



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus de São José do Rio Preto

Valdenia Cristina Mendes Mendonça

Tratamento de manipueira concomitante à produção de tomate,
através de sistema integrado RAHLF (Reator Anaeróbico Horizontal de
Leito Fixo) e fertirrigação subsuperficial

São José do Rio Preto -SP
2016

Valdenia Cristina Mendes Mendonça

Tratamento de manipueira concomitante à produção de tomate,
através de sistema integrado RAHLF (Reator Anaeróbio Horizontal de
Leito Fixo) e fertirrigação subsuperficial

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia e Ciência de Alimentos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, Área de Concentração - Ciência e Tecnologia de Alimentos, do Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus São José do Rio Preto.

Financiadora: CAPES

Orientador: Prof. Dr. Vanildo Luiz Del Bianchi

São José do Rio Preto-SP
2016

Mendonça, Valdenia Cristina Mendes

Tratamento de manipueira concomitante à produção de tomate, através de sistema integrado RAHLF (Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo) e fertirrigação subsuperficial / Valdenia Cristina Mendes Mendonça. - São José do Rio Preto, 2016.

149 f. : il. ; tabs.

Orientador: Vanildo Luiz Del Bianchi

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas

1. Tecnologia de alimentos. 2. Mandioca – Indústria. 3. Manipueira. 4. Águas residuais como fertilizantes. 5. Digestão anaeróbia. 6. Fertirrigação. 7. Tomate – Cultivo. I. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas. II. Título.

CDU – 628.31:664.27

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do IBILCE
UNESP - Câmpus de São José do Rio Preto

Valdenia Cristina Mendes Mendonça

Tratamento de manipueira concomitante à produção de tomate,
através de sistema integrado RAHLF (Reator Anaeróbio Horizontal de
Leito Fixo) e fertirrigação subsuperficial

Tese apresentada como parte dos requisitos
para obtenção do título de Doutor em
Engenharia e Ciência de Alimentos, junto ao
Programa de Pós-Graduação em Engenharia e
Ciência de Alimentos, Área de Concentração -
Ciência e Tecnologia de Alimentos, do Instituto
de Biociências Letras e Ciências Exatas da
Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho”, Campus São José do Rio
Preto.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Vanildo Luiz Del Bianchi
UNESP- São José do Rio Preto
Orientador

Prof^a. Dr^a. Gisele Ferreira Bueno
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

Prof^a. Dr^a. Gleyce Teixeira Correia
Fundação Educacional de Fernandópolis - FEF

Prof^a . Dr^a. Márcia Cristina Bisinoti
UNESP- São José do Rio Preto

Prof. Dr. Crispin Humberto Garcia Cruz
UNESP- São José do Rio Preto

São José do Rio Preto-SP
2016

A minha mãe, avó, irmãos e sobrinho por
todo amor, partilha e apoio que se pode
encontrar em família;

A meu marido e filhos (no meu ventre),
pelo estímulo e eterno amor;

Com vocês, as pausas entre os
parágrafos de produção melhoram quem
sou e que tenho realizado na vida.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser meu guia em todos os passos da minha vida;

Ao Prof. Dr. Vanildo Luiz Del Bianchi, orientador e depois querido amigo, pela amizade, confiança e orientação nestes últimos anos de muito aprendizado profissional e pessoal;

Aos alunos de iniciação científica, Nathércia, Geibson e Raimundo, pela essencial ajuda no desenvolvimento deste trabalho;

Aos meus colegas da turma do DINTER, pelos momentos de estudo e descontração, nesta árdua empreitada;

Ao Prof. MsC. Silvio Coelho, que gentilmente se dispôs a compartilhar seus conhecimentos e ceder o laboratório para realização das análises;

À Prof^a Dr^a. Gisele Ferreira Bueno, pela disponibilidade, carinho e valiosas contribuições a este trabalho;

Aos professores Dr^a Gleyce Teixeira Correia, Dr^a Márcia Cristina Bisinoti e Dr. Crispin Humberto Garcia Cruz, pelas sugestões, que só engrandeceram este trabalho;

À Prof^a. Dr^a. Ana Carolina Conti e Silva, pela elucidação das dúvidas estatísticas;

A Prof^a. Dr^a. Rejeana Márcia Santo Lima e Prof. Dr. José Francisco Lopes Filho, pela viabilização e coordenação do DINTER - Doutorado Interinstitucional em Engenharia e Ciência de Alimentos;

A todos professores, colegas e funcionários do Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos (DETA), pela atenção e apoio;

Ao laboratório de solos da UEMA - Universidade Estadual do Maranhão, pela realização das análises de solo;

Ao IFMA - Instituto Federal de educação Ciência e Tecnologia do Maranhão, pela minha liberação para a realização do curso de doutorado;

À CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo apoio financeiro;

À FAPEMA - Fundação de Amparo à Pesquisa e Desenvolvimento Científico do Maranhão, pelo financiamento desta pesquisa.

RESUMO

A produção da farinha de mandioca gera manipueira, efluente rico em matéria orgânica, que causa sérios problemas ambientais quando descartada de forma inadequada. Para contribuir com a reversão dessa realidade, desenvolveu-se esta pesquisa com o objetivo de tratar a manipueira em sistemas integrados RAHLF concomitante à produção de tomates com fertirrigação subsuperficial. Os Sistemas de Tratamento Anaeróbio Horizontal de Fertirrigação Subssuperficial (TAHFS) foram implantados em floreiras, que possuíam uma área em seu leito, onde atuou o Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo, com pedra brita, manipueira e bactérias anaeróbias sobrepostas. Os TAHFS foram alimentados em fluxo hidráulico contínuo, diariamente, com três diferentes concentrações de entrada da manipueira, 5.000, 10.000 e 15.000 mg.L⁻¹ e três Tempos de Detenção Hidráulica (TDH), 3,5; 7 e 10,5 dias. Desenvolveu-se atividades de caracterização do efluente, monitoramento e desempenho dos sistemas, semanalmente, durante 60 dias através de análises semanais de temperatura, pH, condutividade elétrica, ácidos voláteis, alcalinidade a bicarbonato, alcalinidade total, turbidez, sólidos sedimentáveis, sólidos totais, sólidos voláteis, sólidos fixos, DQO e cianeto. Realizou-se também análises físico-química do solo para determinar influência da fertirrigação no mesmo. O efluente tratado em todos os TAHFS apresentou, no geral, redução de mais de 90% de DQO. O TAHFS C15.000/TDH10,5 destacou-se dentre os demais por ter apresentado elevados valores de remoção de DQO, turbidez e sólidos. Os sistemas apresentaram comportamento estável em relação à AV/AT, sugerindo suportarem cargas orgânicas volumétricas mais elevadas. Os TAHFS proporcionaram aumento dos teores de P e Mg além da manutenção da matéria orgânica e do pH no solo. O TAHFS mostrou-se como uma alternativa viável para tratamento anaeróbio de manipueira com produção de tomates.

Palavras-chave: Biodigestão. Resíduo líquido. Mandioca.

ABSTRACT

The production of cassava flour generates manipueira, an effluent rich in organic matter, which causes serious environmental problems when improperly discarded. In order to contribute to the reversal of this reality, this manipueira treatment research developed through integrated horizontal anaerobic system fixed bed (HAFB) and sub-surface fertigation, concomitant to the production of tomatoes. The Treatment Systems Anaerobic Horizontal Fertigation Subsurface (TAHFS) were implanted in flowerpots, which had an area in his bed, where he Reactor Horizontal Anaerobic Fixed Bed with crushed stone, Manipueira - with variable organic load - and bacteria anaerobic overlapping. The TAHFS were fed in continuous hydraulic flow daily with three different concentrations input of cassava, 5,000; 10,000 and 15,000 mg L⁻¹ and three hydraulic retention times (HRT), 3.5; 7 and 10.5 days. Effluent characterization, monitoring and performance systems activities were carried, weekly for 60 days through temperature analysis, pH, electrical conductivity, volatile acids, bicarbonate alkalinity, total alkalinity, turbidity, settleable solids, total solids, volatile solids, fixed solids, COD and cyanide. It was also made up soil physical-chemical analysis to determine the influence of fertigation on it. The treated effluent in all TAHFS presented overall reduction of more than 90% of COD. The TAHFS C15.000/TDH10,5 stood out among the other for introducing high COD removal values, turbidity, total solids, total fixed solids, total volatile solids and settleable solids. The systems showed stable behavior in relation to AV/AT, suggesting withstand higher volumetric organic loads. TAHFS provided increased P and Mg contents in addition to the maintenance of organic matter and soil pH. TAHFS has been shown to be a viable alternative for anaerobic treatment of manipueira with tomato production.

Keywords: Biodigestion. Liquid waste. Cassava.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Casa de farinha na comunidade Santa Rosa dos Pretos, Itapecuru-Mirim - MA	23
Figura 2. Mapa de localização do território da comunidade quilombola Santa Rosa dos Pretos	24
Figura 3. Mudas de tomate após 20 dias de germinação	26
Figura 4. Moldes de folhas de tomateiros previamente dimensionados . . .	26
Figura 5. Garrafa PET com leito de brita, para irrigação subsuperficial . . .	28
Figura 6. Experimento de tomateiros com irrigação subsuperficial.	29
Figura 7. Floreiras utilizadas nos tratamentos.	31
Figura 8. Leito do RAHLF com meio suporte Brita inoculado em lodo anaeróbio	31
Figura 9. Transplântio das mudas de tomateiro	32
Figura 10. Pontos de coleta de amostras, entrada do afluente e saída do efluente tratado.	34
Figura 11. Pontos de coleta das amostras de solo.	39
Figura 12. Volume de água adicionado diariamente nos vasos com diferentes alturas de leito de brita com irrigação subsuperficial.	41
Figura 13. Altura média dos tomateiros variando com o tempo, em diferentes alturas de leito de brita com irrigação subsuperficial.	44
Figura 14. Área foliar média dos tomateiros variando com o tempo, em diferentes alturas de leito de brita com irrigação subsuperficial.	44
Figura 15. Tratamentos Anaeróbios Horizontais de Fertirrigação Subsuperficial (TAHFS).	49
Figura 16. Transplântio dos tomateiros para os Sistemas de Tratamento Anaeróbio Horizontal de Fertirrigação Subsuperficial (TAHFS).	49
Figura 17. Variação temporal dos valores de eficiência de redução de DQO nos tratamentos com carga orgânica 5.000 mg.L ⁻¹ com três	

diferentes TDH.	54
Figura 18. Variação temporal dos valores de eficiência de redução de DQO nos tratamentos com carga orgânica 10.000 mg.L ⁻¹ com três diferentes TDH.	54
Figura 19. Variação temporal dos valores de eficiência de redução de DQO nos tratamentos com carga orgânica 15.000 mg.L ⁻¹ com três diferentes TDH.	55
Figura 20. Variação temporal dos valores de eficiência de redução de Turbidez nos tratamentos com carga orgânica 5.000 mg.L ⁻¹ com diferentes TDH.	56
Figura 21. Variação temporal dos valores de eficiência de redução de Turbidez nos tratamentos com carga orgânica 10.000 mg.L ⁻¹ com diferentes TDH.	57
Figura 22. Variação temporal dos valores de eficiência de redução de Turbidez nos tratamentos com carga orgânica 15.000 mg.L ⁻¹ com diferentes TDH.	57
Figura 23. Variação temporal dos valores de eficiência de redução de Sólidos Totais nos tratamentos com carga orgânica 5.000 mg.L ⁻¹ com diferentes TDH.	60
Figura 24. Variação temporal dos valores de eficiência de redução de Sólidos Totais nos tratamentos com carga orgânica 10.000 mg.L ⁻¹ com diferentes TDH.	60
Figura 25. Variação temporal dos valores de eficiência de redução de Sólidos Totais nos tratamentos com carga orgânica 15.000 mg.L ⁻¹ com diferentes TDH.	61
Figura 26. Variação temporal dos valores de eficiência de redução de Sólidos Totais Fixos nos tratamentos com carga orgânica 5.000 mg.L ⁻¹ com diferentes TDH.	62
Figura 27. Variação temporal dos valores de eficiência de redução de Sólidos Totais Fixos nos tratamentos com carga orgânica 10.000 mg.L ⁻¹ com diferentes TDH.	62
Figura 28. Variação temporal dos valores de eficiência de redução de Sólidos Totais Fixos nos tratamentos com carga orgânica 15.000 mg.L ⁻¹ com diferentes TDH.	63

Figura 29. Variação temporal dos valores de eficiência de redução de Sólidos Totais Voláteis nos tratamentos com carga orgânica 5.000 mg.L ⁻¹ com diferentes TDH.	65
Figura 30. Variação temporal dos valores de eficiência de redução de Sólidos Totais Voláteis nos tratamentos com carga orgânica 10.000 mg.L ⁻¹ com diferentes TDH.	66
Figura 31. Variação temporal dos valores de eficiência de redução de Sólidos Totais Voláteis nos tratamentos com carga orgânica 15.000 mg.L ⁻¹ com diferentes TDH.	66
Figura 32. Variação temporal dos valores de eficiência de remoção de Cianeto nos TAHFS com carga orgânica 5.000 mg.L ⁻¹ com diferentes TDH	69
Figura 33. Variação temporal dos valores de eficiência de remoção de Cianeto nos TAHFS com carga orgânica 10.000 mg.L ⁻¹ com diferentes TDH.	70
Figura 34. Variação temporal dos valores de eficiência de remoção de Cianeto nos TAHFS com carga orgânica 15.000 mg.L ⁻¹ com diferentes TDH.	70
Figura 35. Tomateiros cultivados nas floreiras com TAHFS alimentados com carga orgânica de 5.000 mg.L ⁻¹	89
Figura 36. Tomateiros cultivados nas floreiras com TAHFS alimentados com carga orgânica de 10.000 mg.L ⁻¹	89
Figura 37. Tomateiros cultivados nas floreiras com TAHFS alimentados com carga orgânica de 15000 mg.L ⁻¹	90
Figura 38. Visão geral dos Tomateiros dos diversos TAHFS, no dia da coleta.	91
Figura 39. Tomateiros com sintomas de excesso de fósforo no solo da floreira com TAHFS C15.000/TDH7.	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Capacidade total de volume de água no leito de brita para irrigação subsuperficial.	29
Tabela 2. Sistemas de Tratamento Anaeróbio Horizontal de Fertirrigação Subsuperficial (TAHFS).	33
Tabela 3. Comparação dos parâmetros altura, área foliar, massa fresca da parte aérea, do sistema radicular e massa fresca total dos tomateiros.	42
Tabela 4. Caracterização físico-química da manipueira oriunda da casa de farinha da comunidade quilombola Santa Rosa dos Pretos.	46
Tabela 5. Massa fresca da parte aérea, do sistema radicular e total dos tomateiros.	92

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB	Alcalinidade a bicarbonato
APHA	AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION
AT	Alcalinidade Total
AV	Acidez Volátil
AV/AT	Relação Acidez Volátil e Alcalinidade Total
CAHC	Calha anaeróbia de fluxo horizontal preenchida com calcário
CE	Condutividade elétrica
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COT	Carga orgânica total
COV	Carga orgânica volumétrica
CTC	Capacidade de Troca de Cátions
CV	Coeficiente de variação
DOU	Diário Oficial da União
DQO	Demanda Química De Oxigênio
DV	Desvio Padrão
ETc	Evapotranspiração da cultura
FAO	Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação
IAC	Instituto Agronômico de Campinas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
RAC	Reator Anaeróbio Compartimentado
RACOV	Reator Anaeróbio Compartimentado Vertical
RAHC	Reator Anaeróbio Horizontal com Chicanas
RAHLF	Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo
SF	Sólidos Totais Fixos
SS	Sólidos Sedimentáveis

ST	Sólidos Totais
SV	Sólidos Totais Voláteis
SUFRAMA	Superintendência da Zona Franca de Manaus
TAHFS	Tratamento Anaeróbio Horizontal de Fertirrigação Subsuperficial
TDH	Tempo de Detenção Hidráulica
TDS	Sólidos Totais Dissolvidos
TRC	Tempo de Residência Celular
TRC/TDH	Razão entre Tempo de Residência Celular e Tempo de Detenção Hidráulica
TRH	Tempo de retenção hidráulica
RAFA	Reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo
V%	Percentagem de Saturação por Bases

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1	A cultura da Mandioca	4
2.2	Manipueira	6
2.3	Legislação Ambiental: Condições e padrões para lançamento de efluentes	8
2.4	Tratamento da manipueira	10
2.5	Tratamento Anaeróbio	11
2.6	Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo – RAHLF	14
2.7	Fertirrigação	15
2.8	Cultura do tomate	18
3.	OBJETIVOS	21
3.1	Objetivo Geral	21
3.2	Objetivos Específicos	21
4.	MATERIAL E MÉTODOS	22
4.1	Local do experimento	22
4.2	Obtenção da Manipueira	22
4.3	Solo	25
4.4	Mudas de tomate	25
4.5	Avaliação dos Tomateiros	26
4.6	Ensaio 1: Altura do leito	27
4.7	Ensaio 2: Sistemas de tratamento	30
4.8	Análises de acompanhamento – metodologia e frequência	34
4.8.1	Temperatura	34
4.8.2	Determinação do potencial hidrogeniônico (pH)	35
4.8.3	Determinação da condutividade elétrica (CE)	35
4.8.4	Alcalinidade a bicarbonato (AB) e Alcalinidade Total (AT)	35
4.8.5	Determinação da acidez volátil (AV)	36
4.8.6	Turbidez	36
4.8.7	Sólidos sedimentáveis	36
4.8.8	Sólidos Totais (ST)	36
4.8.9	Sólidos Totais Voláteis (SV)	37
4.8.10	Sólidos Totais Fixos (SF)	37
4.8.11	Demanda Química de Oxigênio (DQO)	37
4.8.12	Cianeto	38
4.9	Taxas de remoção	38
4.10	Análises de Solo	38
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
5.1	Definição da Altura do leito de brita a ser utilizada no sistema RAHLF	40
5.1.1	Evapotranspiração da cultura (ETc)	40
5.1.2	Desenvolvimento das plantas	42
5.2	Caracterização da Manipueira	45
5.3	Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo (RAHLF)	48

5.3.1 Demanda Química de Oxigênio.	50
5.3.2 Turbidez	56
5.3.3 Sólidos Totais	58
5.3.4 Sólidos Totais Fixos	61
5.3.5 Sólidos Totais Voláteis.	63
5.3.6 Sólidos Sedimentáveis.	67
5.3.7 Cianeto.	67
5.3.8 Alcalinidade a Bicarbonato.	71
5.3.9 Alcalinidade Total	72
5.3.10 Acidez Volátil.	74
5.3.11 Acidez Volátil / Alcalinidade Total.	75
5.3.12 pH.	77
5.3.13 Condutividade Elétrica.	80
5.3.14 Temperatura.	82
5.3.15 Análise de solo.	83
5.3.16 Desenvolvimento das plantas.	87
CONCLUSÕES.	96
SUGESTÕES E PERSPECTIVAS	97
REFERÊNCIAS.	98
APÊNDICES	112

1. INTRODUÇÃO

A questão ambiental, embora historicamente nova, vem adquirindo uma grande importância nas últimas décadas. Os últimos 50 anos foram marcados por profundas alterações nas relações sociais e, conseqüentemente, nas relações do homem com a natureza. Fenômenos como a contaminação do ar, dos mananciais e dos solos, catástrofes naturais, doenças recentes, alterações climáticas e ameaças à biodiversidade tornaram-se crescentes e desencadearam efeitos sobre a vida humana.

Em consequência, algumas mudanças no mercado mundial ocorreram, como o aumento dos níveis de demanda por matérias-primas, tais como energia, minério e terra, acompanhados, por outro lado, do aumento da geração de resíduos e poluentes das mais diversas naturezas. Se por um lado tal cenário proporcionou sensível incremento nos níveis de bem-estar de parte da população mundial, por outro, gerou uma série de externalidades negativas, cujos impactos no ambiente e na sociedade já são percebidos.

A grande quantidade de resíduos gerados é um dos pontos negativos desse cenário. E, devido a isso, a contaminação do meio ambiente constitui-se em uma das maiores problemáticas da sociedade atual.

Nesta conjuntura, um dos sérios problemas ambientais da atualidade é a poluição dos recursos de água doce, principalmente se considerados os pequenos cursos e lençóis freáticos, onde ocorrem os despejos dos resíduos líquidos. Dentre estes, um dos que chamam atenção é o efluente líquido proveniente de agroindústrias que utilizam raízes de mandioca como matéria-prima.

A mandioca é um alimento bastante consumido no Brasil, e o seu beneficiamento industrial gera resíduos que podem afetar negativamente o meio ambiente. Dentre esses subprodutos do processamento da mandioca destaca-se a manipueira. Esta última possui elevada carga orgânica, devido à presença de açúcares solúveis, e elevada toxidez, devido à presença de cianeto proveniente

da quebra enzimática do glicosídeo cianogênico linamarina. Portanto, faz-se necessário um tratamento de efluentes adequado.

Vale ressaltar que as soluções para os problemas relacionados ao desenvolvimento do setor agroindustrial devem ser apropriadas às necessidades do setor, aos recursos humanos, financeiros e à cultura, podendo o uso de digestores anaeróbios ser uma alternativa viável para o tratamento das águas residuárias.

Dentre os métodos já estudados por diversos pesquisadores, os processos anaeróbios mostraram-se bastante eficientes e viáveis no tratamento de efluentes líquidos. Dos reatores estudados, destacam-se o Reator Anaeróbio Compartimentado – RAC e o Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo (RAHLF), dentre outros. Os reatores anaeróbios vêm evoluindo, buscando tornar os tratamentos de resíduos mais baratos, rápidos e eficientes.

O Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo (RAHLF) utilizado neste trabalho, trata-se de uma nova geração de reatores biológicos de alta taxa. Eles são capazes de manter alta concentração de biomassa aderida ao suporte, boas características hidrodinâmicas e tempo de detenção hidráulica relativamente curto para cargas orgânicas elevadas.

Porém, existe a necessidade de estudos para a determinação dos limites de aplicação de cargas orgânicas e volumétricas para o melhor aproveitamento do volume útil dos reatores, tornando-os mais econômicos (AMORIM *et al.*, 2000).

Neste contexto, a comunidade quilombola Santa Rosa dos Pretos está inserida. O território possui uma área total de 2.178 ha, com aproximadamente 400 famílias instaladas (INCRA, 2008). Em 2014, foi reconhecida como comunidade remanescente de quilombo por meio da Portaria/INCRA/Nº 355, de 10.07.2014, publicada no DOU de 11.07.2014 (BRASIL, 2014).

O território encontra-se no município de Itapecuru Mirim, no estado do Maranhão, tendo como sua principal fonte de renda o cultivo da mandioca e posterior processamento para fabricação de farinha em sete casas de farinha distribuídas pela comunidade. No entanto, apesar do grave risco de

contaminação do lençol freático, a manipueira, não recebe nenhum tipo de tratamento, sendo despejada no solo, de onde escorre para cursos d'água próximos.

A poluição gerada pelo resíduo da mandioca e o elevado consumo de água resulta em efeitos diretos, não somente ao meio ambiente, mas também à saúde das pessoas envolvidas, principalmente daquelas localizadas ao redor das áreas de produção. Logo, esta pesquisa visa contribuir para a diminuição da contaminação dos corpos d'água com a adequada destinação final do efluente tratado, oriundo da produção de farinha, com a proporcional melhoria na qualidade de vida da população envolvida.

Sendo assim, este projeto tem o intuito de fazer o tratamento de manipueira – oriunda de casa de farinha da comunidade quilombola Santa Rosa dos Pretos – por um sistema integrado RAHLF (reator anaeróbio horizontal de leito fixo) com fertirrigação subsuperficial para a produção de frutas e hortaliças e, em especial, a cultura do tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura da Mandioca

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é considerada uma planta de fácil cultivo, devido aos baixos custos de produção, tolerância ao ataque de insetos e ampla adaptação às mais variadas condições de clima e solo, o que possibilita seu cultivo em todo o território nacional. Esse conjunto de fatores contribuiu para que se tornasse o alimento básico em vários países tropicais, principalmente na América Latina e África (MARANCA, 1986).

Originária da América do Sul, a mandioca constitui um dos principais alimentos energéticos para cerca de 500 milhões de pessoas, sobretudo nos países em desenvolvimento, onde é cultivada em pequenas áreas com baixo nível tecnológico. Mais de 80 países produzem mandioca (MATOS & BEZERRA, 2003). E, segundo a FAO (Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação), o Brasil continua entre os principais países produtores de mandioca e ocupa a 4ª colocação no ranking mundial, com 23 milhões de toneladas, onde participa com mais de 15% da produção mundial.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2016), em 2015, a raiz de mandioca foi a quarta cultura mais produzida no Brasil, com 22,7 milhões de toneladas, atrás, apenas, da cana-de-açúcar, soja e milho. Em área plantada figurou em sexto lugar, com 1.787.467 hectares, após soja, cana-de-açúcar, milho, arroz e feijão.

A mandioca é cultivada em todos os estados brasileiros, predominando na região Centro-Sul o processamento industrializado/mecanizado e, no Norte-Nordeste, o artesanal, mas a sua concentração maior é na Região Nordeste, que representa valores em média de 35% da produção. Este produto, à semelhança da África, também exerce papel fundamental na dieta alimentar de sua população, o que lhe confere um caráter vinculado à segurança alimentar. A cultura da mandioca apresenta maior resistência às frequentes secas nesta

região, se comparada aos plantios de milho e feijão, que são mais exigentes em volume de chuvas (CONAB, 2012).

Conforme dados do IBGE (2016), o estado com maior área cultivada em 2014 foi o Pará, 344,3 mil hectares. No mesmo período, a área plantada no Estado da Bahia totalizou 204,1 mil hectares. O Estado do Maranhão apresentou-se como terceira maior área plantada (188,1 mil hectares), seguido por Paraná e Amazonas, com 157,2 mil hectares e 80,5 mil hectares, respectivamente, de áreas cultivadas.

Ainda de acordo com o IBGE (2016), a região brasileira que mais produz mandioca é a Norte, com 8,03 mil toneladas, seguida de Nordeste, 5,67 mil toneladas, e Sul, 5,58 mil toneladas.

A produção nordestina se destina basicamente ao consumo humano, através de uso “in natura”, na forma de farinha, goma, bijus, tapiocas, entre outros. De acordo com CONAB (2012), seus principais produtores são Bahia, Maranhão e Ceará.

Devido à facilidade do processamento da mandioca, há predominância da agroindústria de produção familiar nas regiões Norte e Nordeste, sendo inúmeras as indústrias artesanais ou, como também são conhecidas, as casas de farinha, cujo produto se destina principalmente ao consumo doméstico (APLEVICZ, 2006).

A mandioca pode ser utilizada tanto para o consumo humano – como produto culinário ou produtos derivados como farinhas (crua ou torrada) e féculas, como polvilhos doce e azedo – quanto para o consumo animal, na forma de raspas ou resíduos da própria indústria, para a fabricação de ração (SUFRAMA, 2003).

Para o consumo humano, sua utilização é feita em duas opções, ou seja, o consumo culinário doméstico ou industrial (de mesa) e o uso industrial, pelo qual se processa a farinha de mandioca e procede-se a extração da fécula e sua transformação em polvilho azedo (WOSIACKI & CEREDA, 2002), setor na qual predominam micro e pequenas empresas.

Granco *et al.* (2005) afirmam que a produção de farinha de mandioca no Brasil tem duas estruturas distintas, divididas entre as chamadas farinheiras e as casas de farinhas. As farinheiras são agroindústrias que apresentam uma estrutura de trabalho profissional, possuindo marcas próprias. As casas de farinhas são representantes do método tradicional de produção, apresentam uma estrutura menos profissionalizada, geralmente baseada em mão de obra familiar, com alto índice de informalidade, sem marca própria.

No Brasil, os principais tipos de processamento de mandioca são para a fabricação da farinha e a extração de amido (fécula). Os resíduos gerados podem ser sólidos, tais como casca, entrecasca, crueira, ou líquidos – como a manipueira – que, quando dispostos indevidamente podem vir a contaminar o ambiente (APLEVICZ, 2006).

Apesar de parte da produção nacional de mandioca ser consumida in natura, parcela significativa é utilizada para o processamento, principalmente para a fabricação de farinha e fécula de mandioca. De acordo com Felipe *et al.* (2009), o processamento da mandioca, no entanto, é gerador de resíduos poluentes, principalmente quando não tratados de forma adequada. Para as atividades agroindustriais da cultura da mandioca, os resíduos sólidos são menos problemáticos que os efluentes líquidos.

2.2 Manipueira

De acordo com Cereda (2001), os resíduos líquidos do processamento da mandioca são: água de lavagem das raízes, que é originária dos lavadores/descascadores; manipueira ou água vegetal que corresponde à água de constituição da raiz, extraída durante a prensagem da massa ralada na fabricação da farinha; e, água de extração de fécula que corresponde à água de constituição da raiz diluída com a água de extração.

Dentre os resíduos líquidos, destaca-se a manipueira que, segundo Correia & Del Bianchi (2008), é altamente prejudicial ao meio ambiente quando

depositada sem tratamento em leitos de rios ou lençóis freáticos causando sérios impactos ambientais.

Os resíduos líquidos são considerados mais preocupantes por serem gerados em grandes volumes, de elevado potencial poluente e de glicosídeos potencialmente hidrolisáveis a cianeto. Para viabilizar o uso destes resíduos líquidos para fins diversos, além de quantificá-los, é necessário caracterizá-los (COLIN *et al.*, 2007).

Fioreto (2001) considera que a caracterização físico-química da manipueira é variável dependendo da forma de processamento das raízes, principalmente em relação a matéria orgânica e potencial tóxico. As características do efluente são altamente dependentes do nível de eficiência dos equipamentos utilizados nos processos de extração.

Del Bianchi (1998) afirma que cada tonelada de mandioca convertida em farinha gera de 0,2m³ a 0,4m³ de manipueira. Na extração de fécula, é diluída resultando em um volume maior, cerca de 2,0m³ a 3,0m³ por tonelada de raiz.

A manipueira apresenta um elevado teor poluente devido à presença de carboidratos, açúcares solúveis, matérias graxas e mucopolissacarídeos. Em menores proporções, apresenta o ácido cianídrico proveniente da hidrólise de glicosídeo cianogênico presente na mandioca (PINTO, 2008).

O grande potencial de poluição da manipueira provém, principalmente, da elevada concentração de matéria orgânica. Silva (2009) afirma que a demanda química de oxigênio (DQO) no resíduo quando proveniente de casas de farinha se situa entre 60g.L⁻¹ e 100g.L⁻¹. Na extração de fécula, a diluição reduz significativamente a concentração de matéria orgânica no efluente. Kuczman (2007) determinou concentrações de 6g.L⁻¹ a 15g.L⁻¹.

Segundo Colin *et al.* (2007), os açúcares solúveis representam a maior parte da matéria orgânica da manipueira. Por serem solúveis e de fácil fermentação, eles se degradam em ácidos orgânicos de forma muito rápida, viabilizando o tratamento biológico em detrimento ao físico-químico.

Outra característica relevante que favorece o forte impacto ambiental negativo da manipueira é a presença de cianeto. Segundo Cereda (2001), a mandioca é uma planta cianogênica que acumula glicosídeos cianogênicos, sendo a linamarina o principal, da qual o cianeto é liberado por ação da enzima linamarase, autóctone da mandioca. Enquanto o tecido da mandioca está intacto, glicosídeos e enzimas mantêm-se separados. Quando, no entanto, o tecido é dilacerado no processamento, a linamarina é hidrolisada enzimaticamente pela linamarase dando início a cianogênese, havendo a produção de glicose e α -hidroxinitrila, passíveis de dissociação.

Oliveira (2003) afirma que, no processamento da raiz da mandioca, os glicosídeos que a compõem são carregados no resíduo líquido, tornando-o altamente tóxico aos organismos aeróbios, devido a sua capacidade de bloquear o transporte de oxigênio.

De acordo com Bartholomeu (2011), a poluição gerada por esses resíduos e o elevado consumo de água resulta em efeitos diretos, não somente ao meio ambiente, mas também na qualidade de vida da população, principalmente daquela localizada ao redor das áreas de produção.

A preocupação com os efeitos gerados pelo processamento da mandioca vem permitindo que as agroindústrias reavaliem seus processos de forma a melhorar a eficiência, maximizar o aproveitamento de recursos e dispor adequadamente seus resíduos (FERNANDES JÚNIOR, 2001).

2.3 Legislação Ambiental: Condições e padrões para lançamento de efluentes

A disposição de resíduos gerados em diversas atividades industriais no ambiente tem resultado em frequentes relatos de problemas de poluição ambiental. Estes levaram as autoridades a elaborar medidas efetivas para minimizar a poluição. Dentre estas medidas, pode-se citar a implementação da legislação ambiental, com condicionantes e parâmetros legais, que visam

controlar o lançamento no meio ambiente de poluentes, proibindo o lançamento em níveis nocivos ou perigosos para os seres humanos e outras formas de vida (BRASIL, 2011).

Os efluentes de qualquer fonte de poluição lançados em corpos d'água deverão atender às condições, padrões e exigências da legislação federal e, quando houver, da legislação estadual. Na ocorrência de conflitos entre os valores especificados para uma determinada variável, deve-se considerar o de valor mais restritivo. No estado do Maranhão, como não há legislação estadual específica para lançamento de efluentes em corpos hídricos, segue-se a legislação federal vigente.

A resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005) contempla os parâmetros e condicionantes dessa natureza. Em 2011, foi promulgada a Resolução CONAMA Nº 430/2011, a qual estabelece padrões para lançamento de efluentes, substituindo e alterando os artigos da Resolução CONAMA nº357/2005 no que se refere a lançamento de efluentes em corpos hídricos.

Vale destacar o que consta na Resolução CONAMA Nº 430/2011, em seu Capítulo II, Seção II, artigo 16: os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente no corpo receptor desde que obedeçam condições e padrões previstos neste artigo, resguardadas outras exigências cabíveis:

I - condições de lançamento de efluentes:

- a) pH entre 5 a 9;
- b) temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;
- c) materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone *Imhoff*. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar visualmente ausentes;

d) regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vez a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente;

e) óleos e graxas:

1. óleos minerais: até 20 mg/L;

2. óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg/L;

f) ausência de materiais flutuantes; e

g) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias a 20°C): remoção mínima de 60% de DBO sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor.

II - Padrões de lançamento de efluentes:

- Cianeto livre (destilável por ácidos fracos): até 0,2 mg.L⁻¹ CN.

Os padrões de qualidade das águas determinados nas resoluções citadas acima estabelecem limites individuais para cada substância em cada classe, que variam de acordo com a sua destinação.

2.4 Tratamento da manipueira

A disposição de efluentes líquidos sem tratamento prévio, diretamente no ambiente ainda é uma prática corriqueiramente encontrada na zona rural do Maranhão, porém não mais aceita pelos órgãos ambientais, o que tem obrigado as agroindústrias a adotarem medidas para a solução deste problema. Bartholomeu (2011) afirma que, dentre estas medidas, podem ser citadas a redução das quantidades dos resíduos gerados, a utilização de tecnologias que permitam gerar resíduos menos poluentes, o tratamento adequado dos resíduos antes da disposição no meio ambiente e o aproveitamento dos resíduos como subprodutos ou coprodutos para aproveitamento em outras atividades.

O tratamento da manipueira é geralmente baseado em processos físicos, químicos e biológicos. Os processos biológicos são uma alternativa para as águas residuárias de fecularia de mandioca, pois representam baixos custos de implantação e operação quando comparados com outras tecnologias, e de resposta satisfatória, tanto do ponto de vista empresarial, como dos órgãos de fiscalização e de pesquisa (INOUE, 2008). Isto se deve ao fato de apresentar baixa produção de sólidos, tolerância a elevadas cargas orgânicas e possibilidade de operação com elevados tempos de retenção de sólidos (AQUINO e CHERNICARO, 2005).

Fernandes Júnior (2001) relata inúmeros processos de tratamento e/ou aproveitamento de resíduos orgânicos, tendo um destaque maior os processos biológicos, tanto os aeróbios (lodo ativado, lagoas de estabilização aeróbia, etc.) quanto os anaeróbios (biodigestores, lagoas de estabilização anaeróbia, etc.).

As pesquisas sobre tratamento de efluentes de agroindústrias têm mostrado que os processos biológicos são considerados uma alternativa para o tratamento de resíduos gerados pelas fecularias, de forma simples e econômica (KUCZMAN, 2007).

2.5 Tratamento Anaeróbio

O processo de tratamento anaeróbio de resíduos orgânicos, conhecido como digestão anaeróbia, ocorre devido a interações simbióticas de populações microbianas distintas tanto quanto às exigências nutricionais como na fisiologia (FERNANDES JÚNIOR, 2001).

De acordo com Moraes e Paula Junior (2005), a importância da digestão anaeróbia, no tratamento de efluentes, tem ganhado maior destaque nas últimas décadas, por apresentar balanço energético favorável, quando comparado aos processos aeróbios convencionais, como baixo consumo de energia, baixa produção de lodo e a possibilidade de recuperação e utilização do gás metano como gás combustível.

Arruda (2004) afirma que, nos tratamentos anaeróbios de efluentes, grande parte do material orgânico presente é convertido em biogás (50 a 90%), o qual é removido da fase líquida e sai do reator na forma gasosa, sendo que apenas uma pequena parte desse material é convertido em biomassa microbiana (cerca de 5 a 15%), constituindo o lodo do sistema.

A digestão anaeróbia pode ser considerada como um ecossistema onde diversos grupos de micro-organismos trabalham interativamente na conversão da matéria orgânica complexa em compostos mais simples, como metano, gás carbônico, água, gás sulfídrico e amônia, além de novas células bacterianas (LETTINGA *et al.*, 1998 apud OLIVEIRA 2007).

Segundo alguns autores (FERNANDES JÚNIOR, 2001; KUCZMAN, 2007; INOUE, 2008; PINTO, 2008; SILVA, 2009), o processo desenvolve-se em quatro etapas diferentes na reação global da conversão denominadas hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. Na primeira etapa, os compostos orgânicos complexos são hidrolisados através da ação de enzimas produzidas por bactérias fermentativas, resultando na produção de compostos menores. Em seguida, na acidogênese, ocorre a produção de compostos – acetato e outros ácidos orgânicos voláteis, hidrogênio, dióxido de carbono, etc. – que serão utilizados em etapas seguintes. Numa terceira etapa, a acetogênese, ocorre a conversão dos ácidos orgânicos pelas bactérias acetogênicas em hidrogênio e acetato, enquanto que parte do hidrogênio e dióxido de carbono disponíveis são convertidos em acetato pelas bactérias homoacetogênicas. Por fim, na última etapa, ocorre atividade de um grupo de bactérias denominadas metanogênicas que são capazes de reduzir o dióxido de carbono e /ou descarboxilar o acetato para formar metano. Nesta etapa, metanogênese, é o ponto crítico do processo visto que as bactérias metanogênicas são extremamente sensíveis às condições desfavoráveis do meio.

Além da alta sensibilidade às condições desfavoráveis, as arqueas envolvidas na etapa metanogênica apresentam um crescimento menor que as bactérias atuantes nas demais etapas. Desta forma, faz-se necessário evitar alterações nas condições normais do ambiente do reator e sobrecargas de matéria orgânica ou compostos tóxicos. As bactérias acidogênicas são menos

sensíveis e continuam produzindo os ácidos voláteis, o que causa diminuição do pH do sistema, prejudicando as bactérias metanogênicas, o que pode levar o sistema ao colapso (KUNZLER, 2010).

De acordo com Chernicharo (2007), mais importante que a avaliação do pH no sistema de reator anaeróbio é o controle da alcalinidade, devido à escala logarítmica do pH, em que pequenas diminuições deste resultam em um elevado consumo da quantidade de alcalinidade, alterando desta maneira as condições ideais do meio. Logo, o controle da relação acidez volátil e alcalinidade total (AV/AT) é necessária para a determinação das condições em que se encontra o sistema, evitando assim, diminuições do pH do meio.

Normalmente, este processo é bastante compacto por ser realizado em tanques denominados reatores ou biodigestores, que permite a recuperação e aproveitamento do biogás que pode ser utilizado na própria instalação da agroindústria, além de permitir o uso de efluente tratado na forma de biofertilizante. Este processo também pode ser realizado em lagoas de estabilização anaeróbia, o qual requer grandes áreas para sua instalação (OLIVEIRA, 2007).

Embora a literatura sobre digestão anaeróbia de resíduos agroindustriais seja abundante, ainda é restrita quanto aos trabalhos específicos sobre digestão anaeróbia de manipueira (DEL BIANCHI, 1998; FERNANDES JÚNIOR, 2001; SILVA 2009). De maneira geral, estes trabalhos mostraram ser viável o tratamento anaeróbio da manipueira, inclusive com índices consideráveis para redução da DQO.

Por esse motivo, novos modelos e diferentes configurações de biodigestores anaeróbios vêm sendo estudados, a fim de atender à necessidade de tratamento de efluentes líquidos oriundos das mais diversas atividades agroindustriais, como os reatores de fases separadas (SILVA, 2009), biodigestor de mistura completa (FERNANDES JR., 2001), biodigestor anaeróbio de fluxo ascendente (PINTO, 2008), reator anaeróbio compartimentado vertical - RACOV (CORREIA E DEL BIANCHI, 2008), reator horizontal de uma fase (KUCZMAN,

2007), reator anaeróbio horizontal de leito fixo – RAHLF (SANTOS E OLIVEIRA, 2011), entre outros.

2.6 Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo – RAHLF

O Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo (RAHLF) surgiu como um sistema alternativo para o tratamento de águas residuárias e oferece grande potencial para operação em escala real considerando-se o bom desempenho verificado em escala de bancada no tratamento de efluentes de uma indústria papuleira, de substrato à base de glicose e na degradação de substâncias tóxicas, como fenol, benzeno, tolueno, etilbenzeno, xilenos e formaldeído (ZAIAT *et al.*, 2005).

Os reatores horizontais com biomassa imobilizada são uma nova geração de reatores biológicos de alta taxa que têm como característica dispor de um meio suporte, tal como matrizes de espuma de poliuretano, para retenção da biomassa em seu interior de forma a propiciar condições favoráveis ao crescimento do biofilme aderido e/ou retido (LIMA *et al.*, 2005).

O processo é considerado contínuo, pois a cada carga diária (afluente) corresponde a uma descarga de material digerido (efluente). No biodigestor, a biomassa se movimenta por diferença da pressão hidráulica, no processo de carga (OLIVEIRA, 2004).

Estes são capazes de manter alta concentração de biomassa aderida ao suporte, boas características hidrodinâmicas e tempo de detenção hidráulica relativamente curto para cargas orgânicas elevadas (ZAIAT *et al.*, 1994). Fundamentalmente, este novo reator é de alta taxa, opera em regime *plug-flow* e utiliza a técnica de imobilização de biomassa, podendo ser utilizada a espuma de poliuretano.

Conforme Silva (2009), os reatores de alta taxa caracterizam-se por promover alta retenção de biomassa em seu interior, distinguindo-se dos

sistemas clássicos (baixa taxa) pela razão entre o tempo de residência celular e o tempo de detenção hidráulica (TRC/TDH).

Zaiat e Foresti (1997) afirmaram que a utilização de suportes inertes para imobilização de biomassa pode resultar em sistemas mais estáveis e controláveis. Entretanto, a escolha do suporte adequado e do método de imobilização é de fundamental importância. Os suportes devem ser resistentes à degradação biológica e a forças mecânicas e os métodos de imobilização devem ser simples para viabilizar operação em escala industrial.

Amorim *et al.* (2000) ressaltaram a necessidade de estudos para a determinação dos limites de aplicação de cargas orgânicas e volumétricas para o melhor aproveitamento do volume útil dos reatores, tornando-os mais econômicos.

De acordo com Santos e Oliveira (2011), para algumas situações, como propriedades rurais, onde normalmente não existem grandes limitações de área de terreno, mas há a necessidade de conservação do solo para a produção agropecuária, a maior facilidade de instalação e os menores requisitos de área e de complexidade estrutural de construção também podem configurar-se como vantagens para a utilização dos reatores anaeróbios horizontais.

2.7 Fertirrigação

O acelerado crescimento demográfico, com o consequente aumento no consumo de alimentos no mundo, tem levado à utilização de práticas intensivas na pecuária e agricultura. Além do uso da agropecuária intensiva, para aumentar a produção de alimentos, vem aumentando-se a área plantada, o que acarreta grandes extensões desmatadas, e melhorando-se a produtividade por área cultivada. Para obtenção de colheitas com máximos rendimentos, faz-se necessário devolver ao solo os nutrientes subtraídos pelos vegetais, incorporando-se nele adubos inorgânicos (fertilizantes) para melhorar sua fertilidade (DA SILVA JÚNIOR *et al.*, 2012).

Trani, Tivelli e Carrijo (2011) afirmam que fertirrigação é a prática de fertilização das culturas através da água de irrigação. É o melhor e mais eficiente método de adubação das culturas, pois combina a água e os nutrientes, que juntamente com a luz solar são os fatores mais importantes para o desenvolvimento e a produção das culturas. Uma boa combinação desses dois fatores determina o rendimento e a qualidade das plantas cultivadas.

O aproveitamento de águas residuárias ricas em nutrientes na fertirrigação de culturas agrícolas pode possibilitar aumento de produtividade e qualidade dos produtos colhidos, redução da poluição ambiental e dos custos de produção, além de promover melhoria nas características químicas, físicas e biológicas do solo (MATOS, 2007).

Além da redução da poluição ambiental e das questões acima citadas, a fertirrigação com efluentes da agroindústria contribui com o melhor uso da água. Pois, segundo Hespanhol (2003), 70% da água consumida no Brasil é destinada à agricultura, o que permite concluir que a falta deste recurso passa a ser um fator limitante à produção agrícola; ante o que, a reciclagem e o reuso de água vem se tornando uma necessidade para a conservação e manutenção das fontes naturais ainda existentes.

A fertirrigação é uma técnica que vem crescendo, principalmente em virtude da economia de fertilizantes por unidade produzida, da redução da mão de obra e da melhor uniformidade de distribuição de nutrientes, dentre outros fatores, mas, apesar do uso crescente, o manejo desta técnica é realizado, na maioria das vezes, de maneira empírica (ELOI *et al.*, 2007).

A matéria orgânica finamente particulada presente na manipueira pode ser facilmente biodegradada no solo liberando consideráveis quantidades de nutrientes, tornando-se um bom fertilizante denominado de “organo-mineral líquido” (KIEHL, 1985).

Da Silva Júnior *et al.* (2012) avaliaram o impacto do uso da fertirrigação com manipueira nas características químicas e microbiológicas de um Latossolo amarelo dos Tabuleiros Costeiros da Bahia cultivado com bananeira, ‘Terra Maranhão’. Os tratamentos foram compostos por aplicação de 6 L/planta/mês

de manipueira, na proporção de 1:1; manipueira com fertirrigação de N, K com aplicação de 2 L/planta/mês, na proporção de 1:1; manipueira com fertirrigação de N, K com aplicação de 4 L/planta/mês, na proporção de 1:1; manipueira com fertirrigação de N, K com aplicação de 6 L/planta/mês, na proporção de 1:1. Os indicadores biológicos do solo não foram influenciados pela utilização da manipueira nas doses utilizadas e não influenciaram o pH. Os tratamentos induziram baixo incremento de K e P no solo, baixos valores de H+Al, Al e aumento relevante de Mg, Ca e Ca+Mg, Na, CTC e V%. O uso da manipueira influenciou o número de frutos por cacho, número de pencas por cacho, massa de penca total, massa de frutos comerciais e produtividade. Em conjunto com a fertirrigação mineral, o uso de 4 L/planta/mês de manipueira resultou na maximização dos parâmetros de produção da cultura.

Já Malheiros *et al.* (2012) avaliaram o uso de doses de efluente oriundo de indústria de sorvete na cultura do tomate cereja, relacionando consumo hídrico e desenvolvimento vegetativo em sistema hidropônico. O ensaio consistiu no uso de doses do efluente (0, 25, 50, 75 e 100%) com complementação de nutrientes e com o uso de 100% de efluente sem complementação de nutriente. No trabalho constatou-se que o aumento das doses de efluente na solução nutritiva proporcionou redução linear no consumo hídrico. O efluente com 25% proporcionou a melhor produtividade. A adição de até 50% de efluente de sorvete à solução nutritiva permitiu o cultivo de tomate cereja sem redução na produtividade, com melhor eficiência do uso da água na produção de matéria seca da parte aérea, produção de frutos e máxima substituição de minerais solúveis na solução nutritiva.

Em relação às culturas agrícolas, uma fonte de nutriente não é melhor que outra, porém as diferentes características intrínsecas de cada produto justificam o uso de um em detrimento de outro. A exemplo disso, Costa, Vieira e Viana (1994) relatam o caso do nitrogênio, que pode apresentar boa solubilidade em água, efeito sobre o pH do solo, forma do N no produto e possibilidade de contaminação do meio ambiente. Isso pode condicionar as opções de escolha de diferentes fontes desse elemento. Como existem diversas fontes de fertilizantes que podem ser utilizados na fertirrigação, a escolha de cada produto

é em função do sistema de irrigação, da cultura fertirrigada, do tipo de solo, da solubilidade de cada produto na água de irrigação e principalmente de seu custo.

2.8 Cultura do tomate

O tomateiro, *Lycopersicon esculentum* Mill, família Solanaceae, apesar de ser uma planta herbácea e perene, é cultivada quase universalmente como uma planta anual (MARANCA, 1986). Possui caule flexível, piloso, cuja arquitetura natural lembra uma moita, com abundante ramificação lateral. Essa arquitetura pode ser profundamente modificada pela poda, condicionando o tipo de cultura, de indústria no cultivo rasteiro ou para consumo fresco, no cultivo envarado ou estaqueado.

As informações da FAO - Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação - apontam que em 2013 a produção mundial de tomate foi de aproximadamente 163 milhões de toneladas, um crescimento de mais de 36% em relação a 2003.

Dados do IBGE (2016) confirmam que o tomate é a segunda hortaliça em importância econômica no Brasil, ocupando uma área cultivada de 68.086 ha, tendo a região Norte 1.307 ha, a Sul 10.089 ha, a Centro-Oeste 19.121 ha, a Nordeste 14.615 ha e a Sudeste com 22.954 ha. A produção de 4,1 milhões de toneladas coloca o Brasil entre os dez maiores produtores mundiais da cultura, que, além de sua importância econômica, desempenha papel igualmente relevante em razão do grande número de pessoas envolvidas nas atividades que compõem a sua cadeia de negócios.

É uma das hortaliças mais consumidas no mundo, sendo fonte de vitaminas A e C e de sais minerais como potássio. Há cultivares de crescimento determinado (destinadas para indústria de processamento) e de crescimento indeterminado (maioria destinada para mesa). São reunidas em cinco grupos: grupo Santa Cruz, Salada, Cereja, Italiano (ou Saladete ou San Marzano) e grupo Agroindustrial. É bastante exigente em adubação e é muito atacada por

doenças, exigindo elevado conhecimento da cultura para um cultivo eficiente (BRICKELL *et al.*, 2004).

Além da adubação e fitossanidade, um outro ponto preponderante a ser observado para o cultivo do tomate é a adequada irrigação. Alvarenga (2000) afirma que a demanda máxima de água pelo tomateiro ocorre durante a floração e o crescimento dos frutos. A irrigação excessiva durante o período de floração, entretanto, pode provocar aumento na queda de flores e redução no estabelecimento de frutos, o que pode causar, também, crescimento vegetativo excessivo, atraso na maturação e maior ocorrência de doenças.

Silva Júnior (2012) relata que a demanda hídrica do tomateiro depende de vários fatores, como as condições climáticas, o sistema de irrigação e a cultivar adotados, variando entre 300 e 600 mm. Considerando o sistema de cultivo que adota transplante de mudas, o ciclo de desenvolvimento do tomateiro pode ser subdividido em cinco estádios distintos com relação às necessidades hídricas e de irrigação da cultura: formação de mudas, inicial, vegetativo, frutificação e maturação. A duração de cada estágio do desenvolvimento depende principalmente da cultivar e das condições climáticas. A duração do ciclo do tomateiro, desde o transplante de mudas até a colheita, varia de 95 a 125 dias.

Thebaldi *et al.* (2013) avaliaram a produtividade e o desenvolvimento do tomate de mesa (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cv. Dominador, irrigado com efluente tratado de abate bovino, fertirrigação convencional e água de um córrego, aplicados via gotejamento superficial e subsuperficial. As parcelas do experimento foram constituídas pela combinação entre a qualidade da água (efluente de abate de bovinos, fertirrigação convencional e água de um córrego - testemunha) e tipo de sistema de irrigação (gotejamento superficial e gotejamento subsuperficial). Neste, foi observado que sistema de irrigação e o tipo de água não influenciaram na altura das plantas e no peso médio dos frutos de tomate. Na irrigação por gotejamento subsuperficial com efluente de abate de bovinos a produtividade foi superior ($53,12 \text{ t.ha}^{-1}$) aos tratamentos irrigados com água do Córrego Jurubatuba ($39,24 \text{ t.ha}^{-1}$) e fertirrigação convencional ($41,54 \text{ t.ha}^{-1}$).

Cunha *et al.* (2014) avaliaram a produção de tomate, variedade *Sweet Grape*, empregando substratos de cultivo e solução nutritiva de efluente de esgoto, aplicada por gotejamento. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de duas soluções nutritivas, efluente complementado com fertilizantes minerais e solução nutritiva convencional, e três substratos de cultivo, com 60% de areia fina lavada + 40% de substrato composto de 20% de fibra de coco e 80% de casca de pínus; 20% de fibra de coco e 80% de casca de pínus e fibra de coco natural. A ausência de diferença estatística entre os tomateiros cultivados com as soluções testadas indicou que o efluente de esgoto pode ser utilizado como fonte alternativa de nutrientes no cultivo do tomate em hidroponia.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

. Efetuar o tratamento da manipueira concomitante à produção de tomates, através de sistema integrado RAHLF (Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo) utilizando fertirrigação subsuperficial.

3.2 Objetivos Específicos

. Avaliar altura do leito de pedra brita para uso em sistema de irrigação subsuperficial para cultivo do tomateiro.

. Estimar a evapotranspiração da cultura, na produção de tomate através do sistema de irrigação subsuperficial, para a região.

. Caracterizar a manipueira proveniente da produção de farinha.

. Avaliar a eficiência do sistema com diferentes tempos de retenção hidráulica (TDH).

. Analisar a eficiência do sistema com diferentes concentrações de manipueira.

. Avaliar o crescimento vegetal do tomateiro, para as diferentes cargas orgânicas volumétricas.

. Avaliar a utilização do efluente tratado como biofertilizante.

. Analisar a influência da fertirrigação subsuperficial com manipueira no solo.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local do experimento

O ensaio foi conduzido em condições de casa de vegetação, no setor de Olericultura, do Instituto Federal do Maranhão – Campus São Luís/Maracanã, situado na altitude de 45 m, latitude de 2° 36' 29,10" e longitude de 44° 16' 02,43". As análises do solo foram realizadas no laboratório de solos da Universidade Estadual do Maranhão, e as de afluente e efluente foram realizadas no laboratório de Bebidas e Efluentes do Instituto Federal do Maranhão, campus São Luís - Maracanã.

No período do ensaio experimental, que ocorreu de agosto a outubro, o município de São Luís, Maranhão, que possui clima tropical com inverno seco (Aw), apresentou temperaturas máxima de 33 °C e mínima de 25 °C, com umidade relativa média de 75%.

4.2 Obtenção da Manipueira

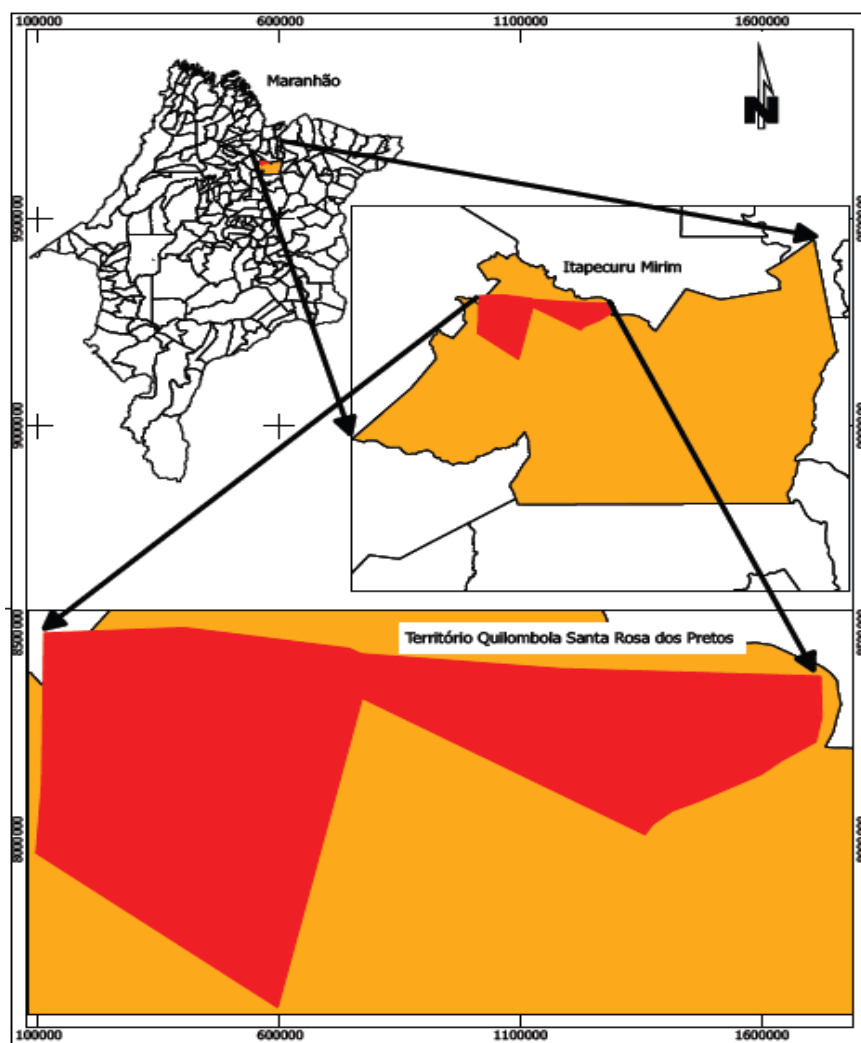
A manipueira utilizada no abastecimento do sistema integrado RAHLF foi proveniente de uma casa de farinha (Figura 1) da comunidade quilombola Santa Rosa dos Pretos (Figura 2), no município de Itapecuru Mirim, estado do Maranhão. A comunidade está localizada nos biomas cerrado e amazônico, estando a maior parte do seu território neste último.

Figura 1. Casa de farinha na comunidade Santa Rosa dos Pretos, Itapecuru Mirim - MA.



Fonte: O autor (2015).

Figura 2. Mapa de localização do território da comunidade quilombola Santa Rosa dos Pretos (SGR- SIRGAS 2000- Zona 23s MC: 45° WG), escala: 1:10.000.000).



Fonte: IBGE (2015) e INCRA (2015). Org: ARAÚJO, 2015.

A coleta de manipueira foi realizada no mês de julho de 2015. O resíduo foi coletado em recipientes, localizados abaixo da prensa da massa ralada, na casa de farinha. Este permaneceu em decantação por 2 h. A decantação após coleta foi adotada, tanto para a remoção de areia e de outros materiais indesejáveis, como para a decantação e separação de amido residual (OLIVEIRA, 2007).

A manipueira coletada em recipiente foi acondicionada em galões de 20L para transporte até o Instituto Federal do Maranhão, campus São Luís - Maracaná. No local, o substrato foi acondicionado em caixa d'água de 500L para ser homogeneizado. Imediatamente após, foi transferido para garrafas PET (polietileno tereftalato) ou plásticas com volume de 1L e/ou 2L e armazenado em freezer à temperatura de $-15\pm 2^{\circ}\text{C}$, a fim de que fossem preservadas as características físicas e químicas iniciais do substrato até ser utilizado para a alimentação dos reatores.

Para utilização nos reatores, as garrafas PET contendo manipueira eram deixadas em repouso até atingir a temperatura ambiente, período em que ocorria também a sedimentação do excesso de amido, sendo então diluída em água potável até a carga orgânica desejada para posterior abastecimento diário, conforme TDH.

4.3 Solo

O solo utilizado nos ensaios experimentais foi retirado da camada superficial, próximo ao local do ensaio, na profundidade de 0-30 cm, de um Argissolo Vermelho Amarelo. O solo foi previamente autoclavado ($120^{\circ}\text{C}/2\text{ h}$) e, após o resfriamento, colocado nas floreiras preparadas. Nestas, foram transplantadas as mudas de tomate, onde a fertirrigação subsuperficial concomitante ao tratamento da manipueira foi realizada.

4.4 Mudas de tomate

As mudas de tomate do grupo "Santa Cruz", cultivar IPA6 foram semeadas em bandejas de isopor (Figura 3), e após 20 dias de germinação foram escolhidas as mudas mais uniformes e transplantadas para as floreiras.

Figura 3. Mudas de tomate após 20 dias de germinação.

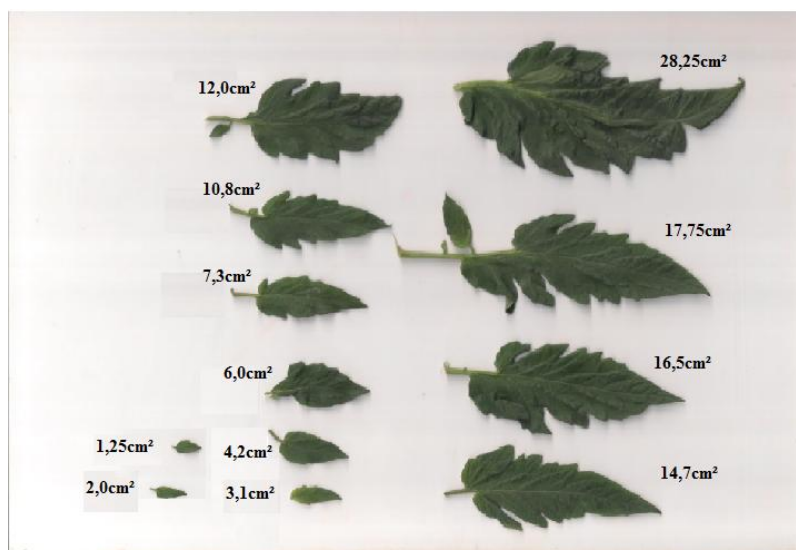


Fonte: O autor (2015).

4.5 Avaliação dos Tomateiros

A análise de área foliar, das plantas cultivadas nos ensaios, foi realizada semanalmente, através da contagem do número de folhas multiplicado por valores que corresponderam a moldes de folhas de tomateiros previamente dimensionados (Figura 4).

Figura 4. Moldes de folhas de tomateiros previamente dimensionados.



Fonte: O autor (2015).

Também foi avaliado o crescimento das plantas, do solo até o seu ápice, utilizando-se uma trena, semanalmente.

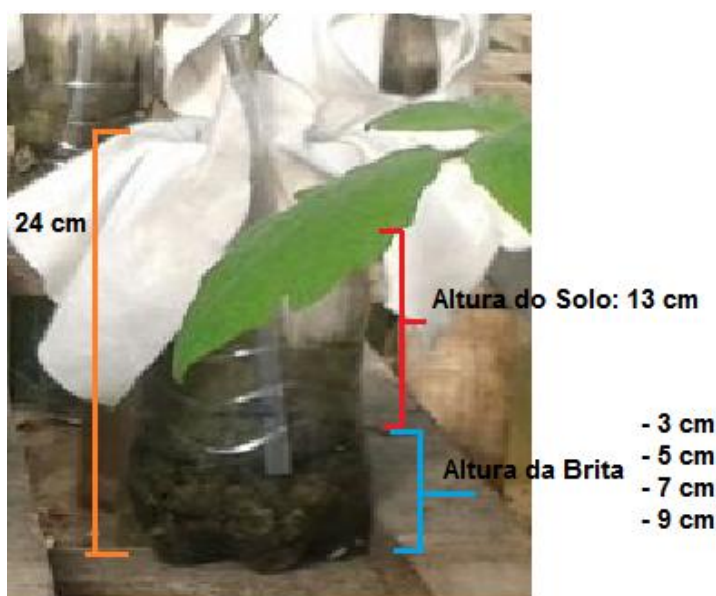
Decorridos 60 dias após o transplântio das mudas dos tomateiros, as plantas foram cuidadosamente coletadas, as raízes foram lavadas em água corrente e secas com papel toalha. Após, realizou-se a pesagem separadamente das raízes e parte aérea das plantas, para avaliação de Massa Fresca da Parte Aérea e do Sistema Radicular.

4.6 Ensaio 1: Altura do leito

Antes da instalação do sistema de tratamento da manipueira, realizou-se um ensaio inicial em garrafas PET cortadas em sua porção superior (Figura 5), cujo principal objetivo foi avaliar:

- Altura do leito de brita a ser utilizada no sistema RAHLF;
- Estimativa da evapotranspiração da cultura, na produção de tomate em sistema de irrigação subsuperficial, para a região;
- Massa do sistema radicular, da parte aérea e área foliar das plantas por tratamento, tendo sido utilizado para o ensaio seguinte o tratamento de melhor resultado para estes parâmetros.

Figura 5. Garrafa PET com leito de brita, para irrigação subsuperficial.



Fonte: O autor (2015).

As garrafas PET foram cortadas em sua porção inicial, perfazendo uma altura de 24cm (mesma altura das floreiras a serem utilizadas no experimento seguinte). Nessas, foi colocada pedra brita nas alturas pré-determinadas (3cm, 5cm, 7cm e 9cm). Posicionada próxima à parede das garrafas, uma mangueira transparente de 10mm x 1,5mm com tamanho de 25cm, também foi adicionada em cada garrafa PET. A mangueira era utilizada para reabastecer com água potável o leito com pedra brita.

Em seguida, sobre uma manta de bidim — usada para separar o solo da pedra brita — adicionou-se o solo, com perfil medindo 13 cm, para todos os tratamentos.

Em cada garrafa PET cortada fora transplantada uma muda de tomateiro, variedade IPA 6, com 20 dias de germinada.

Logo, os tratamentos do primeiro ensaio (Figura 6), com (4) quatro repetições foram:

- TRATAMENTO 1: Altura do leito de brita igual a 3cm

- TRATAMENTO 2: Altura do leito de brita igual a 5cm
- TRATAMENTO 3: Altura do leito de brita igual a 7cm
- TRATAMENTO 4: Altura do leito de brita igual a 9cm

Figura 6. Experimento de tomateiros com irrigação subsuperficial.



Fonte: O autor (2015).

Ao transplantar as mudas de tomateiro para as garrafas PET adaptadas, completou-se o volume total do leito de brita, com água potável, nas quantidades que seguem na Tabela 1.

Tabela 1. Capacidade total de volume de água no leito de brita para irrigação subsuperficial.

Altura de Leito de Brita (cm)	Volume de Água inicial (mL)
3	200
5	300
7	400
9	500

À medida que se observava que o nível de água diminuía, a quantidade de água perdida era repostada, diariamente, tomando-se nota do valor adicionado em cada garrafa PET utilizada em todos os tratamentos.

Dessa forma, o volume de água a ser adicionada em cada floreira do Ensaio 2 foi calculado de acordo com a Equação 1 abaixo:

$$\text{Vol. H}_2\text{O Floreira} = \frac{\text{Área Floreira} \times \text{Vol. H}_2\text{O PET}}{\text{Área PET}} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

- Vol. H₂O Floreira = média de volume de água potável a ser adicionada diariamente nas floreiras do Ensaio 2;
- Área Floreira = área superficial da floreira;
- Vol. H₂O PET = média de volume de água potável adicionada diariamente no tratamento que obteve melhor resultado;
- Área PET = área superficial da garrafa PET.

O melhor resultado do Ensaio 1 foi utilizado para definir a altura do leito de pedra brita para o Ensaio 2.

Além da altura do leito, os valores médios de volume de água adicionado no tratamento que obteve os melhores resultados foram utilizados no Ensaio 2, para ajustar o valor de água adicional a ser repostada nas floreiras, devido perdas por evaporação e evapotranspiração das plantas, isto é, a Evapotranspiração da cultura (ET_c).

4.7 Ensaio 2: Sistemas de tratamento

Os Sistemas de Tratamento Anaeróbio Horizontal de Fertirrigação Subsuperficial (TAHFS) foram implantados em floreiras de 80cm x 24cm x 21cm

de dimensão (Figura 7). Cada floreira correspondeu a um tratamento do experimento.

Figura 7. Floreiras utilizadas nos tratamentos.



Fonte: O autor (2015).

As floreiras possuem uma área em seu leito, onde atuou o Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo, com pedra brita, manipueira — com carga orgânica variável — e árqueas de bactérias anaeróbias sobrepostas (Figura 8). As bactérias anaeróbias inseridas nos reatores foram provenientes do sistema de tratamento anaeróbio de uma fábrica de refrigerantes, localizada na cidade de São Luís-MA.

Figura 8. Leito do RAHLF com meio suporte Brita inoculado em lodo anaeróbio.



Fonte: O autor (2015).

Antes da partida do reator, foi realizada a aclimatização das árqueas com o afluente. Por 30 dias, realizou-se a alimentação do sistema com manipueira, tendo monitoramento diário do pH e aumento gradativo da carga orgânica, até atingir o valor estipulado, em cada tratamento.

Acima deste leito, havia uma manta de bidim para que o solo não se misturasse diretamente com a pedra brita e a manipueira. Em seguida, adicionou-se o solo, com perfil medindo 13 cm, em todos os tratamentos.

Em cada uma das 10 (dez) floreiras utilizadas no experimento foram transplantadas 3 (três) mudas de tomateiro do grupo "Santa Cruz", cultivar IPA 6, com 20 dias de germinada (Figura 9). A distância entre plantas nas floreiras foi de 20 cm.

Figura 9. Transplântio das mudas de tomateiro.



Fonte: O autor (2015).

Os TAHFS foram alimentados em fluxo hidráulico contínuo, diariamente, com três diferentes concentrações de entrada da manipueira, 5.000, 10.000 e 15.000 mg.L⁻¹. Foram adotados três Tempos de Detenção Hidráulica (TDH), 3,5, 7 e 10,5 dias.

É importante ressaltar que os tempos de detenção hidráulica foram calculados com base no volume de escoamento (2.300mL), descontado o volume ocupado pela pedra brita.

Além da concentração do afluente e tempo de detenção hidráulica, estão representadas na Tabela 2 a carga orgânica volumétrica (COV). Esta última representa a quantidade (massa) de matéria orgânica aplicada diariamente ao reator, por unidade de volume do mesmo.

Logo, os tratamentos do segundo ensaio, tendo um controle alimentado apenas com água potável, são os que se encontram na Tabela 2.

Tabela 2. Sistemas de Tratamento Anaeróbio Horizontal de Fertirrigação Subsuperficial (TAHFS).

TRATAMENTOS	Concentração de entrada da manipueira (mg.L⁻¹)	Carga Orgânica Volumétrica (mg.L⁻¹.dia⁻¹)	Tempo de Detenção Hidráulica (Dia)
Controle	0 /Água potável	0	0
C5.000/TDH3,5	5.000	1428,57	3,5
C5.000/TDH7	5.000	714,29	7
C5.000/TDH10,5	5.000	476,19	10,5
C10.000/TDH3,5	10.000	2857,14	3,5
C10.000/TDH7	10.000	1428,57	7
C10.000/TDH10,5	10.000	952,38	10,5
C15.000/TDH3,5	15.000	4285,71	3,5
C15.000/TDH7	15.000	2142,86	7
C15.000/TDH10,5	15.000	1428,57	10,5

As saídas de gás, reposição da manipueira (entrada) e coleta de amostras (Pontos 2 e 3) foram compostas de tubos de PVC com aproximadamente 30 cm de altura e 3 cm de diâmetro.

As análises referentes às amostras do ponto Entrada, referem-se ao afluente que ainda não foi inserido no sistema, diluído de acordo com a concentração de entrada da manipueira no sistema, conforme consta na Tabela 2, para a caracterização do mesmo.

O ponto Saída é composto de torneira plástica de 25mm de diâmetro acoplada à floreira.

Os pontos de coleta foram distribuídos ao longo dos TAHFS, totalizando 3 pontos de coleta, 2 ao longo da floreira mais Saída (Figura 10).

Figura 10. Pontos de coleta de amostras, entrada do afluente e saída do efluente tratado.



Fonte: O autor (2015).

Para realizar a coleta, fazia-se uso de uma mangueira transparente de construção de 10mm x 1,5mm com tamanho de 50cm, com um pipetador acoplado em uma das pontas, para succionar as amostras de dentro do sistema.

4.8 Análises de acompanhamento – metodologia e frequência

4.8.1 Temperatura

A temperatura foi determinada através da leitura direta em medidor de bolso Combo para pH/EC/TDS/Temperatura, Hanna Instruments HI-98130, previamente calibrado, com escala de 0,0°C a 60,0°C. As leituras foram

efetuadas nas amostras coletadas em todos os 4 pontos de cada tratamento, com frequência semanal até o final do ensaio.

4.8.2 Determinação do potencial hidrogeniônico (pH)

A medição do pH foi determinada através da leitura direta em medidor de bolso Combo para pH/EC/TDS/Temperatura, Hanna Instruments HI-98130, previamente calibrado, com escala de pH de 0,00 a 14,00. As leituras foram efetuadas nas amostras coletadas em todos os 4 pontos de cada tratamento, uma vez por semana até o final do ensaio. Além da leitura semanal, havia o monitoramento do sistema diário, com determinação do pH no ponto 3 (fase metanogênica) dos tratamentos, para possível correção do pH nos sistemas.

4.8.3 Determinação da condutividade elétrica (CE)

A condutividade elétrica foi determinada através da leitura direta em medidor de bolso Combo para pH/CE/TDS/Temperatura, Hanna Instruments HI-98130, previamente calibrado, com escala de 0,00 mS.cm⁻¹ a 20,00 mS.cm⁻¹. As leituras foram efetuadas em amostras coletadas de todos os 4 pontos de cada tratamento, uma vez por semana até o final do ensaio.

4.8.4 Alcalinidade a bicarbonato (AB) e Alcalinidade Total (AT)

A alcalinidade a bicarbonato (AB) e Alcalinidade Total (AT) foram avaliadas através do método titulométrico com solução de ácido sulfúrico 0,01N, conforme procedimentos descritos em AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA (1998), que expressa o valor da alcalinidade em mg.Ca.CO₃.L⁻¹. As análises foram efetuadas nas amostras coletadas em todos os 4 pontos de cada tratamento, em duplicata, uma vez por semana até o final do ensaio.

4.8.5 Determinação da acidez volátil (AV)

A acidez volátil foi determinada através do método titulométrico com solução de hidróxido de sódio 0,01N, conforme APHA (1998), que expressa o valor da acidez em $\text{mg.CH}_3\text{COOH.L}^{-1}$. As análises foram efetuadas nas amostras coletadas em todos os 4 pontos de cada tratamento, em duplicata, uma vez por semana até o final do ensaio.

4.8.6 Turbidez

A turbidez do efluente foi determinada com auxílio do equipamento turbidímetro, marca Policontrol, modelo AP2000, previamente aferido. A leitura foi feita diretamente no monitor do equipamento, onde a turbidez é expressa em NTU, com escala de medida de 0,00 a 1.000 NTU. As análises foram efetuadas em amostras dos pontos entrada e saída de cada tratamento, em duplicata, uma vez por semana até o final do ensaio.

4.8.7 Sólidos Sedimentáveis (SS)

Foram determinados através de método volumétrico com auxílio do Cone Imhoff, intervalo de graduação de 0,1ml, de acordo com APHA (1998). Portanto, 1 litro de amostra, após agitação, foi colocado no cone de Imhoff. Após 45 minutos de sedimentação, foi realizada uma pequena agitação para desprender os sólidos aderidos nas paredes. Após 15 minutos foi procedida a leitura no próprio cone, com valor expresso em mL.L^{-1} . As leituras foram efetuadas em amostras dos pontos entrada e saída de cada tratamento, uma vez por semana até o final do ensaio.

4.8.8 Sólidos Totais (ST)

O teor de sólidos totais, expresso em mg.L^{-1} , refere-se a porcentagem de material remanescente em uma amostra após sua completa evaporação e secagem. As análises foram realizadas segundo metodologia descrita em APHA

(1998). Com o auxílio dos equipamentos banho-maria Solab, SL-155 e Estufa de secagem marca Quimis modelo Q317M-53. As análises foram efetuadas em amostras dos pontos entrada e saída de cada tratamento, em duplicata, uma vez por semana até o final do ensaio.

4.8.9 Sólidos Totais Voláteis (SV)

Sólidos totais voláteis referem-se a porção volatilizada, após a incineração da amostra utilizada na determinação de sólidos totais (ST) à temperatura de 600°C, com auxílio do equipamento forno mufla marca Jung modelo LF0612. As análises foram realizadas segundo metodologia descrita em APHA (1998), com valor expresso em mg.L^{-1} . As análises foram efetuadas nas amostras dos pontos entrada e saída de cada tratamento, em duplicata, uma vez por semana até o final do ensaio.

4.8.10 Sólidos Totais Fixos (SF)

Este parâmetro refere-se ao resíduo restante após a incineração da amostra, designado de cinzas, expresso em mg.L^{-1} . As análises foram realizadas segundo metodologia descrita em APHA (1998). As análises foram efetuadas nas amostras dos pontos entrada e saída de cada tratamento, em duplicata, uma vez por semana até o final do ensaio.

4.8.11 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A determinação da DQO, expressa em mg.L^{-1} , foi realizada conforme indica a metodologia descrita em APHA (1998), utilizando-se bloco digestor marca Quimis modelo Q325S e espectrofotômetro marca Spectrum modelo SP-1105. As análises foram efetuadas nas amostras coletadas em todos os 4 pontos de cada tratamento, em duplicata, uma vez por semana até o final do ensaio.

4.8.12 Cianeto

A determinação do cianeto foi realizada através do método titulométrico, conforme MAPA (1986), que expressa o valor do ácido cianídrico em mg/L. As análises foram efetuadas em amostras coletadas dos pontos entrada e saída de cada tratamento, em duplicata, uma vez por semana até o final do ensaio.

4.9 Taxas de remoção

As taxas de remoção das variáveis: DQO, cianeto, turbidez, sólidos sedimentáveis, sólidos totais, sólidos totais voláteis e sólidos totais fixos foram calculadas utilizando a equação 2 e o resultado expresso em porcentagem (%).

$$\text{Remoção} = \frac{(\text{Valor Inicial} - \text{Valor Final})}{\text{Valor Inicial}} \times 100 \quad (\text{Equação 2})$$

4.10 Análises de Solo

Realizaram-se análises do solo antes de seu uso nos sistemas, para sua caracterização físico-química, e ao final do experimento — para verificar possível influência da fertirrigação subsuperficial com diferentes concentrações de manipueira sobre o solo —, em 2 (dois) pontos distintos de cada tratamento, porção média inicial e média final (Figura 11), dos seguintes parâmetros: Al (alumínio trocável), Ca (cálcio), Mg (magnésio), Na (sódio), Hidrogênio dissociável, K (potássio), P (fósforo), Matéria orgânica, C (carbono) e pH (potencial hidrogeniônico) de acordo com a metodologia do IAC - Instituto Agrônomo de Campinas (RAIJ *et al.*, 2001).

Figura 11. Pontos de coleta das amostras de solo.



Fonte: O autor (2015).

Para a análise estatística foi utilizado o programa estatístico SPSS versão 20. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas entre si pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Definição da Altura do leito de brita a ser utilizada no sistema RAHLF

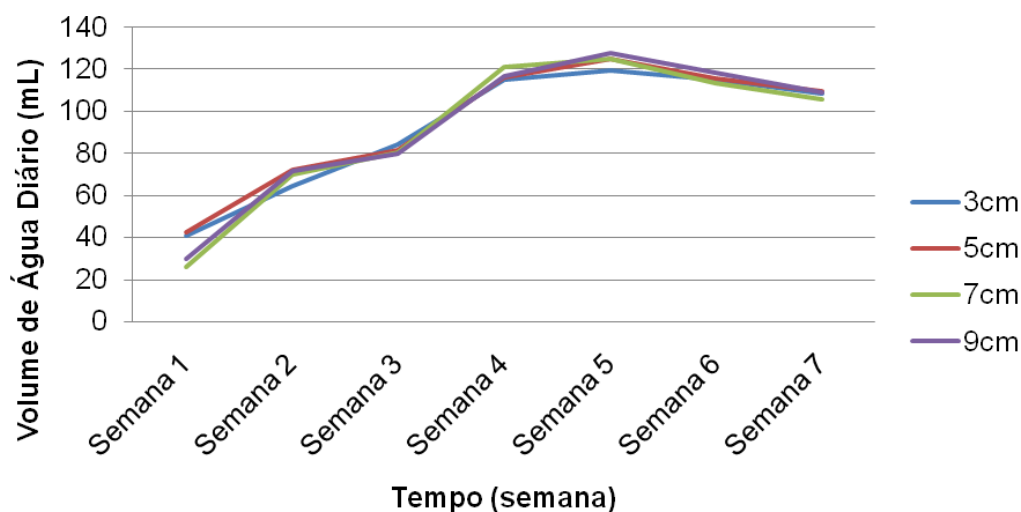
5.1.1 Evapotranspiração da cultura (ETc)

O conhecimento das necessidades hídricas de um vegetal é um fator essencial em todo planejamento de irrigação (MAROUELLI; SILVA e MORETTI, 2016). A quantidade total de água necessária para a irrigação do tomateiro, que depende das condições climáticas, do sistema de irrigação e da cultivar, dentre outros fatores, varia entre 300-650 mm. O consumo diário de água, denominado de evapotranspiração da cultura (ETc), engloba a água transpirada pela planta e a evaporada das superfícies do solo e da planta (MAROUELLI; SILVA E SILVA (2012).

O tomateiro é uma planta de ciclo relativamente curto, que exige o uso de água durante todo o seu período de desenvolvimento, desde a formação da muda até a colheita.

Sendo assim, o volume de água médio adicionado diariamente durante 7 (sete) semanas no cultivo do tomateiro, em diferentes alturas de leitos de brita, encontra-se na Figura 12.

Figura 12. Volume de água adicionado diariamente nos vasos com diferentes alturas de leito de brita com irrigação subsuperficial.



Fonte: O autor (2016).

Na Figura 12 pode-se observar que a quantidade de água necessária para irrigação dos tomateiros aumentou com o passar do tempo. Na fase inicial (do transplante até o pleno pegamento das mudas), que ocorre na primeira semana, a evapotranspiração diária média foi menor nos tratamentos com leito de brita de 7cm e 9cm, com respectivamente 26,1 mL e 29,9 mL de água.

Na fase vegetativa (que vai do estabelecimento inicial das plantas até o início da frutificação), que dura aproximadamente 25 dias (correspondendo à 5ª Semana), a quantidade média máxima exigida foi no tratamento com leito de brita de 7cm, com a média de 135 mL de água evapotranspirada.

De acordo com Geisenberg & Stewart (1986), a maior demanda hídrica ocorre nas fases inicial, vegetativa e de frutificação, que se prolonga até o início da maturação. No estágio de maturação, que corresponde ao início da maturação até a colheita de frutos, há uma considerável redução do uso de água pelas plantas, ocorrendo uma diminuição da evapotranspiração entre 20-50%.

Esses resultados foram compatíveis com o descrito na literatura (REIS, SOUZA E AZEVEDO, 2009; SANTANA *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2013) pois, a

demanda hídrica tendeu a aumentar desde a fase inicial até a frutificação. Vale ressaltar que, provavelmente, devido a fatores climáticos, houve uma pequena queda no consumo de água entre a quinta e sétima semana para os tratamentos com leito de brita de 3cm, 5cm, 7cm e 9cm, com médias de 9,13%, 12,45%, 15,33% e 14,64%, respectivamente. No entanto, apesar da diminuição da ETc, esta ainda representava a fase de frutificação.

5.1.2 Desenvolvimento das plantas

Para a primeira fase do experimento, diferentes alturas do leito de brita foram comparadas para definir qual altura do leito de irrigação subsuperficial seria a mais indicada para o melhor desenvolvimento das plantas, assim como para definir qual volume de água seria acrescentado ao sistema de tratamento e fertirrigação considerando a evapotranspiração da cultura encontrada neste experimento.

O desenvolvimento das plantas cultivadas em função da altura do leito de irrigação subsuperficial foi avaliado através da área foliar, altura, massa fresca do sistema radicular e parte aérea dos tomateiros. Sendo apresentados os resultados médios na Tabela 3, onde não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos ($p>0,05$), em todos os parâmetros estudados.

Tabela 3. Comparação dos parâmetros altura, área foliar, massa fresca da parte aérea, do sistema radicular e massa fresca total dos tomateiros¹.

Tratamentos	Altura (cm)	Área Foliar (cm ²)	Massa da Parte Aérea (g)	Massa do Sistema Radicular (g)	Massa da Planta (g)
Altura 3 cm	74,00 ^a	575,65 ^a	32,11 ^a	13,00 ^a	45,11 ^a
Altura 5 cm	71,75 ^a	576,10 ^a	32,24 ^a	14,01 ^a	46,25 ^a
Altura 7 cm	77,00 ^a	565,18 ^a	30,44 ^a	17,34 ^a	47,78 ^a
Altura 9 cm	81,50 ^a	600,63 ^a	37,12 ^a	14,12 ^a	51,24 ^a
Média	76,20	579,39	32,98	14,62	47,60
Desvio Padrão	8,14	32,90	4,54	2,40	4,28
CV%	10,67	5,68	13,77	16,43	8,99

¹ Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

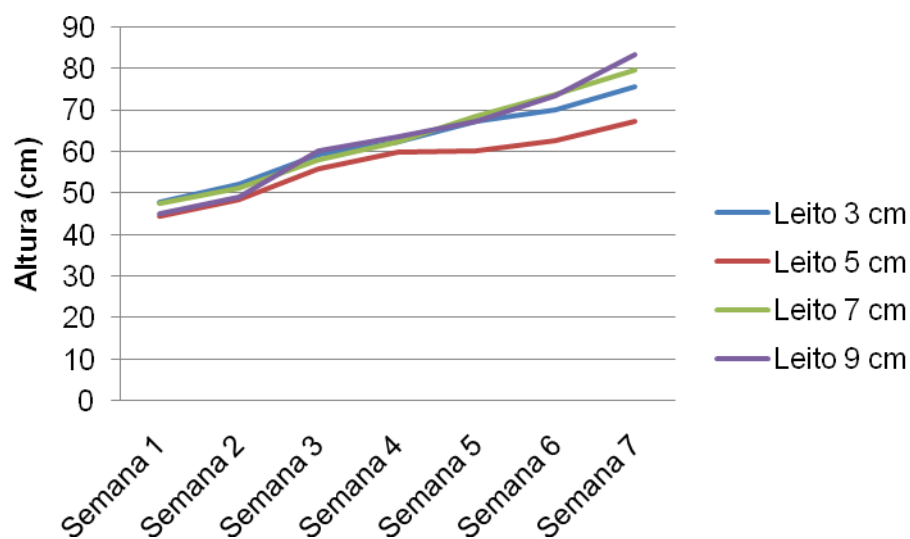
O maior coeficiente de variação obtido nas análises de variância relativas aos parâmetros estudados foi da massa do sistema radicular, 16,43%, o que evidencia baixa variação entre os tratamentos.

Observa-se que as plantas irrigadas mostraram apenas tendência de elevação dos parâmetros analisados no tratamento com altura do leito de 9cm, mas não diferiram significativamente, possivelmente influenciados pela presença adequada de água e nutrientes nos diferentes tratamentos. Vale ressaltar que todos os tratamentos, mesmo com alturas de leito de irrigação subsuperficial diferentes, possuíam a mesma altura de perfil de solo.

Thebaldi *et al.* (2013) avaliando os sistemas de irrigação por gotejamento superficial e gotejamento subsuperficial em conjunto com fertirrigação com efluente de abate de bovinos obtiveram resultados semelhantes. As plantas apresentaram aos 39 dias após o transplante, altura média de 77,04 e 67,08 cm utilizando, respectivamente, efluente de abate bovino e fertirrigação, com gotejamento subsuperficial para ambos. O sistema de irrigação e o tipo de água não influenciaram na altura das plantas e no peso médio dos frutos de tomate.

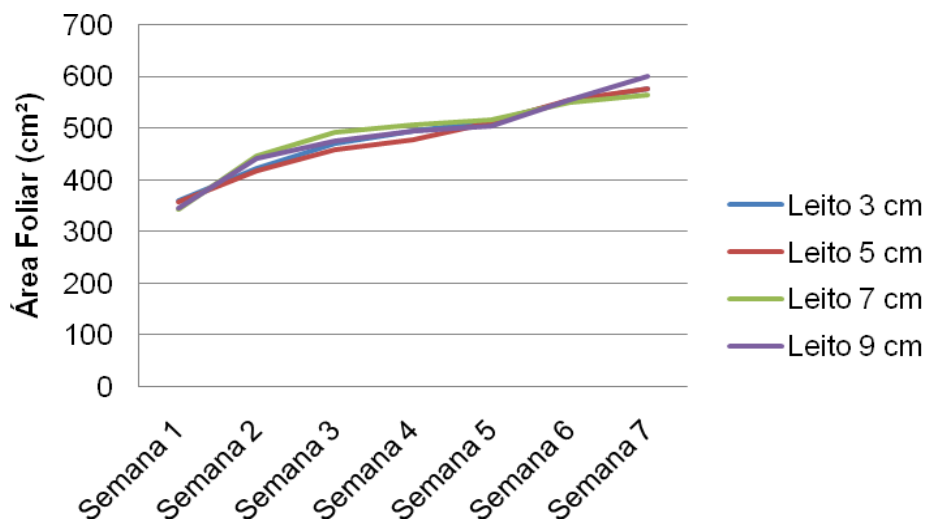
Para todos os tratamentos, foi observado o mesmo padrão de crescimento do tomateiro (Figuras 13 e 14) ao longo do tempo. No início, apresentou-se com crescimento lento, acelerando-se e atingindo valores maiores, tanto quando comparou-se altura quanto área foliar dos tomateiros. Pois, à medida que a planta cresce e aumenta seu porte, maior é a sua capacidade de produzir fitomassa.

Figura 13. Altura média dos tomateiros variando com o tempo, em diferentes alturas de leito de brita com irrigação subsuperficial.



Fonte: O autor (2016).

Figura 14. Área foliar média dos tomateiros variando com o tempo, em diferentes alturas de leito de brita com irrigação subsuperficial.



Fonte: O autor (2016).

A distribuição de matéria seca entre os diferentes órgãos da planta tem papel fundamental na produção de uma cultura. A produção de biomassa é a expressão do aumento irreversível da massa das folhas, caules, frutos e raízes ao longo do tempo, características quantitativas passíveis de serem utilizadas na comparação de cultivares (FAGERIA *et al.*, 2006) ou genótipos com diferentes objetivos, entre eles, na utilização de diferentes tipos de fertirrigação.

Em trabalho desenvolvido por Rocha (2009), no qual foi utilizado tomate cereja, constatou-se que o principal órgão armazenador de matéria seca na cultura do tomateiro foi a folha. Segundo o autor, as folhas além de fontes principais caracterizam-se também como drenos de fotoassimilados seguidas do caule e, por último, os frutos.

De acordo com Gonzalez-Sanpedro *et al.* (2008), o aumento da área foliar propicia um aumento na capacidade da planta de aproveitar a energia solar visando à realização da fotossíntese e, desta forma, pode ser utilizada para avaliar a produtividade.

Logo, por este motivo não foi foco deste trabalho aguardar até a produção dos frutos. Além do motivo já citado, a análise dos outros parâmetros em estudo seriam comprometidos pela necessidade de realizar alguns tratos culturais para a produção dos frutos, como desbrota, raleamento de penca e poda apical.

Devido à melhor alocação das torneiras plásticas de 25 mm de diâmetro acopladas às floreiras nos pontos de saída do efluente e por não ter havido diferença significativa entre os tratamentos para os parâmetros estudados, optou-se pela utilização da altura de 7 cm do leito de brita a ser utilizada no segundo ensaio, com o sistema RAHLF.

5.2 Caracterização da Manipueira

Antes de iniciar o segundo ensaio, tratamento da manipueira através dos sistemas RAHLF, realizou-se a caracterização da manipueira sem diluição e em

temperatura ambiente, oriunda da produção de farinha d'água, coletada em uma casa de farinha da comunidade quilombola Santa Rosa dos Pretos, localizada no município de Itapecuru Mirim, Maranhão.

Pode-se afirmar que, embora a coleta tenha se concentrado em uma única casa de farinha, o resíduo adquirido foi representativo da comunidade Santa Rosa dos Pretos em razão do processamento da mandioca para produção da farinha ser idêntico em todas as sete casas de farinha da comunidade e as variedades de mandioca processadas serem as mesmas cultivadas na circunvizinhança.

As características da manipueira são afetadas pela forma de processamento e composição da mandioca que a origina. Já a composição da raiz é influenciada por diversos fatores, entre eles a época de cultivo, o tipo de solo, a temperatura, a altitude, a umidade e a variedade cultivada (FIORETO, 2001 e CARVALHO *et al.*, 2005). Desta forma, foi necessária a caracterização da manipueira (Tabela 4) para utilização nos sistemas de tratamento RAHLF.

Tabela 4. Caracterização físico-química da manipueira oriunda da casa de farinha da comunidade quilombola Santa Rosa dos Pretos.

Parâmetros	Manipueira sem diluição
DQO (mg.L ⁻¹)	44.100,00±274,26
Cianeto (mg.L ⁻¹)	56,50±1,09
Alcalinidade a Bicarbonato (mg.CaCO ₃ .L ⁻¹)	ND*
Alcalinidade Total (mg.CaCO ₃ .L ⁻¹)	ND*
Acidez Volátil (mg.CH ₃ COOH.L ⁻¹)	4.228,14±7,03
Sólidos Totais (mg.L ⁻¹)	58.947,00±198,57
Sólidos Totais Fixos (mg.L ⁻¹)	12.360,00±25,41
Sólidos Totais Voláteis (mg.L ⁻¹)	46.587,00±79,45
Sólidos Sedimentáveis (ml.L ⁻¹)	2,10±0,00
Turbidez (NTU)	1.148,00±5,83
pH	3,98±0,00
Condutividade Elétrica (mS.cm ⁻¹)	7,98±0,13
Temperatura (°C) no local de coleta	28,40±0,00

ND*: não detectado pelo método.

A manipueira utilizada neste trabalho apresentou conteúdo médio de matéria orgânica expressa em DQO de 44.100 mg.L⁻¹. Este resultado é compatível com o que afirma Lacerda (1991), que a DQO da manipueira gerada na fabricação de farinha geralmente varia de 30.000 a 70.000 mg.L⁻¹.

Maróstica e Pastore (2007), investigando o uso de resíduos agroindustriais na biotransformação de R - (+)-limoneno, caracterizaram a manipueira que foi utilizada no trabalho. Neste, obtiveram valores médios de DQO de 53.400 mg.L⁻¹ para amostras de manipueira provenientes da produção de farinha de mandioca na cidade de Campinas, São Paulo.

Fernandes Jr. (2001) afirma que a composição da manipueira é bastante variável, sobretudo no que diz respeito à matéria orgânica e ao teor de cianeto.

O teor de cianeto encontrado no efluente estudado foi de 56,5 mg.L⁻¹. Este valor foi menor que o encontrado em trabalho realizado por Barana (2000), que variou entre 79,22 mg.L⁻¹ a 141,38 mg.L⁻¹. Neves *et al.* (2014) também relataram valores superiores aos encontrados nesta pesquisa, 257,2 mg.L⁻¹.

O processo de fabricação da farinha de mandioca que leva à geração da manipueira pode originar produtos diferenciados com relação aos teores de cianeto. Isto ocorre em função de alguns fatores, como: processamento; tipo de cultivar; idade da planta; tipo de solo; entre outros (CHISTÉ; COHEN; OLIVEIRA, 2007).

O teor de cianeto encontrado neste trabalho, inferior aos encontrados na literatura, deve-se, provavelmente, ao processamento. Pois, no início do processo de produção de farinha d'água ocorre a fermentação da raiz de mandioca em tanques, onde as mesmas ficam submersas em água por períodos que variam de 1 a 4 dias. Parte dos compostos cianogênicos se solubiliza na água. Assim, quanto maior o tempo em que as raízes ficam submersas, maior a redução dos compostos cianogênicos nas mesmas.

Além do caráter ácido (pH = 3,98), a manipueira apresentou altos índices de condutividade elétrica, acima de 7,98 mS.cm⁻¹. Isto indica que há

grande quantidade de íons e compostos orgânicos no resíduo. Valores semelhantes foram encontrados em trabalho realizado por Aprile, Parente e Bouvy (2004), tendo valores de pH 4,0 e índices de condutividade elétrica de 7 mS.cm⁻¹.

Na caracterização da manipueira, a concentração de ácidos voláteis apresenta grande variação, visto que aumenta rapidamente no período decorrido entre a coleta e a análise em laboratório (Kus e Wiesmann, 1995). Trata-se de um parâmetro de extrema importância para o tratamento anaeróbio considerando-se que em concentrações elevadas provoca distúrbios no processo de tratamento. A concentração de ácidos voláteis ficou em 4.228,14 mg.CH₃COOH.L⁻¹. Estes resultados foram compatíveis com os encontrados em trabalho realizado por Silva (2009), que apresentou a concentração de ácidos voláteis em torno de 6400 mg.CH₃COOH.L⁻¹. Outros parâmetros relevantes para o tratamento anaeróbio, alcalinidade a bicarbonato e alcalinidade total, apresentaram valores não detectados pelo método.

Em relação aos parâmetros físicos, vale destacar a elevada presença de amido que conferiu a manipueira analisada uma concentração de sólidos totais de 58.947 mg.L⁻¹ constituídos majoritariamente por sólidos voláteis, 46.587 mg.L⁻¹. Estes valores foram compatíveis aos encontrados em trabalho que caracterizou manipueira proveniente de casa de farinha realizado por Silva (2009), no qual obteve 58.000 mg.L⁻¹ de sólidos totais e 43.000 mg.L⁻¹ de sólidos voláteis.

5.3 Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo (RAHLF)

O segundo ensaio foi realizado com 10 (dez) tratamentos, consistindo de 3 (três) TDH (3,5, 7 e 10,5 dias) e 3 (três) concentrações de matéria orgânica (5.000, 10.000 e 15.000 mg.L⁻¹ de DQO) de afluente, além de um controle, abastecido com água potável (Figuras 15 e 16).

Figura 15. Tratamentos Anaeróbios Horizontais de Fertirrigação Subsuperficial (TAHFS).



Fonte: O autor (2015).

Figura 16. Transplântio dos tomateiros para os Sistemas de Tratamento Anaeróbico Horizontal de Fertirrigação Subsuperficial (TAHFS).



Fonte: O autor (2015).

5.3.1 Demanda Química de Oxigênio

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) é uma medida quantitativa do oxigênio utilizado para degradar quimicamente a matéria orgânica presente na amostra. Quanto mais oxigênio for utilizado, maior o teor de matéria orgânica presente na amostra (BARANA, 2000). Esta análise tem-se demonstrado eficiente no controle de sistemas anaeróbios de tratamento de esgotos sanitários e industriais. Como também tem sido utilizada como indicador do grau de poluição de um corpo de água ou de uma água residuária.

Nos Apêndices AA e AB é possível observar a média e o erro padrão para os valores de DQO (mg.L^{-1}) durante o ensaio, nos pontos de coleta 2 e 3, que correspondem respectivamente à porção média inicial e média final dos TAHFS, nos diferentes tratamentos.

Apesar de não haver adição de manipueira no tratamento controle, este apresentou concentração de DQO entre $179,62 \text{ mg.L}^{-1}$ e $913,33 \text{ mg.L}^{-1}$ no ponto 2 e entre $214,42 \text{ mg.L}^{-1}$ e $782,57 \text{ mg.L}^{-1}$ no ponto 3, ao longo do ensaio experimental. Isto se deve, provavelmente, à matéria orgânica presente no solo que transpassou o bidim alcançando o leito de irrigação subsuperficial, além de uma possível inserção de solo com matéria orgânica na montagem dos sistemas e quando da retirada das amostras.

Com relação aos sistemas aos quais foram adicionados manipueira, é possível observar, pelos valores das médias expostas na Tabela 5, que logo no início da sua extensão houve redução considerável da carga orgânica em todos os tratamentos, quando comparados com os valores iniciais. Este fato indica que na primeira parte do reator a comunidade microbiana está bem adaptada.

Observou-se também que, dentre os tratamentos com mesma carga orgânica, houve tendência de valores médios de concentração de DQO menores quanto maior o TDH destes.

No geral, as menores concentrações de DQO encontradas no ponto de coleta 3 (Apêndice AB), quando comparadas ao controle, foi do tratamento C5.000/TDH10,5, com média de redução de 89,40%. Este tratamento consistiu da menor concentração de manipueira e maior TDH do estudo.

Estudando o desempenho de um reator anaeróbio compartimentado para tratamento de manipueira, Ferraz; Bruni; Del Bianchi (2009) observaram que nos dois primeiros compartimentos, de um total de quatro, o reator funcionava principalmente como região acidogênica. Nesta, a remoção de carga orgânica foi em torno de 66% e 71% no primeiro e segundo compartimentos, respectivamente.

Mendonça Pinto e Cabello (2011) avaliaram a eficiência do tratamento da manipueira provenientes de extração de fécula de mandioca, utilizando biodigestores anaeróbios de fluxo ascendente, com separação das fases. Foram realizados ensaios variando carga orgânica total (COT) de 1660; 2600 e 3360 mg.L⁻¹.d⁻¹, correspondentes a um tempo de retenção hidráulica de 8,17; 5,44 e 4,08 dias respectivamente. Dentre estes, os melhores resultados para redução da carga orgânica foram obtidos com os tempos de retenção hidráulica (TRH) de 8,17 e 5,44 dias com eficiências médias de 89,8 e 80,9%, respectivamente.

Os resultados obtidos no ponto de saída do efluente nos TAHFS representam a DQO final obtida com os diferentes tratamentos realizados (Apêndice AC). Com esta informação e a DQO inicial calculou-se a taxa de remoção final de DQO obtida em cada TAHFS.

No ponto de saída do efluente (Apêndice AC), percebeu-se que os valores de DQO do tratamento controle teve um decréscimo quando comparados com os apresentados nos pontos de coleta 2 e 3. Isto se deve, provavelmente, à decantação do material orgânico sedimentável ao longo da floreira.

Analisando os resultados obtidos entre os TAHFS, foi possível observar que a diferença estatística mais elevada de DQO do efluente foi observada para os tratamentos com carga orgânica inicial de 15.000 mg L⁻¹.

Os valores de DQO no ponto de saída do efluente, quando comparados ao controle, apresentaram valores proporcionais aos valores iniciais de entrada no sistema. Os sistemas que recebiam afluente com carga orgânica de 5.000 mg L⁻¹ obtiveram as menores DQO observadas, na maior parte do tempo, diferindo estatisticamente dos demais, tendo o TAHFS C5.000/TDH10,5 obtido os valores

significativamente menores no ponto de saída, na maior parte do tempo pesquisado.

Mesmo havendo diferença significativa entre os valores de DQO dos tratamentos desta pesquisa, observou-se que todos os TAHFS obtiveram acentuado decréscimo destes valores, ao longo das semanas. E, entre tratamentos com mesma carga orgânica inicial, houve tendência de diminuição da DQO à medida que os TDH aumentaram.

Em trabalho com emprego de reatores de duas fases, Suvajittanont e Chaiprasert (2003) concluíram que um maior tempo de retenção da biomassa no interior do reator é de grande importância para o tratamento anaeróbio de águas residuais de mandioca. Os autores afirmaram que a recirculação do biogás tem potencial para acelerar e promover a fixação de biomassa no reator, constituindo uma oportunidade para os grupos bacterianos envolvidos evoluírem e desenvolverem uma relação biológica mais adequada proporcionando mais eficiência no processo de biodigestão.

A eficiência de remoção da DQO obtida em cada TAHFS ao longo do ensaio experimental encontra-se representada no Apêndice AD e Figuras 17, 18 e 19.

No Apêndice AD, que apresenta as taxas de eficiência dos TAHFS, pode-se observar que, com exceção do tratamento com carga orgânica de 5.000 mg.L^{-1} e tempo de detenção hidráulica de 3,5, todos os demais alcançaram altas taxas de eficiência de remoção de DQO, ao longo do experimento. Dentre estes, o TAHFS C10.000/TDH10,5 obteve o menor valor de remoção na primeira semana com 81,20%, alcançando 97,53% ao final do experimento.

As menores diferenças estatísticas entre as médias de redução de carga orgânica ocorreram na primeira semana do ensaio. Isto se deve, provavelmente, a uma possível inserção de solo com matéria orgânica na montagem dos sistemas. A baixa diferença estatística não ocorreu nas semanas que se seguiram.

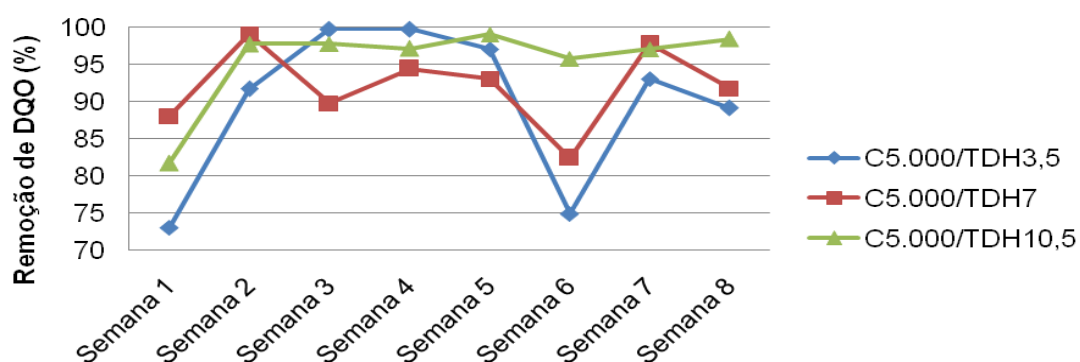
Na segunda semana do ensaio, chama a atenção que desde o ponto de coleta 2 até a saída do efluente, o TAHFS C10.000/TDH7 demonstrou que a sua carga orgânica estava muito acima da média das demais. Estes altos valores contribuíram com a menor remoção de matéria orgânica alcançada para este TAHFS durante todo o ensaio, que foi de 79,84.

No entanto, as taxas de remoção nas semanas seguintes foram elevadas. Na sétima semana do ensaio, observou-se que os tratamentos C10.000/TDH7 e C15.000/TDH10,5 apresentaram altas taxas de redução de DQO, 99,53% e 98,13%, respectivamente.

Os resultados sugerem que ao implantar esse sistema de tratamento, além da vantagem de utilização do meio suporte economicamente viável e durável — pedra brita —, apresenta boa resposta quanto à remoção de matéria orgânica a cargas elevadas mesmo com menores tempos de detenção hidráulica.

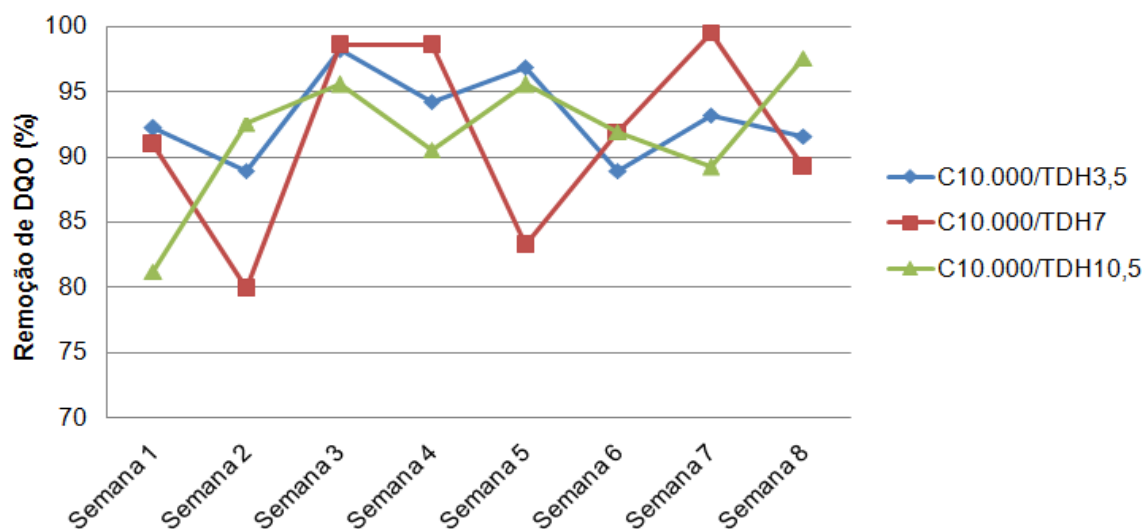
Nas Figuras 17, 18 e 19, que representam a variação temporal dos valores de eficiência de redução de DQO nos tratamentos com as três cargas orgânicas empregadas no ensaio, com as diferentes TDH, é possível constatar que os TAHFS com tempo de detenção hidráulica de 10,5 obtiveram valores mais constantes de remoção de DQO, quando comparados aos demais TDH com a mesma alimentação do sistema. Este fato pode estar relacionado com o desenvolvimento de uma população de bactérias metanogênicas no reator, adaptadas às condições de operação.

Figura 17. Variação temporal dos valores de eficiência de redução de DQO nos tratamentos com carga orgânica 5.000 mg.L⁻¹ com três diferentes TDH.



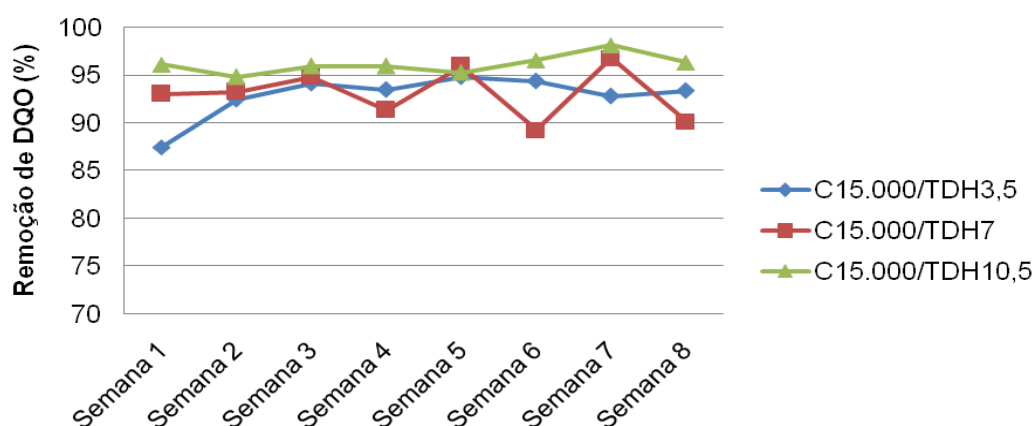
Fonte: O autor (2016).

Figura 18. Variação temporal dos valores de eficiência de redução de DQO nos tratamentos com carga orgânica 10.000 mg.L⁻¹ com três diferentes TDH.



Fonte: O autor (2016).

Figura 19. Variação temporal dos valores de eficiência de redução de DQO nos tratamentos com carga orgânica 15.000 mg.L⁻¹ com três diferentes TDH.



Fonte: O autor (2016).

É importante destacar que, para os biodigestores anaeróbios, a eficiência depende do estabelecimento de um leito de lodo ativo e com boas condições de decantação no interior do reator (CHERNICHARO *et al.*, 2001).

Ribas e Barana (2003), estudando o processo de partida de um biodigestor tipo *plug-flow* para tratamento de manipueira, com TRH de 4 dias e cargas orgânicas de 0,48, 0,86, 1,65 e 2,46 g DQO L⁻¹ d⁻¹ obtiveram média de 71% e 72% de redução de DQO empregando-se carga orgânica volumétrica de 0,86 g DQO L⁻¹ d⁻¹ e 1,65 g DQO L⁻¹ d⁻¹, respectivamente.

Já Kuczman *et al.* (2011), utilizando reatores anaeróbios de fase única no tratamento da manipueira, com TRH de 13; 8,2 e 6,5 dias, que equivaleram a cargas orgânicas de 1,28; 1,57 e 2,68 g DQO L⁻¹ d⁻¹, obtiveram taxas de remoção de DQO de 99,2; 95,7 e 95,3%, respectivamente.

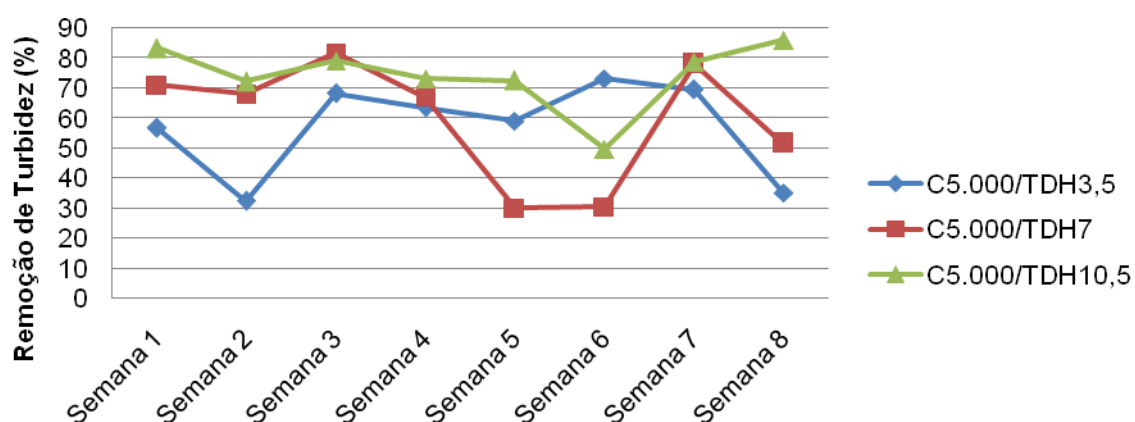
Avaliando o desempenho de um reator anaeróbio compartimentado (RAC) no tratamento de águas residuais de mandioca, Ferraz, Bruni e Del Bianchi (2009) observaram que a taxa de remoção de DQO variou entre 83 a 92%, com alimentação do sistema variando entre 2 e 7 g DQO L⁻¹ e tempo de retenção hidráulica de 3,5 dias.

Os valores de redução de carga orgânica deste trabalho foram superiores aos obtidos por Ribas e Barana (2003) e similares aos encontrados por Kuczman *et al.* (2011), para TRH e DQO próximos. Além disso, os valores de redução de carga orgânica de todos os TAHFS estudados atendem às especificações dos órgãos ambientais para a disposição em rios ou mesmo em sistema público de coleta e tratamento (CONAMA N° 357/2005 e 430/2011).

5.3.2 Turbidez

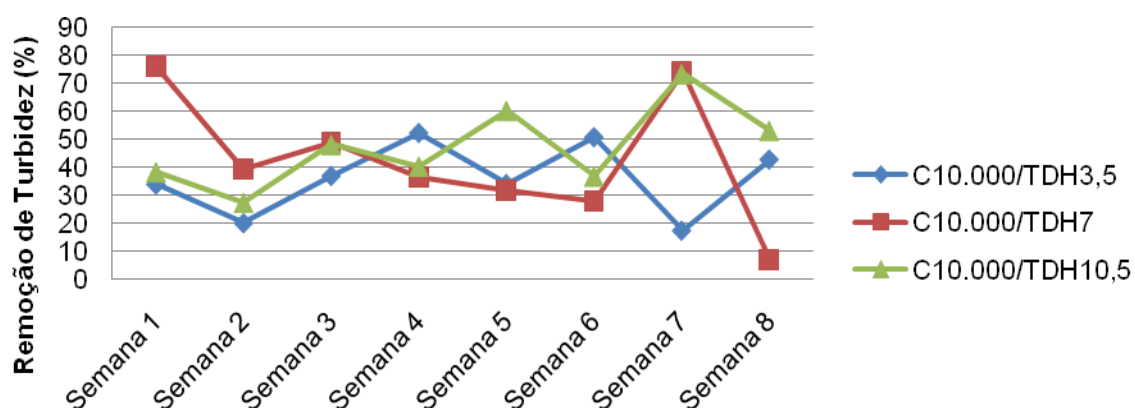
As taxas de remoção de turbidez encontram-se representadas na Apêndice B e nas Figuras 20, 21 e 22. As últimas estão separadas respectivamente por concentrações de carga orgânica aplicadas nos TAHFS, 5.000 mg.L⁻¹, 10.000 mg.L⁻¹ e 15.000 mg.L⁻¹, com diferentes TDH.

Figura 20. Variação temporal dos valores de eficiência de redução de Turbidez nos tratamentos com carga orgânica 5.000 mg.L⁻¹ com diferentes TDH.



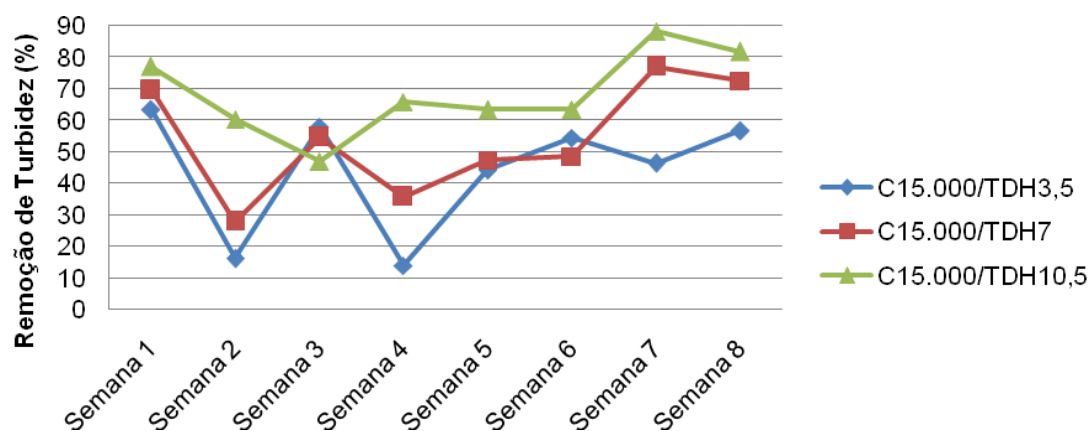
Fonte: O autor (2016).

Figura 21. Variação temporal dos valores de eficiência de redução de Turbidez nos tratamentos com carga orgânica 10.000 mg.L⁻¹ com diferentes TDH.



Fonte: O autor (2016).

Figura 22. Variação temporal dos valores de eficiência de redução de Turbidez nos tratamentos com carga orgânica 15.000 mg.L⁻¹ com diferentes TDH.



Fonte: O autor (2016).

Os tratamentos que apresentaram maiores taxas de remoção de turbidez durante o ensaio foram C5.000/TDH10,5 e C15.000/TDH10,5, com valores que variaram entre 49,79% - 85,95% e 47,03% - 88,24%, respectivamente. Estes tratamentos diferiram estatisticamente dos demais (Apêndice B).

No geral, nota-se que o tratamento que apresentou o menor desempenho, com a maior parte do período de avaliação com valores de remoção de turbidez menores foi o TAHFS C10.000/TDH3,5, diferindo estatisticamente inclusive dos TAHFS que tinham carga orgânica de abastecimento superior.

Como pode-se observar mais claramente nas Figuras 20, 21 e 22, na maior parte do tempo, os TAHFS que possuíam TDH de 3,5 apresentaram menores taxas de remoção de turbidez, dentre os tratamentos com a mesma carga orgânica de alimentação.

Ferraz, Bruni e Del Bianchi (2009), estudando o desempenho de um reator anaeróbico compartimentado para tratamento de manipueira, notaram que a turbidez variou significativamente ao longo dos compartimentos, no entanto, geralmente diminuiu no final do tratamento.

Observou-se que, ao longo do período deste estudo, a turbidez do efluente tratado dos tratamentos C5.000/TDH3,5 e C5.000/TDH10,5 não excedeu o valor máximo exigido para a condição e classificação de águas doces classe 2, 100 UNT (CONAMA Nº 357/2005). As maiores médias encontradas para os tratamentos C5.000/TDH3,5 e C5.000/TDH10,5 foram, respectivamente, 98,65 e 73,3 UNT.

No entanto, as maiores médias ficaram por conta dos tratamentos C15.000/TDH3,5, C15.000/TDH7 e C15.000/TDH10,5, com 391,5, 328 e 241 UNT, respectivamente.

5.3.3 Sólidos Totais

A eficiência na remoção de sólidos presentes nos efluentes é devido a materiais de fácil biodegradação, como proteínas, açúcares, lipídeos, entre outros (Campos *et al.*, 2004). As taxas de remoção de sólidos totais encontradas durante o ensaio estão representadas nas Figuras 23, 24 e 25 e Apêndice C.

Na primeira semana do estudo, os TAHFS não tiveram grandes diferenças de redução de sólidos totais entre eles. Os sistemas que tiveram

menores reduções nessa semana foram C5.000/TDH10,5 e C10.000/TDH10,5, apresentando, respectivamente, redução de 78,62% e 23,24%. Estes diferiram estatisticamente entre si, sendo o último com menores taxas (Apêndice C).

Todavia, apesar de baixa remoção na primeira semana, nas demais o TAHFS C10.000/TDH10,5 apresentou resultados de remoção de sólidos totais variando entre 77,71% e 93,35%.

O tratamento que apresentou melhores resultados durante todo o ensaio, apresentando remoções de sólidos totais relativamente constantes foi o C15.000/TDH10,5, com taxas que variaram entre 88,57% e 94,69%.

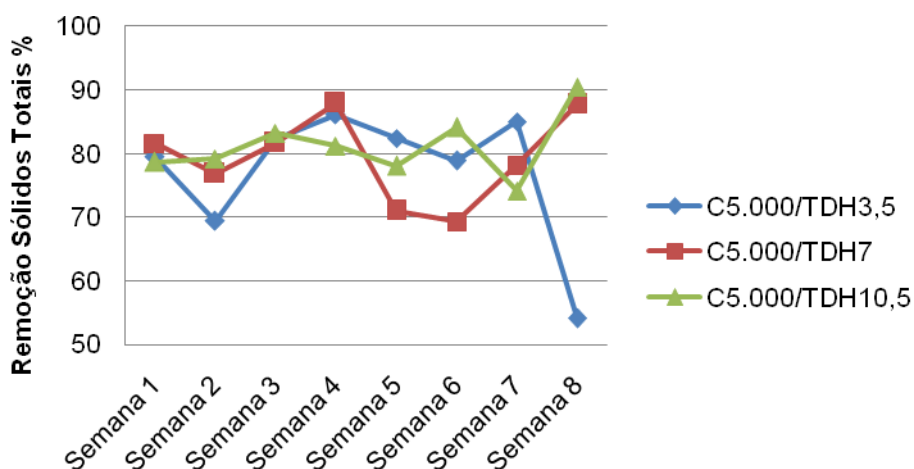
As menores remoções de sólidos totais foram observadas para os dos TAHFS C5.000/TDH3,5 e C10.000/TDH3,5, ambas possuíam os menores TDH estudados. Porém, apesar de diferirem dos outros tratamentos, ainda apresentaram taxas de remoção com o mínimo de 54,15%.

Resultados semelhantes foram observados por Torres (2009), ao comparar a eficiência de remoção de sólidos totais em dois reatores anaeróbios utilizando como meio suporte anéis de bambu e anéis de PVC, com remoção de sólidos totais de 79,12% e 81,18%, respectivamente, aplicando carga orgânica de $3,05 \text{ g.L}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

Kuczman (2007) obteve resultados similares em trabalho que estudava o tratamento de manipueira em reator anaeróbio sem separação de fases. A eficiência de remoção de sólidos totais foi de 77,01% para carga máxima de $2,96 \text{ g.L}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

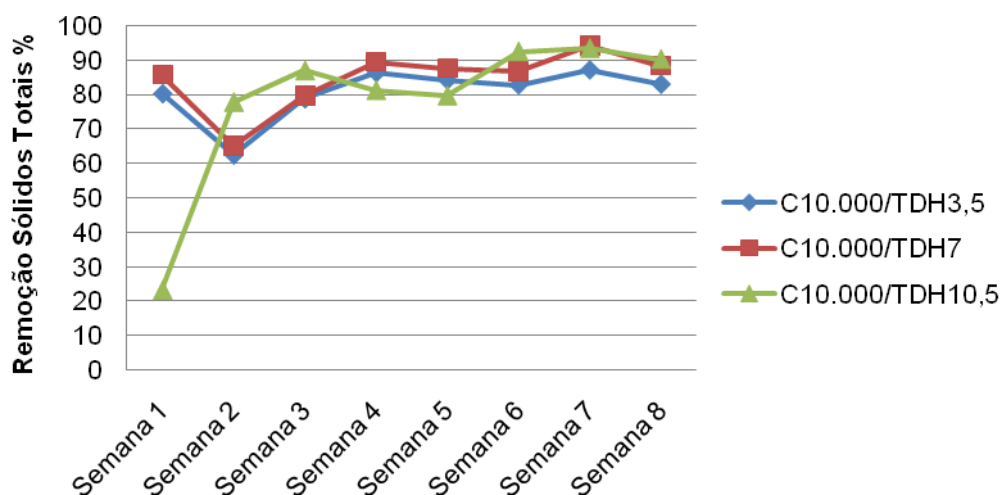
Mendonça Pinto (2008) também observou valores próximos aos do presente trabalho. Avaliando a eficiência do tratamento da manipueira, através de biodigestores anaeróbios de fluxo ascendente, com separação das fases, variando a vazão de alimentação com 8,0; 12,0 e $16,0 \text{ L.d}^{-1}$, correspondentes a um tempo de retenção hidráulica de 8,17; 5,44 e 4,08 dias respectivamente, observou que, em geral, o conjunto de reatores em estudo apresentou eficiências médias de remoção de sólidos totais superiores a 76%.

Figura 23. Variação temporal dos valores de eficiência de redução de Sólidos Totais nos tratamentos com carga orgânica 5.000 mg.L⁻¹ com diferentes TDH.



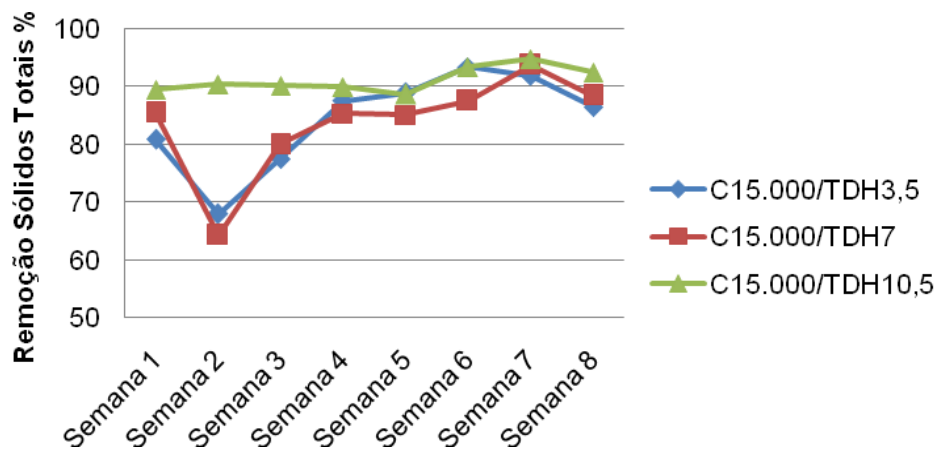
Fonte: O autor (2016).

Figura 24. Variação temporal dos valores de eficiência de redução de Sólidos Totais nos tratamentos com carga orgânica 10.000 mg.L⁻¹ com diferentes TDH.



Fonte: O autor (2016).

Figura 25. Variação temporal dos valores de eficiência de redução de Sólidos Totais nos tratamentos com carga orgânica 15.000 mg.L⁻¹ com diferentes TDH.



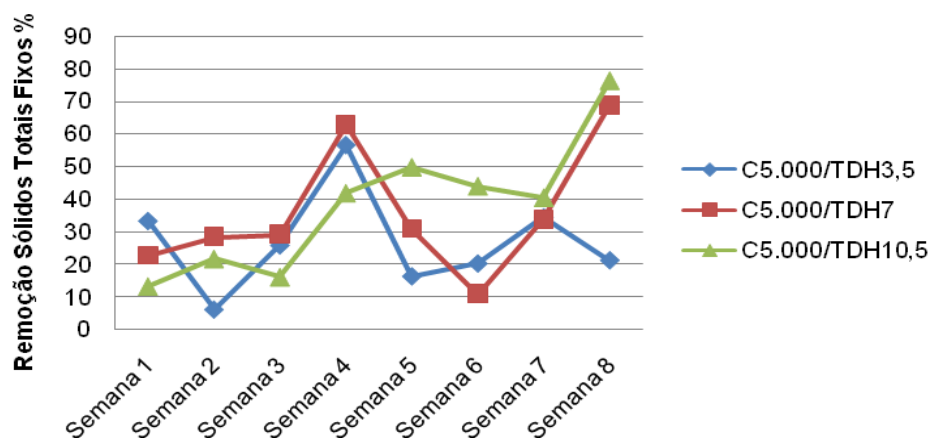
Fonte: O autor (2016).

5.3.4 Sólidos Totais Fixos

Os resultados observados para a remoção dos sólidos totais fixos (%), conforme indicados nas Figuras 26, 27 e 28 e Apêndice D, apresentaram comportamento semelhante aos obtidos para a remoção de sólidos totais. As maiores taxas de remoção de sólidos totais fixos foram encontrados nos tratamentos que tinham alimentação do sistema com maior concentração de carga orgânica (10.000 e 15.000 mg.L⁻¹) e maiores TDH (7 e 10,5 dias).

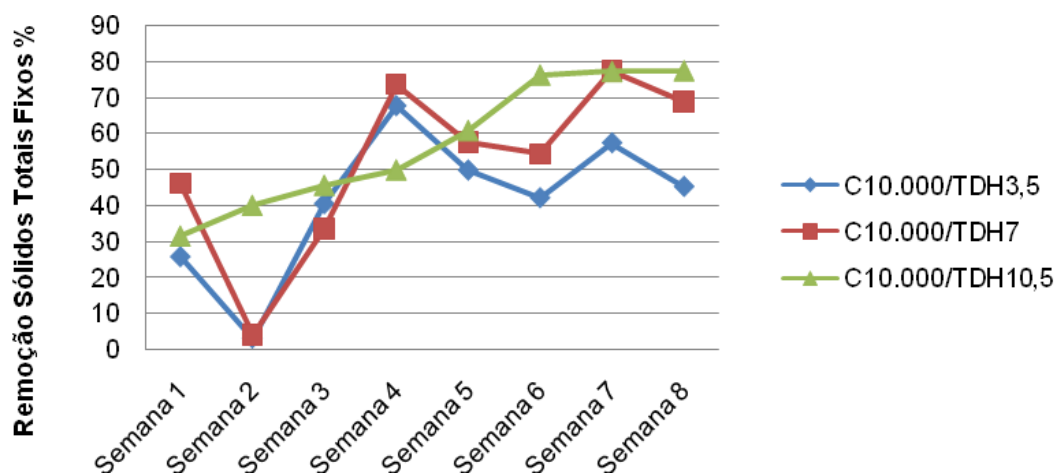
Assim como para remoção de sólidos totais, o tratamento que apresentou melhores resultados durante o ensaio, com diferença significativa, para remoção de sólidos totais fixos foi o TAHFS C15.000/TDH10,5, com taxas de remoção que variaram entre 35,55% e 78,58%.

Figura 26. Variação temporal dos valores de eficiência de redução de Sólidos Totais Fixos nos tratamentos com carga orgânica 5.000 mg.L⁻¹ com diferentes TDH.



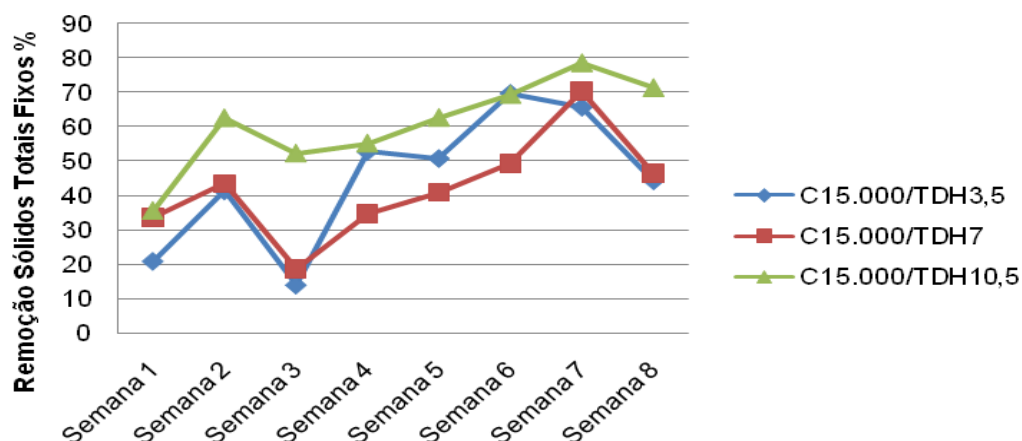
Fonte: O autor (2016).

Figura 27. Variação temporal dos valores de eficiência de redução de Sólidos Totais Fixos nos tratamentos com carga orgânica 10.000 mg.L⁻¹ com diferentes TDH.



Fonte: O autor (2016).

Figura 28. Variação temporal dos valores de eficiência de redução de Sólidos Totais Fixos nos tratamentos com carga orgânica 15.000 mg.L⁻¹ com diferentes TDH.



Fonte: O autor (2016).

5.3.5 Sólidos Totais Voláteis

Na primeira semana de ensaio já houve redução acentuada de sólidos totais voláteis (%) em praticamente todos os TAHFS. O tratamento C10.000/TDH10,5 foi o único que diferiu estatisticamente dos demais, com taxa de remoção de 21,72%. No entanto, os demais apresentaram médias de remoção entre 87,60 e 95,61% (Figuras 29, 30 e 31 e Apêndice E).

Como comentado anteriormente, é provável que tenha ocorrido erro experimental no tratamento C10.000/TDH10,5 na primeira semana. Pois, tanto os valores deste tratamento ao longo das semanas seguintes demonstraram grande divergência entre si, quanto dos demais tratamentos na mesma semana (Figura 30).

O sistema de tratamento C15.000/TDH10,5 foi o que apresentou melhores resultados durante o período de análises, diferindo estatisticamente dos demais na maior parte do ensaio. No entanto, mesmo havendo diferença estatística entre os valores de remoção de sólidos voláteis do TAHFS C15.000/TDH10,5 com os demais, nota-se que todos apresentaram altas taxas,

que ultrapassaram 60% de remoção. Excetuando-se o TAHFS C10.000/TDH10,5, na primeira semana (Apêndice E).

Apesar da expressiva remoção de sólidos voláteis, variando entre 78,41% e 97,26%, com baixo desvio padrão, na sétima semana do ensaio, ao aplicarmos diferentes cargas orgânicas com diferentes TDH, os TAHFS não diferiram estatisticamente entre si ($p>0,05$).

Kuczman (2007), avaliando a remoção de sólidos voláteis em reator anaeróbio monofásico para o tratamento de manipueira, obteve eficiências próximas às observadas nesta pesquisa, de 99,5, 98,9 e 89,5% para as respectivas cargas orgânicas de 1280, 1570 e 2680 mg.L⁻¹.d⁻¹.

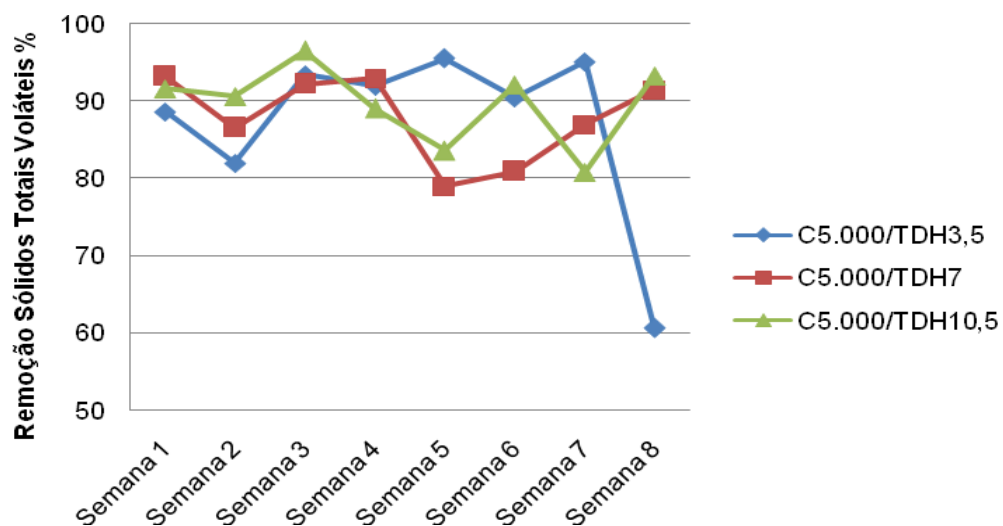
Resultados semelhantes também foram observados em estudo de tratamento de manipueira com a utilização de reatores anaeróbios, no qual Torres (2009) comparou dois meios suportes, bambu e PVC. Obteve resultados semelhantes em ambos os reatores, alcançando eficiência de remoção de sólidos voláteis de 89,6% para tratamento com carga orgânica de 3050 mg.L⁻¹.d⁻¹.

Mendonça Pinto (2008) reiterou os resultados de eficiência de remoção de sólidos voláteis observados na presente pesquisa, avaliando a eficiência do tratamento da manipueira, através de biodigestores anaeróbios de fluxo ascendente, com separação das fases, variando a vazão de alimentação com 8,0; 12,0 e 16,0 L.d⁻¹, correspondentes a um tempo de retenção hidráulica de 8,17; 5,44 e 4,08 dias respectivamente, pois observou que, em geral, o conjunto de reatores em estudo apresentou eficiências médias de remoção de sólidos voláteis superiores a 80%.

Feiden (2001) também obteve redução total de sólidos voláteis acima de 75%, independente das vazões de alimentação adotada. O autor ainda concluiu que, em vista dos reatores empregados possuírem dispositivos para reter sólidos, nem ST nem SV são indicadores eficazes da capacidade de remoção de carga orgânica. Este resultado é contrário ao presente trabalho, pois, além de não ter sido utilizado dispositivo para reter sólidos, é notável que a capacidade

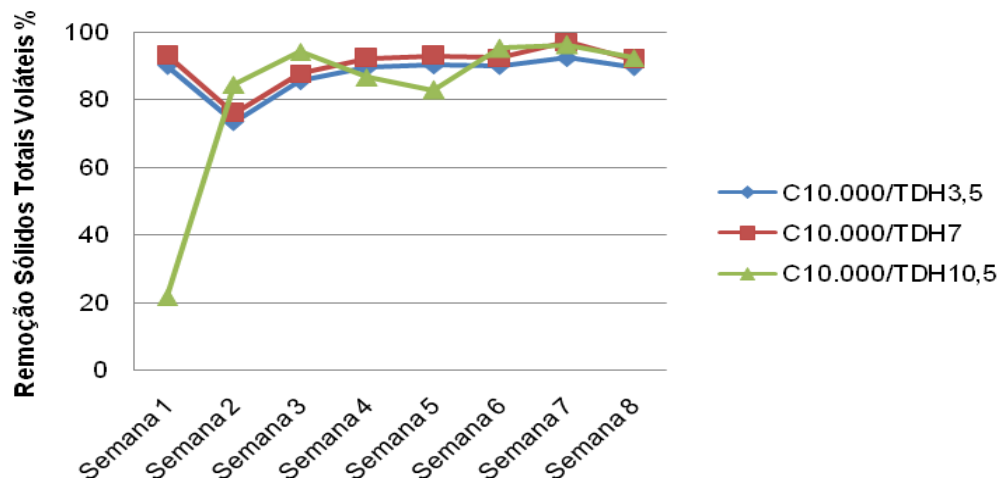
de remoção de sólidos totais e voláteis está relacionada à remoção de carga orgânica.

Figura 29. Variação temporal dos valores de eficiência de redução de Sólidos Totais Voláteis nos tratamentos com carga orgânica 5.000 mg.L⁻¹ com diferentes TDH.



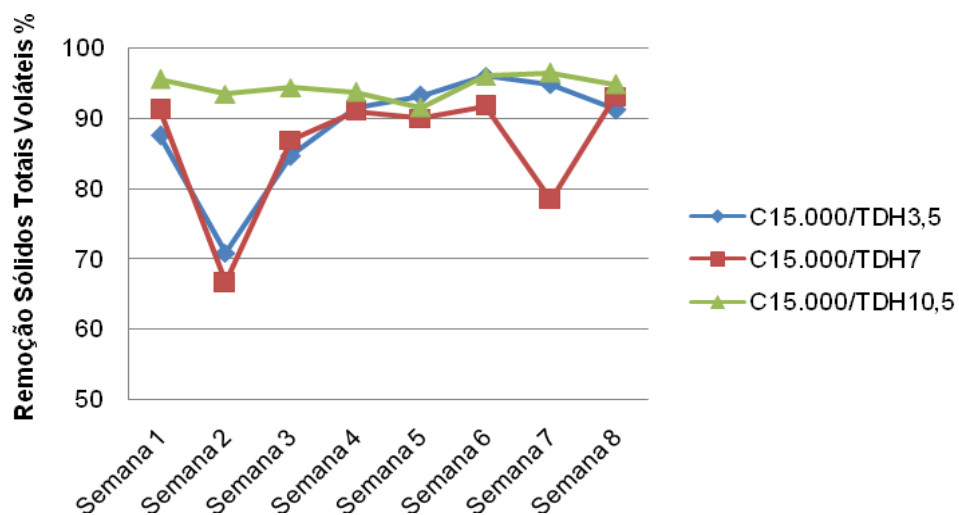
Fonte: O autor (2016).

Figura 30. Variação temporal dos valores de eficiência de redução de Sólidos Totais Voláteis nos tratamentos com carga orgânica 10.000 mg.L⁻¹ com diferentes TDH.



Fonte: O autor (2016).

Figura 31. Variação temporal dos valores de eficiência de redução de Sólidos Totais Voláteis nos tratamentos com carga orgânica 15.000 mg.L⁻¹ com diferentes TDH.



Fonte: O autor (2016).

5.3.6 Sólidos Sedimentáveis

Como pode-se notar no Apêndice F, os tratamentos não apresentaram grandes oscilações nos valores dos sólidos sedimentáveis dos efluentes no decorrer do estudo. Os TAHFS que obtiveram maiores taxas de remoção de Sólidos Sedimentáveis foram os alimentados com a maior carga orgânica, ou seja, C15.000/TDH3,5; C15.000/TDH7 e C15.000/TDH10,5, apresentando valores que variaram entre 75,00 - 87,50%, 75,00 - 99,99% e 75,00% - 87,50%, respectivamente.

Contudo, vale ressaltar que todos os tratamentos apresentaram baixos valores de sólidos sedimentáveis, com no máximo 0,2 mL/L, e taxas de remoção que variaram entre 50 e 99,99% de redução.

Mendonça Pinto e Cabello (2011), avaliando a eficiência do tratamento da manipueira da extração de fécula de mandioca usando biodigestores anaeróbios de fluxo ascendente, com separação das fases, realizaram ensaios variando a vazão de alimentação de 8,0; 12,0 a 16,0 L.d⁻¹, correspondentes a um tempo de retenção hidráulica de 8,17; 5,44 e 4,08 dias respectivamente. Como um dos resultados dos ensaios realizados, observaram que o teor de materiais sedimentáveis apresentou valores médios no limite da especificação legal, que é de 1 mL.L⁻¹. Tal ensaio apresentou valores abaixo dos encontrados no presente trabalho, que teve maior eficiência na remoção de sólidos sedimentáveis, obtendo valores aproximadamente 80% menores.

5.3.7 Cianeto

Os resultados das análises de concentração de cianeto observados no Apêndice G mostram os elevados teores de cianeto presentes nas amostras do efluente tratado ao longo das semanas do ensaio experimental, apesar de ter havido redução, quando comparado à concentração inicial de cianeto. As concentrações de cianeto observadas nos efluentes encontram-se acima do limite máximo estipulado pela legislação ambiental para padrões de lançamentos direto de efluentes em corpo receptor, que é de 0,2mg.L⁻¹ (BRASIL, 2011).

Pode-se notar pelas Figuras 32, 33 e 34 que a remoção de cianeto em todos os TAHFS teve variação relativa no decorrer do ensaio, com exceção da remoção ocorrida na primeira semana no TAHFS C5.000/TDH3,5, que foi de 36,24%.

No entanto, nos demais tratamentos ao longo do estudo, os valores variaram entre 47,14 e 70,83%, nos TAHFS C15.000/TDH3,5 e C15.000/TDH7, respectivamente. Observa-se também que ao longo do ensaio, os TAHFS que obtiveram melhores resultados, quando comparados entre si no decorrer do ensaio, foram os TAHFS C15.000/TDH10,5 e C10.000/TDH10,5 (Apêndice H).

As menores taxas de remoção ficaram por conta dos TAHFS com menor TDH (Figuras 32, 33 e 34). E, dentre os TAHFS com mesma carga orgânica, as maiores remoções foram observadas quando em TDH de 10,5.

A baixa taxa de remoção encontrada neste estudo pode ser explicada pelas faixas de pH (Apêndice NB e NC) e temperatura (Apêndice PB e PC) em que os reatores trabalharam. Apenas na primeira semana, no ponto de coleta 2, houve leituras de pH abaixo de 6,0. Nas demais, os sistemas apresentaram variação de pH entre 6,20 e 8,21. A temperatura do efluente dentro dos reatores variou entre 24,7 e 30,5 °C.

Feiden (2001) afirma que a enzima linamarase existe em excesso nas águas residuárias do processamento de mandioca e, sob condições apropriadas de pH e temperatura, a hidrólise da linamarina ocorre com rapidez. O pH ótimo para a cinética da linamarina ocorre na faixa de 5,5 a 6,0, abaixo das variações encontradas neste estudo.

Além disso, Cereda (2001) destaca que a degradação bioquímica de cianetos é pouco afetada em temperaturas situadas na faixa de 20 a 35 °C. Entretanto, em temperaturas maiores ou menores que esses limites (20 a 35 °C), a velocidade de decomposição é rapidamente aumentada.

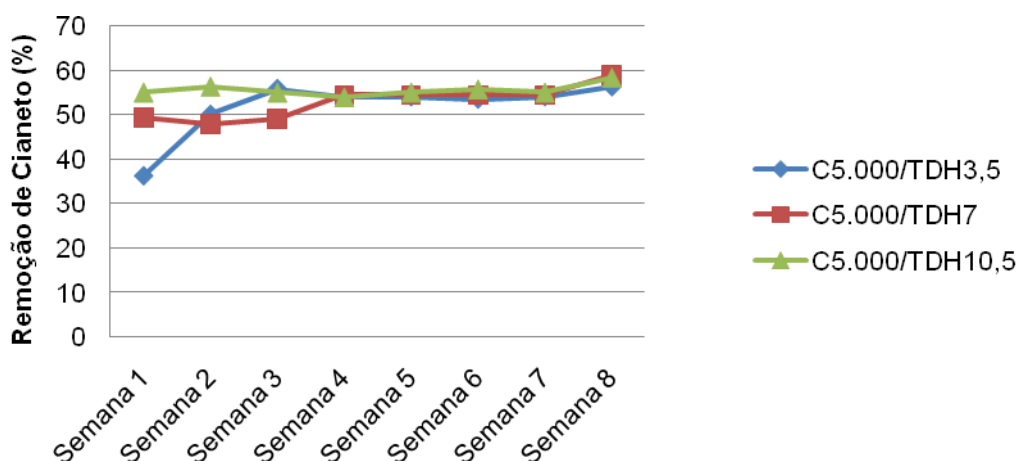
Diferentemente do presente trabalho, Tavares (1997), em um estudo de tratamento de efluentes do processamento da mandioca em processo anaeróbio com separação de fases, com concentração afluente de 3.000, 4.500 e 6.000 mg/L e 15 mg/L de DQO e cianeto livre, respectivamente observou um

percentual médio de redução de CN livre no sistema de tratamento de 97%, este valor está acima dos valores encontrados no presente estudo.

Em trabalho para analisar a viabilidade do desempenho do processo anaeróbio em sistema de duas fases e regime contínuo, para o tratamento manipueira, sob temperatura ambiente, Sampaio (1996) também obteve reduções de cerca de 90% para o cianeto livre.

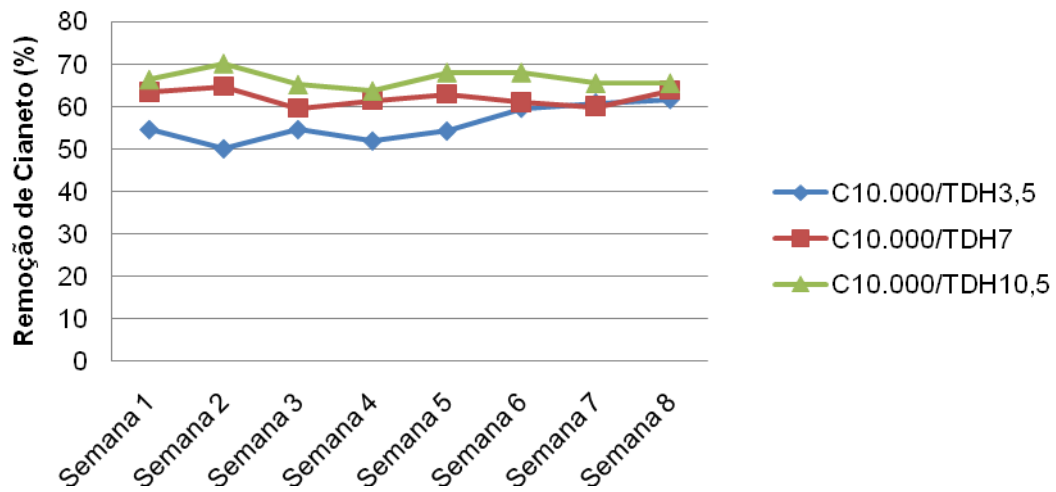
No entanto, Barana (2000) em estudo sobre tratamento de manipueira em biodigestores fase acidogênica e metanogênica notou que quanto maior a concentração de cianeto total no afluente, menor a redução desse durante o processo. A redução de cianeto total apresentou valores máximo de 93,22% e mínimo de 67,50% quando concentrações de entrada foram de 20,36 e 66,02 mg.L⁻¹.

Figura 32. Variação temporal dos valores de eficiência de remoção de Cianeto nos TAHFS com carga orgânica 5.000 mg.L⁻¹ com diferentes TDH.



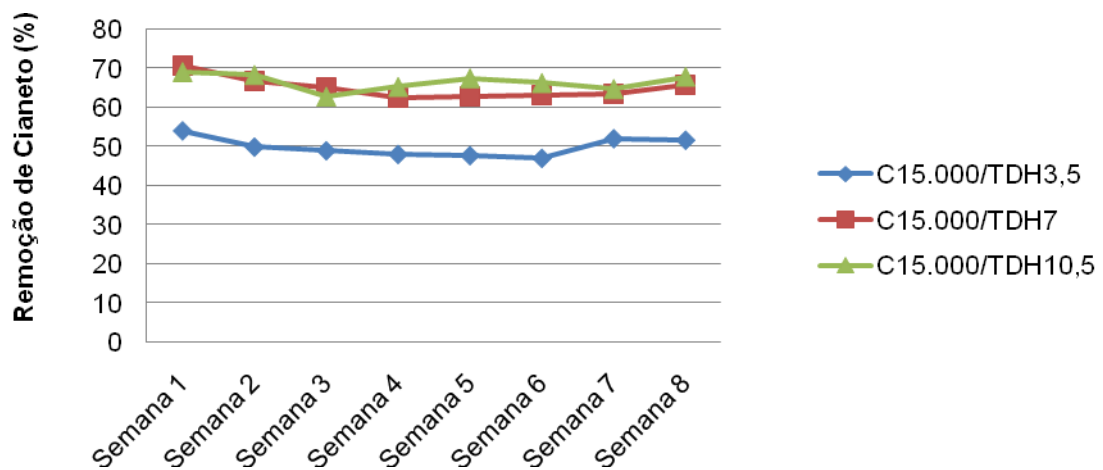
Fonte: O autor (2016).

Figura 33. Variação temporal dos valores de eficiência de remoção de Cianeto nos TAHFS com carga orgânica 10.000 mg.L⁻¹ com diferentes TDH.



Fonte: O autor (2016).

Figura 34. Variação temporal dos valores de eficiência de remoção de Cianeto nos TAHFS com carga orgânica 15.000 mg.L⁻¹ com diferentes TDH.



Fonte: O autor (2016).

5.3.8 Alcalinidade a Bicarbonato

Nos Apêndices IA, IB e IC é possível observar a média e o erro padrão para os valores de Alcalinidade a Bicarbonato ($\text{mg.CaCO}_3.\text{L}^{-1}$) durante o ensaio, nos pontos de coleta 2, 3 e saída, que correspondem respectivamente à porção média inicial, média final e saída do efluente dos TAHFS, nos diferentes tratamentos.

Notou-se que em todos os pontos de coleta, os tratamentos diferiram estatisticamente do controle, tendo este obtido os menores valores para alcalinidade a bicarbonato.

Os resultados para este parâmetro variaram bastante entre e dentro dos tratamentos, ao longo do ensaio. Os maiores valores obtidos no ponto de coleta 2 foram para o tratamento C15.000/TDH10,5, com $1071,14 \pm 0,00$ e $1155,44 \pm 7,01$ $\text{mg.CaCO}_3.\text{L}^{-1}$, nas primeira e segunda semana, respectivamente. Os menores valores, neste ponto, foram observados nos TAHFS C10.000/TDH3,5 e C5.000/TDH3,5, com respectivamente $105,00 \pm 0,00$ $\text{mg.CaCO}_3.\text{L}^{-1}$ e $120,75 \pm 7,42$ $\text{mg.CaCO}_3.\text{L}^{-1}$. Quando comparados ao controle, os valores deste parâmetro mantiveram-se elevados, no decorrer do estudo.

No ponto de coleta 3 também notou-se oscilações da alcalinidade a bicarbonato no decorrer do tempo, em todos os TAHFS. A maior variação encontrada foi no TAHFS C15.000/TDH10,5, entre $273,00 \pm 0,00$ $\text{mg.CaCO}_3.\text{L}^{-1}$ e $1517,45 \pm 0,00$ $\text{mg.CaCO}_3.\text{L}^{-1}$.

Mesmo em tratamentos com TDH mais baixos e alta carga orgânica de entrada no sistema, os valores observados de alcalinidade a bicarbonato foram considerados altos, como foi o caso dos resultados no tratamento C15.000/TDH3,5 com $1338,93 \pm 0,00$ $\text{mg.CaCO}_3.\text{L}^{-1}$ no ponto de coleta 3 e $624,83$ $\text{mg.CaCO}_3.\text{L}^{-1}$ no ponto de saída do efluente.

Em pesquisa avaliando o tratamento anaeróbico da manipueira em escala de bancada em um reator tipo calha, com fluxo horizontal, preenchida com calcário dolomítico (CAHC), Oliveira (2007), na primeira etapa, determinou o tempo de detenção hidráulica (TDH) mais adequado para a operação da CAHC, dentre 4,6, 2,5, 1,3, 0,9 e 0,8 dias, com DQO aplicada de $3,5 \text{ g.L}^{-1}$ em média. Os

valores mais elevados de alcalinidade a bicarbonato do efluente foram obtidos com os TDH de 2,5 e 4,6 dias, 542 mg.CaCO₃.L⁻¹ e 524 mg.CaCO₃.L⁻¹, respectivamente. Estes resultados ficaram bem abaixo dos valores encontrados nas amostras coletadas no ponto de saída do presente estudo.

Resultados diferentes também foram observados por Amorim (2015), ao realizar pesquisa com objetivo de caracterizar físico-quimicamente manipueiras de farinhas, avaliar suas biodegradabilidades com diferentes inóculos, e tratá-las em reatores UASB. Oito condições operacionais foram avaliadas, com tempos de detenção hidráulica (TDH) 8 e 12 horas, e cargas orgânicas volumétricas (COV) de 10,7g DQO L⁻¹d⁻¹, 12,0g DQO L⁻¹d⁻¹ e 15,5 g DQO L⁻¹d⁻¹. Para um dos parâmetros avaliados, alcalinidade a bicarbonato, obteve no último dia de avaliação os resultados 151 mg.CaCO₃.L⁻¹ e 141 mg.CaCO₃.L⁻¹, respectivamente, com as temperatura testadas de 32°C e 39°C, observando que a temperatura não influenciou nos resultados da AB durante a biodegradação da manipueira com rúmen bovino.

5.3.9 Alcalinidade Total

A alcalinidade total é a capacidade de uma amostra em neutralizar ácidos, devido à concentração de radicais alcalinos presentes, sendo utilizada como uma estimativa da capacidade tampão do reator (FEIDEN, 2001). É considerada como fundamental para a manutenção e estabilidade do pH, e é resultado da soma da alcalinidade afluente e da alcalinidade gerada no processo.

Na presente pesquisa, observa-se que o efluente apresentou valores consideráveis de alcalinidade total em todos as cargas orgânicas e TDH testados, inclusive dentro dos TAHFS, ao decorrer do leito dos sistemas (Apêndice JA, JB e JC).

Assim como ocorrido nas análises de alcalinidade a bicarbonato, foi observado nas análises de alcalinidade total que em todos os pontos de coleta, os tratamentos diferiram estatisticamente do controle, tendo este obtido os menores valores também para este parâmetro.

Os resultados variaram bastante entre e dentro dos tratamentos, ao longo do ensaio. Os maiores valores obtidos no ponto de coleta 2 foram para o tratamento C15.000/TDH3,5, com $1959,00 \pm 7,02 \text{ mg.CaCO}_3.\text{L}^{-1}$ e $1929,05 \pm 7,01 \text{ mg.CaCO}_3.\text{L}^{-1}$, nas primeira e segunda semana, respectivamente. Quando comparados ao controle, os valores deste parâmetro mantiveram-se elevados, no decorrer do estudo.

No ponto 3, apenas os TAHFS C5.000/TDH7, C5.000/TDH10,5 e C10.000/TDH10,5 obtiveram alcalinidade total abaixo de $300 \text{ mg.CaCO}_3.\text{L}^{-1}$, sendo $246,75 \pm 7,42 \text{ mg.CaCO}_3.\text{L}^{-1}$, $231,00 \pm 0,00 \text{ mg.CaCO}_3.\text{L}^{-1}$ e $294,00 \pm 0,00 \text{ mg.CaCO}_3.\text{L}^{-1}$, respectivamente.

As análises de alcalinidade total no efluente tratado (amostras coletadas no ponto de saída) também demonstram grandes variações entre os TAHFS. Nota-se que não há relação direta entre AT e TDH. No entanto, observa-se que os TAHFS com alimentação dos reatores com cargas orgânicas de 10.000 mg.L^{-1} e 15000 mg.L^{-1} obtiveram, na maior parte do ensaio, valores estatisticamente maiores de AT do que os alimentados com 5000 mg.L^{-1} .

Diversos autores trabalharam com valores semelhantes aos obtidos no presente trabalho. Sampaio (1996) obteve valores de alcalinidade total entre 849 e 1.598 mg L^{-1} , contudo houve correção do pH no afluente para evitar choques de pH. Já Barana (2000) realizou pesquisa com e sem correção de pH no afluente. Sem correção, obteve valores de alcalinidade total variando de 1.375 a 7.500 mg L^{-1} .

Silva (2009) investigando o uso do Reator Anaeróbio Horizontal com Chicanas (RAHC) em escala de bancada para o tratamento da manipueira com pH estabilizado usando conchas de sururu afirma que a alcalinidade total na saída, tanto do módulo acidogênico quanto do metanogênico, devido a presença de radicais alcalinos, foi alta desde a estabilização do sistema. Os valores médios foram de $1.067 \text{ mg.CaCO}_3.\text{L}^{-1}$ para o acidogênico e de $1.456 \text{ mg.CaCO}_3.\text{L}^{-1}$ para o metanogênico.

Oliveira (2007), em pesquisa avaliando o tratamento anaeróbio da manipueira em escala de bancada em um reator tipo calha, com fluxo horizontal,

preenchida com calcário dolomítico (CAHC), em primeira etapa, determinou o tempo de detenção hidráulica (TDH) mais adequado para a operação da CAHC, dentre 4,6, 2,5, 1,3, 0,9 e 0,8 dias, com DQO aplicada de 3,5 g.L⁻¹ em média. Os valores de alcalinidade total do efluente mais elevados nesse estudo foram obtidos com os TDH de 2,5 e 4,6 dias, 1008 mg.CaCO₃.L⁻¹ e 984 mg.CaCO₃.L⁻¹, respectivamente.

Feiden (2001) alcançou valores de AT entre 461 e 1130 mg.CaCO₃.L⁻¹ em efluente de tratamento de águas residuárias do processamento de uma indústria de fécula de mandioca, através de um sistema contínuo de biodigestão anaeróbia, com separação de fases, em escala piloto.

5.3.10 Acidez Volátil

Kus e Wiesmann (1995) afirmaram que este trata-se de um parâmetro de extrema importância para o tratamento anaeróbio considerando-se que em concentrações elevadas provoca distúrbios no processo de tratamento.

Nos Apêndices LA, LB e LC é possível observar a média e o erro padrão para os valores de Acidez Volátil (mg.CH₃COOH.L⁻¹) durante o ensaio, nos pontos de coleta 2, 3 e saída, que correspondem respectivamente à porção média inicial, média final e saída do efluente dos TAHFS, nos diferentes tratamentos. Observa-se que em todos os pontos de coleta, a concentração de ácidos voláteis apresentou grande variação.

No ponto 2, constata-se que os TAHFS com 5000 mg.L⁻¹ de carga orgânica de alimentação apresentaram as menores concentrações de ácidos voláteis. Chegando a ser estatisticamente menores que os valores encontrados para o controle, nas semanas 4 e 7, para os TAHFS C5.000/TDH7 e C5.000/TDH3,5, com 12,35±0,01 mg.CH₃COOH.L⁻¹ e 11,86±0,14 mg.CH₃COOH.L⁻¹, respectivamente.

Esta tendência manteve-se no ponto de coleta 3. Neste, observa-se também que os valores de acidez volátil diminuíram em todos os TAHFS, predominando concentrações mais elevadas, diferindo estatisticamente dos

demais, em tratamentos com maiores cargas orgânicas iniciais. Como o TAHFS C15.000/TDH3,5, que apresentou concentração de ácidos voláteis de $959,96 \pm 0,00 \text{ mg} \cdot \text{CH}_3\text{COOH} \cdot \text{L}^{-1}$, na segunda semana do ensaio.

Em geral, o efluente tratado (ponto de saída) acompanhou a tendência do efluente nos pontos 2 e 3, nos quais observam-se baixas concentrações de ácidos voláteis para TAHFS com menores cargas orgânicas de alimentação dos sistemas. Notou-se também, no ponto de saída dos tratamentos, concentrações próximas às observadas no ponto 3.

Alguns autores relatam valores diversos aos obtidos no presente trabalho. Barana (2000) realizou estudos com e sem correção de pH no afluente. Sem correção, os valores de acidez volátil variaram entre 7.440 e 11.230 mg L^{-1} .

Já Lacerda (1991) trabalhou com concentrações de ácidos voláteis entre 541 e 933 mg L^{-1} . O autor afirma que, apesar de os dados obtidos indicarem uma sobrecarga no reator, apenas valores de acidez volátil acima de 2.000 mg L^{-1} podem provocar colapso do mesmo.

Avaliando o processo de partida de um biodigestor tipo *plug-flow*, tratando manipueira com TRH de 16,6; 13,6; 11,6 e 9,6 dias e 3,1; 2,0; 2,3 e 2,9 $\text{g DQO L}^{-1} \text{ d}^{-1}$ de carga orgânica, respectivamente, Ribas e Barana (2003) obtiveram valores de ácidos voláteis entre 1654 e 5366 mg L^{-1} .

Feiden (2001), trabalhando com reator UASB, para tratamento de águas residuárias do processamento de uma indústria de fécula de mandioca, verificou que a acidez volátil variou de 257 a 1.504 mg L^{-1} .

5.3.11 Acidez Volátil / Alcalinidade Total (AV/AT)

A relação acidez volátil/alcalinidade total (AV/AT) é utilizada no controle do processo de digestão anaeróbia. Feiden (2001) afirma que as concentrações dos ácidos voláteis e a alcalinidade total do material em digestão são os principais valores mensuráveis do estado do processo de digestão. Enquanto essa relação variar entre 0,1 e 0,5, a digestão está ocorrendo sem problemas, mas, quando ultrapassar 0,5 mostra algum distúrbio ou sobrecarga do processo.

Neste estudo, observa-se que o efluente tratado apresentou baixa relação AV/AT em todas as cargas orgânicas e TDH testados, inclusive dentro dos TAHFS, no decorrer do leito dos sistemas (Apêndices MA, MB e MC).

O ponto de coleta 2 foi o que apresentou maiores relações AV/AT dentre os pontos de coleta estudados, com as maiores médias. Neste, observa-se que a AV/AT chega a valores de 0,66 e 0,62, nos TAHFS C10.000/TDH3,5, na semana 1, e C15.000/TDH7, na semana 6, respectivamente.

No entanto, como pode-se perceber no Apêndice LB, no ponto de coleta 3, encontram-se valores menores, quando comparados ao ponto 2. Tendo, apenas na primeira semana valores pouco acima de 0,50. Isto confirma os resultados evidenciados com as altas taxas de remoção de DQO, demonstrando que os reatores estavam estáveis.

Na saída do efluente nota-se que a AV/AT ultrapassou o valor de 0,5 apenas no TAHFS C10.000/TDH3,5, com 0,55 e 0,54 na primeira e segunda semana, respectivamente. Ocorrendo a diminuição desses valores no decorrer do ensaio. Todos os demais TAHFS obtiveram valores de AV/AT inferiores a 0,49.

No geral, as menores relações AV/AT foram observadas no TAHFS que apresentavam carga orgânica de 5.000 mg. L⁻¹ de alimentação do sistema.

Diversos autores trabalharam com valores superiores e diversos aos obtidos no presente trabalho. Barana (2000) realizou estudos com e sem correção de pH no afluente. Sem correção, obteve valores de relações AV/AT de 0,35 a 8,17.

Assim como Ribas e Barana (2003), tratando manipueira em reator tipo *plug-flow*, a 32 °C e com controle de pH entre 5,5 e 6,0, obtiveram para reduções de DQO de 80% e de 13%, relações AV/AT de 2,58 e 1,76, ou seja melhor estabilização de matéria orgânica, com maior valor de AV/AT.

Em pesquisa para avaliar o tratamento anaeróbio da manipueira em escala de bancada em um reator tipo calha, com fluxo horizontal, preenchida com calcário dolomítico (CAHC), com aumento gradativo da carga orgânica

volumétrica até $6,4\text{g.L}^{-1}$, Oliveira (2007) observou que a relação AV/AT variou com valores acima dos encontrados nesta pesquisa, entre 0,56 a 0,82.

Kuczman (2007), ao avaliar um reator monofásico tipo fluxo contínuo para o tratamento da manipueira, obteve valores de AV/AT de 0,14 a 0,30. Boonapatcharoen *et al.* (2006), ao tratar a manipueira em reator anaeróbio de leito fixo, obteve valores de AV/AT variando de 0,25 a 0,59, aplicando carga orgânica de 8 g.L^{-1} e TRH de 8 dias, valores próximos aos encontrados na presente pesquisa.

Almeida, Bueno e Del Bianchi (2010), avaliando a influência da luminosidade e do uso de suporte em um sistema anaeróbio contínuo de leito fixo para o tratamento de manipueira utilizaram reatores com fluxo ascendente intermitente e TRH de 5 e 3 dias com concentrações de inóculo de 10, 25 e 50%. A relação acidez/ alcalinidade situou-se entre 0,16 a 0,30, para o reator sem suporte e 0,02 a 0,37, para o reator com suporte. No entanto, ambos com correção de acidez.

5.3.12 pH

Outro parâmetro analisado, ficando controlado ao longo da pesquisa e que cumpre o que exige a resolução nº 357 de 17 de março de 2005, do CONAMA foi o pH (potencial hidrogeniônico) que, como descrito na seção 2.4, deve estar numa faixa de 5 a 9. Pois, com uma concentração inadequada de íons hidrogênio, os micro-organismos existentes nos despejos ficam impossibilitados de degradar a matéria orgânica ali presente, fazendo com que o tratamento dos rejeitos, pelo método biológico, fique comprometido.

Nos Apêndices NA, NB, NC e ND é possível observar os valores de pH durante o ensaio, tanto do afluente quanto do efluente nos pontos de coleta 2, 3 e saída, que correspondem respectivamente à porção média inicial, média final e saída do efluente dos TAHFS, nos diferentes tratamentos.

A água potável, utilizada para alimentar o tratamento controle e para diluir a manipueira até a carga orgânica de alimentação de cada TAHFS, apresentou baixa variação de pH durante o ensaio, entre 6,95 a 7,12. Nota-se também que o

seu elevado pH contribuiu para elevar o pH do afluente utilizado nos sistemas (Apêndice NA).

Observa-se também que os reatores obtiveram valores semelhantes, com entrada oscilando entre 4,03 a 4,21, e a saída de 6,05 a 8,19, sendo observada portanto uma elevação nos valores do pH da saída com relação à entrada, sem qualquer correção.

No ponto 2, apenas na primeira semana observou-se pH abaixo de 6,00, variando entre 5,69 e 5,91. Nas demais, a leitura do pH foi de 6,16 a 7,81.

No ponto de coleta 3, dentre os tratamentos estudados houve variação de pH de 6,23 a 8,21. Estes valores correspondem aos TAHFS C15.000/TDH3,5 e C15.000/TDH10,5, respectivamente.

Notou-se que o pH do efluente tratado, no ponto de saída, apresentou valores que não ultrapassaram os limites mínimo e máximo de pH 6,05 e 8,19, respectivamente.

De acordo com os resultados apresentados, observou-se que os reatores anaeróbios provavelmente operaram em regime *plug-flow*. As suas alimentações foram contínuas e houve diferenciação de valores do pH nos dois pontos de coleta dentro dos reatores. O regime *plug-flow*, provavelmente, permitiu o desenvolvimento de espécies de micro-organismos especializadas para as diferentes etapas do tratamento anaeróbio ao longo do comprimento do reator. Dentro dos reatores, o afluente novo adicionado aos vasos desloca o afluente mais antigo para o extremo oposto, fluindo como um pistão e teoricamente com a mínima dispersão longitudinal, permanecendo nos vasos por tempo suficiente para ser degradado pelos micro-organismos.

Como relatado anteriormente, os afluentes dos reatores sofreram um acréscimo de pH à medida que deslocavam-se dentro dos sistemas, desde a entrada, passando pelos pontos 2 e 3, até a saída dos reatores, indicando que os sistemas estavam operando em duas fases, acidogênica e metanogênica. Além disso, os valores de pH encontrados no ponto 3 deste estudo, encontram-se dentro da faixa ideal, entre pH 6 e 8, para o crescimento das bactérias

metanogênicas, tendo propiciado adequadas condições para o seu estabelecimento e crescimento equilibrado com as bactérias acidogênicas.

Nos reatores avaliados, verificou-se baixa vulnerabilidade do pH a incrementos nas concentrações de ácidos voláteis. Isto, provavelmente, é devido aos altos valores de alcalinidades apresentadas.

Os resultados deste trabalho são compatíveis com Silva (2009), que investigando o uso do Reator Anaeróbio Horizontal com Chicanas (RAHC) em escala de bancada para o tratamento da manipueira com pH estabilizado através de conchas de sururu, observou variação espacial do pH no reator acidogênico de $4,6 \pm 0,6$ na entrada para $6,7 \pm 0,5$ na saída. O autor afirma que este valor é adequado para afluentes de reatores metanogênicos que devem situar-se, normalmente, entre 6,0 e 8,0. Os resultados demonstraram a viabilidade das conchas de sururu no controle do pH.

Barana (2000) registrou valores de pH entre 7,56 e 8,21, na fase metanogênica, quando trabalhou com correção do pH do afluente com NaOH, sob cargas orgânicas de DQO de 4,04 à $17,59 \text{ g L}^{-1} \text{ d}^{-1}$. Sem correção do pH do afluente, o autor obteve variação do pH próxima ao encontrado no presente trabalho, entre 7,36 e 8,01, com o reator estabilizado sob cargas de DQO de 6,56 a $16,42 \text{ g L}^{-1} \text{ d}^{-1}$, e quando aumentou a carga de DQO para $17,80 \text{ g L}^{-1} \text{ d}^{-1}$, obteve queda do pH para 4,21.

Em avaliação de partida e operação de reatores UASB, a 32°C e ajuste de pH da manipueira, oito condições operacionais foram avaliadas por Amorim (2015), com tempos de detenção hidráulica (TDH) 8 e 12 horas, e cargas orgânicas volumétricas (COV) de $10,7 \text{ g DQO L}^{-1} \text{ d}^{-1}$, $12,0 \text{ g DQO L}^{-1} \text{ d}^{-1}$ e $15,5 \text{ g DQO L}^{-1} \text{ d}^{-1}$. Os valores de pH do afluente foram próximos de 8,00, estando entre 7,98 e 8,11. No entanto, o pH dos efluentes estiveram próximo da neutralidade variando de 6,82 a 6,94, de forma que houve diminuição do pH no efluente durante o período da biodegradabilidade com utilização de lodo anaeróbio.

Resultados semelhantes aos encontrados nesta pesquisa foram observados por Sun *et al.* (2012), investigando tratamento anaeróbio da manipueira em reator multiestágio de fluxo ascendente, obtiveram pH no

efluente entre 6,8 e 7,28. Assim como Kuczman *et al.* (2014), realizando tratamento de manipueira de fecularia em reator anaeróbio tubular horizontal piloto, com meio suporte em peças de bambu, observaram pH entre 6,8-7,2, em tratamentos com TRH de 13,0, 11,5 e 7,0 dias.

5.3.13 Condutividade Elétrica (CE)

De acordo com Almeida (2010), a condutividade elétrica, devido à sua facilidade de determinação, é o parâmetro considerado para determinar a potencialidade em salinizar um solo. A condutividade elétrica da água para a irrigação, considera basicamente a quantidade total de sais presentes na água, sem especificá-los.

Conforme Trani, Tivelli e Carrijo (2011), os fertilizantes, em sua maioria, contêm sais que podem elevar a concentração salina da água de irrigação com consequências negativas para o desenvolvimento das hortaliças cultivadas no solo. A água de irrigação com a condutividade elétrica superior a 1,44 e 2,88 mS.cm⁻¹ apresenta riscos, respectivamente, de salinização moderada e alta.

Barreto *et al.* (1999) consideram o tomateiro, no geral, como uma cultura moderadamente tolerante à salinidade, apresentando reduções em seu rendimento potencial com águas de condutividade elétrica acima de 1,7mS.cm⁻¹. Entretanto, entre as diversas cultivares, existem diferenças no grau de tolerância à salinidade.

Nos Apêndices OA, OB, OC e OD encontram-se os valores observados de Condutividade Elétrica (CE) durante o ensaio, tanto no afluente quanto no efluente nos pontos de coleta 2, 3 e saída, que correspondem respectivamente à porção média inicial, média final e saída do efluente dos TAHFS, nos diferentes tratamentos.

Observa-se no Apêndice OA que a CE é mais acentuada nos afluentes com maior carga orgânica. A condutividade elétrica dos afluentes com carga orgânica de 5.000 mg.L⁻¹, 10.000 mg.L⁻¹ e 15.000 mg.L⁻¹ foi respectivamente de 1,31, 2,45 e 2,43 mS.cm⁻¹. Havendo pequena variação deste parâmetro durante

o ensaio apenas para água potável, afluente do controle, entre 0,12 a 0,22 mS.cm⁻¹.

Os TAHFS que apresentaram maiores valores para o parâmetro CE foram C10.000/TDH3,5, C15.000/TDH3,5 e C15.000/TDH7, respectivamente com 2,65; 3,48 e 3,67 mS.cm⁻¹ no ponto de coleta 2 e 3,17; 4,12 e 3,96 mS.cm⁻¹, no ponto de coleta 3. Tais tratamentos foram os que obtiveram os menores valores para o parâmetro massa fresca total (Tabela 5), provavelmente influenciados pelas altas taxas de condutividade elétrica.

Estes resultados são compatíveis aos observados por Vieira (2014), estudando o comportamento do tomateiro cereja, ao longo do seu desenvolvimento, quando submetido a diferentes doses de nitrogênio, irrigadas com águas de diferentes níveis salinos. Neste, observou que a massa fresca do caule do tomateiro cereja decresceu linearmente com o aumento da salinidade da água de irrigação. Além disso, houve decréscimos na massa fresca do caule de 6,78% e 15,73% respectivamente aos 90 e 125 dias após a semeadura por incremento unitário da CE, resultando em decréscimos na ordem de 5,51g e 309,17g na massa fresca do caule das plantas irrigadas com água de 4,5 mS.cm⁻¹, em comparação com as plantas que estavam sob CE de 0,3 mS.cm⁻¹.

Os valores da CE nos pontos de coleta 2, 3 e saída do efluente são, na maior parte do ensaio, menores que os seus afluentes. No entanto, quando compara-se os tratamentos com mesma carga orgânica de alimentação, percebe-se que, no geral, quanto menor o TRH, maior a condutividade elétrica encontrada.

Berger *et al.* (2013) ao avaliarem as relações lineares existentes entre a série de sólidos totais, sólidos fixos, sólidos voláteis e respectivas condutividades elétricas do afluente e do efluente em um biodigestor utilizado no tratamento de efluentes de amidonaria, observou que a CE do afluente foi de 2,21 mS.cm⁻¹ e do efluente 2,41 mS.cm⁻¹. Esses resultados são semelhantes aos encontrados nesta pesquisa. No entanto, os valores da CE nos efluentes foram menores que nos afluentes.

5.3.14 Temperatura

Nos Apêndices PA, PB, PC e PD é possível observar os valores da temperatura durante o ensaio, do afluente e do efluente nos pontos de coleta 2, 3 e saída, que correspondem respectivamente à porção média inicial, média final e saída do efluente dos TAHFS, nos diferentes tratamentos.

Observa-se que as temperaturas de entrada do afluente no sistema apresentaram baixas variações ao longo do ensaio, com mínima e máxima de 26,2 °C e 28,4 °C, respectivamente. Isto se deve ao fato de que o reabastecimento dos sistemas era feito normalmente no mesmo horário.

O presente trabalho foi realizado em temperatura ambiente. Contudo, dentro dos reatores, as temperaturas tiveram baixas variações no decorrer do ensaio. As temperaturas mais baixas nos pontos 2 e 3, respectivamente, ficaram por conta dos tratamentos C5.000/TDH10,5 com 24,7 °C e o controle com 24,7 °C.

As maiores temperaturas encontradas dentro dos reatores, tanto no ponto de coleta 2 quanto no ponto 3, encontravam-se no tratamento C15.000/TDH7. Inclusive o efluente com maior temperatura foi neste mesmo TAHFS, com a máxima observada de 30,5°C.

A temperatura exerce um papel fundamental quando se refere ao tratamento de efluentes e, conseqüentemente, a seu efeito na vida aquática. Segundo a resolução CONAMA nº 357 de 17/03/2005, ao ser lançado no curso d'água, o efluente deve estar a uma temperatura inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C na zona de mistura. Atendendo às especificações da legislação ambiental, a temperatura do efluente tratado de todos os TAHFS realizados neste trabalho encontra-se dentro dos limites estabelecidos na resolução supracitada.

Os resultados observados nesta pesquisa foram semelhantes aos encontrados por Kuczman *et al.* (2014), em pesquisa de tratamento de manipueira de fecularia em reator anaeróbio tubular horizontal piloto, com meio suporte, em peças de bambu e cargas orgânicas em termos de DQO com

valores entre 0,556 e 0,770 g.L⁻¹, no qual observou que os efluentes apresentaram variação de temperaturas de 21,5°C a 27,7°C.

Em ensaio para tratamento de águas residuárias do processamento de uma indústria de fécula de mandioca, através de um sistema contínuo de biodigestão anaeróbia, com separação de fases, em escala piloto, Feiden (2015) também observou temperaturas próximas às observadas neste trabalho, variando de 24,36 °C a 27,70 °C, em reator acidogênico, de 23,90 °C a 27,10 °C, em reator metanogênico, e temperaturas do efluente entre 24,36 °C a 27,70 °C.

5.3.15 Análise de solo

Realizou-se a análise do solo antes de seu uso nos tratamentos, para caracterização, e ao final do experimento, em 2 (dois) pontos distintos de cada tratamento, porção média inicial e média final (Apêndice Q).

O solo utilizado apresentou textura franco-arenosa, com a seguinte composição granulométrica (%): areia grossa = 40,0%, areia fina = 46,0%, silte = 2,0%, argila = 12,0, sendo a relação Silte/Argila = 0,2. A condutividade a 25°C apresentada foi de 0,09 mS.cm⁻¹, possuindo 25,2% de água na pasta de saturação.

No parâmetro matéria orgânica (M.O.) observa-se que não houve diferença estatística entre o solo inicial, o controle e os tratamentos. No entanto, vale ressaltar que os menores valores encontrados foram para controle e tratamento C5.000/TDH10,5, com 33,15±0,21 g.dm⁻³ e 33,05±0,92 g.dm⁻³, respectivamente. Os maiores valores foram dos tratamentos que tinham maior carga orgânica e maior TDH, C10.000/TDH10,5 e C15.000/TDH10,5, com respectivamente 36,70±4,38 g.dm⁻³ e 35,85±0,00 g.dm⁻³ (Apêndice Q).

Malavolta (1997) afirma que o pH do solo é o fator isolado que mais influencia a disponibilidade de nutrientes às plantas, sendo considerados valores ótimos de pH entre 6,0 e 6,5. Nesta faixa, ocorre disponibilidade máxima de macronutrientes e matéria orgânica, afasta do mínimo a disponibilidade dos

micronutrientes e promove redução da acidez do solo, que é uma das principais limitações da produção agrícola.

Os valores de pH de todos os tratamentos tiveram reduções, quando comparados ao solo inicial, apesar de não diferirem estatisticamente entre si. Os tratamentos apresentaram valores que variaram entre pH 4,21 a 4,77, enquanto o controle apresentou pH mais baixo, pH 4,14. Contudo, vale ressaltar que os tratamentos com maiores cargas orgânicas deste ensaio apresentaram valores de pH mais elevados que os demais. Esse resultado pode ser explicado pela maior presença de compostos orgânicos nesses resíduos, o que favorece a adsorção de íons H^+ e, conseqüentemente, promove aumento do pH do solo. Lourenzi *et al.* (2011) observaram resultados semelhantes quando, após 19 aplicações das doses de 0, 20, 40 e $80\text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ de dejetos líquidos de suínos em Argissolo Vermelho, relataram aumento no valor do pH do solo até 8 cm de profundidade, com uso da maior dose de dejetos.

Os resultados quanto à alteração de pH decorrente da aplicação de manipueira no solo são variáveis. Silva *et al.* (2004) constataram acidificação do solo decorrente da aplicação de diferentes doses (150 , 450 e $900\text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) de efluente maturado de fecúria para o cultivo do sorgo devido, segundo os autores, à diminuição do teor de carbono orgânico do solo. Enquanto Da Silva Júnior *et al.* (2012), similarmente a este trabalho, constataram que a aplicação de manipueira não alterou o pH do solo, quando cultivaram banana.

Por outro lado, Mélo *et al.* (2005) verificaram que o pH de três tipos de solo estudados aumentou significativamente em função da aplicação de manipueira, assim como observado no presente trabalho, e afirmaram que o aumento ocorreu em consequência da mineralização da matéria orgânica e da liberação de cátions dos metais alcalinos e alcalino-terrosos associados aos ácidos orgânicos.

Duarte *et al.* (2013) ao avaliar as alterações dos atributos físicos e químicos em um Neossolo Regolítico cultivado com alface e submetido às diferentes doses de manipueira, 0, 5, 15, 25, 45, $65\text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ também observaram que a aplicação de manipueira ao solo propiciou um aumento significativo do pH,

da condutividade elétrica do extrato de saturação, dos teores de cátions trocáveis e do teor de P. Constataram também tendência à salinização, em virtude do uso da manipueira.

Trani, Tivelli e Carrijo (2011) recomendam a procura do equilíbrio entre os nutrientes de maneira a mantê-los na faixa de teores médios a altos no solo, monitorando-os por meio da análise de solo e da análise foliar. Quando um nutriente atinge no solo um valor classificado como muito alto poderão ocorrer duas consequências: acarretar um efeito tóxico na planta ou causar um desequilíbrio no solo com outro nutriente, por efeito de competição ou antagonismo.

Os teores de fósforo deste estudo variaram bastante quando comparados aos valores de fósforo do solo inicial, havendo incremento substancial do mesmo em todos os solos fertirrigados com diferentes concentrações de manipueira (Apêndice Q).

O tratamento que teve o maior incremento de teor de fósforo, diferindo estatisticamente dos demais, foi o C10.000/TDH7, com 495,30 mg.dm⁻³. Apesar do expressivo aumento deste nutriente nos solos em que foi adicionada manipueira, este não foi proporcional ao aumento da carga orgânica do efluente. Este resultado pode estar relacionado ao pH do solo mais baixo e elevação dos teores de alumínio nos solos fertirrigados com manipueira.

O fósforo é o macronutriente que possui menor mobilidade dentre os demais elementos do solo, sendo esta pouca mobilidade resultado da sua adsorção aos colóides do solo, principalmente, aqueles que têm em sua composição ferro, alumínio e cálcio. A adsorção e a disponibilidade deste nutriente às plantas, além do teor de cátions do solo, estão correlacionadas com o teor de matéria orgânica, pH e grau de intemperização dos solos (Trindade, Araújo e Teixeira, 2010).

Segundo Borkert *et al.* (1993), altos teores de fósforo no solo podem induzir à deficiência de zinco desde que esses valores estejam associados com reduzidas absorção e translocação de Zn, Fe e Cu.

Potássio e sódio não foram detectados ao final do cultivo do tomate, o que sugere uma lixiviação do íon potássio. Contudo, o íon cálcio teve seus teores significativamente reduzidos em todos os solos tratados com manipueira, quando comparados ao solo inicial (Apêndice Q).

O íon magnésio apresentou aumento dos seus valores nos solos fertirrigados com diferentes concentrações de manipueira. Os tratamentos que apresentaram valores significativamente maiores que os demais foram os C10.000/TDH10,5, C15.000/TDH3,5 e C15.000/TDH7, não diferindo entre si.

Barreto *et al.* (2013) avaliando as alterações nos atributos químicos de dois solos submetidos à aplicação de diferentes doses de manipueira observaram que a incorporação do resíduo líquido promoveu elevação do pH e dos teores de fósforo disponível, potássio, magnésio e sódio trocáveis nos solos estudados.

Para os teores de H+Al, apenas os solos dos TAHFS C10.000/TDH10,5, C15.000/TDH3,5 e C15.000/TDH7 não diferiram do solo inicial, os demais apresentaram aumento significativo deste parâmetro. Isto indica que a manipueira, nas doses acima apresentadas contribuíram para não aumentar a acidez potencial. Aumento este que ocorreu nos demais tratamentos, inclusive e principalmente no Controle.

Com relação ao carbono, não houve diferença significativa entre os tratamentos e os solos inicial e Controle. Os resultados são concordantes com Da Silva Júnior *et al.* (2012), segundo o qual, em Latossolo amarelo dos Tabuleiros Costeiros da Bahia cultivado com bananeira, 'Terra Maranhão', após aplicação de manipueira não houve efeito desta sobre o carbono da biomassa.

Nesta pesquisa, a resposta das amostras de solo ao acréscimo de matéria orgânica originária da manipueira não ficou tão evidente quanto àquelas observadas nos teores de magnésio trocáveis e de fósforo disponível. Isso pode ser justificado considerando que, na manipueira, os sólidos voláteis totais podem ser considerados, quase exclusivamente, compostos por material orgânico.

5.3.16 Desenvolvimento das plantas

A altura dos tomateiros variou significativamente entre os tratamentos, na primeira e última semana do experimento. Nas demais semanas, não houve diferença significativa entre os tratamentos (Apêndice R).

Na primeira semana as plantas cultivadas nos TAHFS C10.000/TDH10,5 e C15.000/TDH10,5 apresentaram-se mais altas, com diferença estatística das plantas do Controle, mas não diferindo das demais.

Na última semana, os tratamentos que obtiveram plantas com maiores alturas, distinguindo-se estatisticamente do Controle, foram C5.000/TDH7 e C10.000/TDH10,5, com $101,00 \pm 16,82$ e $102,00 \pm 11,35$ cm, mas como na primeira semana, também não houve diferença estatística entre as plantas dos demais tratamentos.

Para todos os tratamentos, foi observado o mesmo padrão de crescimento do tomateiro, o início com um crescimento lento, acelerando-se e atingindo o valor máximo pois, à medida que a planta cresce e aumenta seu porte, maior sua capacidade de produzir fitomassa. Como a cultura do tomate apresenta crescimento indeterminado, tenderia a continuar crescendo. Porém, em cultivo comercial o crescimento final fica determinado pelo manejo da cultura, onde se elimina a gema apical, pois a partir de uma determinada altura não é mais conveniente manter o crescimento em altura.

É provável que as respostas encontradas para o parâmetro altura de planta esteja relacionado aos elementos existentes em excesso na manipueira com carga orgânica de 15000 mg.L^{-1} , os quais podem, quando adicionados ao solo, provocar restrições no crescimento, no conteúdo da matéria fresca e seca da parte aérea e radicular das plantas e ainda alterar os seus estádios vegetativos e reprodutivos (BARRETO *et al.*, 2013).

Com o objetivo de verificar o efeito ocasionado pelo uso de diferentes doses de manipueira nas características agronômicas da alface em substituição à adubação mineral, Duarte *et al.* (2012) utilizaram manipueira nas seguintes doses: 0, 5, 15, 25, 45, 65 $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$. Ao final do experimento foi constatado que a

dose de $45 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ foi a que propiciou maior ganho de altura de planta, área foliar e, conseqüentemente, também maior produção de matéria fresca e seca.

Para o parâmetro área foliar (Apêndice S), observou-se que as plantas cultivadas com diferentes doses de manipueira tiveram valores elevados, diferindo estatisticamente das plantas Controle ao longo do estudo. Verificou-se também que no início do ensaio os tratamentos que apresentaram maiores valores foram os quais a carga orgânica de alimentação dos sistemas era menor, sem diferir estatisticamente dos demais tratamentos alimentados com manipueira.

No decorrer do ensaio, as plantas cultivadas nos TAHFS com maiores cargas orgânicas se destacaram, chegando a diferir, por algumas semanas, das plantas cultivadas com carga orgânica de 5000 mg.L^{-1} .

No entanto, na última semana do ensaio, a área foliar das plantas cultivadas com o emprego de fertirrigação não apresentaram diferença estatística entre si. Mas, diferiram dos tomateiros do Controle (Figuras 35, 36 e 37). Ao final do ensaio, as maiores médias de área foliar foram observadas no TAHFS C10.000/TDH10,5 com valor de $1610,00 \pm 162,92 \text{ cm}^2$.

Figura 35. Tomateiros cultivados nas floreiras com TAHFS alimentados com carga orgânica de 5.000mg.L^{-1} .



Sendo: T1P3= Controle; T2P2= TAHFS C5.000/TDH3,5; T3P3= TAHFS C5.000/TDH7 e T4P3= TAHFS C5.000/TDH10,5. Fonte: O autor (2015).

Figura 36. Tomateiros cultivados nas floreiras com TAHFS alimentados com carga orgânica de 10.000mg.L^{-1} .



Sendo: T1P3= Controle; T5P3= TAHFS C10.000/TDH3,5; T6P1= TAHFS C10.000/TDH7 e T7P1= TAHFS C10.000/TDH10,5. Fonte: O autor (2015).

Figura 37. Tomateiros cultivados nas floreiras com TAHFS alimentados com carga orgânica de 15000mg.L⁻¹.



Sendo: a= TAHFS C15.000/TDH3,5; b= TAHFS C15.000/TDH7; c= TAHFS C15.000/TDH10,5.

Fonte: O autor (2015).

Objetivando analisar o uso da manipueira como fertilizante foliar na cultura do milho, Araújo (2012) utilizou diferentes dosagens de manipueira nas concentrações de 0%, 25%, 50%, 75% e 100%. Ao final de 90 dias após o plantio, notou que todas as dosagens influenciaram de forma significativa as variáveis: altura da planta, altura de inserção da 1ª espiga, comprimento do caule, diâmetro do caule, número de folhas e área foliar, referentes à cultura do milho. Apesar deste resultado, a utilização da manipueira nas concentrações de 75 a 100%, provocou severas injúrias nas folhas do milho, afetando seu tecido vegetal foliar, assim como observado no presente estudo.

Resultados semelhantes foram observados por Santos *et al.* (2010) ao avaliarem a utilização da manipueira como fonte de potássio na cultura da alface (*Lactuca sativa* L.), com o uso de 0, 100, 200, 300, 400 e 500 mL de manipueira por vaso de 5 L. Houve efeito significativo das doses de manipueira para todas as características avaliadas. Em termos de área foliar, as plantas que receberam aplicação de 200 mL da solução de manipueira (correspondendo a

138,20 kg.ha⁻¹ de K) foram as que apresentaram as maiores médias de 16,67 cm². No entanto, a partir de 300 mL de manipueira aplicada, os valores de área foliar oscilaram em torno de 14,59 cm².

Ao final do ensaio, na semana 9, realizou-se a coleta das plantas de cada tratamento (Figura 38) para análise de massa fresca da parte aérea, do sistema radicular e total dos tomateiros e os resultados observados com média $\pm$ erro padrão, encontram-se na Tabela 5.

Figura 38. Visão geral dos Tomateiros dos diversos TAHFS, no dia da coleta.



Fonte: O autor (2015).

Tabela 5. Massa fresca da parte aérea, do sistema radicular e total dos tomateiros¹.

Tratamentos	Massa fresca da Parte Aérea	Massa fresca do Sistema Radicular	Massa fresca Total
	g		
Controle	25,04±2,81f	3,10±0,43e	28,14±2,78f
C5.000/TDH3,5	113,82±2,73bcd	14,51±0,79d	128,34±3,49cd
C5.000/TDH7	128,79±7,88b	20,34±2,19bc	149,13±9,82b
C5.000/TDH10,5	127,44±3,34b	19,66±1,17bcd	147,10±4,44bc
C10.000/TDH3,5	93,36±3,30e	14,57±1,83d	107,94±4,85e
C10.000/TDH7	118,00±8,59bc	16,77±1,41bcd	134,77±9,42bcd
C10.000/TDH10,5	150,19±4,80a	34,95±3,23a	185,14±7,90a
C15.000/TDH3,5	104,35±9,40cde	22,06±2,37b	126,42±10,01de
C15.000/TDH7	100,56±4,48de	16,53±1,80cd	117,09±3,04de
C15.000/TDH10,5	118,92±2,11bc	16,33±1,53cd	135,25±3,13bcd

¹Letras distintas na mesma coluna referem-se a diferença estatística pelo teste de Tukey a 5%.

Para massa fresca da parte aérea, do sistema radicular e total dos tomateiros, houve diferença significativa entre a aplicação e a não-aplicação da manipueira, com valores mais elevados alcançados quando o produto foi aplicado com carga orgânica de 10.000 mg.L⁻¹ e TDH de 10,5. De modo semelhante ao que ocorreu para a altura dos tomateiros, a partir destes pontos máximos de resposta da aplicação de manipueira, houve redução dos valores para estas variáveis (Apêndice R e Tabela 5).

Além da concentração de carga orgânica aplicada na fertirrigação, observou-se que o TDH também influenciou nos valores de massa fresca dos tomateiros, contudo sem diferença significativa. Quanto maior o TDH maior foi a resposta da planta para os parâmetros de massa fresca entre tratamentos com mesma carga orgânica de alimentação dos TAHFS.

Destaca-se que os tomateiros cultivados em TAHFS C15.000/TDH10,5, com alta carga orgânica, apresentaram valores de massa fresca estatisticamente

iguais aos C5.000/TDH7, C5.000/TDH10,5 e C10.000/TDH7, que possuíam menores cargas orgânicas de alimentação (Tabela 5).

Os TAHFS que apresentaram os piores resultados para massa fresca da parte aérea e total foram C10.000/TDH3,5, C15.000/TDH3,5 e C15.000/TDH7. Os tratamentos com doses de 10.000 mg.L⁻¹, com TDH de 3,5 dias, e 15.000 mg.L⁻¹ com menores tempos de detenção hidráulica, 3,5 e 7 dias, interferiram de modo negativo na massa fresca, o que provavelmente se deu em função da alta taxa de condutividade elétrica do efluente e de algum efeito deletério do fósforo em excesso na planta como um todo e/ou no solo, impedindo a absorção de outros nutrientes pela planta. Os tomateiros dos TAHFS descritos acima apresentaram clorose amarelo-amarronzada internerval e nas bordas das folhas mais velhas, sintomas característicos de excesso de toxidez relacionado ao fósforo (Figura 39).

Figura 39. Tomateiros com sintomas de excesso de fósforo no solo da floreira com TAHFS C15.000/TDH7.



Fonte: O autor (2015).

Moreira, Fontes e Camargos (2001), avaliando o efeito de Zn e P, em solução nutritiva, na absorção desses elementos pela alface e na sua produtividade, notaram que nos níveis de 1,5 mM.L⁻¹ e 6,0 mM.L⁻¹ de P e 0,01 µM.L⁻¹ de Zn, as plantas apresentavam pequeno desenvolvimento, com as raízes claras e as folhas mais velhas com clorose nos bordos. Nos níveis 1,5 mM.L⁻¹ e 6,0 mM.L⁻¹ de P e 1,5 µM.L⁻¹ e 6,0 µM.L⁻¹ de Zn as plantas estavam bem desenvolvidas, com raízes claras e as folhas sem necrose ou clorose. As maiores produtividades e absorção de P foram alcançadas quando a solução continha nível de 6,0 mM.L⁻¹ de P e nível 1,5 µM.L⁻¹ de Zn.

Deon (2007), observou sintomas semelhantes aos encontrados neste estudo ao avaliar o comportamento da soja ao excesso de cinco macronutrientes em solução nutritiva. O autor observou que o único nutriente que provocou toxidez às plantas foi o fósforo, acumulando-se nas folhas diagnosticadas em concentrações de até 12,8 g.kg⁻¹. Sob essa condição de toxidez, as plantas apresentaram clorose amarelo-amarronzada internerval nas folhas mais velhas que progrediu para necrose e abscisão, além disso, acumularam menos massa seca, sofrendo alteração da relação entre parte aérea e raízes.

Diferentemente desta pesquisa, em trabalho para avaliar a incorporação da manipueira tratada em reator anaeróbio de duas fases no solo, Ribas *et al.* (2010) afirmaram que as características agrônômicas do milho avaliadas (altura de planta, diâmetro do caule e massa fresca) não foram afetadas negativamente pelo uso do efluente.

Cardoso *et al.* (2009) também relataram que o milho cultivado em área biofertilizada com manipueira apresentou maior produtividade e massa fresca da parte aérea que o milho cultivado em solo adubado com fertilizante mineral. O autor afirma que este aumento deve-se ao poder inseticida e fertilizante da manipueira, principalmente à disponibilidade dos elementos K e N.

A ação inseticida, assim como herbicida da manipueira nas plantas deve-se ao fato de propiciar um melhor desenvolvimento destas, funcionando como indutora de resistência, promotora de crescimento e protetora de plantas. Pois, de acordo com Alves *et al.* (2001), os biofertilizantes de forma geral, após a

fermentação produzem diversos compostos como as enzimas, ácidos orgânicos, hormônios, vitaminas e aminoácidos que através do equilíbrio nutricional atuam no mecanismo de defesa da planta.

CONCLUSÕES

Na primeira etapa do experimento, verificou-se que as diferentes alturas do leito de brita avaliadas não proporcionaram diferenças no desenvolvimento dos tomateiros.

Todos os TAHFS, com as diferentes variáveis testadas, no geral, contribuíram para a redução de mais de 90% de DQO do efluente.

O TAHFS C15.000/TDH10,5 — mesmo apresentando carga orgânica volumétrica do efluente igual aos TAHFS C5.000/TDH3,5 e C10.000/TDH7 — destacou-se dentre os demais por ter apresentado elevados valores de remoção de DQO, turbidez, sólidos totais, sólidos totais fixos, sólidos totais voláteis e sólidos sedimentáveis.

As plantas do TAHFS C10.000/TDH10,5, cuja carga orgânica volumétrica do efluente foi de $952,38 \text{ mg.L}^{-1}.\text{dia}^{-1}$, apresentaram a maior massa fresca, tanto do sistema radicular quanto da parte aérea.

As aplicações de manipueira no solo promoveram alterações nos atributos químicos do solo, com aumento dos teores de P e Mg além da manutenção da matéria orgânica e do pH do solo.

Desta forma, o TAHFS mostrou-se como uma alternativa viável para tratamento anaeróbio com diferentes concentrações de entrada de manipueira nos sistemas, conjuntamente com a produção de tomates.

SUGESTÕES E PERSPECTIVAS

Diante dos resultados desta pesquisa e com o intuito de aprofundar a tecnologia dos reatores RAHLF para tratamento de manipueira concomitante à fertirrigação, sugere-se:

- utilizar um pré-tratamento para remoção de cianeto da manipueira, a ser tratada posteriormente nos reatores, a níveis aceitáveis pela legislação ambiental;
- avaliar a produção de diferentes hortaliças a serem cultivadas em TAHFS;
- avaliar diferentes materiais alternativos, como casca de caranguejo e sururu, para melhoria do pH do solo dos sistemas;
- aplicar em escala piloto o tratamento da manipueira em reator RAHLF, com separação de fases, em casa de farinha da comunidade na qual foi adquirida a manipueira, com o objetivo de avaliar os parâmetros operacionais testados nesta pesquisa em função da redução das concentrações de matéria orgânica e cianeto.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C. B. de.; BUENO, G. F.; DEL BIANCHI, V. L. Tratamento da manipueira em sistema anaeróbio de leito fixo. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, Botucatu, v. 6, p.192-200, 2010.

ALMEIDA, O. A de. **Qualidade da Água de Irrigação**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. 227p.

ALVARENGA, M.A.R. **Cultura do tomateiro**. Lavras: UFLA, 2000. 91p.

ALVES S. B.; MEDEIROS M. B.; TAMAI M. A.; LOPES R. B. Trofobiose e microrganismos na proteção de plantas. **Biotecnologia, Ciência & Desenvolvimento**, n.21, p. 16-19, jul./ago. 2001.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Ed. 21. New York: APHA, WWA, 1998. 1220 p.

AMORIM, M. C. C. de. **Estudos de caracterização, biodegradabilidade e tratamento de manipueira proveniente de casas de farinha**. 2015. 220 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco. CTG, Recife, 2015.

AMORIM, A.; BARBOZA, K.; ZAIAT, M.; FORESTI, E. **Avaliação do desempenho e estabilidade de um reator anaeróbio horizontal de leito fixo (RAHLF) submetido ao aumento progressivo na concentração de matéria orgânica afluyente e a cargas de choque orgânicas**. In: Simpósio Nacional de Fermentações, 13, 2000, Teresópolis. Anais...Teresópolis: UFRJ, 2000. 1 CD-ROM.

APLEVICZ, K.S. **Caracterização de produtos panificados à base de féculas de mandioca nativas e modificadas**. 2006. 131 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa - Paraná. 2006.

APRILE, F.M.; PARENTE, A.H.; BOUVY, M. Análise dos resíduos industriais do processamento da farinha de mandioca na bacia do rio Tapacurá (Pernambuco – Brasil). **Bioikos**, Campinas, v. 18, n. 1, p. 63-69, 2004.

AQUINO, S. F., CHERNICHARO, C. A. L. Acúmulo de ácidos graxos voláteis em reatores anaeróbicos sob estresse, com causas e estratégias de controle. **Revista Engenharia sanitária e ambiental**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 2, abr. 2005.

ARAÚJO, N. C. de.; FERREIRA, T. C.; OLIVEIRA, S. J. C.; GONÇALVES, C. P.; ARAÚJO, F. de A. C. de. Avaliação do uso de efluente de casas de farinha como fertilizante foliar na cultura do milho (*Zea mays* L.). **Engenharia na agricultura**, Viçosa - MG, v.20 n.4, p. 340-349, jul./ago. 2012.

ARRUDA, V. C. M. **Tratamento anaeróbio de efluentes gerados em matadouros de bovinos**. 2004. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2004.

BARANA, A. C. **Avaliação de tratamento de manipueira em biodigestores fase acidogênica e metanogênica**. 2000. 105f. Tese (Doutorado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agronômicas. Universidade Estadual Paulista "Júlio De Mesquita Filho", Botucatu - São Paulo. 2000.

BARRETO, L. P.; BEZERRA NETO, E.; SOUZA, A.B.; TEMÓTEO, A.S. Acúmulo de matéria seca do tomateiro sob estresse salino e adição de gesso. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v.11, p.73, Suplemento, 1999.

BARRETO, M. T. L.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, E. M. R.; MAGALHÃES, A. G.; TAVARES, U. E.; DUARTE, A. S. Atributos químicos de dois solos submetidos à aplicação de manipueira. **Revista Brasileira Ciências Agrárias**. Recife, v.8, n.4, p.528-534, 2013.

BARTHOLOMEU, D. B. Desenvolvimento sustentável e a questão dos resíduos sólidos. In: BARTHOLOMEU, D. B.; CAIXETA-FILHO, J. V. (Orgs.). **Logística ambiental de resíduos sólidos**. São Paulo: Atlas, 2011. 250p.

BERGER, J. S.; HERMES, E.; ZENATTI, D. C.; GONÇALVES, M. P.; LINS, M. A.; WULF, V. D. S. Relação entre série de sólidos e condutividade elétrica em biodigestor tubular utilizado no tratamento de efluente de amidonaria. **Scientia Agraria Paranaensis** - SAP Mal. Cdo. Rondon, v.12, suplemento, p.377-383, dez. 2013.

BORKERT, C.M.; SILVA, D.N. da.; SFREDO, G.J. Calibração de potássio nas folhas de soja em latossolo roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v.17, p. 227-230, 1993.

BRASIL. **Resolução CONAMA Nº 357/2005** - "Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.". - Data da legislação: 17/03/2005 - Publicação DOU nº 053, de 18/03/2005, págs. 58-63. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 04 abr.2016.

BRASIL. **Resolução CONAMA Nº 430/2011** - "Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA." - Data da legislação: 13/05/2011 - Publicação DOU nº 92, de 16/05/2011, pág. 89. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 04 abr.2016.

BRASIL. **Portaria n. 355/2014**, de 10 de julho de 2014. Diário Oficial da União, Brasília, DF, Ed. 131, p. 66, Seção 1. 11 jul. 2014.

BRICKELL, C.D.; BAUM, B.R.; HETTERSCHEID, W.L.A.; LESLIE, A.C., MCNEILL, J.; TREHANE, P.; VRUGTMAN, F.; WIERSEMA, J.H. International code of nomenclature of cultivated plants. **Acta Horticulturae**, Leuven, v.647, p.1-123, 2004. Disponível em: <<http://www.bgbm.fu-berlin.de/iapt/nomenclature/code/SaintLouis/0001ICSCContents.htm>>. Acesso em: 04 abr. 2016.

CAMPOS, J.R. Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. **PROSAB/ FINEP**, Rio de Janeiro, 2004.

CARDOSO, E.; CARDOSO, D. C.; CRISTIANO, M. P.; SILVA, L. da.; BACK, A .J.; BERNADIM, A. M.; PAULA, M. M. S. Use of *Manihot esculenta* Crantz processing residue as biofertilizer in corn crops. **Research Journal of Agronomy**, v.3, n. 1, p.1-8, 2009.

CARVALHO, F. M.; SANTOS, A.; VIANA, A. E. S.; LOPES, S. C.; EGLER, P. G. **Avaliação da atividade poluidora da manipueira da Bacia do Rio Santa Rita, em Vitória da Conquista – Bahia**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 11, 2005. Anais... Campina Grande: Sociedade Brasileira de mandioca, 2005.

CEREDA, M.P. Caracterização dos subprodutos da industrialização da mandioca. In: CEREDA, M. P. (Coord): **Manejo, Uso e Tratamento de Subprodutos da Industrialização da Mandioca**. (Séries culturas de tuberosas amiláceas Latino americanas). São Paulo: Fundação CARGILL, v. 4, p. 13-37. 2001.

CHERNICHARO, C. A. L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, reatores anaeróbios**. 2.Ed. v.5. Belo Horizonte, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 2007. 379 p.

CHERNICHARO, C. A. L., COTA, R. S., ZERBINI, A M., SPERLING, M., BRITO, L. H. N. C. Post-treatment of anaerobic effluents in an overland flow system. **Water Science and Technology**, v. 44, n. 4, p.229-236, 2001.

CHISTÉ, R. C.; COHEN, k. d. o.; OLIVEIRA, S. S. Estudo das propriedades físico-químicas do tucupí. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.27, 3, p. 437-440, jul./set. 2007.

COLIN, X.; FARINET, J. L.; ROJAS, O.; ALAZARD, D. Anaerobic treatment of cassava starch extraction wastewater using a horizontal flow filter with bamboo as support. **Bioresourse technology**, Cali, v. 98, p. 1602 - 1607, 2007.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Estudos de Prospeção de Mercado Safra 2012/2013**. Brasília. 2012. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_09_11_16_41_03_prospeccao_12_13.pdf>. Acesso em: 18 jun.2013.

CORREIA, G.T.; DEL BIANCHI, V.L. Tratamento biológico de água residuária da produção de farinha de mandioca utilizando reator anaeróbico compartimentado vertical (RACOV). **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 29, n. 2, p. 159-166, jul./dez. 2008.

COSTA, E.F, da.; VIEIRA, R.F.; VIANA, P.A. **Quimigação: Aplicação de produtos químicos e biológicos via água de irrigação**. Sete Lagoas: CNPMS-EMBRAPA, 1994, 315 p.

CUNHA, A.H.N.; SANDRI, D.; VIEIRA, J.A.; CORTEZ, T.B.; OLIVEIRA, T.H.DE. *Sweet grape* mini tomato grown in culture substrates and effluent with nutrient complementation. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.34, n.4, p. 707-715, jul./ago. 2014.

DA SILVA JUNIOR, J.J.; COELHO, E.F.; SANT'ANA, J.A.D.V.; EDVALDO BISPO SANTANA JUNIOR, E.B.; ARTHUR JOSÉ MENDES PAMPONET, A.J.M.

Uso da manipueira na bananeira 'terra maranhão' e seus efeitos no solo e na produtividade. **Irriga**, Botucatu, v. 17, n. 3, p. 353 - 363, jul./ set. 2012.

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**. Tese (Doutorado). 1998. 118 f. Faculdade de Ciências Agronômicas. Universidade Estadual Paulista., São Paulo. 1998.

DEON, M. D. **Crescimento e nutrição mineral da soja submetida a excesso de P, S, K, Ca e Mg em solução nutritiva**. Dissertação (Mestrado). 2007. 71 f. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2007.

DUARTE, A. D. S.; SILVA, E. F. de F.; ROLIM, M. M.; FERREIRA, R. F. de A. e L.; MALHEIROS, S. M. M.; ALBUQUERQUE, F. da S. Uso de diferentes doses de manipueira na cultura da alface em substituição à adubação mineral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.3, p. 262–267, 2012.

DUARTE, A. D. S.; ROLIM, M. M.; SILVA, E. F. de F.; PEDROSA, E. M. R.; ALBUQUERQUE, F. da S.; MAGALHÃES, A. G. Alterações dos atributos físicos e químicos de um Neossolo após aplicação de doses de manipueira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.9, p. 938–946, 2013.

ELOI, M.M., DUARTE, S.N., SOARES, T.M. Níveis de Salinidade e Manejo de Fertirrigação sobre características do tomateiro cultivado em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.2, n.1, p.83-89, 2007.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; CLARK, R. B. Physiology of crop production. **The Haworth Press**, Binghamton, 2006. 345p.

FAO – Food and Agriculture Organization. **FAO Statistical Pocketbook 2015**. Rome. 2015. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>>. Acesso em: 20 abr. 2016.

FEIDEN, A. **Tratamento de águas residuárias de indústrias de fécula de mandioca através de biodigestor anaeróbico com separação de fases em escala piloto**. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista. 2001. 120 f. Botucatu, 2001.

FELIPE, F.I.; RIZATO, M.; WANDALSEN, J.V. **Potencial econômico dos resíduos de mandioca provenientes de fecularias no Brasil**. In: 47º Congresso SOBER - Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. Porto Alegre, 2009. Apresentação oral. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/13/974.pdf>>. Acesso em: 20 jun.2013.

FERNANDES JÚNIOR, A. Tratamentos físicos e biológicos da manipueira. CEREDA, M. P (Coord). **Manejo, Uso e Tratamento de Subprodutos da Industrialização da Mandioca**. v. 4. São Paulo: Fundação CARGILL, . p. 138-151, 2001.

Ferraz, F. M.; Bruni, A. T.; Del Bianchi, V. L. Performance of an anaerobic baffled reactor (ABR) in treatment of cassava wastewater. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, v. 40, p. 48-53. 2009.

FIGUEROA, R.A., Uso direto da manipueira em fertirrigação. In: CEREDA, M.P. (Coord.). **Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca**. (Series culturas de tuberosas amiláceas Latino americanas). São Paulo: fundação Cargill, v.4, cap.4, p.67-79, 2001.

GEISENBERG, C.; STEWART, K. Field crop management. In: ATHERTON, J. C.; RUDICH, J. (Ed.). **The Tomato Crop – A Scientific Basis For Improvement**. London, Chapman and Hall, p 511-557, 1986.

GONZALEZ-SANPEDRO, M. C.; TOAN, T. LE; MORENO, J.; KERGOAT, L.; RUBIO, E. Seasonal variations of leaf area index of agricultural fields retrieved from Landsat data. **Remote Sensing of Environment**, v.112, p.810-824, 2008.

GRANCO, G.; ALVES, L.R.A., FELIPE, F.I. **Descrição de alguns entraves na comercialização de farinha de mandioca no Brasil**. In: XI Congresso Brasileiro da Mandioca. Campo Grande, 2005. Anais... Disponível em: <<http://www.suct.ms.gov.br/mandioca/trabalhos/trabalhos.html>>. Acesso em: 20 de jun. 2013.

HESPAHOL, I. Potencial de reúso no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. In: MANCUSO, P. C. S.; Santos, H. F. (Eds.) **Reuso da água**. São Paulo: Ed. Malone, v. 1, p. 37-95, 2003.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal**. 2014. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=1612&z=p&o=29&i=P>>. Acesso em 03 abr. 2016.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Grupo de Coordenação de Estatísticas Agropecuárias - GCEA/IBGE, DPE, COAGRO - **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Fevereiro 2016. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201602_5.shtm>. Acesso em 03 abr. 2016.

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Lucchesi, F. Relatório Antropológico de identificação de Santa Rosa, Itapecuru-Mirim, MA. **Documento Técnico**. São Luís. 2008.

INOUE, K.R.A. **Produção de biogás, caracterização e aproveitamento agrícola do biofertilizante obtido na digestão da manipueira**. Dissertação (Mestrado). 2008. 76 f. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2008.

JUCHEN, C. R.; SUSZEK, F. L.; VILAS BOAS, M. A. Irrigação por gotejamento para produção de alface fertirrigada com águas residuárias agroindustriais. **Irriga**, Botucatu, v.18, n. 1, p. 243-256, abr./jun., 2013.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: CERES, 1985. 492 p.

KUCZMAN, O. **Tratamento anaeróbio de efluente de fecularia em reator horizontal de uma fase**. Dissertação (Mestrado). 2007. 84 f. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel. 2007.

KUCZMAN, O.; TAVARES, M. H. F.; GOMES, S. D.; GUEDES, L. P. C.; GRISOTTI, G. Cassava starch extraction effluent treatment in a one phase tubular horizontal pilot reactor with support medium. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.34, n.6, p.1270-1282, nov./dez. 2014.

KUNZLER, K. R. **Desempenho de reatores anaeróbios com meio suporte de bambu sob diferentes cargas orgânicas em duas relações comprimento:diâmetro no tratamento de efluente de fecularia**. Dissertação (Mestrado). 2010. 55 f. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel. 2010.

KUS, F.; WIESMANN, U. Degradation kinetics of acetate and propionate by immobilized anaerobic mixed cultures. **Water Research**, New York, v. 29, n. 6, p. 1437-1443, 1995.

LACERDA, T. H. M. **Estudo cinético da fase metanogênica de substrato de manipueira**. Tese (Doutorado em Agronomia /Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas. 1991. 114p. Universidade Estadual Paulista, Botucatu – SP, 1991.

LIMA, C.A.A., FORESTI, E., ZAIAT, M., **Considerações sobre entupimentos em reator anaeróbio horizontal de leito fixo (RAHLF) tratando esgoto sanitário**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária Ambiental, 23, 2005. Anais... Campina Grande: ABES, 2005.

LOURENZI, C.R.; CERETTA, C.A.; SILVA, L.S. da; TRENTIN, G.; GIROTTO, E.; LORENSINI, F.; TIECHER, T.L.; BRUNETTO, G. Soil chemical properties related to acidity under successive pig slurry applications. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, p.1827-1836, 2011.

MALAVOLTA, E. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.

MALHEIROS, S.M.M.; SILVA, E.F.F., MEDEIROS, P.R.F., PEDROSA, E.M.R.; ROLIM, M.M.; SANTOS, A.N. Cultivo hidropônico de tomate cereja utilizando-se efluente tratado de uma indústria de sorvete. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.10, p. 1085-1092, 2012.

MAPA. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 76 de 26 de novembro de 1986. Dispõe sobre os métodos analíticos de bebidas e vinagre. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, Seção 1, pt. 2, 28 nov. 1986.

MARANCA, G. **Tomate: variedades, cultivo, pragas, doenças e comercialização**. 3 ed. São Paulo: Editora Nobel, 1986. 127 p.

MARÓSTICA, M.R.; PASTORE, G.M. Production of R-(+)- α -terpineol by the biotransformation of limonene from orange essential oil, using cassava waste as medium. **Food Chemistry**, New York, v.101, n. 1, p.345-350, mar. 2007.

MARQUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C.; MORETTI, C.L. **Gotejamento**: opção para a irrigação do tomateiro para processamento nos Cerrados. EMBRAPA Hortaliças. Disponível em <<http://www.cnph.embrapa.br/public/folders/tomate.html#Introducao>>. Acesso em 29 abr. 2016.

MARQUELLI, W.A.; SILVA, H.R.D.; SILVA, W.L.C. **Irrigação do tomateiro para processamento**. Circular Técnica, 102. Brasília: EMBRAPA Hortaliças. 2012. 24p.

MARQUES, D.M. Terras úmidas construídas de fluxo subsuperficial. In.: CAMPOS, J.R. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbico e dispersão controlada no solo**. cap. 15, p. 409 - 435. Rio de Janeiro: ABES/PROSAB, 1999. 450 p.

MATOS, A. T. **Disposição de águas residuárias no solo**. Viçosa: AEAGRI. (Caderno didático n. 38). 2007. 142 p.

MATTOS, P. L. P.; BEZERRA, V.S. **Cultivo da mandioca para o estado do Amapá**. Embrapa Mandioca e Fruticultura. 2003. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioca/mandioca_amapa/index.htm>. Acesso em: 20 jun. 2013.

MÉLO, R. F.; FERREIRA, P. A.; RUIZ, H. A.; MATOS, A. T.; OLIVEIRA, L. B. O. Alterações físicas e químicas em três solos tratados com água residuária de mandioca. **Irriga**, Botucatu, v.10, p.383-392, 2005.

MENDONÇA PINTO, P. H.; CABELLO, C. Tratamento de manipueira de feccularia em biodigestor anaeróbico para disposição em corpo receptor, rede pública ou uso em fertirrigação. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 26, n.3, p.127-140, 2011.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, **Fertirrigação em Hortaliças**. Circular Técnica, 32. Brasília: MAPA. out. 2004.

MORAES, L.M.; PAULA JUNIOR, D.R. Avaliação da biodegradabilidade anaeróbica de resíduos da bovinocultura e suinocultura. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, p. 445-454, 2004.

MOREIRA, M. A; FONTES, P. C. R; CAMARGOS, M.I . Interação zinco e fósforo em solução nutritiva influenciando o crescimento e a produtividade da alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.6, p. 903-909, 2001.

NAIKA, S., JEUDE, J.V.L.; GOFFAU, M.; HILMI, M.; VANDAM, B.A., **A cultura do Tomate: Produção processamento e comercialização**. 1. ed. Wageningen: Fundação Agromisa e CTA. 2006. 104 p.

NEVES, O. S. C.; SOUZA, S. A. COSTA, A. M. SOUSA, A. L. VIANA, S. E. A. NEVES, F. B.V. Persistência do cianeto e estabilização do pH em manipueira. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, Ponta Grossa, v. 8, n. 1, 2014.

OLIVEIRA, K.R.F.de. **Processos ecotecnológicos no tratamento de efluentes líquidos de fecularia**. Dissertação (Mestrado). 2007. 111 f. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande. 2007.

OLIVEIRA, M.R.V. O emprego de casas de vegetação no Brasil: vantagens e desvantagens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.8, p.1049-1060, 1995.

OLIVEIRA, P. A. V. de. **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: manual de boas práticas**. Coord.: Oliveira, Paulo Armando Victória de. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004. 109p.

OLIVEIRA, S. S. **Metabolismo da linamarina em reator de digestão anaeróbia com separação de fases**. 2003. 88 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Área de concentração Energia na Agricultura), Faculdade de Ciência Agronômica da UNESP, Botucatu, 2003.

PINTO, P.H.M. **Tratamento de manipueira de fecularia em biodigestor anaeróbio para disposição em corpo receptor, rede pública ou uso em fertirrigação**. (Mestrado). 2008. 101 f. Faculdade de Ciências Agronômicas. Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2008.

REIS, L.S.; SOUZA, J.L. de; AZEVEDO, C.A.V. de. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do tomate caqui cultivado em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.3, p. 289-296, 2009.

RIBAS, M. M. F.; BARANA, A. C. Start-up adjustment of a plug-flow digester for cassava wastewater (manipueira) treatment. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.60, n.2, p.223-229, abr./jun. 2003.

RIBAS, M.M.F.; CEREDA, M.P.; VILLAS BOAS, R.L. Use of cassava wastewater treated anaerobically with alkaline agents as fertilizer for maize (*Zea mays* L.). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v.53, p.55-62, 2010.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônômico, 2001. 284p.

ROCHA, M. Q. **Crescimento, fenologia e rendimento do tomateiro cereja em cultivo hidropônico**. Dissertação (Mestrado em Agricultura Familiar). 2009. 129 f. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Pelotas, 2009.

SAMPAIO, B.M.L. **Viabilidade do processo de tratamento anaeróbio de resíduos da industrialização da mandioca em sistemas de duas fases**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). 1996. 176 f. Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 1996.

SANTANA, M.J. de; PEREIRA, U.C.; BEIRIGO, J.D.C.; SOUZA, S.S. de; CAMPOS, T.M.; VIEIRA, T.A. Coeficientes de cultura para o tomateiro irrigado. **Irriga**, Botucatu, v.16, n.1, p.11-20, jan./mar. 2011.

SANT'ANNA Jr., G. L. **Tratamento Biológico de efluentes: Fundamentos e aplicações**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2010. 418p.

SANTOS, A. C. D.; OLIVEIRA, R. A. D. Tratamento de águas residuárias de suinocultura em reatores anaeróbios horizontais seguidos de reator aeróbio em batelada sequencial. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.4, p. 781-794, jul./ago. 2011.

SANTOS, M.H.V. dos.; ARAÚJO, A.C. de.; SANTOS, D.M.R. dos.; LIMA, N.S.; LIMA, C.L.C. de.; SANTIAGO, A.D. Uso da manipueira como fonte de potássio na cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) cultivada em casa-de-vegetação. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.32, n.4, p.729-733, 2010.

SILVA, F. F. DA; FREITAS, P. S. L.; BERTONHA, A.; REZENDE, R.; GONÇALVES, A. C. A.; Dallacort, R. Impacto da aplicação de efluente maturado de fecularia de mandioca em solo e na cultura do sorgo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.26, p.421-427, 2004.

SILVA, J.D.L.E. **Desempenho do Reator Anaeróbio Horizontal com Chicanas no tratamento da manipueira em fases separadas e estabilização do pH com conchas de sururu**. Dissertação (Mestrado). 2009. 99 f. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. Universidade Federal de Alagoas, Maceió. 2009.

SILVA JÚNIOR, J. F. **Desenvolvimento do tomate em diferentes níveis de irrigação e de doses de salinidade**. Dissertação (Mestrado). 2012. 74 f. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu. 2012. 74p.

SILVA, J.M. da; FERREIRA, R.S.; MELO, A.S. de; SUASSUNA, J.F.; DUTRA, A.F.; GOMES, J.P. Cultivo do tomateiro em ambiente protegido sob diferentes taxas de reposição da evapotranspiração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.1, p. 40-46, 2013.

SILVA JÚNIOR, J.J.; COELHO, E.F.; SANTA'ANA, A.V.; SANTANA JÚNIOR, E. B.; PAMPONET, A.J.M. Uso da manipueira na bananeira 'Terra Maranhão' e seus efeitos no solo e na produtividade. **Irriga**, Botucatu, v.17, p. 353-363, 2012.

SOUZA, J.A.R.; MOREIRA, D.A.; FERREIRA, P.A. Parâmetros de crescimento de tomateiros produzidos com água residuária de suinocultura. **Engenharia Ambiental**, v.7, p. 97-109, 2010.

SUFRAMA – Superintendência da Zona Franca de Manaus. **Potencialidades regionais**: estudo de viabilidade econômica de amido de mandioca. Manaus: Instituto Superior de Administração e Economia ISAE/ Fundação Getúlio Vargas, 2003. 43 p. Disponível em: <http://www.suframa.gov.br/publicacoes/proj_pot_regionais/sumario/amido.pdf>. Acesso em: 20 jun.2013.

SUN, L.; WAN, S.; YU, Z.; WANG, Y.; WANG, S. Anaerobic biological treatment of high strength cassava starch wastewater in a new type up-flow multistage anaerobic reactor. **Bioresource Technology**, v. 104, p. 280-288, 2012.

TAVARES, C.R.G.; SAMPAIO, B.M.L.; GARCIA, F.L.M.; MARQUES, F.L. Tratamento de efluentes do processamento da mandioca em processo

anaeróbio com separação de fases. **Revista UNIMAR** - Universidade Estadual de Maringá. v.19, n.14. p. 1099-1111, 1997.

THEBALDI, M.S.; ROCHA, M.S. da; SANDRI, D.; FELISBERTO, A.B. Características produtivas do tomate irrigado por diferentes sistemas de irrigação e qualidades de água. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 1, p. 43-58, jan./mar., 2013.

TRANI, P.E.; TIVELLI, S.W.; CARRIJO, O.A. **Fertirrigação em hortaliças**. Série Tecnologia APTA. 2 ed. Campinas: Instituto Agronômico. Boletim Técnico IAC, 196. 2011. 51p. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/publicacoes_online/pdf/BT_196_FINAL.pdf>. Acesso em: 20.mai.2016.

TRINDADE, R. S.; ARAÚJO A. P.; TEIXEIRA, M. G. Leaf area of common bean genotypes during early pod filling as related to plant adaptation to limited phosphorus supply. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.1, p.115-124, 2010.

TORRES, D. G. B. **Meios suporte no tratamento da manipueira**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). 2009. 96 f. Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE. Cascavel, 2009.

VIEIRA, I.G.S. **Cultivo do tomateiro cereja irrigado com águas salinizadas e adubação nitrogenada**. Dissertação (Mestrado em Horticultura Tropical). 2014, 65 f. Universidade Federal de Campina Grande. Pombal- PB, 2014.

WOSIACKI, G; CEREDA, M.P. Valorização de resíduos do processamento de mandioca. **Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias**, Ponta Grossa, v.8, n.1, p. 27-43, 2002.

ZAIAT, M.; CABRAL, A.K.A.; FORESTI, E. Reator anaeróbio horizontal de leito fixo para tratamento de águas residuárias: concepção e avaliação preliminar de desempenho. **Revista Brasileira de Engenharia - Caderno de Engenharia Química**, São Carlos, v.11, n.2, p.33-42, 1994.

ZAIAT, M.; FORESTI, E. **Considerações sobre o uso de modelos de simulação no projeto de reator anaeróbio horizontal de leito fixo**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 19, 1997. Anais...Rio de Janeiro: ABES, p.12. 1997.

ZAIAT, M. *et al.* Morphological study of biomass during the start-up period of a Fixed Bed Anaerobic Reactor treating domestic sewage. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 48, n. 5, p. 841-849, 2005.

APÊNDICE AA - Média dos valores de DQO observados nos pontos 2 de coleta para diferentes cargas orgânicas e TDH durante a operação dos TAHFS¹.

Tratamentos	DQO (mg L ⁻¹)							
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
CONTROLE	913,33±47,14a	397,83±1,17a	373,83±23,80ab	380,33±14,61a	294,08±4,83a	179,62±4,41a	206,9±14,28a	303,4±5,09a
C5.000/TDH3,5	617,50±11,07a	3680,00±42,42e	246,65±8,41a	2050,00±56,56f	213,30±14,56a	1580±235,70c	613,33±0,0b	1811,66±6,13e
C5.000/TDH7	949,99±51,85ab	246,66±14,14a	2346,66±0,00e	743,50±31,81b	746,50±3,53b	3113,5±4,94e	713,5±9,19c	913±0,0b
C5.000/TDH10,5	663,50±75,19a	513,33±18,38a	211,85±11,52a	3446,50±0,70h	1180,00±113,13cd	918±11,31b	1048±11,31f	213,5±4,94a
C10.000/TDH3,5	5279,99±377,12e	4213,33±18,38f	580,00±14,14b	880,00±2,82c	645,50±2,12b	1980±2,82d	812±2,82d	4480±14,14f
C10.000/TDH7	2992,17±14,38c	3180,00±141,42d	511,50±12,02b	1180,00±7,07d	2213,50±19,09f	980±19,09b	214±2,82a	1512±1,41d
C10.000/TDH10,5	4013,33±0,00d	2013,33±94,27c	1574,50±34,64d	4013,33±0,00i	1813,00±9,89e	1080±0,0b	946,5±3,53e	913,3±3,25b
C15.000/TDH3,5	9346,60±142,26g	9030,00±155,56h	1212,83±93,57c	2113,50±4,94f	1118,00±53,74cd	1596,5±9,19c	713,33±47,14c	2613,33±188,56f
C15.000/TDH7	6780,00±21,21f	6680,00±14,14g	1313,35±141,91c	2946,00±2,82g	1013,33±94,28c	2146,66±0,0d	1382±1,41g	1813,33±94,28e
C15.000/TDH10,5	1463,33±71,18b	813,33±0,00b	1280,00±94,28c	1463,33±23,56e	1257,33±32,06d	1113,33±141,42b	676,5±3,53bc	1180±2,82c

¹Letras distintas na mesma coluna referem-se a diferença estatística pelo teste de Tukey a 5%

APÊNDICE AB - Média dos valores de DQO observados nos pontos 3 de coleta para diferentes cargas orgânicas e TDH durante a operação dos TAHFS¹.

Tratamentos	DQO (mg L ⁻¹)							
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
Controle	782,57±9,79a	546,66±0,0b	249,16±7,78b	509,05±22,52b	432,79±5,38b	231,42±4,20a	214,42±1,02ab	317,15±2,89ab
C5.000/TDH3,5	922,10±34,72ab	1414,83±15,79d	113±4,24a	1413,35±18,87g	180±0,00a	1146,5±3,53f	513,33±47,14e	913,5±2,12c
C5.000/TDH7	1263,13±165,27b	146,66±2,82a	2008,33±10,84g	613,33±0,46c	580±47,14c	813±4,24b	246±1,41bc	814,5±0,70bc
C5.000/TDH10,5	877,41±90,62a	179,99±0,00a	313,35±17,88b	1013,33±0,00d	680±7,07d	813,5±0,70b	280±0,00c	80,5±0,70a
C10.000/TDH3,5	4450,42±42,10d	3446,66±141,42f	513,3±13,71c	613,5±4,94c	415±18,38b	1346,5±9,19g	982±8,48f	2146,66±282,84e
C10.000/TDH7	3113,33±0,70c	2913,33±141,42e	280±18,36b	346±7,07a	1680±1,41g	846,5±7,07c	181±0,70a	1280±1,41cd
C10.000/TDH10,5	3007,16±8,72c	1246,66±56,56d	1080±0,00e	1213,33±0,00f	580±1,41c	880±1,41d	513±9,89e	846,66±47,14bc
C15.000/TDH3,5	8175±10,06f	1413,33±0,00d	1018±16,97e	1813,33±0,00h	980±7,07ef	980±0,00e	1153,33±9,42g	2680±282,84e
C15.000/TDH7	5756,83±79,90e	5180±141,42g	813,5±0,70d	1945,5±2,12i	913,16±15,32e	1880±0,00h	1146,66±0,00g	1463,33±70,71d
C15.000/TDH10,5	1040±28,28ab	813,33±37,71c	1180±47,14f	1146±8,48e	996,5±23,33f	980±4,24e	444,83±2,58d	1080±94,28cd

¹Letras distintas na mesma coluna referem-se a diferença estatística pelo teste de Tukey a 5%.

APÊNDICE AC - Média dos valores de DQO observados nos pontos de saída do efluente para diferentes cargas orgânicas e TDH durante a operação dos TAHFS ¹.

Tratamentos	DQO (mg L ⁻¹)							
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
Controle	146,50±2,12a	31,50±2,12a	32,5±0,70ab	16,17±1,03a	15,80±1,38a	39,99±3,50a	39,65±2,54a	40,49±0,89a
C5.000/TDH3,5	1346,77±9,08e	414,83±16,73c	13,33±0,00a	13,33±0,00a	146,5±2,12c	1254,00±2,82f	346,66±0,00f	545,5±2,12d
C5.000/TDH7	598,01±6,62b	46,66±2,82a	511,85±11,52e	280±0,00c	346±8,48e	880,00±1,41d	113,50±0,70c	412,5±3,53cd
C5.000/TDH10,5	913,16±14,37cd	113,33±4,24b	113±4,24abc	145,5±4,94b	46±0,00b	213,00±0,00b	146,50±2,12d	80,5±0,70ab
C10.000/TDH3,5	779,99±18,85bc	1113,49±18,61f	180±7,07c	580±1,41d	313,33±0,00d	1113,35±17,88e	680,00±0,00h	846,66±47,14e
C10.000/TDH7	908,33±0,70cd	2014,83±21,21g	146,35±16,26bc	146±0,91b	1680±2,82j	813,00±0,00d	46,50±4,24b	1080±0,70f
C10.000/TDH10,5	1880,00±141,42f	746,66±14,14d	446,5±3,53d	946,5±2,12f	446,9±0,14f	813,50±0,70d	1080,00±0,00i	246,5±0,70bc
C15.000/TDH3,5	1880,00±141,42f	1130±23,57f	880,15±6,85f	980±2,82g	780±14,14i	846,50±3,53d	1086,00±2,82j	996,67±70,71ef
C15.000/TDH7	1046,66±47,14d	1015,15±2,62e	781,5±30,40f	1302,5±0,70h	613±1,41g	1612,85±17,18g	480,00±0,00g	1480±94,28g
C15.000/TDH10,5	580,33±5,18b	780,33±13,67d	613,33±94,28e	613,85±16,75e	713,5±0,70h	513,33±47,14c	280,00±0,00e	546,66±0,00d

¹ Letras distintas na mesma coluna referem-se a diferença estatística pelo teste de Tukey a 5%.

APÊNDICE AD - Médias das taxas de remoção de DQO (%) observadas durante a operação dos diferentes TAHFS ¹.

Tratamentos	Remoção de DQO (%)							
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
C5.000/TDH3,5	73,06±0,18d	91,7±0,33f	99,73±0,00a	99,73±0,00a	97,07±0,04b	74,92±0,05g	93,06±0,00g	89,09±0,04e
C5.000/TDH7	88,03±0,13abc	99,06±0,06a	89,76±0,23f	94,4±0,00e	93,08±0,16g	82,4±0,02f	97,73±0,01c	91,75±0,07cd
C5.000/TDH10,5	81,73±0,28bcd	97,73±0,08b	97,74±0,08b	97,09±0,09c	99,08±0,00a	95,74±0,00b	97,07±0,04d	98,39±0,01a
C10.000/TDH3,5	92,20±0,18a	88,86±0,19g	98,2±0,07b	94,2±0,01f	96,86±0,00b	88,86±0,17e	93,2±0,00f	91,53±0,47d
C10.000/TDH7	90,91±0,21ab	79,84±0,16h	98,53±0,00b	98,54±0,02b	83,2±0,00h	91,87±0,04d	99,53±0,00a	89,20±0,94e
C10.000/TDH10,5	81,2±1,41cd	92,53±0,14e	95,53±0,03cd	90,53±0,02i	95,53±0,00d	91,86±0,00d	89,20±0,00i	97,53±0,00ab
C15.000/TDH3,5	87,46±7,54abc	92,46±0,15e	94,13±0,04e	93,46±0,01g	94,8±0,09f	94,35±0,02c	92,76±0,02h	93,35±0,47c
C15.000/TDH7	93,02±0,31a	93,23±0,01d	94,79±0,20de	91,31±0,00h	95,91±0,00c	89,24±0,11e	96,80±0,00e	90,13±0,62de
C15.000/TDH10,5	96,13±0,03a	94,79±0,09c	95,911±0,62c	95,90±0,11d	95,24±0,00e	96,57±0,31a	98,13±0,00b	96,35±0,00b

¹ Letras distintas na mesma coluna referem-se a diferença estatística pelo teste de Tukey a 5%.

APÊNDICE B - Média $\pm$ erro padrão das taxas de diminuição da Turbidez (%) observadas durante a operação dos diferentes TAHFS ¹.

Tratamentos	Remoção de Turbidez (%)							
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
C5.000/TDH3,5	56,66 $\pm$ 0,16g	32,42 $\pm$ 0,05e	68,22 $\pm$ 0,0,9c	63,56 $\pm$ 0,10d	59,07 $\pm$ 0,14d	73,21 $\pm$ 0,10a	69,58 $\pm$ 0,09g	35,27 $\pm$ 0,48h
C5.000/TDH7	71,02 $\pm$ 0,19d	68,01 $\pm$ 0,10b	81,71 $\pm$ 0,10a	66,94 $\pm$ 0,05b	30,13 $\pm$ 0,00i	30,47 $\pm$ 0,49h	78,08 $\pm$ 0,09c	51,70 $\pm$ 0,19f
C5.000/TDH10,5	83,36 $\pm$ 0,18a	72,25 $\pm$ 0,10a	79,20 $\pm$ 0,05b	73,15 $\pm$ 0,00a	72,53 $\pm$ 0,10a	49,79 $\pm$ 0,10e	78,83 $\pm$ 0,00b	85,95 $\pm$ 0,00a
C10.000/TDH3,5	33,96 $\pm$ 0,00i	20,19 $\pm$ 0,27g	36,98 $\pm$ 1,60i	52,26 $\pm$ 0,27e	34,14 $\pm$ 0,26g	50,75 $\pm$ 0,27d	17,54 $\pm$ 0,27i	42,82 $\pm$ 0,26g
C10.000/TDH7	76,41 $\pm$ 0,27c	39,43 $\pm$ 0,26d	49,05 $\pm$ 0,00f	36,79 $\pm$ 0,27g	31,69 $\pm$ 0,53h	27,92 $\pm$ 0,00i	74,32 $\pm$ 0,03e	6,97 $\pm$ 0,80i
C10.000/TDH10,5	38,30 $\pm$ 0,27h	27,35 $\pm$ 0,27f	48,11 $\pm$ 0,27g	40,37 $\pm$ 0,00f	60,37 $\pm$ 0,00c	36,79 $\pm$ 0,00g	73,54 $\pm$ 0,06f	53,20 $\pm$ 0,00e
C15.000/TDH3,5	63,41 $\pm$ 0,17f	16,15 $\pm$ 0,16h	57,91 $\pm$ 0,16d	13,95 $\pm$ 0,47i	44,28 $\pm$ 0,16f	54,39 $\pm$ 0,16c	46,26 $\pm$ 0,16h	56,70 $\pm$ 0,00d
C15.000/TDH7	69,69 $\pm$ 0,04e	27,91 $\pm$ 0,00f	54,72 $\pm$ 0,31e	35,82 $\pm$ 0,00h	47,36 $\pm$ 0,16e	48,46 $\pm$ 0,16f	77,14 $\pm$ 0,00d	72,63 $\pm$ 0,16c
C15.000/TDH10,5	77,13 $\pm$ 0,01b	60,32 $\pm$ 0,16c	47,03 $\pm$ 0,00h	65,82 $\pm$ 0,16c	63,40 $\pm$ 0,16b	63,53 $\pm$ 0,00b	88,24 $\pm$ 0,05a	81,88 $\pm$ 0,06b

¹ Letras distintas na mesma coluna referem-se a diferença estatística pelo teste de Tukey a 5%.

APÊNDICE C - Taxa média $\pm$ erro padrão para os valores de remoção dos Sólidos Totais, semanal ¹.

Tratamento	Remoção de Sólidos Totais (%)							
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
C5.000/TDH3,5	79,47 $\pm$ 4,85ab	69,42 $\pm$ 0,07d	82,22 $\pm$ 0,59c	86,08 $\pm$ 0,61b	82,37 $\pm$ 1,55cd	78,84 $\pm$ 1,32e	85,05 $\pm$ 1,71c	54,15 $\pm$ 0,02e
C5.000/TDH7	81,59 $\pm$ 0,14ab	76,89 $\pm$ 0,82c	81,73 $\pm$ 0,85cd	87,98 $\pm$ 0,21ab	71,02 $\pm$ 2,60f	69,29 $\pm$ 0,10f	78,17 $\pm$ 3,50d	87,71 $\pm$ 0,09bc
C5.000/TDH10,5	78,62 $\pm$ 1,07b	79,22 $\pm$ 0,17b	83,23 $\pm$ 1,20c	81,21 $\pm$ 1,46c	78,02 $\pm$ 0,52e	84,14 $\pm$ 1,25cd	74,12 $\pm$ 1,59d	90,46 $\pm$ 1,92ab
C10.000/TDH3,5	80,20 $\pm$ 5,00ab	62,48 $\pm$ 0,69f	78,74 $\pm$ 0,34ef	86,28 $\pm$ 1,24b	84,17 $\pm$ 1,13bc	82,77 $\pm$ 0,05d	87,09 $\pm$ 0,14bc	82,95 $\pm$ 1,12d
C10.000/TDH7	85,77 $\pm$ 0,01ab	64,98 $\pm$ 0,03e	79,51 $\pm$ 0,12ef	89,52 $\pm$ 0,10a	87,64 $\pm$ 0,22ab	86,62 $\pm$ 0,08bc	94,23 $\pm$ 0,34a	88,40 $\pm$ 0,85bc
C10.000/TDH10,5	23,24 $\pm$ 0,67c	77,71 $\pm$ 0,56bc	86,86 $\pm$ 0,05b	81,14 $\pm$ 0,88c	79,59 $\pm$ 0,48de	92,37 $\pm$ 0,56a	93,35 $\pm$ 1,85a	90,14 $\pm$ 0,08ab
C15.000/TDH3,5	80,76 $\pm$ 0,28ab	67,84 $\pm$ 0,63d	77,45 $\pm$ 0,04f	87,49 $\pm$ 0,13ab	88,86 $\pm$ 0,36a	93,33 $\pm$ 0,72a	91,84 $\pm$ 0,32ab	86,46 $\pm$ 0,02c
C15.000/TDH7	85,33 $\pm$ 0,00ab	64,25 $\pm$ 0,17e	79,92 $\pm$ 0,27de	85,24 $\pm$ 0,20b	85,00 $\pm$ 0,55abc	87,42 $\pm$ 0,01b	93,64 $\pm$ 0,10a	88,33 $\pm$ 0,80bc
C15.000/TDH10,5	89,45 $\pm$ 0,52a	90,33 $\pm$ 0,02a	90,09 $\pm$ 0,16a	89,84 $\pm$ 0,36a	88,57 $\pm$ 0,18a	93,30 $\pm$ 0,92a	94,69 $\pm$ 0,27a	92,43 $\pm$ 0,29a

¹ Letras distintas na mesma coluna referem-se a diferença estatística pelo teste de Tukey a 5%.

APÊNDICE D - Taxa média $\pm$ erro padrão para os valores de remoção de Sólidos Totais Fixos, semanal ¹.

Tratamentos	Remoção de Sólidos Totais Fixos (%)							
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
C5.000/TDH3,5	33,34 $\pm$ 0,90ab	6,18 $\pm$ 0,24d	25,87 $\pm$ 1,43cd	56,63 $\pm$ 4,09abcd	16,39 $\pm$ 2,14d	20,33 $\pm$ 1,52d	34,48 $\pm$ 14,36b	21,31 $\pm$ 5,40c
C5.000/TDH7	22,65 $\pm$ 0,27bc	28,38 $\pm$ 2,32c	29,23 $\pm$ 1,85bcd	62,78 $\pm$ 4,97abc	30,92 $\pm$ 0,45cd	10,85 $\pm$ 0,40de	33,75 $\pm$ 1,99b	68,86 $\pm$ 1,93a
C5.000/TDH10,5	13,34 $\pm$ 0,41cd	21,76 $\pm$ 3,18c	16,18 $\pm$ 0,05de	41,89 $\pm$ 2,75de	49,86 $\pm$ 4,25ab	44,05 $\pm$ 2,36c	40,54 $\pm$ 1,74b	76,33 $\pm$ 1,70a
C10.000/TDH3,5	25,68 $\pm$ 2,67bc	3,08 $\pm$ 0,13d	40,39 $\pm$ 3,73abc	67,57 $\pm$ 3,50ab	49,70 $\pm$ 2,19ab	42,02 $\pm$ 2,21c	57,27 $\pm$ 3,00ab	45,17 $\pm$ 5,05b
C10.000/TDH7	46,19 $\pm$ 0,33a	4,16 $\pm$ 0,76d	33,58 $\pm$ 0,36abcd	73,74 $\pm$ 1,27a	57,55 $\pm$ 2,61a	54,43 $\pm$ 0,42bc	77,48 $\pm$ 2,23a	68,83 $\pm$ 4,48a
C10.000/TDH10,5	31,68 $\pm$ 0,88ab	40,20 $\pm$ 1,05b	45,71 $\pm$ 1,42ab	49,99 $\pm$ 9,06cde	60,90 $\pm$ 1,51a	76,24 $\pm$ 2,66a	77,25 $\pm$ 8,92a	77,42 $\pm$ 3,52a
C15.000/TDH3,5	21,01 $\pm$ 2,51bc	41,46 $\pm$ 4,59b	14,10 $\pm$ 0,20de	52,83 $\pm$ 1,69bcd	50,86 $\pm$ 1,45ab	69,75 $\pm$ 2,28ab	65,74 $\pm$ 3,73a	44,38 $\pm$ 4,55b
C15.000/TDH7	33,84 $\pm$ 0,40ab	43,52 $\pm$ 0,46b	18,76 $\pm$ 1,47de	34,86 $\pm$ 5,37e	40,97 $\pm$ 2,60bc	49,37 $\pm$ 1,95c	70,36 $\pm$ 0,99a	46,58 $\pm$ 3,76b
C15.000/TDH10,5	35,55 $\pm$ 1,96ab	62,54 $\pm$ 2,56a	52,28 $\pm$ 1,04a	55,19 $\pm$ 4,41bcd	62,68 $\pm$ 1,64a	69,35 $\pm$ 7,54ab	78,58 $\pm$ 0,35a	71,35 $\pm$ 2,21a

¹ Letras distintas na mesma coluna referem-se a diferença estatística pelo teste de Tukey a 5%.

APÊNDICE E - Taxa média $\pm$ erro padrão para os valores de remoção dos Sólidos Totais Voláteis semanal ¹.

Tratamentos	Remoção de Sólidos Totais Voláteis (%)							
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7 ns ²	Semana 8
C5.000/TDH3,5	88,64 $\pm$ 0,83a	82,01 $\pm$ 0,45e	93,44 $\pm$ 0,48ab	91,95 $\pm$ 0,05abc	95,51 $\pm$ 2,35a	90,49 $\pm$ 1,34b	95,11 $\pm$ 0,76	60,69 $\pm$ 1,13c
C5.000/TDH7	93,18 $\pm$ 0,03a	86,55 $\pm$ 0,56c	92,18 $\pm$ 3,03b	92,99 $\pm$ 0,75ab	79,01 $\pm$ 1,94b	80,92 $\pm$ 0,41c	87,01 $\pm$ 2,72	91,46 $\pm$ 1,94ab
C5.000/TDH10,5	91,62 $\pm$ 1,43a	90,66 $\pm$ 0,37b	96,58 $\pm$ 0,11a	89,03 $\pm$ 1,17de	83,62 $\pm$ 2,29b	92,13 $\pm$ 0,13b	80,81 $\pm$ 2,22	93,28 $\pm$ 1,97ab
C10.000/TDH3,5	90,06 $\pm$ 5,56a	73,49 $\pm$ 0,66g	85,67 $\pm$ 0,16c	89,66 $\pm$ 0,88cd	90,4 $\pm$ 1,02ab	90,13 $\pm$ 0,35b	92,48 $\pm$ 0,44	89,77 $\pm$ 0,50b
C10.000/TDH7	93,13 $\pm$ 0,13a	75,97 $\pm$ 0,24f	87,81 $\pm$ 0,10c	92,37 $\pm$ 0,39ab	93,08 $\pm$ 0,28ab	92,43 $\pm$ 0,09b	97,26 $\pm$ 0,85	91,94 $\pm$ 0,25ab
C10.000/TDH10,5	21,72 $\pm$ 1,38b	84,49 $\pm$ 0,76d	94,30 $\pm$ 0,42ab	86,76 $\pm$ 0,51e	82,96 $\pm$ 0,79b	95,28 $\pm$ 0,22a	96,25 $\pm$ 0,61	92,45 $\pm$ 0,57ab
C15.000/TDH3,5	87,60 $\pm$ 0,21a	70,86 $\pm$ 0,26h	84,70 $\pm$ 0,26c	91,46 $\pm$ 0,45bc	93,21 $\pm$ 0,35ab	96,04 $\pm$ 1,14a	94,82 $\pm$ 0,01	91,27 $\pm$ 0,35ab
C15.000/TDH7	91,23 $\pm$ 0,12a	66,63 $\pm$ 0,31i	86,92 $\pm$ 0,31c	91,01 $\pm$ 0,23bcd	90,05 $\pm$ 0,46b	91,78 $\pm$ 0,11b	78,41 $\pm$ 3,05	93,11 $\pm$ 0,59ab
C15.000/TDH10,5	95,61 $\pm$ 0,43a	93,51 $\pm$ 0,17a	94,42 $\pm$ 0,18ab	93,81 $\pm$ 0,01a	91,54 $\pm$ 0,10ab	96,04 $\pm$ 0,24a	96,53 $\pm$ 0,31	94,85 $\pm$ 0,14a

¹ Letras distintas na mesma coluna referem-se a diferença estatística pelo teste de Tukey a 5%.

² Não houve diferença significativa na coluna ($p>0,05$).

APÊNDICE F - Sólidos Sedimentáveis (mL.L⁻¹) - SS e sua Taxa de remoção (%) - RSS no efluente, semanal.

Tratamentos	SS Inicial mL.L ⁻¹	Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4		Semana 5		Semana 6		Semana 7		Semana 8	
		SS mL.L ⁻¹	RSS %	SS mL.L ⁻¹	RSS %	SS mL.L ⁻¹	RSS %	SS mL.L ⁻¹	RSS %	SS mL.L ⁻¹	RSS %	SS mL.L ⁻¹	RSS %	SS mL.L ⁻¹	RSS %	SS mL.L ⁻¹	RSS %
C5.000/TDH3,5	0,3	0,1	66,66	0,1	66,66	0,1	66,66	0,1	66,66	0,1	66,66	0,1	66,66	0,1	66,66	0,1	66,66
C5.000/TDH7	0,3	0,1	66,66	0,1	66,66	0,1	66,66	0,1	66,66	0,1	66,66	0,1	66,66	0,1	66,66	0,1	66,66
C5.000/TDH10,5	0,3	0,1	66,66	0,1	66,66	0,1	66,66	0,1	66,66	0,1	66,66	0,1	66,66	0,1	66,66	0,1	66,66
C10.000/TDH3,5	0,4	0,2	50,00	0,2	50,00	0,2	50,00	0,2	50,00	0,1	75,00	0,1	75,00	0,1	75,00	0,1	75,00
C10.000/TDH7	0,4	0,2	50,00	0,2	50,00	0,1	75,00	0,1	75,00	0,1	75,00	0,1	75,00	0,1	75,00	0,1	75,00
C10.000/TDH10,5	0,4	0,2	50,00	0,1	75,00	0,1	75,00	0,1	75,00	0,1	75,00	0,1	75,00	0,1	75,00	0,1	75,00
C15.000/TDH3,5	0,8	0,2	75,00	0,2	75,00	0,2	75,00	0,2	75,00	0,2	75,00	0,2	75,00	0,1	87,50	0,2	75,00
C15.000/TDH7	0,8	0,2	75,00	0,2	75,00	0,1	87,50	0,1	87,50	0,1	87,50	0,2	75,00	0,1	99,99	0,1	87,50
C15.000/TDH10,5	0,8	0,2	75,00	0,1	87,50	0,1	87,50	0,1	87,50	0,1	87,50	0,1	87,50	0,1	87,50	0,1	87,50
Média	-	0,17	63,88	0,14	68,05	0,12	72,22	0,12	72,22	0,11	74,99	0,12	73,61	0,1	77,77	0,11	74,99
Desvio Padrão	-	0,05	11,02	0,05	12,14	0,04	11,60	0,04	11,60	0,03	8,07	0,04	6,59	0,00	11,60	0,03	8,07
CV%	-	30,00	17,25	36,49	17,85	36,08	16,06	36,08	16,06	30,00	10,76	36,08	8,95	0,00	14,91	30,00	10,76

APÊNDICE G - Taxa média $\pm$ erro padrão para os valores de Cianeto (mg.L^{-1}) semanal ¹.

Tratamentos	Cianeto (mg.L^{-1})								
	Inicial	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
C5.000/TDH3,5	0 $\pm$ 0,0	0 $\pm$ 0,0	0 $\pm$ 0,0	0 $\pm$ 0,0	0 $\pm$ 0,0	0 $\pm$ 0,0	0 $\pm$ 0,0	0 $\pm$ 0,0	0 $\pm$ 0,0
C5.000/TDH7	7,56 $\pm$ 0,00	4,82 $\pm$ 0,71	3,78 $\pm$ 0,76	3,35 $\pm$ 0,01	3,48 $\pm$ 0,00	3,48 $\pm$ 0,00	3,52 $\pm$ 0,06	3,48 $\pm$ 0,00	3,31 $\pm$ 0,01
C5.000/TDH10,5	7,56 $\pm$ 0,00	3,82 $\pm$ 0,71	3,94 $\pm$ 0,76	3,845 $\pm$ 0,0,49	3,44 $\pm$ 0,06	3,44 $\pm$ 0,06	3,44 $\pm$ 0,06	3,44 $\pm$ 0,06	3,10 $\pm$ 0,00
C10.000/TDH3,5	7,56 $\pm$ 0,00	3,4 $\pm$ 0,42	3,3 $\pm$ 0,14	3,4 $\pm$ 0,00	3,48 $\pm$ 0,00	3,40 $\pm$ 0,00	3,35 $\pm$ 0,07	3,40 $\pm$ 0,00	3,15 $\pm$ 0,07
C10.000/TDH7	11,88 $\pm$ 0,0	5,4 $\pm$ 0,00	5,44 $\pm$ 0,06	5,4 $\pm$ 0,00	5,72 $\pm$ 0,00	5,44 $\pm$ 0,06	4,80 $\pm$ 0,00	4,65 $\pm$ 0,0,07	4,55 $\pm$ 0,07
C10.000/TDH10,5	11,88 $\pm$ 0,00	4,35 $\pm$ 0,21	4,2 $\pm$ 0,00	4,8 $\pm$ 0,00	4,6 $\pm$ 0,00	4,40 $\pm$ 0,00	4,64 $\pm$ 0,11	4,76 $\pm$ 0,0,06	4,3 $\pm$ 0,14
C15.000/TDH3,5	11,88 $\pm$ 0,00	4,00 $\pm$ 0,14	3,55 $\pm$ 0,21	4,14 $\pm$ 0,0,25	4,32 $\pm$ 0,00	3,80 $\pm$ 0,00	3,80 $\pm$ 0,00	4,1 $\pm$ 0,00	4,10 $\pm$ 0,00
C15.000/TDH7	12,96 $\pm$ 0,00	5,94 $\pm$ 0,76	6,48 $\pm$ 0,00	6,6 $\pm$ 0,06	6,72 $\pm$ 0,11	6,76 $\pm$ 0,0,06	6,85 $\pm$ 0,07	6,2 $\pm$ 0,00	6,25 $\pm$ 0,07
C15.000/TDH10,5	12,96 $\pm$ 0,00	3,78 $\pm$ 0,76	4,30 $\pm$ 0,03	4,48 $\pm$ 0,00	4,84 $\pm$ 0,17	4,80 $\pm$ 0,00	4,75 $\pm$ 0,07	4,7 $\pm$ 0,00	4,40 $\pm$ 0,00

APÊNDICE H - Taxa média $\pm$ erro padrão para os valores de remoção de Cianeto (%) semanal ¹.

Tratamentos	Remoção de Cianeto (%)							
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
C5.000/TDH3,5	36,24 $\pm$ 9,35c	50 $\pm$ 10,10bc	55,75 $\pm$ 0,09bc	53,96 $\pm$ 0,00de	53,96 $\pm$ 0,00c	53,43 $\pm$ 0,74e	53,96 $\pm$ 0,00d	56,21 $\pm$ 0,18e
C5.000/TDH7	49,47 $\pm$ 9,35bc	47,88 $\pm$ 10,10c	49,14 $\pm$ 6,45c	54,49 $\pm$ 0,74d	54,49 $\pm$ 0,74c	54,49 $\pm$ 0,74e	54,49 $\pm$ 0,74d	58,99 $\pm$ 0,00d
C5.000/TDH10,5	55,02 $\pm$ 5,61abc	56,34 $\pm$ 1,87abc	55,02 $\pm$ 0,00bc	53,96 $\pm$ 0,00de	55,02 $\pm$ 0,00c	55,68 $\pm$ 0,93e	55,02 $\pm$ 0,00d	58,33 $\pm$ 0,93de
C10.000/TDH3,5	54,54 $\pm$ 0,00abc	50 $\pm$ 6,42bc	54,54 $\pm$ 0,00bc	51,85 $\pm$ 0,00e	54,20 $\pm$ 0,47c	59,59 $\pm$ 0,00d	60,85 $\pm$ 0,59c	61,70 $\pm$ 0,59c
C10.000/TDH7	63,38 $\pm$ 1,78ab	64,64 $\pm$ 0,00abc	59,59 $\pm$ 0,00ab	61,27 $\pm$ 0,00c	62,96 $\pm$ 0,00c	60,94 $\pm$ 0,95cd	59,93 $\pm$ 0,47c	63,80 $\pm$ 1,19bc
C10.000/TDH10,5	66,32 $\pm$ 1,19ab	70,11 $\pm$ 1,78a	65,15 $\pm$ 2,14a	63,63 $\pm$ 0,00ab	68,01 $\pm$ 0,00a	68,01 $\pm$ 0,00a	65,48 $\pm$ 0,00a	65,48 $\pm$ 0,00b
C15.000/TDH3,5	54,16 $\pm$ 5,89abc	50 $\pm$ 0,00bc	49,07 $\pm$ 0,43c	48,14 $\pm$ 0,87f	47,83 $\pm$ 0,43d	47,14 $\pm$ 0,54f	52,16 $\pm$ 0,00e	51,77 $\pm$ 0,54f
C15.000/TDH7	70,83 $\pm$ 5,89a	66,85 $\pm$ 0,27abc	65,43 $\pm$ 0,00a	62,65 $\pm$ 1,30bc	62,96 $\pm$ 0,00b	63,34 $\pm$ 0,54bc	63,73 $\pm$ 0,00b	66,04 $\pm$ 0,00ab
C15.000/TDH10,5	69,17 $\pm$ 1,36ab	68,44 $\pm$ 0,21ab	62,96 $\pm$ 0,00ab	65,43 $\pm$ 0,00a	67,59 $\pm$ 0,00a	66,43 $\pm$ 1,63ab	64,89 $\pm$ 0,54ab	67,97 $\pm$ 0,54a

¹ Letras distintas na mesma coluna referem-se a diferença estatística pelo teste de Tukey a 5%.

APÊNDICE IA - Taxa média $\pm$ erro padrão de Alcalinidade a Bicarbonato ($\text{mg.CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$) no ponto de coleta 2 ¹.

Tratamento	Alcalinidade a Bicarbonato ($\text{mg.CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$)							
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
Controle	39,71 $\pm$ 0,05f	29,75 $\pm$ 0,00g	19,83 $\pm$ 0,00i	19,83 $\pm$ 0,00j	29,75 $\pm$ 0,00j	49,59 $\pm$ 0,00i	29,75 $\pm$ 0,00h	9,91 $\pm$ 0,00h
C5.000/TDH3,5	366,96 $\pm$ 0,00d	515,73 $\pm$ 0,00b	664,50 $\pm$ 0,00b	218,19 $\pm$ 0,00h	120,75 $\pm$ 7,42i	376,50 $\pm$ 2,12c	125,50 $\pm$ 0,71f	147,00 $\pm$ 0,00f
C5.000/TDH7	366,96 $\pm$ 0,00d	386,80 $\pm$ 0,00e	317,37 $\pm$ 0,00h	198,36 $\pm$ 0,00i	451,50 $\pm$ 0,00d	451,50 $\pm$ 0,00a	199,50 $\pm$ 0,00e	178,50 $\pm$ 0,00e
C5.000/TDH10,5	793,44 $\pm$ 0,00b	446,31 $\pm$ 0,00c	416,55 $\pm$ 0,00f	347,13 $\pm$ 0,00e	483,00 $\pm$ 0,00b	126,00 $\pm$ 0,00h	292,50 $\pm$ 2,12a	84,00 $\pm$ 0,00g
C10.000/TDH3,5	327,29 $\pm$ 0,00e	396,72 $\pm$ 0,00e	426,47 $\pm$ 0,00e	247,95 $\pm$ 0,00g	357,00 $\pm$ 0,00h	397,00 $\pm$ 2,83b	105,00 $\pm$ 0,00g	288,75 $\pm$ 7,42d
C10.000/TDH7	302,49 $\pm$ 22,19e	456,22 $\pm$ 0,00c	357,04 $\pm$ 0,00g	267,78 $\pm$ 0,00f	745,50 $\pm$ 0,00a	262,50 $\pm$ 0,00f	106,00 $\pm$ 1,41g	147,00 $\pm$ 0,00f
C10.000/TDH10,5	390,94 $\pm$ 5,85d	426,47 $\pm$ 0,00d	505,81 $\pm$ 0,00d	424,47 $\pm$ 2,83d	388,50 $\pm$ 0,00g	220,50 $\pm$ 0,00g	241,50 $\pm$ 0,00c	147,00 $\pm$ 0,00f
C15.000/TDH3,5	387,62 $\pm$ 1,16d	421,51 $\pm$ 7,01d	505,81 $\pm$ 0,00d	803,35 $\pm$ 0,00b	441,00 $\pm$ 0,00e	294,00 $\pm$ 0,00e	241,50 $\pm$ 0,00c	409,50 $\pm$ 0,00a
C15.000/TDH7	466,14 $\pm$ 1,16c	238,03 $\pm$ 0,00f	555,40 $\pm$ 0,00c	941,25 $\pm$ 1,35a	399,00 $\pm$ 0,00f	325,50 $\pm$ 0,00d	220,50 $\pm$ 0,00d	325,50 $\pm$ 0,00c
C15.000/TDH10,5	1071,14 $\pm$ 0,00a	1155,44 $\pm$ 7,01a	971,96 $\pm$ 0,00a	753,76 $\pm$ 0,00c	472,50 $\pm$ 0,00c	263,15 $\pm$ 0,92f	262,50 $\pm$ 0,00b	388,50 $\pm$ 0,00b

¹ Letras distintas na mesma coluna referem-se a diferença estatística pelo teste de Tukey a 5%.

APÊNDICE IB - Taxa média $\pm$ erro padrão de Alcalinidade a Bicarbonato ($\text{mg.CaCO}_3.\text{L}^{-1}$) no ponto de coleta 3¹.

Tratamento	Alcalinidade a Bicarbonato ($\text{mg.CaCO}_3.\text{L}^{-1}$)							
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
Controle	49,59 $\pm$ 0,00e	39,67 $\pm$ 0,00h	69,42 $\pm$ 0,00i	69,42 $\pm$ 0,00i	59,50 $\pm$ 0,00i	79,64 $\pm$ 0,42i	19,83 $\pm$ 0,00g	39,67 $\pm$ 0,00i
C5.000/TDH3,5	823,19 $\pm$ 0,00b	724,01 $\pm$ 0,00c	773,60 $\pm$ 0,00f	347,13 $\pm$ 0,00h	399,00 $\pm$ 0,00f	524,50 $\pm$ 0,71b	288,75 $\pm$ 7,42c	252,50 $\pm$ 0,71d
C5.000/TDH7	897,57 $\pm$ 7,00b	694,26 $\pm$ 0,00d	639,71 $\pm$ 7,01g	441,35 $\pm$ 7,01g	934,50 $\pm$ 0,00a	303,00 $\pm$ 2,12f	252,00 $\pm$ 0,00d	167,60 $\pm$ 0,56g
C5.000/TDH10,5	882,70 $\pm$ 0,00b	763,68 $\pm$ 0,00b	525,65 $\pm$ 0,00h	515,73 $\pm$ 0,00e	351,75 $\pm$ 0,00g	262,50 $\pm$ 0,00h	168,00 $\pm$ 7,42f	189,00 $\pm$ 0,00f
C10.000/TDH3,5	416,55 $\pm$ 0,00d	337,21 $\pm$ 0,00g	971,96 $\pm$ 0,00c	471,10 $\pm$ 7,01f	598,50 $\pm$ 0,00d	567,00 $\pm$ 0,00a	425,25 $\pm$ 7,42b	357,00 $\pm$ 0,00a
C10.000/TDH7	481,02 $\pm$ 22,20cd	456,22 $\pm$ 0,00e	1026,51 $\pm$ 7,01b	436,39 $\pm$ 0,00g	215,25 $\pm$ 7,42h	336,00 $\pm$ 0,00e	294,00 $\pm$ 0,00c	220,50 $\pm$ 0,00e
C10.000/TDH10,5	624,83 $\pm$ 0,00c	763,68 $\pm$ 0,00b	773,60 $\pm$ 0,00f	714,09 $\pm$ 0,00d	441,00 $\pm$ 0,00e	272,50 $\pm$ 0,71g	210,00 $\pm$ 0,00e	156,15 $\pm$ 1,91h
C15.000/TDH3,5	426,47 $\pm$ 0,00d	456,22 $\pm$ 0,00e	1338,93 $\pm$ 0,00a	872,78 $\pm$ 0,00b	861,00 $\pm$ 0,00b	442,00 $\pm$ 1,41d	288,75 $\pm$ 7,42c	325,50 $\pm$ 0,00b
C15.000/TDH7	872,78 $\pm$ 0,00b	406,63 $\pm$ 0,00f	912,45 $\pm$ 0,00d	783,52 $\pm$ 0,00c	661,50 $\pm$ 0,00c	451,50 $\pm$ 0,00c	462,00 $\pm$ 0,00a	304,50 $\pm$ 0,00c
C15.000/TDH10,5	1517,45 $\pm$ 0,00a	872,78 $\pm$ 0,00a	882,70 $\pm$ 0,00e	947,16 $\pm$ 7,01a	388,50 $\pm$ 0,00f	273,00 $\pm$ 0,00g	304,50 $\pm$ 0,00c	356,00 $\pm$ 1,41a

¹ Letras distintas na mesma coluna referem-se a diferença estatística pelo teste de Tukey a 5%.

APÊNDICE IC - Taxa média $\pm$ erro padrão de Alcalinidade a Bicarbonato ($\text{mg.CaCO}_3\text{.L}^{-1}$) no ponto de saída do efluente ¹.

Tratamento	Alcalinidade a Bicarbonato ($\text{mg.CaCO}_3\text{.L}^{-1}$)							
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
Controle	79,34 $\pm$ 0,00i	69,42 $\pm$ 0,00i	84,30 $\pm$ 7,01g	47,99 $\pm$ 2,25h	49,59 $\pm$ 0,00f	69,42 $\pm$ 0,00h	29,15 $\pm$ 0,86h	19,83 $\pm$ 0,00h
C5.000/TDH3,5	614,91 $\pm$ 0,00d	654,58 $\pm$ 0,00b	694,26 $\pm$ 0,00c	297,54 $\pm$ 0,00g	378,00 $\pm$ 0,00d	304,50 $\pm$ 0,00d	220,50 $\pm$ 0,00d	288,75 $\pm$ 7,42b
C5.000/TDH7	595,08 $\pm$ 0,00e	545,49 $\pm$ 0,00d	694,26 $\pm$ 0,00c	346,11 $\pm$ 1,43f	777,00 $\pm$ 0,00a	241,50 $\pm$ 0,00f	189,00 $\pm$ 0,00f	115,50 $\pm$ 0,00g
C5.000/TDH10,5	833,11 $\pm$ 0,00b	714,09 $\pm$ 0,00a	505,81 $\pm$ 0,00f	433,80 $\pm$ 3,66d	430,50 $\pm$ 0,00c	241,50 $\pm$ 0,00f	157,50 $\pm$ 0,00g	157,50 $\pm$ 0,00f
C10.000/TDH3,5	307,45 $\pm$ 0,00g	352,08 $\pm$ 7,01fg	634,75 $\pm$ 0,00d	476,06 $\pm$ 0,00c	425,25 $\pm$ 7,42c	378,00 $\pm$ 0,00b	273,00 $\pm$ 0,00c	183,75 $\pm$ 7,42e
C10.000/TDH7	694,26 $\pm$ 0,00c	357,04 $\pm$ 0,00f	823,19 $\pm$ 0,00a	436,39 $\pm$ 0,00d	420,00 $\pm$ 0,00c	315,00 $\pm$ 0,00c	157,50 $\pm$ 0,00g	199,50 $\pm$ 0,00cd
C10.000/TDH10,5	833,11 $\pm$ 0,00b	595,08 $\pm$ 0,00c	699,21 $\pm$ 7,01c	576,34 $\pm$ 1,55b	378,00 $\pm$ 0,00d	194,25 $\pm$ 7,42g	199,50 $\pm$ 0,00e	126,00 $\pm$ 0,00g
C15.000/TDH3,5	337,21 $\pm$ 14,02f	347,13 $\pm$ 0,00g	793,44 $\pm$ 0,00b	624,83 $\pm$ 0,00a	567,00 $\pm$ 0,00b	294,00 $\pm$ 0,00e	366,85 $\pm$ 0,92a	304,50 $\pm$ 0,00b
C15.000/TDH7	168,60 $\pm$ 0,00h	208,27 $\pm$ 0,00h	798,39 $\pm$ 7,00b	624,83 $\pm$ 0,00a	551,25 $\pm$ 7,42b	409,50 $\pm$ 0,00a	314,00 $\pm$ 1,41b	215,25 $\pm$ 7,42c
C15.000/TDH10,5	1130,65 $\pm$ 0,00a	376,88 $\pm$ 0,00e	580,20 $\pm$ 7,01e	416,55 $\pm$ 0,00e	288,75 $\pm$ 7,42e	241,50 $\pm$ 0,00f	220,50 $\pm$ 0,00d	346,50 $\pm$ 0,00a

¹ Letras distintas na mesma coluna referem-se a diferença estatística pelo teste de Tukey a 5%.

APÊNDICE JA - Taxa média $\pm$ erro padrão de Alcalinidade Total ($\text{mg.CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$) no ponto de coleta 2 por semana ¹.

Tratamentos	Alcalinidade Total ($\text{mg.CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$)							
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
Controle	84,30 $\pm$ 7,01i	79,34 $\pm$ 0,00i	69,42 $\pm$ 0,00j	44,63 $\pm$ 7,01h	84,30 $\pm$ 7,01h	88,74 $\pm$ 0,74j	59,70 $\pm$ 0,28j	29,75 $\pm$ 0,00j
C5.000/TDH3,5	639,70 $\pm$ 7,01g	1234,79 $\pm$ 7,01e	763,68 $\pm$ 0,00d	242,99 $\pm$ 7,01g	257,25 $\pm$ 7,42g	829,50 $\pm$ 0,00b	158,50 $\pm$ 1,41h	336,00 $\pm$ 0,00e
C5.000/TDH7	565,30 $\pm$ 0,00h	907,49 $\pm$ 7,01g	366,96 $\pm$ 0,00i	247,95 $\pm$ 0,00g	756,00 $\pm$ 0,00d	776,50 $\pm$ 0,71c	241,50 $\pm$ 0,00f	199,50 $\pm$ 0,00h
C5.000/TDH10,5	892,60 $\pm$ 0,00f	694,26 $\pm$ 0,00h	505,81 $\pm$ 0,01h	674,42 $\pm$ 0,00d	609,00 $\pm$ 0,00f	199,50 $\pm$ 0,00i	441,00 $\pm$ 0,00a	157,50 $\pm$ 0,00i
C10.000/TDH3,5	1398,00 $\pm$ 0,00c	1710,85 $\pm$ 7,01b	753,76 $\pm$ 0,00e	386,80 $\pm$ 0,00e	693,00 $\pm$ 0,00e	871,50 $\pm$ 0,00a	220,50 $\pm$ 0,00g	771,75 $\pm$ 7,42c
C10.000/TDH7	991,80 $\pm$ 0,00e	1517,45 $\pm$ 0,00d	694,26 $\pm$ 0,00f	362,00 $\pm$ 7,01f	1008,00 $\pm$ 0,00b	640,50 $\pm$ 0,00f	147,00 $\pm$ 0,00i	210,00 $\pm$ 0,00g
C10.000/TDH10,5	1334,00 $\pm$ 7,01d	1011,63 $\pm$ 0,00f	614,91 $\pm$ 0,00g	1021,55 $\pm$ 0,00c	756,00 $\pm$ 0,00d	378,00 $\pm$ 0,00h	409,50 $\pm$ 0,00d	294,00 $\pm$ 0,00f
C15.000/TDH3,5	1959,00 $\pm$ 7,02a	1929,05 $\pm$ 7,01a	1100,89 $\pm$ 0,01c	1051,30 $\pm$ 0,00b	766,50 $\pm$ 0,00d	652,00 $\pm$ 1,41e	430,50 $\pm$ 0,00b	861,00 $\pm$ 0,00a
C15.000/TDH7	1865,00 $\pm$ 0,00b	1626,55 $\pm$ 0,00c	1249,66 $\pm$ 0,00a	1363,72 $\pm$ 7,01a	1092,00 $\pm$ 0,00a	735,00 $\pm$ 0,00d	346,50 $\pm$ 0,00e	829,50 $\pm$ 0,00b
C15.000/TDH10,5	1319,00 $\pm$ 0,00d	1522,41 $\pm$ 7,01d	1140,57 $\pm$ 0,00b	1358,76 $\pm$ 0,00a	829,50 $\pm$ 0,00c	442,00 $\pm$ 1,41g	420,00 $\pm$ 0,00c	619,50 $\pm$ 0,00d

¹ Letras distintas na mesma coluna referem-se a diferença estatística pelo teste de Tukey a 5%.

APÊNDICE JB - Taxa média $\pm$ erro padrão de Alcalinidade Total (mg.CaCO₃.L⁻¹) no ponto de coleta 3 por semana ¹.

Tratamentos	Alcalinidade Total (mg.CaCO ₃ .L ⁻¹)							
	Semana1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
Controle	64,46 $\pm$ 7,01h	54,54 $\pm$ 7,02i	84,30 $\pm$ 7,02i	79,34 $\pm$ 0,00i	69,42 $\pm$ 0,00j	94,22 $\pm$ 7,01h	44,63 $\pm$ 7,01i	79,34 $\pm$ 0,00i
C5.000/TDH3,5	1051,00 $\pm$ 0,00e	1051,30 $\pm$ 0,00f	857,90 $\pm$ 7,02f	436,39 $\pm$ 0,00h	561,75 $\pm$ 7,42g	698,25 $\pm$ 7,42c	362,25 $\pm$ 7,42f	577,50 $\pm$ 0,00d
C5.000/TDH7	957,10 $\pm$ 7,00f	813,27 $\pm$ 0,00h	714,09 $\pm$ 14g	505,81 $\pm$ 0,00g	1086,75 $\pm$ 7,42c	603,75 $\pm$ 7,42d	336,00 $\pm$ 0,00g	246,75 $\pm$ 7,42h
C5.000/TDH10,5	972,00 $\pm$ 0,00f	862,86 $\pm$ 0,00g	580,20 $\pm$ 0,00h	639,71 $\pm$ 7,01ef	530,25 $\pm$ 0,00h	320,25 $\pm$ 0,00g	231,00 $\pm$ 7,42h	231,00 $\pm$ 0,00h
C10.000/TDH3,5	1627,00 $\pm$ 0,00c	1537,29 $\pm$ 0,00c	1259,58 $\pm$ 0,00c	649,62 $\pm$ 7,01e	871,50 $\pm$ 0,00d	861,00 $\pm$ 0,00b	603,75 $\pm$ 7,42b	808,50 $\pm$ 0,00c
C10.000/TDH7	922,40 $\pm$ 14,03g	1527,37 $\pm$ 0,00c	1205,03 $\pm$ 7,01d	624,83 $\pm$ 0,00f	346,50 $\pm$ 14,84i	582,75 $\pm$ 7,42d	388,50 $\pm$ 0,00e	388,50 $\pm$ 0,00f
C10.000/TDH10,5	1155,00 $\pm$ 7,01d	1234,79 $\pm$ 7,01e	882,70 $\pm$ 0,00f	1046,34 $\pm$ 7,01d	761,25 $\pm$ 7,42e	409,50 $\pm$ 0,00f	341,25 $\pm$ 7,42fg	294,00 $\pm$ 0,00g
C15.000/TDH3,5	1959,00 $\pm$ 7,01a	1948,88 $\pm$ 7,02b	1948,88 $\pm$ 7,02a	1175,28 $\pm$ 7,01c	1197,00 $\pm$ 0,00b	708,75 $\pm$ 7,42c	488,25 $\pm$ 7,42c	866,25 $\pm$ 7,42b
C15.000/TDH7	1755,00 $\pm$ 0,00b	2157,16 $\pm$ 7,01a	1418,27 $\pm$ 0,00b	1209,99 $\pm$ 0,00b	1302,00 $\pm$ 0,00a	913,50 $\pm$ 0,00a	682,50 $\pm$ 0,00a	887,25 $\pm$ 7,42a
C15.000/TDH10,5	1651,00 $\pm$ 7,01c	1269,50 $\pm$ 0,00d	1026,51 $\pm$ 7,01e	1254,62 $\pm$ 7,01a	693,00 $\pm$ 0,00f	467,25 $\pm$ 7,42e	435,75 $\pm$ 7,42d	540,75 $\pm$ 7,42e

¹ Letras distintas na mesma coluna referem-se a diferença estatística pelo teste de Tukey a 5%.

APÊNDICE JC - Taxa média $\pm$ erro padrão de Alcalinidade Total ($\text{mg.CaCO}_3\text{.L}^{-1}$) no ponto de saída do efluente, por semana ¹.

Tratamentos	Alcalinidade Total ($\text{mg.CaCO}_3\text{.L}^{-1}$)							
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
Controle	89,26 $\pm$ 0,00j	79,34 $\pm$ 0,00i	94,22 $\pm$ 7,01i	59,50 $\pm$ 0,00j	59,50 $\pm$ 0,00h	79,34 $\pm$ 0,00j	19,83 $\pm$ 1,18g	34,71 $\pm$ 1,35j
C5.000/TDH3,5	689,30 $\pm$ 7,01h	942,21 $\pm$ 0,00f	733,93 $\pm$ 0,00f	357,04 $\pm$ 0,00i	535,50 $\pm$ 0,00g	577,50 $\pm$ 0,00d	273,00 $\pm$ 0,00e	488,25 $\pm$ 7,42e
C5.000/TDH7	624,80 $\pm$ 0,00i	803,35 $\pm$ 0,00g	733,93 $\pm$ 0,00f	426,47 $\pm$ 0,14h	1034,25 $\pm$ 7,42b	598,50 $\pm$ 0,00c	231,00 $\pm$ 0,00f	178,50 $\pm$ 0,00i
C5.000/TDH10,5	867,80 $\pm$ 7,01f	813,27 $\pm$ 0,00g	535,57 $\pm$ 0,00h	634,75 $\pm$ 0,00f	577,50 $\pm$ 0,00f	304,50 $\pm$ 0,00i	231,00 $\pm$ 0,00f	204,75 $\pm$ 7,42h
C10.000/TDH3,5	1359,00 $\pm$ 0,00b	1393,47 $\pm$ 7,01c	1021,55 $\pm$ 0,00d	654,58 $\pm$ 0,00e	740,25 $\pm$ 7,42d	808,50 $\pm$ 0,00a	435,75 $\pm$ 7,42c	708,75 $\pm$ 7,42c
C10.000/TDH7	743,90 $\pm$ 0,00g	1314,13 $\pm$ 7,01d	1130,65 $\pm$ 0,00c	575,24 $\pm$ 0,00g	598,50 $\pm$ 0,00e	525,00 $\pm$ 0,00e	199,50 $\pm$ 0,00f	325,50 $\pm$ 0,00f
C10.000/TDH10,5	1160,00 $\pm$ 0,00e	1071,14 $\pm$ 0,00e	818,23 $\pm$ 7,02e	932,29 $\pm$ 0,00b	735,00 $\pm$ 0,00d	320,25 $\pm$ 7,42h	346,50 $\pm$ 0,00d	283,50 $\pm$ 0,00g
C15.000/TDH3,5	2013,00 $\pm$ 0,00a	1814,99 $\pm$ 0,00a	1398,43 $\pm$ 0,00b	882,70 $\pm$ 0,00c	866,25 $\pm$ 7,42c	472,50 $\pm$ 0,00g	577,50 $\pm$ 0,00a	892,50 $\pm$ 0,00a
C15.000/TDH7	1200,00 $\pm$ 0,00d	1765,40 $\pm$ 0,00b	1433,15 $\pm$ 7,01a	1140,57 $\pm$ 0,00a	1139,25 $\pm$ 7,42a	777,00 $\pm$ 0,00b	514,50 $\pm$ 0,00b	824,25 $\pm$ 7,42b
C15.000/TDH10,5	1230,00 $\pm$ 0,00c	704,17 $\pm$ 0,00h	669,46 $\pm$ 7,01g	714,09 $\pm$ 0,00d	572,25 $\pm$ 7,42f	493,50 $\pm$ 0,00f	483,00 $\pm$ 0,00b	535,50 $\pm$ 0,00d

¹ Letras distintas na mesma coluna referem-se a diferença estatística pelo teste de Tukey a 5%.

APÊNDICE LA - Taxa média $\pm$ erro padrão de Acidez Volátil ($\text{mg.CH}_3\text{COOH.L}^{-1}$) no ponto de coleta 2 por semana ¹.

Tratamentos	Acidez Volátil ($\text{mg.CH}_3\text{COOH.L}^{-1}$)							
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
Controle	12,30 $\pm$ 0,00a	12,30 $\pm$ 0,00a	18,45 $\pm$ 3,05a	24,61 $\pm$ 0,00b	24,61 $\pm$ 0,00a	24,61 $\pm$ 0,00a	24,61 $\pm$ 0,01b	18,46 $\pm$ 1,63a
C5.000/TDH3,5	233,80 $\pm$ 0,00d	572,28 $\pm$ 8,69f	70,56 $\pm$ 0,00c	37,42 $\pm$ 0,70c	105,84 $\pm$ 0,00c	423,36 $\pm$ 0,00h	11,86 $\pm$ 0,14a	141,12 $\pm$ 0,00d
C5.000/TDH7	196,9 $\pm$ 0,00c	406,13 $\pm$ 0,00d	35,28 $\pm$ 0,00b	12,35 $\pm$ 0,01a	294,00 $\pm$ 0,00f	329,28 $\pm$ 0,00e	82,32 $\pm$ 0,00c	64,68 $\pm$ 8,31b
C5.000/TDH10,5	36,92 $\pm$ 0,00b	153,83 $\pm$ 8,70b	11,76 $\pm$ 0,00a	306,68 $\pm$ 1,41g	35,28 $\pm$ 0,00b	70,56 $\pm$ 0,00b	116,10 $\pm$ 2,12d	52,92 $\pm$ 8,31b
C10.000/TDH3,5	929,2 $\pm$ 8,68g	867,65 $\pm$ 8,70h	246,96 $\pm$ 0,00g	123,07 $\pm$ 0,00e	317,52 $\pm$ 0,00g	388,08 $\pm$ 0,00g	82,82 $\pm$ 0,71c	388,08 $\pm$ 0,00f
C10.000/TDH7	510,70 $\pm$ 8,70e	867,65 $\pm$ 8,70h	235,20 $\pm$ 0,00f	135,37 $\pm$ 0,00f	117,60 $\pm$ 0,00d	317,52 $\pm$ 0,00e	23,52 $\pm$ 0,00b	94,08 $\pm$ 0,00c
C10.000/TDH10,5	713,80 $\pm$ 0,00f	455,36 $\pm$ 0,00e	82,32 $\pm$ 0,00d	453,86 $\pm$ 2,12h	423,36 $\pm$ 0,00i	164,64 $\pm$ 0,00c	175,40 $\pm$ 1,41e	141,12 $\pm$ 0,00d
C15.000/TDH3,5	1034,00 $\pm$ 0,00i	1070,72 $\pm$ 0,00i	517,44 $\pm$ 0,00h	110,76 $\pm$ 0,00d	276,36 $\pm$ 8,31e	370,44 $\pm$ 8,31f	188,16 $\pm$ 0,00e	458,64 $\pm$ 0,00h
C15.000/TDH7	960,00 $\pm$ 0,00h	793,81 $\pm$ 8,70g	693,84 $\pm$ 0,00i	307,68 $\pm$ 0,00g	505,68 $\pm$ 0,00j	458,64 $\pm$ 0,00i	117,10 $\pm$ 0,70d	411,60 $\pm$ 0,00g
C15.000/TDH10,5	196,90 $\pm$ 0,00c	184,60 $\pm$ 0,00c	105,84 $\pm$ 0,00e	513,90 $\pm$ 4,24i	352,80 $\pm$ 0,00h	229,32 $\pm$ 8,31d	223,44 $\pm$ 0,00f	235,20 $\pm$ 0,00e

¹ Letras distintas na mesma coluna referem-se a diferença estatística pelo teste de Tukey a 5%.

APÊNDICE LB - Taxa média $\pm$ erro padrão de Acidez Volátil ($\text{mg}.\text{CH}_3\text{COOH}.\text{L}^{-1}$) no ponto de coleta 3 por semana ¹.

Tratamentos	Acidez Volátil ($\text{mg}.\text{CH}_3\text{COOH}.\text{L}^{-1}$)							
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
Controle	12,30 $\pm$ 0,00a	12,30 $\pm$ 0,00a	12,30 $\pm$ 0,00a	18,46 $\pm$ 1,63a	18,46 $\pm$ 1,63a	12,30 $\pm$ 0,00a	18,46 $\pm$ 1,63a	12,30 $\pm$ 0,00a
C5.000/TDH3,5	135,40 $\pm$ 0,00c	172,30 $\pm$ 1,24c	29,40 $\pm$ 1,24b	27,76 $\pm$ 4,46a	82,32 $\pm$ 0,00c	152,88 $\pm$ 0,00c	35,28 $\pm$ 0,00bc	182,28 $\pm$ 8,31d
C5.000/TDH7	18,46 $\pm$ 8,70a	61,53 $\pm$ 0,00b	11,76 $\pm$ 0,00a	27,61 $\pm$ 4,24a	58,80 $\pm$ 0,00b	223,44 $\pm$ 0,00e	23,52 $\pm$ 0,00ab	23,52 $\pm$ 0,00ab
C5.000/TDH10,5	24,61 $\pm$ 0,00a	24,61 $\pm$ 0,00a	41,16 $\pm$ 0,00b	49,22 $\pm$ 0,00b	152,88 $\pm$ 0,00e	23,52 $\pm$ 0,00a	29,40 $\pm$ 0,00abc	35,28 $\pm$ 0,00b
C10.000/TDH3,5	836,90 $\pm$ 0,00f	775,35 $\pm$ 0,00e	188,16 $\pm$ 0,00d	129,22 $\pm$ 8,70c	164,64 $\pm$ 0,00e	199,92 $\pm$ 0,00d	105,84 $\pm$ 0,00e	341,04 $\pm$ 0,00e
C10.000/TDH7	492,30 $\pm$ 0,00d	775,35 $\pm$ 0,00e	217,56 $\pm$ 8,31e	123,07 $\pm$ 0,00c	99,96 $\pm$ 8,31d	182,28 $\pm$ 8,31d	41,16 $\pm$ 1,24c	99,96 $\pm$ 8,31c
C10.000/TDH10,5	578,40 $\pm$ 0,00e	301,52 $\pm$ 8,70d	41,16 $\pm$ 1,24b	270,75 $\pm$ 0,00f	235,20 $\pm$ 0,00g	99,96 $\pm$ 8,31b	82,32 $\pm$ 0,00d	105,84 $\pm$ 0,00c
C15.000/TDH3,5	953,80 $\pm$ 8,70h	959,96 $\pm$ 0,00f	505,68 $\pm$ 0,00f	147,68 $\pm$ 0,00d	211,68 $\pm$ 0,00f	141,12 $\pm$ 0,00c	147,00 $\pm$ 8,31f	376,32 $\pm$ 0,00f
C15.000/TDH7	886,10 $\pm$ 0,00g	775,35 $\pm$ 0,00e	505,68 $\pm$ 0,00f	307,68 $\pm$ 0,00g	399,84 $\pm$ 0,00h	358,68 $\pm$ 8,31f	176,40 $\pm$ 0,00g	393,96 $\pm$ 8,31f
C15.000/TDH10,5	55,38 $\pm$ 8,70b	313,83 $\pm$ 8,69d	58,80 $\pm$ 0,00c	196,91 $\pm$ 0,00e	229,32 $\pm$ 8,31g	152,88 $\pm$ 0,00c	164,64 $\pm$ 0,00g	176,40 $\pm$ 0,00d

¹ Letras distintas na mesma coluna referem-se a diferença estatística pelo teste de Tukey a 5%.

APÊNDICE LC - Taxa média $\pm$ erro padrão de Acidez Volátil ($\text{mg.CH}_3\text{COOH.L}^{-1}$) no ponto de saída do efluente por semana ¹.

Tratamentos	Acidez Volátil ($\text{mg.CH}_3\text{COOH.L}^{-1}$)							
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
Controle	12,30 $\pm$ 0,00a	12,30 $\pm$ 0,00a	12,30 $\pm$ 0,00a	12,30 $\pm$ 0,00a	12,30 $\pm$ 0,00a	24,61 $\pm$ 0,00a	18,46 $\pm$ 3,04a	12,30 $\pm$ 0,00a
C5.000/TDH3,5	30,77 $\pm$ 8,70b	195,85 $\pm$ 1,49 d	23,52 $\pm$ 0,00ab	36,92 $\pm$ 0,00b	64,68 $\pm$ 8,31c	252,84 $\pm$ 8,31e	41,16 $\pm$ 1,24c	117,60 $\pm$ 0,00d
C5.000/TDH7	24,61 $\pm$ 0,00ab	171,35 $\pm$ 1,34c	11,76 $\pm$ 0,00a	30,76 $\pm$ 1,63ab	105,84 $\pm$ 0,00d	276,36 $\pm$ 8,31f	35,28 $\pm$ 0,00bc	11,76 $\pm$ 0,00a
C5.000/TDH10,5	24,61 $\pm$ 0,00ab	36,27 $\pm$ 0,92b	23,52 $\pm$ 0,00ab	110,76 $\pm$ 0,00d	35,28 $\pm$ 0,00b	23,52 $\pm$ 0,00a	35,28 $\pm$ 0,00bc	35,28 $\pm$ 0,00b
C10.000/TDH3,5	750,70 $\pm$ 0,00f	763,04 $\pm$ 0,00i	282,24 $\pm$ 0,00e	110,76 $\pm$ 0,00d	252,84 $\pm$ 8,31f	376,32 $\pm$ 0,00g	117,60 $\pm$ 0,00d	329,28 $\pm$ 0,00g
C10.000/TDH7	61,53 $\pm$ 0,00c	639,97 $\pm$ 0,00h	176,40 $\pm$ 0,00d	67,68 $\pm$ 8,70c	94,08 $\pm$ 0,00d	188,16 $\pm$ 0,00c	23,52 $\pm$ 0,00ab	82,32 $\pm$ 0,00c
C10.000/TDH10,5	430,80 $\pm$ 0,00e	344,60 $\pm$ 0,00f	35,28 $\pm$ 0,00bc	295,37 $\pm$ 0,00e	352,80 $\pm$ 0,00g	117,60 $\pm$ 0,00b	135,24 $\pm$ 8,31e	141,12 $\pm$ 0,00e
C15.000/TDH3,5	1040,00 $\pm$ 8,70g	824,58 $\pm$ 0,00j	640,92 $\pm$ 8,31g	129,22 $\pm$ 8,70d	223,44 $\pm$ 0,00e	129,36 $\pm$ 0,00b	141,12 $\pm$ 0,00e	441,00 $\pm$ 8,31i
C15.000/TDH7	258,50 $\pm$ 0,00d	529,20 $\pm$ 0,00g	593,88 $\pm$ 8,31f	473,82 $\pm$ 8,70f	435,12 $\pm$ 0,00h	376,32 $\pm$ 0,00g	176,40 $\pm$ 0,00f	399,84 $\pm$ 0,00h
C15.000/TDH10,5	24,61 $\pm$ 0,00ab	208,32 $\pm$ 1,26e	47,04 $\pm$ 0,00c	276,91 $\pm$ 8,70e	235,20 $\pm$ 0,00e	235,20 $\pm$ 8,31d	182,28 $\pm$ 8,31f	217,56 $\pm$ 8,31f

¹ Letras distintas na mesma coluna referem-se a diferença estatística pelo teste de Tukey a 5%.

APÊNDICE MA - Taxa média $\pm$ erro padrão da Relação Acidez Volátil/Alcalinidade Total (AV/AT) no ponto de coleta 2 por semana ¹.

Tratamentos	Relação Acidez Volátil/Alcalinidade Total (AV/AT)							
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
Controle	0,14 $\pm$ 0,00b	0,15 $\pm$ 0,00b	0,26 $\pm$ 0,01d	0,55 $\pm$ 0,01i	0,29 $\pm$ 0,02c	0,27 $\pm$ 0,00a	0,41 $\pm$ 0,01f	0,62 $\pm$ 0,01f
C5.000/TDH3,5	0,36 $\pm$ 0,00c	0,46 $\pm$ 0,01e	0,09 $\pm$ 0,00b	0,15 $\pm$ 0,00c	0,41 $\pm$ 0,01e	0,51 $\pm$ 0,00d	0,08 $\pm$ 0,01a	0,42 $\pm$ 0,00bcd
C5.000/TDH7	0,34 $\pm$ 0,00c	0,44 $\pm$ 0,00d	0,09 $\pm$ 0,00b	0,04 $\pm$ 0,00a	0,38 $\pm$ 0,00de	0,42 $\pm$ 0,00c	0,34 $\pm$ 0,00d	0,32 $\pm$ 0,04a
C5.000/TDH10,5	0,04 $\pm$ 0,00a	0,23 $\pm$ 0,00c	0,02 $\pm$ 0,00a	0,45 $\pm$ 0,00g	0,05 $\pm$ 0,00a	0,35 $\pm$ 0,00b	0,27 $\pm$ 0,00c	0,33 $\pm$ 0,05ab
C10.000/TDH3,5	0,66 $\pm$ 0,00e	0,50 $\pm$ 0,01g	0,32 $\pm$ 0,01e	0,31 $\pm$ 0,00e	0,45 $\pm$ 0,00fg	0,44 $\pm$ 0,00c	0,37 $\pm$ 0,00e	0,50 $\pm$ 0,00de
C10.000/TDH7	0,51 $\pm$ 0,00d	0,56 $\pm$ 0,00i	0,33 $\pm$ 0,01e	0,37 $\pm$ 0,00f	0,11 $\pm$ 0,00b	0,49 $\pm$ 0,00d	0,16 $\pm$ 0,00b	0,44 $\pm$ 0,00cde
C10.000/TDH10,5	0,53 $\pm$ 0,00d	0,45 $\pm$ 0,00de	0,13 $\pm$ 0,00c	0,44 $\pm$ 0,00g	0,56 $\pm$ 0,00h	0,43 $\pm$ 0,00c	0,43 $\pm$ 0,01fg	0,48 $\pm$ 0,00de
C15.000/TDH3,5	0,52 $\pm$ 0,00d	0,55 $\pm$ 0,00h	0,47 $\pm$ 0,00f	0,10 $\pm$ 0,00b	0,36 $\pm$ 0,01d	0,56 $\pm$ 0,00e	0,43 $\pm$ 0,00g	0,53 $\pm$ 0,00e
C15.000/TDH7	0,51 $\pm$ 0,00d	0,48 $\pm$ 0,01f	0,55 $\pm$ 0,00g	0,22 $\pm$ 0,00d	0,46 $\pm$ 0,00g	0,62 $\pm$ 0,00f	0,34 $\pm$ 0,01d	0,49 $\pm$ 0,00de
C15.000/TDH10,5	0,14 $\pm$ 0,00b	0,12 $\pm$ 0,00a	0,09 $\pm$ 0,00b	0,38 $\pm$ 0,00f	0,42 $\pm$ 0,00ef	0,52 $\pm$ 0,00d	0,53 $\pm$ 0,00h	0,37 $\pm$ 0,00abc

¹ Letras distintas na mesma coluna referem-se a diferença estatística pelo teste de Tukey a 5%.

APÊNDICE MB - Taxa média $\pm$ erro padrão da Relação Acidez Volátil/Alcalinidade Total (AV/AT) no ponto de coleta 3 por semana ¹.

Tratamentos	Relação Acidez Volátil/Alcalinidade Total (AV/AT)							
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
Controle	0,19 $\pm$ 0,01c	0,22 $\pm$ 0,02d	0,14 $\pm$ 0,01d	0,23 $\pm$ 0,10c	0,26 $\pm$ 0,12bc	0,13 $\pm$ 0,01b	0,43 $\pm$ 0,01d	0,15 $\pm$ 0,00b
C5.000/TDH3,5	0,12 $\pm$ 0,00b	0,16 $\pm$ 0,00c	0,03 $\pm$ 0,01ab	0,07 $\pm$ 0,01ab	0,14 $\pm$ 0,00ab	0,21 $\pm$ 0,00cd	0,09 $\pm$ 0,00a	0,31 $\pm$ 0,01d
C5.000/TDH7	0,02 $\pm$ 0,01a	0,07 $\pm$ 0,00b	0,01 $\pm$ 0,00a	0,04 $\pm$ 0,00a	0,05 $\pm$ 0,00a	0,37 $\pm$ 0,00f	0,07 $\pm$ 0,00a	0,09 $\pm$ 0,00a
C5.000/TDH10,5	0,02 $\pm$ 0,00a	0,02 $\pm$ 0,00a	0,07 $\pm$ 0,01c	0,07 $\pm$ 0,00ab	0,28 $\pm$ 0,00bc	0,07 $\pm$ 0,00a	0,12 $\pm$ 0,00ab	0,15 $\pm$ 0,00b
C10.000/TDH3,5	0,51 $\pm$ 0,00de	0,50 $\pm$ 0,00f	0,14 $\pm$ 0,01d	0,19 $\pm$ 0,01bc	0,18 $\pm$ 0,00abc	0,23 $\pm$ 0,00cd	0,17 $\pm$ 0,00b	0,42 $\pm$ 0,00f
C10.000/TDH7	0,53 $\pm$ 0,00e	0,50 $\pm$ 0,01f	0,17 $\pm$ 0,00e	0,19 $\pm$ 0,00bc	0,28 $\pm$ 0,01bc	0,31 $\pm$ 0,01e	0,10 $\pm$ 0,02a	0,25 $\pm$ 0,02c
C10.000/TDH10,5	0,50 $\pm$ 0,00de	0,24 $\pm$ 0,00d	0,04 $\pm$ 0,00bc	0,25 $\pm$ 0,00c	0,30 $\pm$ 0,00c	0,24 $\pm$ 0,02d	0,24 $\pm$ 0,00c	0,36 $\pm$ 0,00e
C15.000/TDH3,5	0,49 $\pm$ 0,00d	0,49 $\pm$ 0,00f	0,25 $\pm$ 0,00f	0,12 $\pm$ 0,00abc	0,17 $\pm$ 0,00abc	0,19 $\pm$ 0,00c	0,30 $\pm$ 0,02c	0,43 $\pm$ 0,00f
C15.000/TDH7	0,50 $\pm$ 0,00de	0,35 $\pm$ 0,00e	0,35 $\pm$ 0,00g	0,25 $\pm$ 0,00c	0,30 $\pm$ 0,00c	0,39 $\pm$ 0,01f	0,25 $\pm$ 0,00c	0,44 $\pm$ 0,00f
C15.000/TDH10,5	0,03 $\pm$ 0,01a	0,24 $\pm$ 0,01d	0,05 $\pm$ 0,00bc	0,15 $\pm$ 0,00abc	0,33 $\pm$ 0,01c	0,32 $\pm$ 0,00e	0,37 $\pm$ 0,00d	0,32 $\pm$ 0,00de

¹ Letras distintas na mesma coluna referem-se a diferença estatística pelo teste de Tukey a 5%.

APÊNDICE MC - Taxa média $\pm$ erro padrão da Relação Acidez Volátil/Alcalinidade Total (AV/AT) no ponto de saída por semana ¹.

Tratamentos	Relação Acidez Volátil/Alcalinidade Total (AV/AT)							
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
Controle	0,13 $\pm$ 0,00c	0,15 $\pm$ 0,00b	0,12 $\pm$ 0,00d	0,20 $\pm$ 0,00e	0,20 $\pm$ 0,00d	0,31 $\pm$ 0,00c	0,46 $\pm$ 0,04e	0,34 $\pm$ 0,05d
C5.000/TDH3,5	0,04 $\pm$ 0,01a	0,20 $\pm$ 0,01c	0,03 $\pm$ 0,00b	0,10 $\pm$ 0,00b	0,12 $\pm$ 0,01b	0,43 $\pm$ 0,01e	0,15 $\pm$ 0,03a	0,24 $\pm$ 0,00bc
C5.000/TDH7	0,04 $\pm$ 0,00a	0,21 $\pm$ 0,00c	0,01 $\pm$ 0,00a	0,07 $\pm$ 0,00a	0,10 $\pm$ 0,00b	0,46 $\pm$ 0,01ef	0,15 $\pm$ 0,00a	0,06 $\pm$ 0,00a
C5.000/TDH10,5	0,02 $\pm$ 0,00a	0,04 $\pm$ 0,00a	0,04 $\pm$ 0,00b	0,17 $\pm$ 0,00de	0,06 $\pm$ 0,00a	0,07 $\pm$ 0,00a	0,15 $\pm$ 0,00a	0,17 $\pm$ 0,00b
C10.000/TDH3,5	0,55 $\pm$ 0,00g	0,54 $\pm$ 0,00h	0,27 $\pm$ 0,00f	0,16 $\pm$ 0,00d	0,34 $\pm$ 0,01f	0,46 $\pm$ 0,00f	0,26 $\pm$ 0,00bc	0,46 $\pm$ 0,00ef
C10.000/TDH7	0,08 $\pm$ 0,00b	0,48 $\pm$ 0,00g	0,15 $\pm$ 0,00e	0,11 $\pm$ 0,01bc	0,15 $\pm$ 0,00c	0,35 $\pm$ 0,00d	0,11 $\pm$ 0,00a	0,25 $\pm$ 0,00c
C10.000/TDH10,5	0,37 $\pm$ 0,00e	0,32 $\pm$ 0,00e	0,04 $\pm$ 0,00b	0,31 $\pm$ 0,00f	0,48 $\pm$ 0,00i	0,36 $\pm$ 0,01d	0,39 $\pm$ 0,02de	0,49 $\pm$ 0,00f
C15.000/TDH3,5	0,51 $\pm$ 0,00f	0,45 $\pm$ 0,00f	0,45 $\pm$ 0,00h	0,14 $\pm$ 0,01cd	0,25 $\pm$ 0,00e	0,27 $\pm$ 0,00b	0,24 $\pm$ 0,00b	0,49 $\pm$ 0,01f
C15.000/TDH7	0,21 $\pm$ 0,00d	0,29 $\pm$ 0,01d	0,41 $\pm$ 0,00g	0,41 $\pm$ 0,01g	0,38 $\pm$ 0,00g	0,48 $\pm$ 0,00f	0,34 $\pm$ 0,00cd	0,48 $\pm$ 0,00f
C15.000/TDH10,5	0,02 $\pm$ 0,00a	0,29 $\pm$ 0,00d	0,06 $\pm$ 0,01c	0,38 $\pm$ 0,01g	0,41 $\pm$ 0,00h	0,47 $\pm$ 0,00f	0,37 $\pm$ 0,01d	0,40 $\pm$ 0,01de

¹ Letras distintas na mesma coluna referem-se a diferença estatística pelo teste de Tukey a 5%.

APÊNDICE NA - Variação do pH do afluente no ponto inicial, por semana.

Tratamentos	pH							
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
Controle	7,12	7,12	6,98	7,04	7,04	6,97	6,86	6,85
C5.000/TDH3,5	4,21	4,21	4,10	4,18	4,18	4,08	4,03	4,03
C5.000/TDH7	4,21	4,21	4,10	4,18	4,18	4,08	4,03	4,03
C5.000/TDH10,5	4,21	4,21	4,10	4,18	4,18	4,08	4,03	4,03
C10.000/TDH3,5	4,17	4,17	4,08	4,11	4,12	4,09	4,07	4,06
C10.000/TDH7	4,17	4,17	4,08	4,11	4,12	4,09	4,07	4,06
C10.000/TDH10,5	4,17	4,17	4,08	4,11	4,12	4,09	4,07	4,06
C15.000/TDH3,5	4,16	4,15	4,06	4,09	4,07	4,06	4,05	4,06
C15.000/TDH7	4,16	4,15	4,06	4,09	4,07	4,06	4,05	4,06
C15.000/TDH10,5	4,16	4,15	4,06	4,09	4,07	4,06	4,05	4,06
Média	4,47	4,47	4,37	4,42	4,42	4,37	4,33	4,33
Desvio Padrão	0,92	0,93	0,92	0,92	0,92	0,92	0,89	0,89
CV%	20,79	20,83	20,99	20,87	20,92	20,96	20,52	20,45

APÊNDICE NB - Variação do pH no ponto de coleta 2, por semana.

	pH							
Tratamentos	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
Controle	7,28	7,38	7,22	7,18	6,83	6,83	6,93	6,82
C5.000/TDH3,5	6,92	7,38	7,60	6,98	6,87	6,26	6,76	6,87
C5.000/TDH7	6,90	6,16	7,27	6,86	6,48	6,32	6,81	6,86
C5.000/TDH10,5	7,67	7,01	7,58	6,55	7,09	6,52	6,68	6,98
C10.000/TDH3,5	5,77	6,20	7,22	6,81	6,91	6,34	6,83	6,67
C10.000/TDH7	6,29	6,20	7,05	6,89	7,17	6,50	6,94	6,75
C10.000/TDH10,5	6,64	6,77	7,75	6,38	6,40	6,43	6,39	6,87
C15.000/TDH3,5	5,91	6,30	7,21	7,57	6,84	6,82	6,32	6,45
C15.000/TDH7	5,69	6,87	6,78	7,15	6,77	6,38	6,36	6,70
C15.000/TDH10,5	7,81	7,80	8,07	7,18	6,54	6,79	6,38	6,93
Média	6,68	6,80	7,37	6,96	6,79	6,52	6,64	6,79
Desvio Padrão	0,76	0,58	0,37	0,34	0,25	0,22	0,25	0,15
CV%	11,44	8,62	5,07	4,90	3,70	3,34	3,77	2,27

APÊNDICE NC - Variação do pH no ponto de coleta 3, por semana.

Tratamentos	pH							
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
Controle	7,47	7,40	7,35	7,23	6,92	6,75	6,79	6,73
C5.000/TDH3,5	7,35	7,10	7,81	7,17	7,02	6,74	7,04	7,12
C5.000/TDH7	7,69	7,36	8,00	7,38	7,12	6,46	7,23	7,13
C5.000/TDH10,5	8,03	7,80	7,83	7,23	7,19	7,24	7,24	7,14
C10.000/TDH3,5	6,67	6,60	7,75	7,11	7,16	6,96	6,94	6,98
C10.000/TDH7	6,72	6,70	7,46	7,11	7,27	6,59	7,20	7,10
C10.000/TDH10,5	7,03	7,23	8,02	7,35	6,93	7,30	7,21	7,25
C15.000/TDH3,5	6,23	6,90	7,82	7,55	7,27	6,91	6,52	6,82
C15.000/TDH7	6,60	6,84	7,39	7,06	7,02	6,80	6,93	7,20
C15.000/TDH10,5	8,21	7,36	8,05	7,53	6,87	6,96	6,86	7,25
Média	7,20	7,12	7,74	7,27	7,07	6,87	6,99	7,07
Desvio Padrão	0,65	0,37	0,26	0,17	0,14	0,26	0,23	0,17
CV%	9,12	5,20	3,37	2,39	2,06	3,82	3,36	2,49

APÊNDICE ND - Variação do pH no ponto de saída do efluente, por semana.

Tratamentos	pH							
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
Controle	7,75	8,05	7,89	7,29	6,79	6,51	6,84	6,68
C5.000/TDH3,5	7,68	7,20	7,98	7,28	7,04	6,44	6,98	7,05
C5.000/TDH7	7,80	7,24	8,04	7,45	6,92	6,05	6,94	6,98
C5.000/TDH10,5	8,19	7,17	7,96	7,31	7,14	6,92	6,81	7,03
C10.000/TDH3,5	7,37	6,53	7,32	7,32	6,82	6,72	6,65	6,90
C10.000/TDH7	7,31	6,40	7,51	7,23	7,05	6,56	7,01	6,83
C10.000/TDH10,5	7,39	7,85	8,09	7,33	6,61	7,04	7,15	6,92
C15.000/TDH3,5	6,83	6,70	7,28	7,50	7,13	6,82	6,84	6,80
C15.000/TDH7	7,02	6,50	7,16	6,92	7,01	6,66	6,85	6,80
C15.000/TDH10,5	8,02	7,12	7,98	7,14	6,60	6,89	6,76	7,19
Média	7,53	7,07	7,72	7,27	6,91	6,66	6,88	6,91
Desvio Padrão	0,42	0,56	0,36	0,16	0,19	0,28	0,14	0,14
CV%	5,70	7,92	4,67	2,21	2,87	4,32	2,05	2,15

APÊNDICE OA - Variação da Condutividade Elétrica (mS.cm⁻¹) do afluente no ponto inicial, por semana.

Tratamentos	Condutividade Elétrica (mS.cm ⁻¹)							
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
Controle	0,22	0,22	0,18	0,18	0,18	0,12	0,12	0,14
C5.000/TDH3,5	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31
C5.000/TDH7	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31
C5.000/TDH10,5	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31
C10.000/TDH3,5	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45
C10.000/TDH7	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45
C10.000/TDH10,5	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45
C15.000/TDH3,5	2,43	2,43	2,43	2,43	2,43	2,43	2,43	2,43
C15.000/TDH7	2,43	2,43	2,43	2,43	2,43	2,43	2,43	2,43
C15.000/TDH10,5	2,43	2,43	2,43	2,43	2,43	2,43	2,43	2,43
Média	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	1,87	1,87	1,87
Desvio Padrão	0,79	0,79	0,80	0,80	0,80	0,81	0,81	0,81
CV%	42,03	42,03	42,62	42,62	42,62	43,52	43,52	43,21

APÊNDICE OB - Variação da Condutividade Elétrica (mS.cm^{-1}) no ponto de coleta 2, por semana.

Tratamentos	Condutividade Elétrica (mS.cm^{-1})							
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
Controle	0,17	0,15	0,15	0,17	0,18	0,11	0,13	0,23
C5.000/TDH3,5	1,49	0,15	1,28	0,49	0,83	1,12	0,32	0,85
C5.000/TDH7	1,31	1,36	0,69	1,49	0,96	0,96	0,28	0,37
C5.000/TDH10,5	1,46	1,10	0,87	1,23	0,75	0,27	0,39	0,44
C10.000/TDH3,5	2,6	2,65	1,40	0,83	1,11	1,10	0,44	1,60
C10.000/TDH7	1,7	2,44	1,29	0,59	1,30	0,91	0,31	0,44
C10.000/TDH10,5	2,05	1,82	1,09	1,72	1,05	0,44	0,49	0,71
C15.000/TDH3,5	3,48	3,43	2,04	1,76	1,23	1,14	0,76	1,48
C15.000/TDH7	2,78	3,67	1,89	1,79	1,69	1,02	0,53	1,23
C15.000/TDH10,5	1,87	2,28	1,71	2,06	1,46	0,75	0,99	0,77
Média	1,89	1,91	1,24	1,21	1,06	0,78	0,46	0,81
Desvio Padrão	0,91	1,23	0,57	0,65	0,42	0,38	0,25	0,48
CV%	48,36	64,37	46,24	53,77	39,67	48,22	54,01	59,01

APÊNDICE OC - Variação da Condutividade Elétrica (mS.cm^{-1}) no ponto de coleta 3, por semana.

Tratamentos	Condutividade Elétrica (mS.cm^{-1})							
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
Controle	0,19	0,15	0,16	0,17	0,17	0,15	0,15	0,25
C5.000/TDH3,5	2,11	1,61	1,39	0,82	0,54	1,02	0,57	1,07
C5.000/TDH7	1,80	1,41	1,15	0,85	1,43	0,95	0,55	0,45
C5.000/TDH10,5	1,59	1,27	1,01	1,03	0,65	0,45	0,37	0,40
C10.000/TDH3,5	3,17	2,59	2,02	1,10	1,31	1,30	0,88	1,40
C10.000/TDH7	2,14	2,38	2,00	1,15	0,62	0,98	0,69	0,66
C10.000/TDH10,5	1,90	1,85	1,47	1,61	1,17	0,65	0,56	0,59
C15.000/TDH3,5	4,12	3,56	2,98	1,88	1,66	1,20	0,90	1,56
C15.000/TDH7	3,12	3,96	2,35	1,82	1,83	1,42	1,16	1,45
C15.000/TDH10,5	2,42	2,12	1,57	1,70	1,16	0,77	1,40	0,84
Média	2,26	2,09	1,61	1,21	1,05	0,89	0,72	0,87
Desvio Padrão	1,06	1,11	0,78	0,54	0,54	0,39	0,37	0,48
CV%	47,11	53,33	48,50	44,59	50,98	44,16	51,32	54,89

APÊNDICE OD - Variação da Condutividade Elétrica (mS.cm^{-1}) no ponto de saída do afluente, por semana.

Tratamentos	Condutividade Elétrica (mS.cm^{-1})							
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
Controle	0,20	0,16	0,16	0,16	0,19	0,06	0,13	0,26
C5.000/TDH3,5	1,09	1,66	1,14	0,71	0,83	1,05	0,43	0,86
C5.000/TDH7	1,12	1,45	1,01	0,81	1,37	0,94	0,46	0,40
C5.000/TDH10,5	1,32	1,67	0,89	1,06	0,82	0,45	0,38	0,40
C10.000/TDH3,5	1,76	2,76	1,78	1,29	1,16	1,13	0,72	1,41
C10.000/TDH7	1,26	2,59	1,93	1,03	0,86	0,84	0,43	0,63
C10.000/TDH10,5	2,07	1,17	1,40	1,57	1,19	0,45	0,50	0,58
C15.000/TDH3,5	2,07	3,40	2,54	1,57	1,42	0,58	1,06	1,50
C15.000/TDH7	1,76	4,04	2,29	1,93	1,68	1,28	0,96	1,49
C15.000/TDH10,5	1,90	1,28	1,22	1,23	1,10	0,71	0,83	0,71
Média	1,46	2,02	1,44	1,14	1,06	0,75	0,59	0,82
Desvio Padrão	0,58	1,16	0,71	0,51	0,41	0,37	0,29	0,48
CV%	39,79	57,61	49,54	44,47	39,03	49,68	49,39	57,68

APÊNDICE PA - Variação da Temperatura (°C) do afluente, por semana.

Tratamentos	Temperatura (°C)							
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
Controle	26,9	26,5	26,5	26,7	26,3	26,4	27,4	26,8
C5.000/TDH3,5	28,3	24,9	26,2	27,2	26,7	26,6	26,8	26,7
C5.000/TDH7	28,3	24,9	26,2	27,2	26,7	26,6	26,8	26,7
C5.000/TDH10,5	28,3	24,9	26,2	27,2	26,7	26,6	26,8	26,7
C10.000/TDH3,5	28,4	28,2	26,3	27,9	27	26,7	27,6	26,9
C10.000/TDH7	28,4	28,2	26,3	27,9	27	26,7	27,6	26,9
C10.000/TDH10,5	28,4	28,2	26,3	27,9	27	26,7	27,6	26,9
C15.000/TDH3,5	27,9	28,0	27,1	26,2	27,3	26,6	27,6	26,2
C15.000/TDH7	27,9	28,0	27,1	26,2	27,3	26,6	27,6	26,2
C15.000/TDH10,5	27,9	28,0	27,1	26,2	27,3	26,6	27,6	26,2
Média	28,07	26,98	26,53	27,06	26,93	26,61	27,34	26,62
Desvio Padrão	0,46	1,52	0,40	0,71	0,33	0,09	0,38	0,30
CV%	1,65	5,63	1,52	2,62	1,23	0,33	1,38	1,13

APÊNDICE PB - Variação da Temperatura (°C) no ponto de coleta 2, por semana.

Tratamentos	Temperatura (°C)							
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
Controle	26,4	24,9	26,9	27,2	27,4	26,4	27,7	26,8
C5.000/TDH3,5	28,6	28,6	26	27,2	26,7	27,3	27,9	29,2
C5.000/TDH7	29,5	28,5	26,3	27,6	26,9	27,4	28	29,8
C5.000/TDH10,5	29,4	24,7	25,4	29,7	26,6	26,6	27,5	28,9
C10.000/TDH3,5	28,6	28,4	26,6	28,2	27,1	28,1	28,3	30,3
C10.000/TDH7	27,8	27,8	26,5	28,8	27,4	28,1	29,5	30,2
C10.000/TDH10,5	28,8	25,1	25,8	27,1	27	26,5	27,6	28,4
C15.000/TDH3,5	28,3	28,8	27,3	29,0	27,2	28,1	28,0	30,3
C15.000/TDH7	27,6	28,8	27,4	29,2	27,3	28,0	28,5	30,9
C15.000/TDH10,5	28,6	26,9	26,1	26,1	26,7	26,5	27,3	28,6
Média	28,36	27,25	26,43	28,01	27,03	27,3	28,03	29,34
Desvio Padrão	0,91	1,72	0,64	1,15	0,30	0,75	0,63	1,22
CV%	3,22	6,31	2,43	4,10	1,10	2,73	2,25	4,15

APÊNDICE PC - Variação da Temperatura (°C) no ponto de coleta 3, por semana.

Tratamentos	Temperatura (°C)							
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
Controle	26,4	24,7	26,7	27,7	27,7	26,6	28,6	26,6
C5.000/TDH3,5	27,9	28,5	26,1	27,2	27,4	27,7	28,6	28,3
C5.000/TDH7	28,1	28,2	26,3	27,5	27,5	27,3	29	29,5
C5.000/TDH10,5	28,5	25,2	26,5	28,3	27,1	26,3	27,2	28,1
C10.000/TDH3,5	28	28,8	26,2	28,2	25,5	28	28,3	29,9
C10.000/TDH7	27,8	28,5	26,8	28,0	27,4	27,8	26,1	29,3
C10.000/TDH10,5	29,2	25,3	26,5	26,5	27,2	26,3	27,2	28,2
C15.000/TDH3,5	28	28,9	26,9	28,3	27,8	29,1	28,6	29,7
C15.000/TDH7	28,1	28,9	26,9	28,3	27,7	28,7	29,1	30,5
C15.000/TDH10,5	29,2	26	27,6	26,7	26,7	26	27	28,3
Média	28,12	27,3	26,65	27,67	27,2	27,38	27,97	28,84
Desvio Padrão	0,79	1,76	0,44	0,68	0,68	1,07	1,01	1,15
CV%	2,81	6,45	1,64	2,45	2,51	3,89	3,63	3,97

APÊNDICE PD - Variação da Temperatura (°C) no ponto de saída do efluente, por semana.

Tratamentos	Temperatura (°C)							
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
Controle	28,6	25,2	26,2	26,8	27,5	26,4	28,6	26,4
C5.000/TDH3,5	27,9	28,5	26,1	27,2	27,4	27,7	28,6	28,3
C5.000/TDH7	28,1	28,2	26,3	27,5	27,5	27,3	29	29,5
C5.000/TDH10,5	28,5	25,2	26,5	28,3	27,1	26,3	27,2	28,1
C10.000/TDH3,5	28	28,8	26,2	28,2	25,5	28	28,3	29,9
C10.000/TDH7	27,8	28,5	26,8	28	27,4	27,8	26,1	29,3
C10.000/TDH10,5	29,2	25,3	26,5	26,5	27,2	26,3	27,2	28,2
C15.000/TDH3,5	28	28,9	26,9	28,3	27,8	29,1	28,6	29,7
C15.000/TDH7	28,1	28,9	26,9	28,3	27,7	28,7	29,1	30,5
C15.000/TDH10,5	29,2	26,0	27,6	26,7	26,7	26	27	28,3
Média	28,34	27,35	26,6	27,58	27,18	27,36	27,97	28,82
Desvio Padrão	0,52	1,68	0,46	0,73	0,67	1,08	1,01	1,19
CV%	1,82	6,16	1,73	2,65	2,46	3,96	3,63	4,13

APÊNDICE Q - Propriedades químicas dos solos sob fertirrigação subsuperficial, com diferentes concentrações de manipueira e TDH ¹.

Tratamentos	M.O. ns*	pH ns*	P(Mehlich)	K	Ca	Mg	H+Al	Na	Al	H	C ns*
	g.dm ⁻³	CaCl ₂	mg.dm ⁻³	mmolc.dm ⁻³							g.dm ⁻³
Solo Inicial	35,5±0,71	4,97±0,04	48,00±0,00d	3,79±0,02a	61,50±0,71a	12,00±0,00c	37,56±0,79a	5,15±0,07a	0,00±0,00a	37,50±0,71a	20,59±0,60
Controle	33,15±0,21	4,14±0,05	45,50±0,18d	ND ² b	7,00±0,00d	11,80±0,00c	65,72±1,96f	NDb	2,00±0,28bc	63,73±1,25d	19,23±0,12
C5.000/TDH3,5	34,00±2,69	4,51±0,01	295,15±0,21b	NDb	10,50±0,71bcd	12,50±0,71bc	49,44±0,74bcde	NDb	1,50±0,14b	47,94±1,44abc	19,72±1,56
C5.000/TDH7	34,10±0,14	4,21±0,05	284,40±15,41b	NDb	8,50±0,71cd	13,50±0,71bc	58,96±1,46ef	NDb	2,75±0,07de	56,47±5,00cd	19,78±0,09
C5.000/TDH10,5	33,05±0,92	4,44±0,35	98,15±9,40d	NDb	14,00±1,41b	12,00±1,41c	53,98±2,18cde	NDb	2,50±0,14cd	51,48±7,13bcd	19,17±0,53
C10.000/TDH3,5	34,60±4,38	4,45±0,31	309,35±19,87b	NDb	11,00±1,41bcd	16,00±1,41b	55,13±6,56cde	NDb	3,25±0,07e	51,88±4,79bcd	20,07±2,54
C10.000/TDH7	33,95±3,18	4,34±0,07	495,30±0,00a	NDb	13,50±2,12b	13,00±0,00bc	57,01±1,27def	NDb	3,00±0,42de	54,01±1,98bcd	19,69±1,85
C10.000/TDH10,5	36,70±4,38	4,63±0,56	284,35±15,48b	NDb	12,50±0,71bc	23,00±1,41a	47,55±0,50abcd	NDb	2,75±0,07de	44,80±0,56abc	21,29±2,54
C15.000/TDH3,5	34,35±3,32	4,67±0,07	85,20±1,83d	NDb	10,50±0,71bcd	23,00±1,41a	46,71±3,13abc	NDb	3,00±0,14de	42,71±2,42abc	19,93±1,93
C15.000/TDH7	34,00±2,54	4,77±0,17	311,20±22,49b	NDb	11,50±0,71bc	21,00±1,41a	42,00±1,98ab	NDb	1,50±0,14b	42,00±4,81ab	19,72±1,48
C15.000/TDH10,5	35,85±0,00	4,32±0,00	64,50±0,00d	NDb	12,00±0,00bc	15,00±0,00bc	54,94±0,00cde	NDb	3,00±0,00de	51,94±0,00bcd	20,71±0,00

¹Letras distintas na mesma coluna referem-se a diferença estatística pelo teste de Tukey a 5%.

ns: não houve diferença significativa para este parâmetro.

² ND: Não detectado pelo método.

APÊNDICE R - Acompanhamento semanal da Altura (cm) dos tomateiros¹.

Tratamento	Altura dos Tomateiros (cm)								
	Semana 1	Semana 2 ns ²	Semana 3 ns	Semana 4 ns	Semana 5 ns	Semana 6 ns	Semana 7 ns	Semana 8 ns	Semana 9
Controle	10,66±0,57ab	15,66±1,52	20,00±3,00	27,33±4,16	35,66±1,52	44,00±3,60	53,00±4,58	62,33±7,57	68,66±9,86b
C5.000/TDH3,5	12,00±1,00ab	16,66±1,15	23,33±0,57	30,66±0,57	43,66±7,09	55,00±7,81	65,00±9,53	76,66±12,05	86,33±15,04ab
C5.000/TDH7	11,66±1,52ab	15,00±3,00	22,00±3,00	32,00±3,00	45,33±4,93	55,33±6,42	71,00±3,46	86,33±9,45	101,00±16,82a
C5.000/TDH10,5	9,66±0,57b	16,33±1,15	23,33±1,15	32,66±1,52	43,00±4,35	52,66±6,65	65,00±10,39	75,66±10,78	86,00±12,28ab
C10.000/TDH3,5	11,33±0,57ab	15,00±2,00	20,66±0,57	31,66±0,57	43,00±4,00	52,66±2,88	63,33±1,52	77,66±3,78	87,00±4,35ab
C10.000/TDH7	11,00±1,00ab	15,00±2,00	22,66±3,51	31,00±2,64	47,00±3,60	55,33±4,16	69,00±2,00	82,33±3,21	96,00±3,60ab
C10.000/TDH10,5	12,66±0,57a	17,66±1,52	24,66±1,52	34,00±2,64	49,66±3,05	60,33±6,80	71,33±6,65	84,66±11,59	102,00±11,35a
C15.000/TDH3,5	11,33±1,52ab	18,66±2,30	23,00±2,00	33,33±3,78	48,00±5,29	56,33±10,01	62,66±7,76	70,33±2,51	78,00±1,73ab
C15.000/TDH7	12,00±1,00ab	16,00±2,64	20,00±2,64	29,33±2,51	43,00±3,00	57,33±1,15	69,33±0,57	80,33±4,16	93,00±4,58ab
C15.000/TDH10,5	13,33±0,57a	17,66±2,30	23,66±2,88	32,00±7,21	44,66±10,96	62,33±6,80	71,33±10,21	83,00±12,49	95,33±11,06ab

¹Letras distintas na mesma coluna referem-se a diferença estatística pelo teste de Tukey a 5%.

²ns: Não houve diferença significativa entre os tratamentos na mesma coluna.

APÊNDICE S - Acompanhamento semanal da Área Foliar (cm²) dos tomateiros¹.

Tratamento	Área Foliar (cm ²) dos tomateiros								
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9
Controle	13,75±0,75c	44,38±5,53b	82,45±13,80c	158,03±27,73c	229±7,81c	274,33±50,56b	345,33±58,43b	363±56,66b	453±35,38b
C5.000/TDH3,5	22,33±3,68ab	55,98±7,47ab	116,31±6,22bc	237,78±43,96c	373,66±68,33bc	641,66±81,40ab	931,66±31,56ab	1027,33±34,12ab	1272±95,59a
C5.000/TDH7	24,33±5,19a	66,95±9,56ab	130,36±9,45bc	299,7±26,10bc	618±119,86ab	839,66±37,89ab	1049±97,15ab	1238,33±53,15ab	1374±245,03a
C5.000/TDH10,5	17,83±2,51abc	80,15±5,71a	164,75±21,78abc	277,66±42,82bc	478,66±88,69abc	588±12,76ab	688±75,31ab	906,66±62,64ab	1231,66±77,42a
C10.000/TDH3,5	17,58±1,42abc	63,71±8,90ab	126,11±6,57bc	286±75,66bc	361,66±50,84bc	504,66±15,88ab	647,33±49,66ab	777±51,56ab	1077,33±30,74ab
C10.000/TDH7	14,91±2,76bc	73,25±12,09ab	162,51±15,83abc	394,33±14,01ab	689,33±99,43ab	1007,67±122,71a	1175,67±101,86a	1399,67±174,07a	1575±162,10a
C10.000/TDH10,5	19,08±3,39abc	71,38±4,37ab	205,86±10,24ab	458±49,42a	684,33±16,80ab	936±105,78a	1314±122,04a	1526,33±179,15a	1610±162,92a
C15.000/TDH3,5	16,58±2,25abc	63,08±7,28ab	127,83±1,11bc	302,66±16,04bc	442±42,50abc	589,33±63,51ab	764±82,34ab	927,66±58,14ab	1167,66±99,42a
C15.000/TDH7	18,16±1,37abc	65,91±12,40ab	248,73±7,26a	497,33±29,87a	737,33±49,09a	1054±142,78a	1131,33±142,42a	1329,67±98,84a	1542,33±116,43a
C15.000/TDH10,5	20,33±1,42abc	60,15±20,55ab	132,58±21,22bc	208,15±3,87c	532,33±50,73abc	842,66±58,44ab	1182,67±228,13a	1409,33±271,56a	1534,66±295,03a

¹Letras distintas na mesma coluna referem-se a diferença estatística pelo teste de Tukey a 5%.