	-	Magnésio
mg.SST.L ⁻¹	-	Miligrama Sólidos Suspensos Totais por Litros
mg.PO ₄ ²⁻ .L ⁻¹	-	Miligrama Fosfato por Litros
Mn	-	Manganês
MO	-	Matéria Orgânica
MS	-	Mato Grosso do Sul
N	-	Nitrogênio
N ₂	-	Gás Nitrogênio
NaHCO ₃	-	Bicarbonato de Sódio
NO ₂ ⁻	-	Nitrito
NO ₃ ⁻	-	Nitrato
OH ⁻	-	Hidroxila
P	-	Fósforo
PE	-	Pernambuco
PET	-	Polietileno Tereftalato
pH	-	Potencial Hidrogeniônico
PVC	-	Policloreto de Vinila
RJ	-	Rio de Janeiro
S	-	Enxofre
SO ₄ ⁻²	-	Sulfato
SEPLANCT	-	Secretaria de Planejamento, Ciência e Tecnologia
SEPROTUR	-	Secretaria de Estado da Produção e Turismo
SIC	-	Superintendência de Indústria e Comércio
SST	-	Sólidos Suspensos Totais
TDH	-	Tempo de detenção hidráulica

t.ha ⁻¹	-	Toneladas por Hectare
UASB	-	Digestor Anaeróbio de Fluxo Ascendente
UNT	-	Unidade Nefelométrica de turbidez
UFMS	-	Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
USEPA	-	United States Environmental Protection Agency
Zn	-	Zinco
W ₁ W ₂ W ₃	-	<i>Wetlands</i> construídas vegetadas com Tangola
WCFS	-	<i>Wetlands</i> construídas de Fluxo Superficial
WCFSS	-	<i>Wetlands</i> construídas de Fluxo Subsuperficial
WCFV	-	<i>Wetlands</i> construídas de Fluxo Vertical
μS. cm ⁻¹	-	Microsiemens por Centímetros

LISTA DE SÍMBOLOS

%	-	Porcentagem
Ø	-	Diâmetro
°C	-	Graus Celsius

RESUMO

O objetivo da presente pesquisa foi avaliar a possibilidade da aplicação de *wetlands* construídas (banhados construídos) de fluxo subsuperficial visando diminuir a carga poluidora de efluentes de fecularia (Manipueira) e produzir biomassa verde. O estudo foi realizado em escala de laboratório, em (4) quatro unidades de vidro, usando areia fina como substrato, onde 3(três) unidades foram plantadas com a gramínea Tangola (híbrido *Brachiaria arrecta* (Tanner) x *Brachiaria mutica* (Angola)). A manipueira foi aplicada em diferentes condições, sendo que no Período I (91 dias de duração) com Demanda Química de Oxigênio (DQO) (16 g.L^{-1}), com pH de 4,29; no Período II, manipueira tratada em reator anaeróbico em pH neutro (153 dias) e, no Período III foi feita a adição de bicarbonato de sódio (pH em torno de 6) em manipueira diluída a 6 g.L^{-1} (31 dias) e 16 g.L^{-1} (67 dias). As *wetlands* construídas, no Período I, considerado com as condições mais desfavoráveis para o desempenho do sistema (inverno, baixa precipitação, alta carga orgânica e baixo pH) apresentaram uma remoção considerável de DQO (42%), sólidos suspensos (92%), turbidez (95%), nitrogênio (78%) e fósforo (97%). No Período II não houve saída de efluentes para coleta de amostras. No Período III (maiores precipitações, pH 6, $\text{DQO}_{\text{média}}$ em torno de 6 g.L^{-1}) apresentou-se remoção de DQO (68%), Alcalinidade (23%), Turbidez (73%), Salinidade (2,5%). A produção da biomassa verde variou com as condições climáticas e características da manipueira aplicada, bem como as concentrações de macro e micronutrientes foliares e no substrato. O período de maior produtividade foi o período III, com média de $1,03 \text{ g.d}^{-1}$.

Palavras-Chave: biomassa verde, filtros plantados, fecularia, gramínea, tangola, nutrientes.

ABSTRACT

The objective of this research was to assess the possibility of applying subsuperficial flow constructed wetlands to lower the pollution load from cassava processing wastewater (cassava wastewater) and to produce Green biomass. The study was performed at lab-scale by using 4 glass units, with fine sand as substrate, where 3 units were cultivated with Tangola grass (hybrid *Brachiaria arrecta* (Tanner) x *Brachiaria mutica* (Angola)). The cassava wastewater was applied in different conditions: in Period I (91 days duration time) conditions were a high chemical oxygen demand (COD) of 16 g.L^{-1} and a pH of 4,29; Period II, the cassava wastewater was previously treated in an anaerobic reactor and presented a slightly basic pH (153 days) and, Period III, the addition of sodium bicarbonate (pH around 6) in diluted cassava wastewater to 6 g.L^{-1} of COD (31 days) and 16 g.L^{-1} COD (67 days). In Period I, which was the period with the most adverse conditions (winter time, low rainfall, high organic loading rate and low pH), the constructed *wetlands* showed considerable removal of COD (42%), suspended solids (92%), turbidity (95%), nitrogen (78%) and phosphorus (97%). The production and quality of the green biomass varied according to climatic conditions and the characteristics of the cassava wastewater as well as the concentration of macro and micronutrients present in the leaves and substrate. The period with the highest production was period III with mean $1,03 \text{ g.d}^{-1}$.

Key-words: green biomass, cultivated filters, cassava processing industry, grass, tangola, nutrients.

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO GERAL

O Estado de Mato Grosso do Sul (MS) não apresenta problemas relacionados a água de ordem quantitativa, mas, principalmente, de ordem qualitativa e ocorre, em função de diversas formas de poluição, afetando tanto as águas superficiais quanto as subterrâneas de áreas urbanas, exigindo tratamentos cada vez mais complexos, e nem sempre eficientes (PEREIRA & BALTAR, 2000). A predominância da agroindústria no Mato Grosso do Sul, tem contribuído para poluição industrial e é um dos principais fatores responsáveis pela degradação dos recursos hídricos do Estado, pois muitos desses empreendimentos não contam com um sistema de tratamento para efluentes com eficiência para atender as legislações ambientais brasileiras e as de Mato Grosso do Sul (MS).

1.1 Industrialização da mandioca

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma planta tropical, perene e lenhosa, cultivada tradicionalmente em solos de baixa fertilidade e com pouco uso de insumos, pode ser propagada por meio de estacas ou de sementes. A raiz da mandioca é um dos alimentos básicos da população brasileira, principalmente para a de baixa renda. Porém, mais do que isso, a indústria de beneficiamento da raiz vem apresentando um significativo desenvolvimento, garantindo a presença dos seus subprodutos como matéria-prima em uma série de indústrias, tanto alimentícias quanto não-alimentícias (GAMEIRO, 2002).

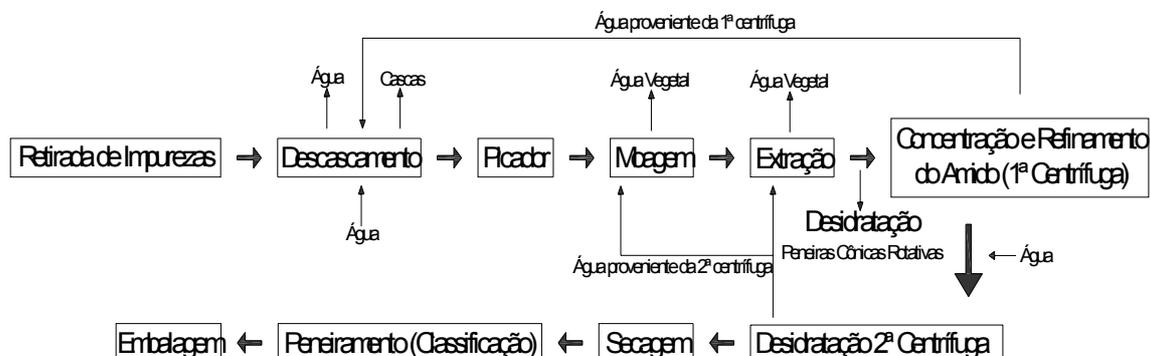
1.1.1 Processos produtivos

1.1.1.1 Processo de obtenção da fécula de mandioca

Segundo PARIZOTTO (1999), as raízes da mandioca, ao chegarem à indústria, são pesadas e posteriormente verificado o teor de amido através de um lavador de raízes de laboratório e de uma balança hidrostática. Em seguida, as raízes são descarregadas mecanicamente em moegas. A lavagem é feita debaixo d'água por meio de pás de ferro revestidas com borracha. O “leite de fécula” livre das fibras contém, ainda, outros componentes solúveis como proteínas, lipídeos e açúcares que serão separados na etapa de refinação, juntamente com a água. Esta suspensão é denominada “água vegetal”, (também chamada de manipueira), conforme figura 1. Para a purificação são utilizadas centrífugas que apresentam discos cônicos dentro do rotor. A fécula refinada segue para um filtro rotativo a vácuo visando remoção parcial da umidade (40-45%) e,

após esta etapa, passa por um secador pneumático onde, em tempo bastante curto, é desidratada de acordo com o teor de umidade final desejado (VILELA & FERREIRA, 1987).

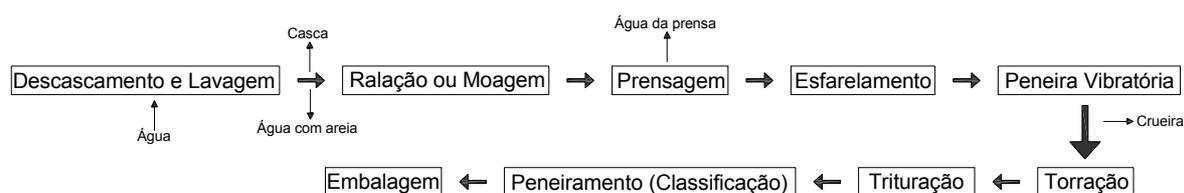
Figura 1 - Fluxograma geral do processo produtivo de fecularias.



Fonte: Adaptado de VILPOUX (2003).

1.1.1.2 Processo de obtenção da farinha de mandioca

Devido ao elevado teor de umidade das raízes de mandioca recém-colhidas, este produto é classificado como perecível (FERREIRA NETO et al., 2003). Desta forma, a utilização por períodos de tempo mais longos se dá através de produtos desidratados, principalmente as diversas farinhas de mandioca (VILELA & Jr., 1987). As raízes vêm do campo acompanhadas de terra. As mesmas devem ser lavadas para eliminar a terra aderida à sua casca. O descascamento elimina as fibras presentes nas cascas, as substâncias tânicas, que escurecem a farinha, e parte do ácido cianídrico (HCN) que se concentra em maior proporção nas entrecascas. A ralação é feita para que as células das raízes sejam rompidas, liberando os grânulos de amido e permitindo a homogeneização da farinha. A torração é uma operação delicada, talvez a que mais influa na qualidade do produto final. Durante a torração e esfriamento, há sempre a formação de aglomerados, devido à gelificação da fécula. A operação de trituração deve ser feita de forma a desintegrar corretamente a farinha, sem pulverizá-la. Após a trituração a farinha é passada por peneiras, conforme figura 2, com a finalidade de separar as partes não trituradas e promover uma classificação (LIMA, 1982; CEREDA & VILPOUX, 2003).

Figura 2 - Fluxograma geral de uma farinheira

Fonte: Adaptado de CEREDA & VILPOUX (2003).

1.1.1.3 Fecularias e Farinheiras no Mato Grosso do Sul

Uma das agroindústrias que vem se destacando no Brasil são as fecularias e farinheiras, sendo o Estado de Mato Grosso do Sul estratégico nessa produção. O Estado tem apresentado maior crescimento no setor de industrialização de amido de mandioca, sendo o segundo produtor brasileiro conforme estatísticas da ABAM (Associação Brasileira dos Produtores de Amido de Mandioca). Nos últimos três meses do ano de 2006 houve valorização no plantio de mandioca em cerca de 74,4%. As fecularias instaladas em operação no Estado são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Fecularias do Estado de Mato Grosso do Sul com respectivas capacidades nominais de produção por safra, em toneladas.

Unidade	Município	Capacidade nominal Prevista (T)
1. Amidos Yamakawa	Nova Andradina	30.000
2. Incol	Ivinhema	10.000
3. Pantanal	Ivinhema	8.000
4. Santa Rosa	Ivinhema	6.000
5. Santa Rosa	Angélica	3.000
6. Amilfar – Pilão Amidos	Deodápolis	16.000
7. Nevada – Pilão Amidos	Sete Quedas	10.000
8. N K R	Itaquiraí	10.000
9. Cassava	Glória de Dourados	10.000
10. Novo Três Passos	Novo Horizonte do Sul	5.000
11. Boito & Boito	Amambai	4.000
12. Brasamid	Bataguassú	10.000
13. Fecularia Seriema	Coronel Sapucaia	3.000
14. *Amidos Naviraí	Naviraí	10.000
15. *Pilão Amidos Química	Naviraí	12.500
16. *Pilão Amidos Química	Tacuru – a	5.000
17. Fecularia Mundo Novo	Mundo Novo	5.000
Total		157.500 T
Unidades em Implantação e / ou Reativação		
1. Agroindustrial Festal	Paranhos	6.000
2. Pilão Amidos - reativação	Itaquiraí – b	10.000
3. Pilão Amidos – nova unidade	Tacuru – c	10.000
4. Liza Alimentos	Corumbá – c	4.500
5. Indama S/A	Três Lagoas	12.000
Total		42.500 T

Fonte: SEPROTUR / SIC – Fevereiro / 2008 – Informações do Engº Agrônomo Eduardo Corrêa.

* Amidos quimicamente modificados

a – Não implantou

b – Parada

c – Obra parada

1.2. Manipueira

Nos processos de industrialização da mandioca, para fins de obtenção de farinha ou fécula, são gerados resíduos sólidos de descarte, partes lenhosas e deterioradas das raízes, crueira, porções fibrosas retidas em peneiras, bagaços e resíduos líquidos da água de lavagem das raízes e manipueira (FERNANDES Jr. & CEREDA, 1996). Dentre esses, destaca-se a manipueira líquida resultante da prensagem da massa ralada utilizada para a produção de farinha e do processo de extração e purificação da fécula (TAKAHASHI, 1987). A manipueira é o resíduo mais problemático por possuir elevada carga de poluente e efeito tóxico, devido ao glicosídeo cianogênico linamarina, causando sérios problemas ao ambiente quando lançado em cursos d'água (BARANA & CEREDA, 2000). Esse problema agrava-se em virtude da concentração das indústrias estarem na região Sul do País e no Mato Grosso do Sul (LEONEL & CEREDA, 1998). ANRAIN (1983) afirmou serem as indústrias de fécula causadoras de impactos ao meio ambiente, com a demanda química de oxigênio (DQO) na água de lavagem em torno de 25.000 mg.L^{-1} , o que corresponderia, em termos comparativos à poluição causada por 460 hab/dia. Segundo CEREDA (2001), os resíduos líquidos do processamento de mandioca são: (1) água de lavagem das raízes; (2) manipueira ou água vegetal; (3) água da extração de fécula, no caso da fecularia. Na fabricação de farinha de mandioca, a quantidade de manipueira gerada em média é de $0,36 \text{ m}^3 \cdot \text{T}^{-1}$ de raiz processada (DEL BIANCHI, 1998).

De acordo com CEREDA (2001), os volumes de resíduos líquidos gerados em média nas unidades de processamento de fécula são: para água de lavagem das raízes, $2,62 \text{ m}^3 \cdot \text{T}^{-1}$ de raízes e água de extração da fécula $3,68 \text{ m}^3 \cdot \text{T}^{-1}$ de raízes. A quantidade e a qualidade dos resíduos gerados no processo de extração de amido de mandioca variam devido a vários fatores como, idade do tubérculo, tempo de armazenamento e tipo de processo utilizado (TORRES et al., 2003).

O íon cianeto (CN^-) encontra-se presente na mandioca, associado a um açúcar, como parte de um composto cianogênico, solúvel em água, denominado de linamarina. O cianeto (CN^-) produzido é um dos mais violentos venenos conhecidos que, apesar de volátil, pode dissociar-se quando dissolvido em águas com pH igual ou maior que 8, formando (HCN) ou cianeto livre. A toxicidade do CN^- é muito maior do que a do HCN . Nos cursos d'água natural, o cianeto deteriora-se ou é decomposto por ação bacteriana, diminuindo as concentrações excessivas, com o tempo (FIORETTO, 2001).

1.3. Possibilidades de tratamentos para a manipueira

A análise dos carboidratos solúveis da manipueira aponta a presença de glicose e maltose e muitas vezes apenas glicose, com concentração entre 40 e 45g.L⁻¹ que explica em parte a dificuldade de reter carga biodegradável por processo físico sendo, de acordo com CEREDA (2000), para o tratamento o processo biológico é mais indicado. FERNANDES Jr. (1989), estudou as causas da instabilidade em reatores de mistura completa para tratar a manipueira e medidas para seu controle. Como recomendação, indicou a utilização de sistemas com separação de fases, como alternativa para a biodigestão de resíduos líquidos da indústria da farinha de mandioca, confirmando a sugestão de CEREDA et al. (1986). Uma abordagem interessante é feita por LETTINGA (1995), que ressalta a necessidade de implementação de sistemas integrados de proteção ambiental, que conciliem o tratamento de esgotos com a recuperação e o reuso de seus subprodutos. RODRIGUES (2001), estudando águas residuárias de laticínios e frigoríficos, evidenciou que as mesmas são fontes de matéria orgânica e nutrientes minerais e podem contribuir para o aumento na produção de alimentos e na melhoria da qualidade ambiental.

Por fim cita-se que para minimizar os riscos das águas residuárias, reduzindo também a contaminação microbiológica, as *wetlands* construídas (banhados construídos), podem constituir bons sistemas de pós tratamento, na remoção de poluentes. Outras vantagens desses sistemas são o baixo custo de construção e operação; eles podem ser implementados no próprio local onde os esgotos são gerados; e podem ser mantidos por pessoas relativamente sem treinamento (CAMPOS et al.,2002).

Nas *wetlands* construídas, os mecanismos de retenção do fósforo contidos nas águas residuárias incluem processos físicos, químicos e biológicos, envolvendo fenômenos de precipitação, sedimentação e, principalmente, adsorção (PHILIPPI & SEZERINO, 2004).

1.4. Wetlands Construídas (Banhados Construídos)

A utilização de *wetlands* construídas como tratamento complementar na remoção de nutrientes vem sendo estudada desde a década de 80, do século passado.

O maior mecanismo de remoção de nitrogênio orgânico nas *wetlands* construídas é a seqüência dos processos de amonificação, nitrificação e desnitrificação, (IWA Specialist Group on Use of Macrophytes (2000); COOPER et al. (1996); KADLEC & KNIGHT (1996)).

As *wetlands* construídas para tratamento de efluentes são sistemas desenhados e construídos para utilizar processos naturais na remoção de poluentes do efluente (KIVAISI, 2001). Os principais processos biológicos que regulam as remoções de nitrogênio e fósforo do efluente são a absorção direta pela macrófita, mineralização microbiológica e transformações como desnitrificação e amonificação (USEPA, 2000).

Os principais processos abióticos que atuam nas remoções de nitrogênio e fósforo do efluente são a sedimentação, precipitação química e adsorção. A sedimentação também é importante na remoção de material particulado do efluente (BRASKERUD, 2002).

As *wetlands* construídas são consideradas como um método de tratamento que utiliza tecnologia simples, de fácil operação e custo baixo (COSTA et al., 2003). O termo é utilizado internacionalmente para identificação do sistema que, no Brasil tem variadas denominações. Alguns pesquisadores usam o termo Zona de Raízes, sendo este traduzido do termo em inglês “Root Zone” muito utilizado na Europa. Os termos terras úmidas construídas, filtros plantados e banhados também são utilizados.

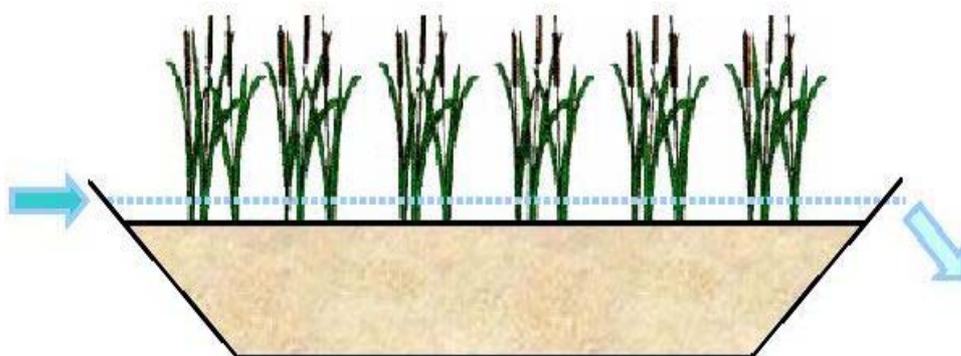
Nas *wetlands* construídas ocorre principalmente: 1) boa ciclagem de nutrientes, 2) remoção de matéria orgânica, 3) transferência de oxigênio para o substrato, por meio do sistema radicular e dos rizomas, 4) inibição do crescimento de algas sobre o substrato, causada pela sombra provida pelas folhas e 5) suporte ao crescimento de biofilmes, os quais são formados junto aos rizomas, raízes e serrapilheira (SHUTES, 2001). Dentre os numerosos mecanismos que causam essa remoção, destacam-se a decantação (causada pelo biofilme microbiano aderido às raízes e ao substrato), o predatismo e a competição entre outros microrganismos, além das eventuais substâncias tóxicas produzidas pelas plantas sendo liberadas através de suas raízes (BRIX, 1994).

O nitrogênio é muito abundante na forma gasosa como N_2 , representando cerca de 80% dos constituintes da atmosfera. Contudo, esta forma não é disponível para as plantas, sendo necessária sua fixação biológica. O nitrito (NO_2^-) é pouco comum por ser bastante tóxico em baixas concentrações e facilmente oxidado para nitrato (NO_3^-) (WELCH, 1995). O nitrogênio é um dos contaminantes considerados importantes na remoção por sistemas de *wetlands* construídas, sendo relacionados aos processos de: crescimento da planta e outros organismos; amonificação, nitrificação e desnitrificação e volatilização da amônia (BRIX, 1993 citado por ZHU, 1995).

1.4.1 Tipos de *Wetlands* Construídas

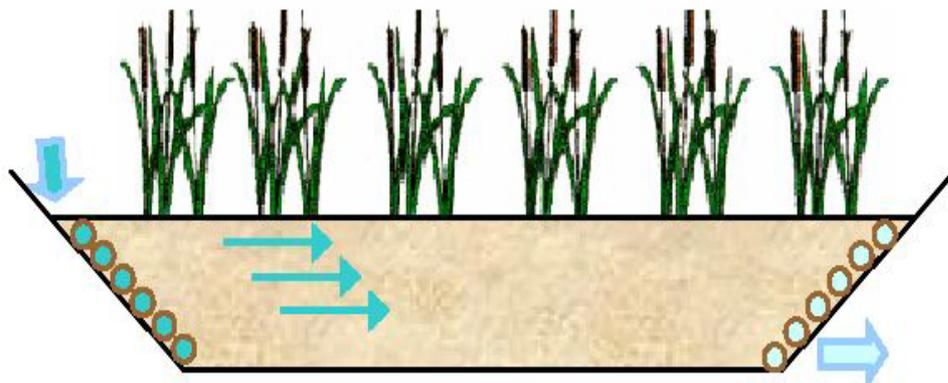
As *wetlands* construídas podem ser utilizadas nos tratamento secundário e terciário de águas residuárias de origem domiciliar, industrial e rural; no tratamento de águas subterrâneas e de águas para reuso; no manejo de lodo, de águas de drenagem pluvial e contaminada com substâncias tóxicas; e na produção de biomassa (BAVOR et al., 1995; KADLEC, 1995). *Wetlands* construídas são classificadas como de fluxo superficial, de fluxo subsuperficial e de fluxo vertical, de acordo com as seguintes características (USEPA, 1988; VYMAJAL, 1998):

- ***Wetlands* construídas de fluxo superficial:** Em banhados de fluxo superficial, o efluente corre através de uma base rasa em contato com o sedimento subjacente, que fornece condições de desenvolvimento para as plantas, sendo que a água flui superficialmente a uma pequena profundidade (0,1 a 0,3m). Seus melhores resultados são como tratamento terciário.



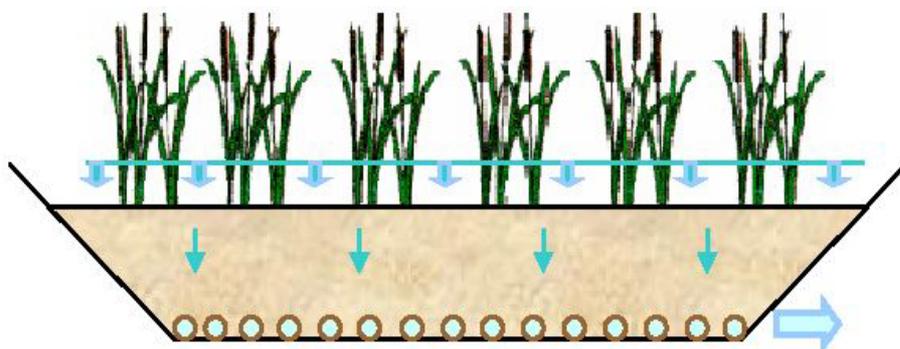
Fonte: SILVESTRE & JESUS (2002)

- ***Wetlands* construídas de fluxo subsuperficial:** São essencialmente filtros horizontais preenchidos com brita ou areia como meio suporte onde as raízes das plantas se desenvolvem. O efluente é mantido abaixo da superfície do substrato, geralmente granular. Este sistema mostrou-se eficiente no tratamento secundário de águas residuárias (ROSTON, 1994; SOUZA & BERNARDES, 1996; MANSOR, 1998; VALENTIM, 1999), porém com baixa taxa de nitrificação.



Fonte: SILVESTRE & JESUS (2002)

- **Wetlands construídas de fluxo vertical:** Filtros de escoamento vertical intermitente preenchido com brita ou areia. São os mais empregados na promoção da etapa de oxidação biológica do nitrogênio - a nitrificação, devido, principalmente, a incorporação de oxigênio via convecção e difusão atmosférica e transporte pelas macrófitas no solo reconstituído e rizosfera (PLATZER, 1999; BRIX, 1997).



Fonte: SILVESTRE & JESUS (2002)

1.4.2 Tipo de vegetação utilizada em wetlands construídas

Existem vários termos para definir estas plantas utilizadas devido à ambiguidade nas definições e à complexidade de sua classificação, sendo os termos usuais: hidrófitas, macrófitas aquáticas, hidrófitas vasculares, plantas aquáticas e plantas aquáticas vasculares (GUNTENSPERGEN et al., 1988). Várias são as espécies testadas para o uso em processos de tratamento de água. As espécies mais utilizadas para pesquisa tem sido a *Phragmites australis* (Caniço-comum), a *Typha latifolia* (Taboa, Junco), *Heliconia psittacorum* (Helicônia-papagaio), *Gladiolus hortulanus* (Gladiolo, Palma, Palma-de-santa-rita) e a *Scirpus lacustris* (Bunho), *Brachiaria mutica* (capim Angola) e mais recentemente o capim-tangola

que é um híbrido natural entre *Brachiaria mutica* (capim Angola) e *Brachiaria arrecta* (Tanner Grass). É uma gramínea agressiva, adaptada a solos de baixa fertilidade, desenvolvendo-se, bem tanto em locais secos, como em locais úmidos. Tolera solos encharcados ou sujeitos a alagamentos periódicos. Sua propagação é feita por meio vegetativo (DIAS FILHO, M.B. , 2005). Embora não provoque sintomas de intoxicação com a intensidade observada no capim Tanner Grass, existem relatos de intoxicações leves em bovinos pastejando capim-Tangola (ARONOVICH & ROCHA, 1985; SOARES FILHO, 1996). Outro problema potencial dessa espécie é a sua suscetibilidade ao ataque do percevejo-das-gramíneas (*Blissus antillus*) (VALÉRIO, 2000). Este híbrido foi coletado em 1972, em uma fazenda no Vale do Itabapoana, município de Campos - RJ, onde levantou-se a hipótese de tratar-se de um híbrido entre o capim Angola e Tanner Grass, já que foi encontrado entre pastos formados pelos dois capins, apresentando características morfológicas de ambos. Uma amostra deste capim foi coletada e introduzida, na ocasião, no Campo de Introdução da Seção de Agrostologia da Estação Experimental de Itaguaí e, posteriormente, comprovada como sendo um híbrido interespecífico entre o capim Angola e o Tanner Grass (SOUTO, 1977). Alguns resultados referentes ao estabelecimento de pastagem com Tangola em solos de baixa fertilidade, no município de Itaguaí, divulgados nos Anais da XIV Reunião da Sociedade Brasileira de Zootecnia, realizada em 1977, Recife - PE mostraram que, dentre 25 cultivares de *Brachiaria* estudadas no período chuvoso, a maior taxa de crescimento inicial ($52,5 \text{ kg de matéria seca.ha}^{-1}\text{.dia}^{-1}$) foi a do capim Tangola, aliada a uma rápida cobertura do solo, através da sua maior capacidade estolonífera (SOUTO, 1977). IDE et al. (2000), em um trabalho sobre reuso de efluentes de lagoas de estabilização na produção de biomassa verde, avaliaram um sistema de *wetlands* construídas utilizando a gramínea Tangola, onde menciona a possibilidade da colheita da biomassa verde com produções médias de $26,0 \text{ t.ha}^{-1}$ a cada três meses, o que corresponde a aproximadamente $289,0 \text{ kg.ha}^{-1}\text{.dia}^{-1}$. Comparando estes, aos dados obtidos por SOUTO (1977), conferida ao capim Tangola taxa de maior crescimento inicial de $52,5 \text{ kg de matéria seca.ha}^{-1}\text{. dia}$ em períodos chuvosos, IDE et al. (2000) concluíram que a produção obtida nesse sistema de banhados é de duas vezes a produção citada, comprovando, assim, a função da fertirrigação promovida pelo efluente tratado de matadouro.

1.5. Remoção de poluentes em sistema de *wetlands*

Segundo BERTHOLDO (1999), a ecotecnologia tem sido indicada como uma alternativa de baixo custo e fácil manutenção para controle de diversos tipos de efluentes líquidos. Essa

autora estudou a eficiência de tratamento por *wetlands* construídas de fluxo horizontal subsuperficial para dois sistemas distintos: como pós-tratamento de efluente de um Reator Anaeróbio de manta de Lodo (UASB) em escala real em uma ETE. Em ambos os casos, foram usadas espécies de macrófitas emergentes (*Typha subulata* e *Zizaniopsis bonariensis*), em diversas combinações e densidades. Os resultados obtidos para os sistemas vegetados foram: eficiência média para a remoção da DQO de 49,9% e 52,2%, nitrogênio amoniacal 46,9% e 38%, fosfato 76,2% e 62,8%, sólidos suspensos 59,8% e 63,7%. Dentre os metais analisados, a remoção de zinco para as duas cargas foi de 43,6% e 28,8%. Segundo VALENTIM. (2003), apesar do baixo valor de afluente de pH (5,6), as *wetlands* construídas o atenuaram apresentando valores efluentes em torno de 6,5, indicando que a substância que estava no afluente foi principalmente neutralizada pelos leitos ou degradadas (ácidos orgânicos). ZHU & SIKORA (1995), associaram a remoção de N amoniacal à biomassa radicular: quanto maior a raiz, maior a absorção de N pelo vegetal. Em nota técnica SOUZA et al., (2004), pesquisando com sistema *wetland* utilizando *juncus* ssp, constaram que a eficiência da remoção de nutrientes foi satisfatória (60 e 80% de nitrogênio e fósforo, respectivamente), provavelmente devido aos fenômenos de adsorção, complexação e precipitação das formas de fósforo e da acumulação de lodo nas frações dos vazios da areia, no experimento, a remoção de fósforo em sistema *wetland* contendo areia lavada como substrato diminuiu, à medida que aumentou o tempo de operação do sistema. Na pesquisa a eficiência da remoção de matéria carbonácea, expressa como DQO, variou de 70 a 86%, não se observando diferenças significativas entre os sistemas *wetland* vegetados e o não vegetado.

1.6. Relação solo – planta

Segundo o Manual de Solos e Fertilização, o conceito de solo como meio para o crescimento vegetal é uma noção antiga desde os primórdios da agricultura. De fato, as características físicas e químicas dos solos condicionam o crescimento vegetal, ao fazer variar a capacidade de retenção de água, a solubilidade dos elementos minerais, as transformações minerais e bioquímicas, a lixiviação dos nutrientes e o pH. Pesquisas visando à adaptação de plantas em solos com diferentes disponibilidades hídricas são, também, importantes. Nesse aspecto, têm-se os resultados obtidos por LIMA FILHO et al., (1992), com o plantio de *Leucaena* sob deficiência hídrica, e os de SEIFFERT & THIAGO (1983), que relatam a tolerância da leucena à seca e à má drenagem. O solo e o clima são os fatores mais determinantes na distribuição e produção de plantas, porém, as espécies forrageiras adaptam-se a diversas

situações. Algumas espécies forrageiras são capazes de crescer em solos em condições adversas, no entanto, respondem favoravelmente a boas práticas de manejo, e as adubações, de maneira geral, oferecem oportunidades de melhores produtividades (FAGERIA et al., 1991). O capim Tangola pode ser uma opção de fácil adaptação para as condições proporcionada no solo pela aplicação da manipueira, que pode ser utilizada como fertilizante, aproveitando e reciclando os nutrientes do solo, por exemplo, a predominância do íon potássio (K) entre os constituintes minerais da manipueira tem implicação direta no desequilíbrio dos cátions básicos no solo, devido ao aumento de saturação desse elemento e da predisposição à lixiviação de cálcio e magnésio (BARANA, 2000).

1.6.1 Nutrientes

Para um crescimento e desenvolvimento adequados das culturas, com a obtenção de rendimentos elevados e de produtos de qualidade, é necessário que os nutrientes essenciais às plantas (macro e micronutrientes) se encontrem no solo em determinadas quantidades e proporções (DIAS, 2000; INIA, 2000). Do ponto de vista quantitativo segundo o Manual de Adubação (1971) os nutrientes são classificados como macronutrientes (N, P, S, Ca, Mg e K) e micronutrientes (Fe, Cu, Mn, Zn, Mo e B e Cl). A concentração de nutrientes, em plantas expressa com base na matéria seca é afetada por vários fatores, incluindo espécies e cultivar, idade e órgão da planta, interação com outros nutrientes e fatores ambientais, como precipitação, temperatura e luminosidade (FAGERIA et al., 1991). Conforme MALAVOLTA et al., (1989), quanto maior a disponibilidade de nutrientes no solo, maior será a absorção pela planta. O nitrogênio tem função estrutural na planta, sendo fundamental para o crescimento vegetativo e produção (KLIEMANN et al., 1986; BAUMGARTNER, 1987). O potássio está presente na planta na forma iônica, atuando como ativador enzimático e participando de vários processos (MALAVOLTA et al., 1989). Segundo GALETI (1989) o fósforo é encontrado em todos os órgãos das plantas; possui fundamental importância no processo de reprodução, multiplicação e crescimento. A deficiência de um micronutriente nas plantas pode desorganizar os processos metabólicos e causar a deficiência de um macronutriente (EMBRAPA, 1996). Relações inadequadas entre os nutrientes, ou uma condição de desequilíbrio entre os minerais no solo, podem acarretar prejuízos na nutrição das plantas forrageiras limitando, assim, a sua produção vegetal.

1.7. Evapotranspiração de cultura

As estimativas das lâminas de água a serem aplicadas e a frequência de irrigação das culturas são de grande importância para evitar a redução nos rendimentos, provocados pelo excesso ou déficit de umidade no solo e salinização, devido à drenagem deficiente e à compactação por excesso de umidade durante as operações de preparo do solo (SILVA et al., 1981). Praticamente, toda a água de que as plantas necessitam é extraída pelo sistema radicular e perdida para a atmosfera, por meio do processo de evapotranspiração.

Na ausência de equipamentos de medidas evapotranspiradas da cultura lança-se mão de estimativas baseadas na evapotranspiração de referência (Eto) e no coeficiente de cultura (Kc). A Eto definida por diversos autores representa uma extensão da definição original enunciada por PENMAN (1956), para o termo evapotranspiração potencial, que pode ser definida assim: é a quantidade de água evapotranspirada, na unidade de tempo, por uma vegetação rasteira, de altura uniforme, em crescimento ativo, cobrindo completamente o solo e sem limitação de água.

Várias pesquisas têm mostrado a importância da troca de água, em várias fases, no sistema solo-planta-atmosfera, destacando-se entre elas, aquelas que envolvem a radiação solar, tensão de vapor e vento. Informações a respeito da evapotranspiração de referência e da evapotranspiração máxima daquela cultura permitem determinar o coeficiente de cultivo (Kc), que de acordo com DOORENBOS & PRUITT (1975), variam com o estágio de desenvolvimento da cultura, velocidade do vento e umidade relativa do ar. Fazendo uma comparação das vazões obtidas na entrada e na saída do *wetland* plantado com gramínea, se faz notável a redução entre seus valores. Tal redução é devido essencialmente à evaporação da água interceptada pelas folhas dos vegetais e diretamente a partir da superfície mineral do solo, função da ação da incidência solar, a qual fornece energia para manter o processo de evaporação líquida (SOARES, 2000). A transpiração realizada pela vegetação, ou seja, a evaporação d'água das células vivas dos tecidos vegetais, através dos estômatos (poros de respiração das plantas) também contribui para a perda de líquido nos sistemas de *wetlands* construídas (SOARES, 2000).

O presente trabalho consiste em avaliar o desempenho, o comportamento e a possibilidade de aplicação de *wetlands* construídas, de fluxo subsuperficial, cultivado com a gramínea Tangola, utilizando manipueira diluída sem prévio tratamento e pré-tratada, identificando a eficiência do substrato, avaliando os efeitos fertilizantes dos efluentes, através da

produtividade da gramínea produzida nas *wetlands* construídas a condição da biomassa verde e analisando a qualidade química e nutricional em relação aos macro e micronutrientes.

CAPÍTULO II - ARTIGO¹

Desempenho de *wetlands* construídas no Tratamento de Manipueira

INTRODUÇÃO

De acordo com a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América (EPA), cerca de 10% do total de efluentes tem origem industrial. Neste campo, a agroindústria é responsável por boa parte dos dejetos. A quantidade e a concentração dos despejos variam amplamente, dependendo dos processos de fabricação empregados e dos métodos de controle dos efluentes (BRAILE & CAVALCANTI, 1993).

As agroindústrias que se destacam na economia do Mato Grosso do Sul (MS), são indústrias baseadas em produtos agropecuários, como por exemplo, os laticínios, matadouros, frigoríficos, abatedouro de aves, farinheiras e fecularias de mandioca, entre outras (SEPLANCT, 2007).

No início dos anos de 1980, existia apenas uma fecularia, gerando aproximadamente 70 postos de trabalho; e 18 farinheiras, gerando 101 empregos. Nos anos 1990, o quadro se altera para 13 fecularias, com capacidade nominal de 127.000 toneladas de fécula, com maior capacidade tecnológica instalada. Por outro lado, no decorrer dos anos houve uma expressiva redução do número de farinheiras (MICHELS I. et al.2004). Foi criado em 2002 a Câmara Setorial da Mandioca de Mato Grosso do Sul, visando propiciar uma integração das políticas dos diversos setores envolvidos, tanto os públicos como os privados.

No MS, geralmente, ocorre a acumulação da água de lavagem da mandioca e da manipueira (separadamente), em séries de lagoas de decantação. Estes efluentes são posteriormente utilizados para a irrigação da própria cultura da mandioca ou, simplesmente, tem seu volume reduzido pela evaporação e eventual infiltração, o que pode vir a causar, assim como nas demais regiões, a contaminação do lençol freático, além do mau odor que exala das lagoas (CEREDA, 2000). A manipueira é um resíduo resultante do processamento da mandioca, e é rica em potássio, fósforo e matéria orgânica. FEIDEN (2001), em seu estudo sobre tratamento de águas residuárias de indústria de fécula de mandioca através de biodigestor anaeróbio com separação de fases em escala piloto, utilizou o efluente bruto de uma fecularia que apresentou uma Demanda Química de Oxigênio (DQO) de 11.484 mg.L⁻¹, mais diluída que de uma farinheira. A carga orgânica da manipueira de indústria de farinha de mandioca, expressa na

¹ Este artigo foi redigido de acordo com o formato da Revista Engenharia Sanitária e Ambiental da ABES.

forma de DQO, é considerada em média na faixa de 60.000 mg.L⁻¹ (FERNANDES Jr, 1989; CEREDA, 1994). Comparando-se tal valor com a carga orgânica de um esgoto sanitário típico com DQO de aproximadamente 400 mg.L⁻¹, pode-se observar o potencial poluidor da manipueira, fato este agravado com o grande volume gerado. Para FIORETTO (2001), uma indústria que processa 1 t.Dia⁻¹ de mandioca causa uma poluição equivalente a uma população de 230 a 300 hab.Dia⁻¹.

Resultados de pesquisas mostram que cerca de 60 % da carga orgânica da manipueira é composta de partículas de material oxidável, capazes de passar por poros de 0,05 a 0,005 mm, o que dificulta seu tratamento por processos físicos. Um estudo realizado por MOTTA & CEREDA (1985), determinou a possibilidade do uso de manipueira, adicionada de casca de mandioca em diferentes proporções, na alimentação de reatores. Segundo o autor, observou-se velocidade acentuada de acidificação do substrato, o que ocasionou acúmulo de ácidos orgânicos voláteis no reator e, com isso, a instabilidade no processo. Também, CEREDA et al. (1986), avaliaram os grupos fisiológicos de microrganismos acidogênicos e metanogênicos e sugeriram a avaliação da digestão anaeróbia com separação de fases para o tratamento da manipueira. Após ampla revisão de literatura constatou-se a não existência de estudos contemplando o tratamento de manipueira por *wetlands* construídas, pesquisas comprovaram a sua eficiência em remoções de poluentes de esgotos domésticos e até mesmo de outra tipologia industrial. A utilização do sistema de *wetlands* construídas no tratamento de efluentes de laticínios se mostrou eficiente quanto à remoção de poluentes, tendo redução superior ao método de ultrafiltração e filtro biológico (PRADO M.C.do et al., 2008). ZACARKIM, C. E. (2006), pesquisaram um sistema de *wetlands* construídas com macrófitas aquáticas *Eicchornia crassipes* no pós-tratamento de efluente de um curtume de acabamento. O sistema apresentou resultados promissores em termos de remoção a baixo custo operacional, com reduções de 73,41% a 79,91% de DQO, 48,94% a 83,51% de Fósforo total, 59,24% a 67,93% de Nitrogênio total, 73,6% a 87,7% Cromo, 26,5% a 52% de Enxofre, 60 a 78% para o Ferro e 58,5% a 80,4% para o Alumínio.

Nas *wetlands* construídas, por estarem preenchidos por água, predominam as condições anaeróbias, sendo três os principais mecanismos responsáveis pela transferência do oxigênio atmosférico para o meio: i) transferência pela raiz; ii) difusão do oxigênio no meio durante a percolação do efluente e, iii) convecção do oxigênio atmosférico por diferença de pressão. O escape de oxigênio pelas raízes favorece crescimento de bactérias nitrificantes e a inativação de compostos que seriam tóxicos para as raízes (USEPA, 1988; ARMSTRONG et al., 1990; BRIX, 1994).

A gramínea Tangola é um híbrido natural de capim-angola com *Tanner grass*. É moderadamente exigente em fertilidade e adapta-se bem em solos de várzea, suportando inundações. Também, é conhecido como capim tango, sendo bem aceito pelos equinos e bovinos (EMBRAPA GADO DE CORTE, 1997). IDE et al. (2000), em um trabalho sobre reuso de efluentes de matadouro em lagoas de estabilização na produção de biomassa verde, avaliaram um sistema de *wetlands* construídas utilizando a gramínea Tangola, onde se obteve valores de redução de 49,1% para DQO e 40,3% para DBO_{5, 20} com valores iniciais médios de DQO de 418,1mg.L⁻¹ e DBO_{5,20} de 68,3 mg.L⁻¹ aplicando um Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) de 2,4 dias. Tais remoções são consideradas significativas, tendo em vista que processos de pós-tratamento, sempre processam matéria orgânica de mais difícil degradação. No que diz respeito à remoção de nutrientes houve a remoção de 37,8% para P total. Portanto as alternativas de valorização de resíduos através do aproveitamento em diversas atividades têm sido muito incentivadas, já que podem contribuir positivamente para a minimização da poluição ambiental, bem como permitir a valorização econômica desses resíduos. Neste contexto torna-se necessário o aprimoramento de sistemas simplificados e de baixo custo, tais como: tanques sépticos, lagoas de estabilização, reatores anaeróbios, reuso e disposição no solo, *wetlands* construídas e outros.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho e o comportamento de *wetlands* construídas de fluxo subsuperficial cultivados com a gramínea Tangola sob a aplicação de manipueira em diferentes condições, visando à produção de biomassa verde com descarga zero de efluente, avaliando a qualidade química e nutricional em relação aos macro e micronutrientes.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados com manipueira proveniente de farinha, diluída para simular o efluente de fecularia, de acordo com FEIDEN (2001). A manipueira era coletada na caixa de retenção, localizada abaixo das prensas da massa ralada, na farinha. O lote era transportado até o laboratório de efluentes do DHT/CCET/UFMS em Campo Grande imediatamente após a coleta, e permanecia em decantação por 2 h para a remoção do amido residual. O sobrenadante era armazenado em garrafas do tipo PET e congelado à temperatura de -18 °C. A diluição era realizada imediatamente após o descongelamento antes de sua utilização, na proporção de suas características em relação à DQO da fecularia (DQO de aproximadamente 16.000mg.L⁻¹).

O experimento foi realizado em escala de bancada na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul no município Campo Grande – MS, em 4 (quatro) unidades de *wetlands* construídas em vidro (Figuras 1 e 2).

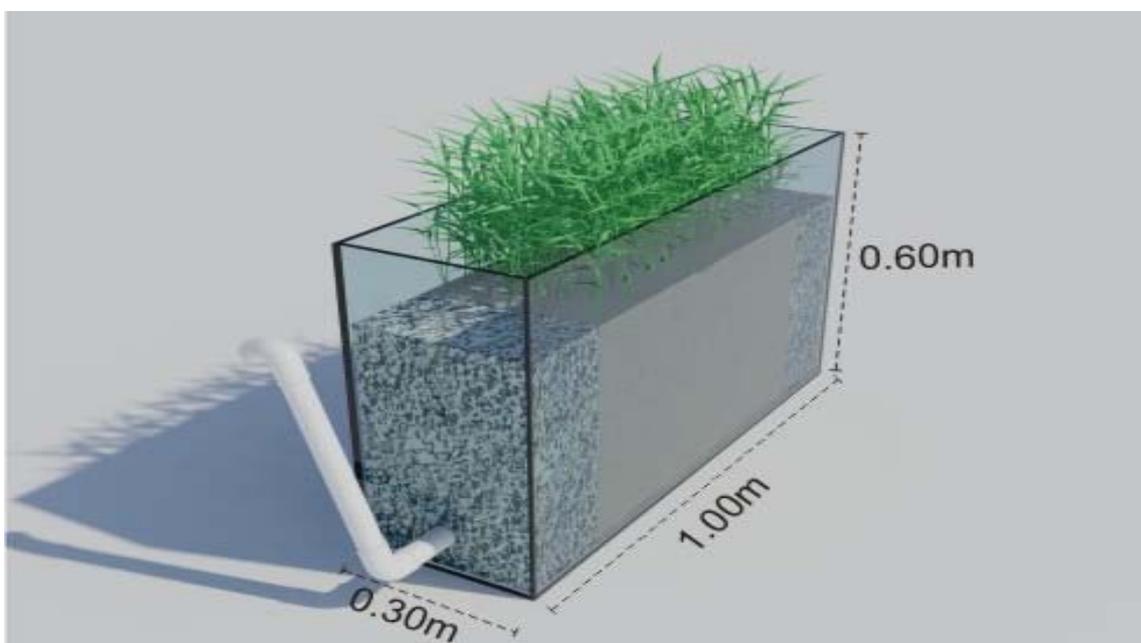


Figura 1 – Perspectiva das *wetlands* construídas - vegetadas

Para o dimensionamento estabeleceu-se tempo de detenção hidráulica (TDH) em torno de 4,5d e operação com fluxo subsuperficial (nível do líquido 10 cm abaixo da superfície). As dimensões das células eram as seguintes: 1,00m de comprimento, 0,30m de largura e 0,60m de altura. As unidades (W1, W2, W3 e Branco) foram preenchidas com areia fina (0,1% de matéria orgânica e pH 5,9) e faixas de brita zero, na entrada e na saída, para distribuir o fluxo ao longo de toda seção transversal da unidade.

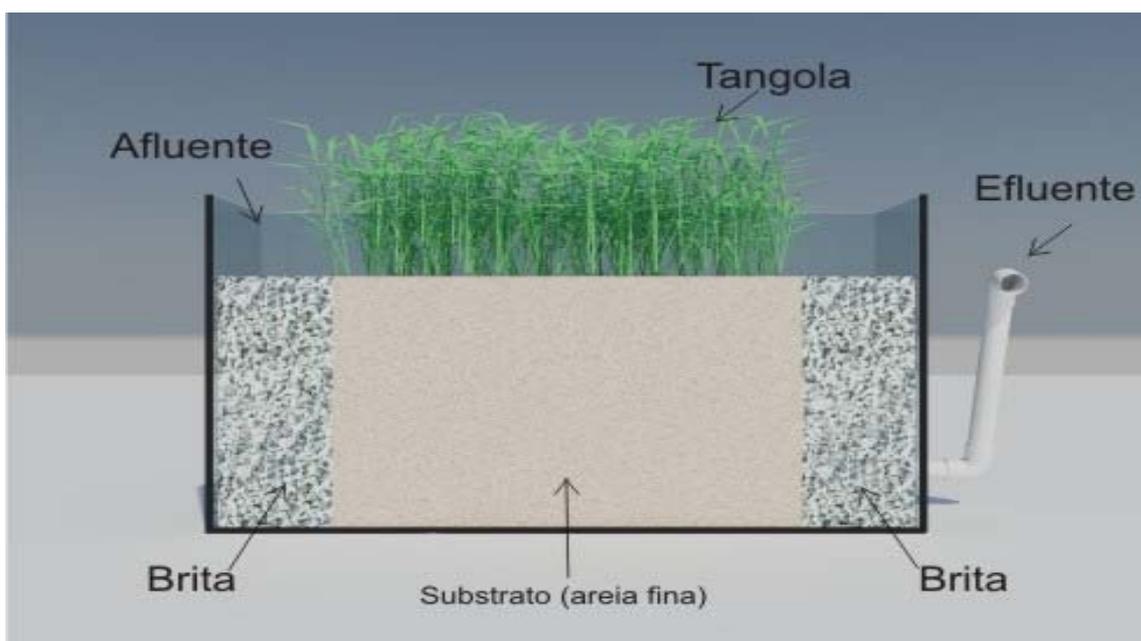


Figura 2 – Corte longitudinal das *wetlands* construídas - vegetadas

A areia serviu como meio suporte (substrato) para a gramínea Tangola (híbrido de *Brachiaria arrecta* (Tanner) x *Brachiaria mutica* (Angola)). Na saída de cada unidade, utilizou-se um tubo de PVC de ϕ 32 mm perfurado, ao longo da seção transversal, enrolado com Bidim[®] (manta geossintética), de modo a não permitir o arraste de substrato para fora do sistema. As unidades W1, W2 e W3 foram cultivados com três fileiras de gramíneas, com espaçamento de 12 cm entre as plantas, com profundidades entre 2,5 cm e 4 cm. Foram plantados um total de 27 estolões da gramínea por unidade. Estes propágulos foram coletados aleatoriamente em uma das células da ETE Lago do Amor da UFMS (Oliveira, 2008). O Branco foi utilizado como testemunha.

As *wetlands* construídas foram instaladas em posição onde as gramíneas ficaram mais expostas ao sol no período da manhã, e as laterais foram cobertas com papel alumínio, passando a refletir a luz solar evitando assim a incidência direta dos raios solares nas raízes das gramíneas e a proliferação de algas.

Através de teste realizado onde cada unidade foi preenchida com água até altura de 0,40 m, ou 0,10 m da superfície, encontrou-se um volume de vazios (volume útil) de aproximadamente 6,0 L, sendo assim, considerando a vazão afluente de cada unidade igual a $1,8 \text{ L}\cdot\text{d}^{-1}$, as *wetlands* construídas passaram a operar com as seguintes características: Tempo de Detenção Hidráulica (TDH), de 3,33 dias e Carga Hidráulica (CH) de $1,5 \text{ cm}\cdot\text{d}^{-1}$.

$$\text{TDH} = V_{\text{útil}} / Q_{\text{af}} \quad (\text{eq. 1})$$

Onde:

$V_{\text{útil}}$ = volume útil;

Q_{af} = vazão do afluente;

$TDH = 6,0 \text{ L} / 1,8 \text{ L.d}^{-1} = 3,33 \text{ dias}$.

A carga hidráulica (CH) foi obtida através da vazão afluente pela área de aplicação (equação 2).

$$CH = Q_{\text{af}} / A_s \quad (\text{eq. 2})$$

Onde:

CH = carga hidráulica;

Q_{af} = vazão afluente, em $\text{cm}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$;

A_s = área da superfície do leito (área transversal), em cm^2 .

Portanto

$$CH = 1800 \text{ cm}^3 \cdot \text{d}^{-1} / (30 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}) = 1,5 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$$

Nos primeiros 54 dias de operação, as *wetlands* construídas foram alimentadas somente com água para adaptação das mudas. Durante 191 (cento e noventa e um) dias foram alimentadas sistematicamente, por 181 (cento e oitenta e um) dias e com concentrações variadas com efluente (manipueira) diluído proveniente de um sistema de tratamento anaeróbio em duas fases (calha horizontal seguida de um reator UASB), descrito em OLIVEIRA et al. (2006) e BEZERRA (2007). Esta fase representou o período de adaptação das gramíneas ao tipo de efluente objetivo da pesquisa. Após essa etapa de adaptação o desempenho das *wetlands* construídas foi monitorado ao longo de 384 dias, em diferentes condições operacionais, e dividido em 03 (três) períodos, denominados de Período I, II e III. A aplicação de 1,8 L por unidade era feita diariamente e manualmente em todos os períodos. Os períodos foram divididos como segue: Período I – manipueira diluída sem prévio tratamento com DQO de 16 g.L^{-1} (duração de 91 dias); Período II - efluente do reator UASB (duração de 153 dias) e Período III - dividido em duas fases: 1) utilizando manipueira diluída sem prévio tratamento com adição de 5 g.L^{-1} de NaHCO_3 para ajuste de pH com DQO de 6 g.L^{-1} (janeiro/2008) e com DQO de 16 g.L^{-1} (duração:98 dias) e 2) no final do período, por 42 dias, não foi lançado nenhum tipo de efluente, tendo como alimentação apenas águas pluviais, para fazer uma comparação com o período de alimentação com efluentes citados anteriormente.

No Período I houve problema de colmatção durante a pesquisa, devido a alta concentração de sólidos encontrada na manipueira e a existência de sólidos oriundos da fase anterior, sendo necessária a realização da lavagem das britas presentes na seção de entrada, após 34 dias do início do experimento.

Amostras simples foram coletadas da entrada e saída das *wetlands* construídas para controle e avaliação da eficiência nos períodos I e III. Os parâmetros analisados foram: Temperatura, condutividade, salinidade, pH, turbidez, alcalinidade e DQO. As análises foram realizadas no Laboratório de Qualidade Ambiental (LAQUA) da UFMS, de acordo com as técnicas preconizadas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th ed (APHA, 2005). Diariamente, era monitorado o pH do efluente a ser aplicado nas *wetlands* construídas.

Ao final de cada período, foram coletadas amostras do substrato (20 cm de profundidade) com auxílio de “trado tipo cavadeira”. Foram retiradas três amostras simples (uma em cada extremidade e uma do meio), em cada *wetland* construída. Nas três *wetlands* construídas vegetadas com Tangola, as amostras simples foram transformadas em amostras compostas, onde foram misturadas todas as amostras simples da extremidade da entrada, saída e meio, para obter amostras compostas (foram denominadas de W_E1, W_S2, W_M3) e três amostras simples do Branco (BR1, BR2 e BR3). Os parâmetros analisados foram: pH, matéria orgânica, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, ferro, manganês, zinco, cobre. As análises seguiram a metodologia do Manual de Análises do Solo da EMBRAPA/CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS (1997). As análises de solo foram realizadas no Laboratório de Análise de Fertilidade de Solos do Departamento de Inspeção e Defesa Agropecuária de Mato Grosso do Sul (IAGRO).

As gramíneas foram coletadas para diagnóstico foliar e para verificação do estado nutricional das plantas, ao final de cada período. A poda foi realizada a uma altura de 30 cm do substrato. As análises de macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre) e micronutrientes (ferro, manganês, zinco, cobre) foram realizadas no Laboratório de Análise SOLOS – Consultoria e Informática Ltda. Para se fazer uma relação de resultados das *wetlands* construídas e servir como *background*, foram realizadas análises de solo e foliares de gramíneas de mesma espécie, cultivadas sem uso de fertilizantes, coletados na Chácara Águia, localizada no município de Campo Grande/MS.

As amostragens foliares ocorreram juntamente com a poda total das gramíneas de cada unidade e foram secas em estufa à 60° C. Após a secagem as amostras foram pesadas em balança eletrônica, obtendo-se o peso da matéria seca. A pesagem e secagem foram realizadas no Laboratório de Solos do Departamento de Hidráulica e Transportes do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da UFMS.

No acompanhamento do crescimento das gramíneas, a medição foi realizada com régua simples. Foram etiquetadas cinco gramíneas de cada parte das *wetlands* construídas

(extremidades e meio) e, em seguida, feita a média de crescimento. A evapotranspiração de referência (E_{t_0}) foi estimada em períodos mensais, conforme a disponibilidade de dados, pelo método Hargreaves (HAGR). O cálculo das estimativas da evapotranspiração de referência foi efetuado com o programa computacional (software), "Reference Evapotranspiration Calculator" REF-ET, desenvolvido por ALLEN (1991).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Desempenho das *wetlands* construídas

Durante o período de monitoramento desta pesquisa, foram realizadas apenas 4 (quatro), coletas de amostras sendo três no período I e uma no período III, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Condições da manipueira aplicada, crescimento, precipitação, parâmetros físico-químicos na entrada e saída das *wetlands* construídas e percentagem de remoção (média dos períodos).

	Período I (duração = 91 dias)	Período II ¹ (duração = 153 dias)	Período III (duração = 140 dias)			
Condições da manipueira aplicada	Diluída, sem tratamento DQO_{média} = 16g.L⁻¹ pH_{médio} = 4,29	Tratada em reator anaeróbio DQO_{média} = 2,7 g.L⁻¹ pH_{médio} = 7,11	Diluída, sem tratamento, adição de 5 gNaHCO₃.L⁻¹ DQO_{média} = 6g.L⁻¹ (2), 16g.L⁻¹ pH_{médio} = 6,00			
Crescimento média período (cm.d ⁻¹)	0,18	0,44	0,60			
Precipitação média período (mm.d ⁻¹)	10,35	10,85	7,00			
Análises físico-químicas						
Parâmetros	Entrada	Período I Saída	% rem	Período III Entrada	Saída	% rem
DQO (g.L ⁻¹)	16±1,3 (3)	9,29±1,70	42,0	5,8 (1)	1,9±1,04(1)	68,0
pH	4,18±0,08	4,8±0,07	-	6,8(1)	7,1±0,12(1)	-
Alcalinidade (g CaCO ₃ L ⁻¹)	NA	NA	NA	1,04(1)	0,8±0,2(1)	23,0
Sólidos Suspensos Totais (mg SST L ⁻¹)	1311±762(3)	99,2±56,2(3)	92,4	NA	NA	NA
Condutividade Elétrica (µS.cm ⁻¹)	1031,4±902(3)	1,35±0,07(3)	-	2,27(1)	2,30±0,54(1)	-
Turbidez (UNT)	1111,4±777(3)	58±6,6(3)	95,0	114(1)	31,1±6,5(1)	73,0
Salinidade (%)	0,9±0,28(3)	1,35±0,07(3)	-	1,2(1)	1,17±0,30(1)	2,5
Fósforo Total mg PO ₄ ⁻² L ⁻¹	105,2±77,11(3)	2,7±0,94(3)	97,4	NA	NA	NA
Nitrogênio Total (mg N L ⁻¹)	243,5±35,5(3)	53,1±5,4(3)	78,0	NA	NA	NA

¹ Não houve saída de efluentes no período

² Valor de DQO aplicado durante 31 dias do período III. Após, iniciou-se a aplicação de 16 g.L⁻¹ durante 67 dias. Nos últimos 42 dias deste período não houve aplicação de manipueira.

() O Valor entre parênteses indica o número de amostras analisadas

NA – Não Analisado

Na Figura 3, observa-se que em todos os períodos os valores de evapotranspiração calculados foram inferiores aos volumes de afluente aplicados diariamente nas *wetlands* construídas. Isto indica que não houve falta de umidade para o desenvolvimento das gramíneas. Não foram verificados vazamentos nas unidades.

Pela Figura 3 percebe-se que houve excesso do volume aplicado, por causa das precipitações, nesse período houve saída de efluentes nas *wetlands* construídas, porém as amostras foram descartadas não podendo ser realizadas análises físico-químicas por motivo da diluição do efluente inicial pela água da chuva.

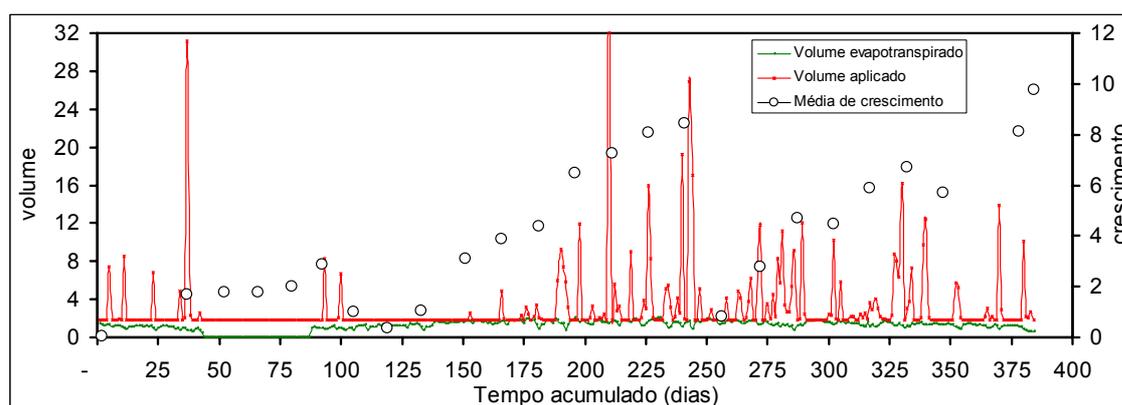


Figura 3- Relação do volume evapotranspirado, volume aplicado e média de crescimento.

O valor médio pH (4,18) observado no afluente aplicado no período I não se mostrou favorável para o desenvolvimento das gramíneas na entrada das *wetlands* construídas, que eram sujeitas ao contato direto com o efluente, durante a aplicação. Nesse período, houve queima das partes mais baixas das plantas principalmente na entrada das *wetlands* construídas. O mesmo ocorreu no período III, porém com menos intensidade, pois a média do pH foi de 5,95, o que não afetou no desenvolvimento das gramíneas. No período II o valor do pH se mostrou adequado, não provocando danos as gramíneas. Neste período pode-se observar uma superação aos demais, quanto ao aspecto vegetativo. Visualmente nesse período as gramíneas se desenvolveram com maior vigorosidade, apesar de que as médias de valores na taxa de crescimento não foram significativas comparando-se com o período III. OLIVEIRA (2008), em seu estudo, utilizando *wetland* construída vegetada com Tangola, para o tratamento de efluente doméstico e hospitalar, encontrou bons resultados de crescimento da vegetação com pH em torno da neutralidade.

A condutividade elétrica indica as concentrações de sais presentes no meio (PIVELI & KATO, 2005). No período I, observou-se que houve aumento nos valores da salinidade

comparando-se o afluente e efluente, possivelmente, em função da atividade biológica que degradou a matéria orgânica presente no sistema. Visualmente, constatou-se nas *wetlands* construídas na superfície do substrato o acúmulo de sais, o que pode ter interferido no desenvolvimento da Tangola, nesse período.

O valor médio de remoção de DQO foi de 42%, como média para as unidades. Deve-se levar em consideração que a carga orgânica aplicada ao sistema, devido à inexistência de um pré-tratamento, no período I, caracterizou-se por valores bastantes superiores aos encontrados na literatura. Por exemplo, BERTHOLDO (1999) verificou a eficiência e viabilidade de *wetlands* construídas para a remoção de poluentes de dois tipos de águas residuárias: os efluentes de Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manto de Lodo (UASB) utilizados no tratamento de esgoto doméstico; e os efluentes oriundos de águas pluviais da drenagem urbana mista. É importante ressaltar que, em termos de $DBO_{5,20}$ o pesquisador verificou a eficiência de remoção de cerca de 87,4% a 90,3%, mantendo os valores abaixo de 5mg.L^{-1} , ainda que a entrada do sistema apresentasse variações de $DBO_{5,20}$ ao longo de todo o experimento.

A turbidez está relacionada com a quantidade de sólidos em suspensão presentes no afluente e no efluente (PIVELI & KATO, 2005). Segundo TONIATO et al. (2005), sistemas de tratamento por *wetlands* construídas são eficazes na remoção de sólidos em suspensão e, conseqüentemente, da turbidez, pois o efluente passa por um processo de tamisação através do substrato. Portanto, as *wetlands* construídas com Tangola também operam como um filtro, através do seu substrato. No período I, no Branco obteve-se uma média de remoção de DQO de 41,33% e de sólidos suspensos de 80%.

Produção de biomassa verde

A capacidade individual das plantas em aumentar o seu crescimento e, assim, competir por luz, água, e nutrientes minerais determinam em grande parte, o seu sucesso em diferentes ambientes (MELO et al., 2005). Conforme a Tabela 1, pode-se notar que a menor média de crescimento desta pesquisa ocorreu no período I, período de baixa pluviosidade. As maiores médias de crescimento e de precipitação ocorreram no período II e III. Para o período III, a média de pH foi de 6,0, ou seja, sofreu um tamponamento podendo ter auxiliado na disponibilidade de alguns nutrientes importantes para o desenvolvimento vegetal através do favorecimento das reações de conversão dos mesmos para a forma assimilável pelas plantas. Verifica-se que, no período III houve uma elevação de N foliar ($16,06\text{ g.kg}^{-1}$) e o mesmo ocorreu com o elemento K ($24,7\text{ g.kg}^{-1}$), enquanto que no período I o valor de N foliar

observado foi de $10,40\text{g.kg}^{-1}$, de K foliar foi de $9,09\text{g.kg}^{-1}$. O pH ácido pode ter influenciado na pouca absorção de K pelas plantas nesse período. Também observou-se que as margens das folhas das gramíneas enrolaram-se e houve murchamento. Foi constatado no mesmo período, principalmente nas entradas das *wetlands* construídas nas partes baixas das gramíneas e nas folhas mais velhas, amarelamento que estava evoluindo para necrose, provavelmente pelo contato com o efluente ácido, causando a deficiência do K e, conseqüentemente, pouco desenvolvimento na planta (ANDA, 1971).

A matéria orgânica no solo influencia no crescimento das plantas através do seu efeito nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (STEVENSON, 1994). O valor de 16g.L^{-1} de DQO, aliados aos valores elevados ($1311,0\text{mg.L}^{-1}$) de sólidos suspensos e $1111,4\text{UNT}$ de turbidez do efluente aplicado, pode ter contribuído para a não formação de microrregiões aeróbias nas vizinhanças das raízes, impossibilitando a ocorrência de reações aeróbias necessárias para a conversão de amônia aplicadas a nitrato, para sua posterior absorção pelas plantas e/ou conversão a nitrogênio gasoso pelo processo de desnitrificação, justificando o baixo valor de produção de biomassa verde observado no período I. Deve-se ressaltar que nesse período as gramíneas ainda estavam se adaptando a manipueira diluída para 16g.L^{-1} , pois, anteriormente, ao início da pesquisa as *wetlands* construídas recebiam efluentes de um sistema de tratamento anaeróbio em duas fases (calha horizontal seguida de um reator UASB), com frequência indeterminada, devido à descontinuidade de saída desse efluente.

Torna-se importante considerar que, nos primeiros 31 dias do período III, foi aplicada manipueira diluída para 6g.L^{-1} podendo-se observar um ligeiro crescimento das gramíneas, com média de $0,4\text{cm.d}^{-1}$. A partir disso, durante 67 dias foi aplicada manipueira diluída (16g.L^{-1}), observando-se média de crescimento de $0,6\text{cm.d}^{-1}$. Nos últimos 42 dias deste período a aplicação do efluente foi paralisada e as *wetlands* construídas operaram sendo alimentadas somente com água da chuva, atingindo média de crescimento de $0,8\text{cm.d}^{-1}$. Pode-se observar que durante as diferentes fases desse período, houve uma progressão no crescimento das gramíneas. Constatou-se que a não aplicação de efluentes não interferiu no desenvolvimento da Tangola. Este fato pode ser explicado pela verificação visual nas *wetlands* construídas onde houve queima das partes mais baixas das plantas em todo o período, com menos intensidade que no período I, principalmente na seção de entrada das *wetlands*, onde o contato com o afluente era maior. Essa peculiaridade ocorrida pode estar relacionada com o método de aplicação do afluente adotado (por batelada). A média da matéria orgânica no substrato nos períodos II e III foi de 0,3%, enquanto que do Período I foi 0,23%. Este valor é semelhante à média da matéria orgânica encontrada no Branco neste

período que, também, foi de 0,23%, demonstrando que o pH ácido do efluente aplicado pode ter influenciado na quantidade de matéria orgânica no substrato. A concentração H^+ e OH^- , contida nas águas de irrigação, pode exercer influência na disponibilidade e absorção de nutrientes por parte das plantas, na estrutura e propriedades do solo (DUARTE et al., 2008).

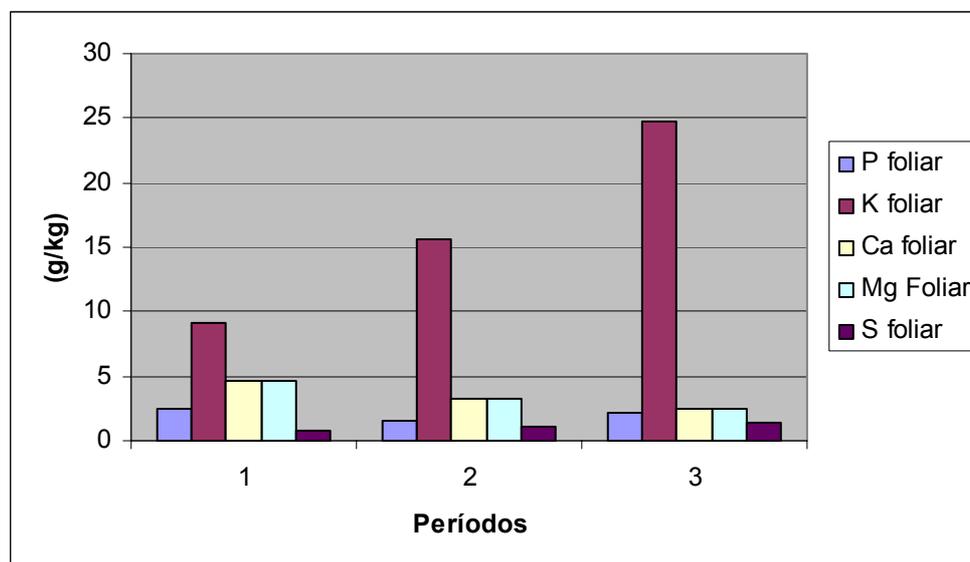


Figura 4 - Média de macronutrientes foliares nos períodos

No período II onde a aplicação de efluentes nas *wetlands* construídas foi realizada com manipueira tratada em reator anaeróbio com DQO de $2,7 \text{ g.L}^{-1}$, média de pH do efluente 7,11 e do substrato de 8,00, sendo que a média de precipitação de $10,85 \text{ mm.d}^{-1}$, verificou-se que a média de crescimento foi de $0,44 \text{ cm.d}^{-1}$, sendo que visualmente as folhas das gramíneas recuperaram sua coloração verde normal e apresentaram-se mais vigorosas que nos demais períodos, com média de Nitrogênio foliar de $14,24 \text{ g.kg}^{-1}$. Pela figura 4, observa-se pouco fósforo nas folhas quando comparado com os outros períodos. Provavelmente as plantas não absorveram o P do substrato (Figura 6), talvez devido a presença do ferro (Figura 7), em maior concentração, que pode ter afetado o transporte desse nutriente. Para uma comparação em termos nutricionais, utilizou-se valores disponíveis na literatura para estimar a proporção de NPK em manipueira gerada em uma farinheira (DAMASCENO, et al., 1999; CEREDA, 2000; FERNANDES Jr., 1995; BARANA, 1996; BARANA, 2000b e RIBAS & BARANA, 2003). Nos fertilizantes comerciais, a proporção de NPK recomendado para gramíneas é de 20:10:15. O valor encontrado para a manipueira baseado na concentração média de farinheiras foi de 2,52:0,25:2,38. Estes valores indicam que a proporção de fósforo não é a indicada,

ficando abaixo do recomendado enquanto que para nitrogênio e potássio o valor é bem próximo do adequado.

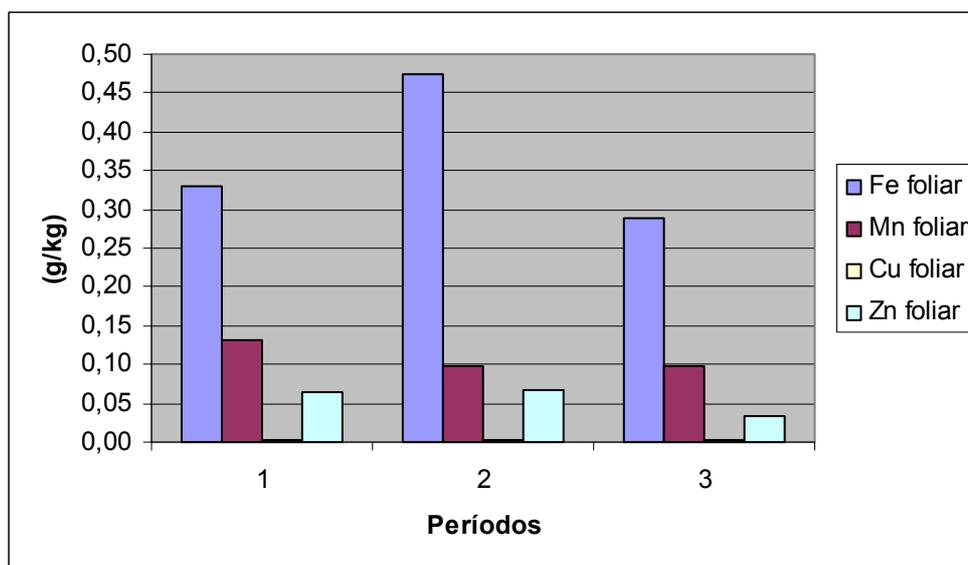


Figura 5 - Média de micronutrientes foliares nos períodos

Os diferentes tipos de aplicação de manipueira nas *wetlands* construídas utilizada nessa pesquisa teve efeito direto no pH do substrato, cujo valor inicial na areia foi de 5,9 e a média no substrato ficou na faixa de 8,0. Os macronutrientes(N, P, K, Ca, Mg e S), encontram-se mais disponíveis em solos de pH mais elevado (OLIVEIRA et al 2005). Na figura 7, nota-se carência de Zn no substrato, que aparece com maior valor nas folhas, (Figura 5), fato que pode ter sido influenciado pela presença de maior valor de P no substrato nos períodos, pois há um efeito interiônico entre esses elementos, com inibição não competitiva (MALAVOLTA, 1997).

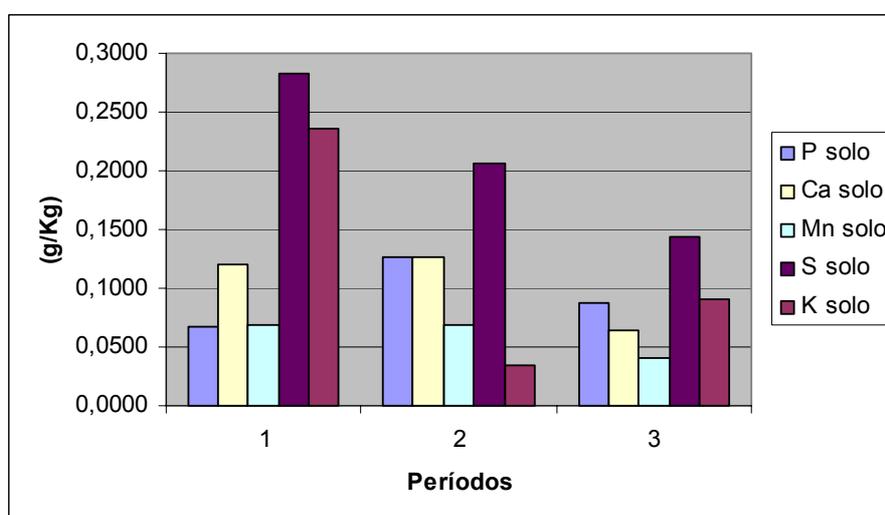


Figura 6 - Média de macronutrientes no solo (substrato) nos períodos

Observou-se através da diagnose foliar que, nos três períodos, foi encontrado maior proporção de Ca nas folhas do que nos substratos das *wetlands* construídas, pode-se perceber que a toxicidade do Mn não interferiu no teor de Ca. Comparando-se com uma gramínea da mesma espécie cultivada em um solo de pH 5,2, sem adição de fertilizantes comerciais ou efluentes, o Ca foliar foi de $3,69 \text{ g.kg}^{-1}$.

Observou-se que a diferença de valor médio de Ca foliar das *wetlands* construídas ($3,5 \text{ g.kg}^{-1}$) não foi significativa. Porém, o valor deste elemento na média dos substratos das *wetlands* construídas ($0,10 \text{ g.kg}^{-1}$) reduziu relativamente quando comparado ao valor da areia utilizada no substrato $0,20 \text{ g.kg}^{-1}$ e do Branco $0,15 \text{ g.kg}^{-1}$, demonstrando que as plantas absorveram o Ca, principalmente, no período I, quando aplicava manipueira diluída sem prévio tratamento.

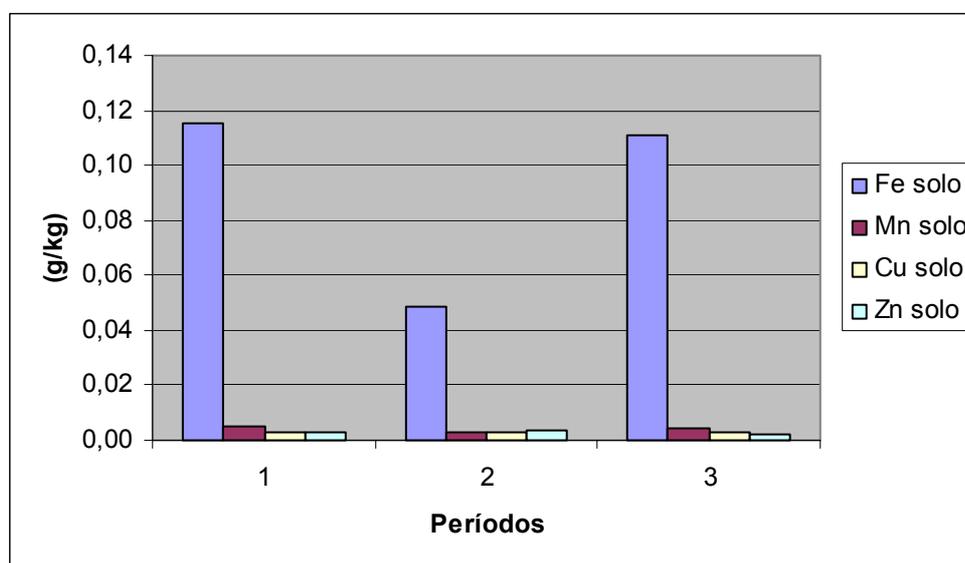


Figura 7 - Média de micronutrientes no solo (substrato) nos períodos

O valor médio de Mg nos substratos das *wetlands* construídas foi de ($0,06 \text{ g.kg}^{-1}$) uma diferença mínima para o solo sendo considerado natural, ou seja, sem adição de fertilizantes ou efluentes ($0,05 \text{ g.kg}^{-1}$) e Mg foliar das gramíneas das *wetlands* construídas ($3,46 \text{ g.kg}^{-1}$) e das gramíneas cultivadas em solo natural ($2,8 \text{ g.kg}^{-1}$). Isso pode-se explicar pela acidez do solo natural e pela presença de alumínio ($0,063 \text{ g.kg}^{-1}$), o que pode ter causado, também, o baixo valor do Fósforo ($0,0011 \text{ g.kg}^{-1}$). De acordo com FOY (1984), a toxicidade de alumínio é o principal fator limitante ao estabelecimento de diferentes culturas em solos ácidos.

A presença do mineral Enxofre nas folhas foi maior no período III e menor no período I, o baixo teor neste período pode estar relacionado com o pH do efluente lançado (4,29), podendo ser um agravante na diminuição da disponibilidade do S às plantas. A matéria orgânica é,

também, fundamental para a manutenção de teores de enxofre adequados as gramíneas, o que pode ter ocorrido no período I, foi que a porcentagem de matéria orgânica no substrato foi de 0,23%, agronomicamente considerado baixo. Comparando-se com a gramínea do solo natural que, apesar do pH do solo ser de 5,2, os valores do enxofre nas folhas foi relativamente pequeno no do período III. Provavelmente a presença da matéria orgânica no solo natural de cerca de 1,42% pode ter influenciado no valor do S foliar. Em solos sob vegetação natural, considera-se que a matéria orgânica está em estado estacionário, ou seja, não há variação no seu teor (BAYER & MIELNICZUK, 1999).

Em termos de produção da massa verde, o período III obteve a maior produção (1,03 g.d⁻¹), provavelmente, pelo maior crescimento em todo período, considerando os últimos 42 dias, teve média de crescimento de 0,60 mm.d⁻¹. Certamente por ter obtido maior valor de N e K foliar, elementos importantes para o crescimento das plantas, com valores de 10,40 g.Kg⁻¹ e 9,09 g.Kg⁻¹ respectivamente e menor valor de precipitação nesse período, conseqüentemente menor lixiviação. Segundo estudo feito por PAUL & CLARK em 1996 apud MOREIRA & SIQUEIRA (2002), os autores estimaram que as perdas por desnitrificação e lixiviação são os principais processos de perdas de N do solo e juntos contribuem com 72% desta. Os autores também estimaram valores para os principais fluxos de N, abrangendo os processos mais importantes de adição e perdas de N no solo.

CONCLUSÃO

A produtividade da biomassa verde e concentrações de macro e micronutrientes variou de acordo com as condições climáticas e com as diferentes condições de aplicação da manipueira. Verificou-se visualmente que, com valores de pH pouco acima da neutralidade (7,11), média precipitação e baixa concentração de matéria orgânica ($2,7\text{g.L}^{-1}$) no afluente, as folhas das gramíneas recuperaram as partes queimadas e conseqüentemente sua coloração verde normal e apresentaram-se mais vigorosas com boa média de N foliar. *Wetlands* vegetadas com Tangola alimentadas com manipueira diluída sem tratamento com média de DQO = 16g.L^{-1} e pH médio = 4,29 apresentaram as seguintes remoções de matéria orgânica (DQO) (42,0%), sólidos suspensos Totais (92,4%), turbidez (95,0%), fósforo total (97,4%) e nitrogênio total (78,0%). Fazendo uma comparação em termos de remoção de matéria orgânica (DQO) com as *wetlands* vegetadas com Tangola alimentadas com manipueira diluída sem tratamento com média de DQO = 16g.L^{-1} e 6g.L^{-1} e pH médio = 6,0, estas, apresentaram maiores remoções de matéria orgânica (DQO) (68,0%), nesse período houve um aumento na condutividade, do efluente em relação ao afluente. O valor de 16 g/L de DQO, aliados a altos valores de sólidos suspensos e de turbidez do afluente aplicado, contribui para baixo valor de produção de biomassa verde.

O pH ácido pode ter influenciado na pouca absorção de K pelas plantas, ocasionando murchamento, amarelamento e enrolamento das margens das folhas das gramíneas.

As concentrações de macro e micronutrientes tiveram variações significativas tanto foliares como no substrato para os diferentes tipos de condições de aplicação da manipueira. Logo pode-se concluir, que as *wetlands* construídas atendem eficazmente ao princípio de remoção de poluentes contidos na manipueira e o aprofundamento da pesquisa dimensionará o seu valor real.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABAM - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE MANDIOCA. PRODUÇÃO, MERCADO CONSUMIDOR E EXPORTAÇÕES DO AMIDO. Disponível em: <http://www.abam.com.br>. Acesso em 23 de janeiro 2009.
- ANDA - ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. *Manual de Adubação*, 1 ed. São Paulo, 1971. 265 p.
- ANRAIN, E. Tratamento de efluentes de fecularia em reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E

- AMBIENTAL, 12,1983, Balneário Camburiú :Fundação de Amparo à Tecnologia e ao Meio Ambiente, 1983.p.1-21.
- APHA; AWWA; WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21th edition. Washington DC: American Public Health Association, 953p,2005.
- ARONOVICH, S.; ROCHA, G.L. Gramíneas e leguminosas forrageiras de importância no Brasil Central Pecuário. *Informe Agropecuário*, v.11, n.132, p.3-13, 1985.
- BARANA, A.C. *Estudo de carga de manipueira em fase metanogênica em reator anaeróbio de fluxo ascendente e leito fixo*. Botucatu, 1996. 80p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- _____. *Avaliação de tratamento de manipueira em biodigestores fase acidogênica e metanogênica*. Botucatu, 2000b. 95p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- BARANA, A. C., CEREDA, M. P. Cassava wastewater (manipueira) treatment using a two-phase anaerobic biodigester. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.20, n.2, p.183-186, 2000.
- BAUMGARTNER, J.G. *Nutrição e adubação*. In: RUGGIERO, C. ed. Maracujá. Ribeirão Preto, UNESP, SP: 1987. p.86-96.
- BAVOR, H. J.; ROSER, D. J. & ADCOCK, P. W. Challenges for the development of advanced constructed wetlands technology. *Water Science and Technology*, v. 32, n. 3, p. 13-20, 1995.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). *Matéria orgânica do solo: fundamentos e caracterização*. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 9-26.
- BERTHOLDO, D. T. *Eficiência de banhados construídos no tratamento de águas provenientes da drenagem urbana e no pós-tratamento de efluentes líquidos tratados por processo anaeróbio (Reator UASB) e no tratamento de drenagem urbana*. Farroupilha - RS. Porto Alegre, 1999. 115p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. Curtumes. In: _____. *Manual de tratamento de águas residuárias industriais*. São Paulo: CETESB, 1993. p. 233-278.
- BRASKERUD, B.C. Factors affecting nitrogen retention in small constructed wetlands treating agricultural non-point source pollution. *Ecological Engineering*, 18: 351-370,2002.
- BRIX, H. Wastewater treatment in constructed wetlands: system design, removal processes and treatment performance. In: *Constructed Wetland for a Water Quality Improvement*, Moshiro, G. A. (ed.), p. 9-12, 1993.

- BRIX, H. Function of macrophytes in constructed wetlands. *Water Science and Technology*, vol 29, n. 4, p. 71-78, 1994.
- BRIX, H. Macrophytes play a role in constructed treatment wetlands? *Wat. Sci. Tech.*, v.35, n.5, pp. 11-17, 1997.
- CAMPOS, J.C., FERREIRA, J.A., MANNARINO, C.F., SILVA, H.R., BORBA, S.M.P. *Tratamento do chorume do aterro sanitário de Pirai (RJ) utilizando wetlands*. In: VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Anais, Vitória-ES: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002.
- CEREDA, M.P.; VILPOUX, O. Farinhas e derivados. In: CEREDA, M.P. (Coord.) Série: *Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas V.3 - Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas latino Americanas*. v.3. São Paulo: Fundação Cargill, p.576-621, 2003.
- CEREDA, M.P. Caracterização dos subprodutos da industrialização da mandioca. In: CEREDA, M.P. (Coord.) Série: *Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas V.4 - Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca*. São Paulo: Fundação Cargill, p.13-37, 2000.
- CEREDA, M.P.; FLORS, A.; VALLÉS, S.; ALBEROLA, J. Tratamiento anaerobio en dos fases de suspensiones amiláceas. I - Fase acidogênica. *Revista Agroquímica de Tecnología de Alimentos*, v. 26, p. 101-108, 1986.
- COOPER, P.F., JOB, G.D., GREEN, M.B. E SHUTES, R.B.E. (1996). Reed Beds and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. *Swindon: WRc plc*. 184p.
- COSTA, C.S.B.; MARANGONI, J.C. & AZEVEDO, A.M.G. 2003. Plant zonation in irregularly flooded salt marshes: relative importance of stress tolerance and biological interactions. *Journal of Ecology*, 91(6): 951-965.
- DAMASCENO, S.; CEREDA, M.P.; PASTORE, G.M. Desenvolvimento de *Geotrichum fragrans* em manipueira. *Energia na Agricultura*, v.14, n.2, p.7-14, 1999.
- DEL BIANCHI, V. L. *Balanço de massa e de energia do processamento de farinha de mandioca em uma empresa de médio porte do Estado de São Paulo*. Botucatu, SP: USP, 1998. Tese de Doutorado, Faculdade de Ciências Agrônômicas.
- DIAS FILHO, M.B. *Opções forrageiras para áreas sujeitas a inundações ou alagamento temporário*. In: PEDREIRA, C.G.S.; MOURA, J.C. de; DA SILVA, S.C.; FARIA, V.P. de (Ed.). 22º Simpósio sobre manejo de pastagem. Teoria e prática da produção animal em pastagens. Piracicaba: FEALQ, 2005, p.71-93. 14
- DIAS, J. C. S. A fertilização e a qualidade dos produtos alimentares de natureza vegetal. *Investigação Agrária* N.º 2, pp 50-51,2000.

- DOORENBOS, J., PRUITT, W.O. Guidelines for predicting crop water requirements. *Irrigation and Drainage Paper*, 24, Roma FAO, 144p. 1975.
- DUARTE S. C., LINHARES G. F. C., ROMANOWSKI T.N., NETO O.J.S., BORGES L.M.F. Assessment of primers designed for the subspecies-specific discrimination among *Babesia canis canis*, *Babesia canis vogeli* and *Babesia canis rossi* by PCR assay. *Vet Parasitol* 152: 16-20, 2008.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Manual de análises do solo*. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. 212p, 1997.
- EMBRAPA - CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ E FEIJÃO. *Informações técnicas para o cultivo de feijão*. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1996. 32p.
- FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; JONES, C.A. *Growth and mineral nutrition of field crops*. New York : M. Dekker, 1991. 476p.
- FEIDEN, A. *Tratamento de águas residuárias de indústria de fécula de mandioca através de biodigestor anaeróbio com separação de fases em escala piloto*. Botucatu, 2001, 80p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- FERNANDES JÚNIOR, A.; CEREDA, M.P. Influência do tempo de retenção hidráulica (TRH) sobre a fase acidogênica da digestão anaeróbia de manipueira. *Energia na Agricultura*, Botucatu, v.11, n.3, p.1-7, 1996.
- FERNANDES JR., A. *Digestão anaeróbia de manipueira em separação de fases: cinética da fase acidogênica*. Botucatu, 1995. 139p. Tese de Doutorado - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista (UNESP).
- FERNANDES Jr, A. *Ocorrência de instabilidade e forma de seu controle na digestão anaeróbia de manipueira, em reator de bancada de mistura completa*. Botucatu, 1989. 118p. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- FERREIRA NETO, C. J.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Avaliação físicoquímica de farinhas de mandioca durante o armazenamento. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v. 5, n. 1, p. 25-31, 2003.
- FIORETTO, R. A. Uso direto da manipueira em fertirrigação. Série: *Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas* - Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca. v 4. Fundação Cargill. São Paulo, 2001.
- FOY, C.D. Physiological effects of hydrogen, aluminum and manganese toxicities in acid soil. In: ADAMS, F., ed. *Soil acidity and liming* 2.ed. Madison, Soil Science Society of America, 1984. p.57-97.

- GALETI P.A. 1989. *Guia do Técnico Agropecuário: Solos*. 1a . ed. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola. 41 p.
- GAMEIRO, A.H. *Mandioca: de alimento básico à matéria-prima industrial*. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo, 2p. 2002. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/imprensa>>.
- GUNTENSPERGEN, G. R., STEARNS, F. & KADLEC, J. A. *Wetland vegetation*. Anais: 1st International Conference on Constructed Wetlands for Wastewater Treatment, Chattanooga – Tennessee/USA, vol. I, n. 5, p. 73-88, junho/1988.
- IDE, C.N.; BARBEDO, A.G.A.; ROCHE, K.F.; IMOLENE, L.M.; VAL, L.A.A. do. *Reuso de efluentes de lagoas de estabilização na produção de biomassa verde*. In: XXVII CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 2000, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: AIDIS/ABES, 2000.
- INIA - *Manual de fertilização das culturas*. INIA – Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva, Lisboa,2000.
- IWA - *Constructed Wetlands for Pollution Control; Processes, Design and Operation*. Scientific and Technical Report No. 8. London, England: *IWA Publishing*. 156p, 2000.
- KADLEC, R. H. “Overview: surface flow constructed wetlands”. *Wat. Sci. and Tech.*, v. 32, n 3, p. 1-12, 1995.
- KADLEC, R.H. e KNIGHT, R.L. *Treatment Wetlands*. Boca Raton, *Florida: Lewis Publishers*. 893p.1996.
- KIVAISI, A. K. The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review. *Ecological Engineering*, nº.16, p.545 - 560, 2001.
- KLIEMANN, H.J.; CAMPELO JUNIOR, J.H.; AZEVEDO, J.A. de; GUILHERME, M.R.; GEN, P.J. de C. Nutrição mineral e adubação do maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims). In: HAAG, H.P., ed. *Nutrição mineral e adubação de frutíferas tropicais no Brasil*. Campinas, SP: Fundação Cargill, 1986. p.245-284.
- LEONEL, M.; CEREDA, M.P. Avaliação técnico-econômica da produção de etanol de farelo de mandioca, utilizando pectinase como enzima complementar. *Energia na Agricultura*, Botucatu, v.13, n.2, p.1-14, 1998.
- LETTINGA, G. Anaerobic and wastewater treatment systems. *Antonie van leeuwenhoek*, Dordrecht, v.67, p.3-28, 1995.
- LIMA FILHO, J.M.P.; DRUMOND, M.A.; MACENO, D. da S. Comportamento fisiológico de *Leucena* e *Albizia* sob condições semi-áridas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.27, n.4, p.537- 542, abr. 1992.
- LIMA, U. A. *Manual técnico de beneficiamento e industrialização da mandioca*. São Paulo: Secretaria de Ciência e Tecnologia, 1982. 56 p. (Programa Adequação).

- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Piracicaba, SP: POTAFOS, 1989. 201p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. *Avaliação do estado nutricional das plantas. princípios e aplicações*. 2 ed. Piracicaba/SP: Potafos, 1997, p.319.
- MANSOR, M.T.C. *Uso de leito de macrófitas no tratamento de águas residuárias*. 1998. Dissertação (mestrado Engenharia Agrícola/Água e Solo) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998. 106p.
- MANUAL DE SOLOS, FERTILIZAÇÃO - elaborado por João Cunha – Disponível em www.forma-te.com/.../1527-manual-solo-e-fertilizacao.html>. Acessado em 20/12/2008.
- MELO, P. T. B. S. Quando a semente faz a diferença. *Revista Seed News*. Pelotas, 2005. p.08-09. Disponível em: <<http://www.seednews.com.br>>. Acessado em 20/12/2008.
- MICHELS, I. CARVALHO, M. da C. MENDONÇA, C. G. *Mandioca. Campo Grande, MS:Ed. UFMS, 2004, 190p.*
- MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA J.O. Transformações bioquímicas e ciclos dos elementos do solo. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA J. O. (Ed.). *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras: editora UFLA, 2002. p. 626.
- MOTTA, L.C. & CEREDA, M.P. *Utilização de manipueira da mandioca em digestão anaeróbia*. Botucatu, 1985, 119p. Tese (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura,-) Faculdade de ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1985.
- OLIVEIRA A. dos S., *Desempenhos de banhados construídos vegetados com tangola, no pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios*. [Monografia]. Campo Grande: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2008.
- PAUL, E.A. & CLARK, F.E. *Soil Microbiology and Biochemistry. California: Academic Press, 340 p., 1996.*
- PARIZOTTO, A.A. *Eficiência de lagoas de sedimentação na remoção de cargas orgânicas, nutrientes e coliformes totais em despejos industriais de fecularias*. 1999. 113 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Meio Ambiente) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 1999.
- PRADO M.C.do, e CABANELLAS C.F.G. - Eficiência do Sistema Alagado Construído no Tratamento de Efluentes de Laticínios em Relação a Ultrafiltração e Filtro Biológico. *I Jornada Científica e VI FIPA do CEFET - Bambuí/MG -2008.*
- PENMAN, H. L. Evaporation : an Introductory Survey. *Neth. J. Agric. Sci*, n. 4, p.9-29.1956.
- PEREIRA, D. S. P. e BALTAR, L. A. A. *Saneamento e recursos hídricos: os desafios da integração e a urgência da prioridade*. In: MUÑOZ, H.R. (org). *Interfaces da gestão de*

- recursos hídricos - Desafios da Lei de Águas de 1997. Brasília: Ministério do Meio Ambiente/Secretaria dos Recursos Hídricos, 2000.
- PIVELI, R. P., KATO, M. T. *Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos*. Editora ABES. 2005, 285 p.
- PHILIPPI, L. S., SEZERINO, P. H. *Aplicação de sistemas tipo wetlands no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas*. Florianópolis, Santa Catarina. 1ª Edição. 2004.
- PLATZER, C. Design recommendation for subsurface flow constructed wetlands for nitrification and denitrification. *Wat.Sci. Tech.*, v. 40, n. 3, pp. 257-263,1999.
- RIBAS & BARANA - *Start up adjustmente of a plug – flow digester for Cassava Wastewater (manipueira) treatment – UNESP/CERAT.Piracicaba, Brazil, Vol.60, Apr/june – 2003.*
- RODRIGUES, M. B. *Efeito da fertirrigação com águas residuárias de laticínios e frigorífico em Latossolos Roxo Eutrófico.Cascavel, Paraná, 2001, Dissertação (Mestrado)-Universidade do Oeste do Paraná.*
- ROSTON, D. M. *Uso de várzeas artificiais para tratamento de efluente de tanque séptico*, In: XXIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, Anais... Campinas - SP, julho/1994, n. 94-7-210.
- SEIFFERT, N.F.; THIAGO, L.R.L. de. *Legumineira - cultura forrageira para produção de proteína*. Campo Grande: Embrapa-CNPGC, 1983. 52p. (Embrapa-CNPGC. Circular técnica, 13).
- SHUTES, R. B. E. Artificial wetlands and water quality improvement. *Environment International*, v.26, n.5-6, May/2001. p.441- 447
- SILVA, M.A.; CHOUDHURY, E.N.; GUROVICH, L.A.; MILLAR, A.A. *Metodologia para determinar as necessidades de água das culturas irrigadas*. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1981. 85 p. (Boletim de Pesquisa, 4)
- SILVESTRE, A; JESUS M.P. *Tratamento de Águas Residuais Domésticas em Zonas Húmidas Artificiais*, Lisboa, Portugal, 2002. Originalmente apresentado como trabalho final de curso em Licenciatura em Engenharia do Ambiente, Instituto Superior Técnico, 2002.
- SOARES FILHO, C.V. *Brachiaria – espécies e variedades recomendadas para diferentes condições*. Campinas: CATI, 1996. 26p. (CATI. Boletim Técnico, 226).
- SOARES, João Vianeí. *Introdução a Hidrologia de Florestas*. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2000.
- SOUTO, S.M.; MONTEIRO, M.C.C da, LUCAS, E.D. Estudo de seis espécies forrageiras do gênero *Brachiaria*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Série Zootecnia. Rio de Janeiro. v. 9, p. 17-20, 1977.

- SOUZA, J. T. de, HAANDEL, A. V., LIMA, E. P. da C., HENRIQUE, I. N. – *Utilização de Wetlands construído no pós - tratamento de esgotos domésticos pré - tratados em reator UASB* – Engenharia Sanitária e Ambiental – Anais... Vol. Nº 4 , p 285-290, out/dez 2004.
- SOUZA, L. E. L. & BERNARDES, R. S. *Avaliação do desempenho de um RAFA no tratamento de esgotos domésticos, com pós-tratamento através de leitos cultivados*. In: SIMPÓSIO ITALO-BRASILIANO DE INGENIERÍA SANITARIA-AMBIENTALE, Gramado/RS, v. I, n. 9, junho/1996.
- STEVENSON, F.J. *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions*. 2.ed. New York: John Wiley, 1994.496p
- TAKAHASHI, M. Aproveitamento da manipueira e de resíduos do processamento da mandioca. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.13, n.145, p.83-7, 1987.
- TONIATO M.T.Z; LEITÃO-FILHO, H.F. & RODRIGUES R.R. Fitossociologia de um remanescente de Floresta higrófila (mata de brejo) em Campinas, SP. *Revista Brasileira de Botânica*, v.21, n.2, p.197-210, 1998.
- TORRES, P.; RODRÍGUES, J.A.; URIBE, I.E. Tratamiento de águas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca en filtro anaerobio: influencia del medio de soporte. *Scientia et Technica*, Pereira - Colombia, v.29, n.23, p.75-80, 2003
- U.S.E.P.A. *Design manual on constructed wetlands and aquatic plant systems formunicipal wastewater treatment*, EPA/625/1-88/022, CERL, Cincinnati, OH, 1988
- VALENTIM, M. A. A. - *Desempenho de leitos cultivados (Constructed wetland) para tratamento de esgoto: contribuições para concepção e operação* - Campinas, SP: [s.n.], 2003.
- VALENTIM, M. A. A. *Uso de leitos cultivados no tratamento de efluente de tanque séptico modificado*. FEAGRI – Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP, Campinas/SP, 1999. 119 p. (Dissertação de Mestrado).
- VALÉRIO, J.R. *Percevejo-das-gramíneas: Blissus leucopterus ou Blissus antillus ?* Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2000. 4p. (Embrapa Gado de Corte Divulga, 43).
- VILELA, E. R.; JUSTE JUNIOR, E. S. G. Tecnologia da farinha de mandioca. *Informe Agropecuário*, v. 145, n. 13, p.60-62, 1987.
- VILELA, E.R., FERREIRA,M.E. Tecnologia de produção e utilização do amido de mandioca *Informativo Agropecuária*, v.13, n. 145, p. 69-74,1987.
- VILPOUX, O.F. Processos de produção de fécula de mandioca: comparação Brasil, Tailândia e China. In: CEREDA, M.P. e VILPOUX, O. F. *Tecnologia, Usos e Potencialidades de Tuberosas Amiláceas Sul Americanas*. São Paulo, 2003. v. 3., Cap. 7, p. 143 - 175.

VYMAJAL, J. *Types of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*. Proceedings: 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON WETLAND SYSTEMS FOR WATER POLLUTION CONTROL, pp. 150-160, Águas de São Pedro/SP, out/1998.

ZACARKIM C. E. –*Uso de sistema de wetland construído no pós-tratamento de efluente de curtume* - Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Campus Marechal Cândido Rondon – Centro de Ciências Agrárias – Programa de pós graduação em agronomia –mestrado-setembro 2006.Paraná.

ZHU, T. & SIKORA, F.J.. “Ammonium and nitrate removal in vegetated and unvegetated gravel bed microcosm wetlands”, *Wat. Sci. and Tech.*, vol 32, no 3, pp. 219-218,1995.

WELCH, R. M. Micronutrient nutrition of plants. *Critical Reviews in Plant Nutrition*, v. 14, p. 49-87, 1995.