



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE ARQUITETURA, ENGENHARIA E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS

**WETLANDS CONSTRUÍDAS DE FLUXO VERTICAL COMO PÓS-TRATAMENTO
DE REATOR RAHLF UTILIZANDO ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE SUINOCULTURA**

João Batista Bezerra Ito

Cuiabá, março de 2018

**WETLANDS CONSTRUÍDAS DE FLUXO VERTICAL COMO PÓS-TRATAMENTO
DE REATOR RAHLF UTILIZANDO ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE SUINOCULTURA**

João Batista Bezerra Ito

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Recursos Hídricos da Universidade
Federal de Mato Grosso.

Linha de Pesquisa: Hidráulica e Saneamento

Orientador: Prof. Dr. Aldecy de Almeida Santos

Cuiabá, março de 2018



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS
Avenida Fernando Corrêa da Costa, 2367 - - Boa Esperança - Cep: 78060900 - CUIABÁ/MT
Tel : (65) 3615-8764 - Email : nearh@ufmt.br

FOLHA DE APROVAÇÃO


TÍTULO : "Wetlands construídas de fluxo vertical como pós-tratamento de Reator Rahlf utilizando águas residuárias de suinocultura."

AUTOR : Mestrando João Batista Bezerra Ito

Dissertação defendida e aprovada em 19/03/2018.

Composição da Banca Examinadora:

Presidente Banca / Orientador Doutor(a) Aldecy de Almeida Santos 
Instituição : UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

Examinador Interno Doutor(a) Margarida Marchetto 
Instituição : UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

Examinador Externo Doutor(a) Simone Raquel Caldeira Moreira da Silva 
Instituição : IFMT

Examinador Suplente Doutor(a) Eleonora Almeida de Andrade
Instituição : Universidade Federal da Amazonia

Examinador Suplente Doutor(a) Eduardo Beraldo de Moraes
Instituição : UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

CUIABÁ, 16/03/2018.

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

I89w Ito, João Batista Bezerra.
WETLANDS CONSTRUÍDAS DE FLUXO VERTICAL COMO PÓS-
TRATAMENTO DE REATOR RAHLF UTILIZANDO ÁGUAS RESIDUÁRIAS
DE SUINOCULTURA / João Batista Bezerra Ito. -- 2018
61 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Aldecy de A. Santos.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto
de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação em Recursos
Hídricos, Cuiabá, 2018.
Inclui bibliografia.

1. Impactos ambientais. 2. Helicônia Psittacorum. 3. Pontederia Parviflora.
I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a)
autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Os custos de produção na UE e países não pertencentes à UE (€ / kg de peso de carcaça quente), dividido em categorias de custo.....	9
Figura 2: Etapas simplificadas do processo de conversão anaeróbia da matéria orgânica	11
Figura 3: : <i>Wetlands</i> com macrófitas flutuantes.....	15
Figura 4: <i>Wetlands</i> com macrófitas submersas.....	15
Figura 5: <i>Wetlands</i> com Macrófitas emergentes com fluxo horizontal superficial .	15
Figura 6: <i>Wetlands</i> Construídas com Macrófitas emergentes com fluxo horizontal sub-superficial	16
Figura 7: <i>Wetlands</i> Construídas com Macrófitas emergentes com fluxo Vertical.	16
Figura 8: <i>Wetlands</i> Construídas com fluxo vertical descendente.....	16
Figura 9: <i>Wetlands</i> Construídas com fluxo vertical ascendente.....	16
Figura 10: Mapa de localização da Fazenda experimental e da CEHISA da UFMT.	20
Figura 11: . Suínos na fazenda experimental-UFMT.....	21
Figura 12: Reator anaeróbio horizontal de leito fixo	21
Figura 13: Meio suporte	22
Figura 14: Reator UASB na ETE de Várzea Grande-MT	22
Figura 15: Sistemas de <i>Wetlands</i> Construídos	23
Figura 16: Meio filtrante dos <i>WCV</i> e <i>WCNV</i>	23
Figura 17: <i>Heliconia psittacorum</i>	25
Figura 18: <i>Pontederia parviflora</i>	25
Figura 19: Valores de temperatura do ar durante o sistema de tratamento.	28
Figura 20: Valores da temperatura interna do RAHLF e dos <i>WC</i>	29
Figura 21: Valores de pH no sistema de tratamento.	30
Figura 22: Valores de CE no sistema de tratamento.....	31
Figura 23: Percentuais medianos de remoção de CE aos 5 e 10 dias.....	31
Figura 24: Valores de STD no sistema de tratamento.....	32
Figura 25: Percentuais medianos de remoção de STD aos 5 e 10 dias.....	32
Figura 26: Valores de SST no sistema de tratamento.....	33
Figura 27: Percentuais medianos de remoção de SST aos 5 e 10 dias.	33
Figura 28: Valores de cor no sistema de tratamento.....	34
Figura 29: Percentuais medianos de remoção de cor no Experimento aos 5 e 10 dias.....	35
Figura 30: Valores de turbidez no sistema de tratamento.	35
Figura 31: Percentuais medianos de remoção de turbidez no Experimento aos 5 e 10 dias.....	36
Figura 32: Valores de OD no sistema de tratamento.	36
Figura 33: Relação de DBO_5/DQO no sistema de tratamento.....	37
Figura 34: Valores de DBO_5 no Sistema de Tratamento	37

Figura 35: Percentuais medianos de remoção de DBO ₅ no Experimento aos 5 e 10 dias.....	38
Figura 36: Valores de DQO no Sistema de Tratamento.....	38
Figura 37: Percentuais medianos de remoção de DQO no Experimento aos 5 e 10 dias.....	39
Figura 38: Valores de nitrito no sistema de tratamento.	40
Figura 39: Percentuais medianos de remoção de nitrito no Experimento aos 5 e 10 dias.....	40
Figura 40: Valores de nitrato no sistema de tratamento.	41
Figura 41: Percentuais medianos de remoção de nitrato no Experimento aos 5 e 10 dias.....	41
Figura 42: Valores de NT no sistema de tratamento.	42
Figura 43: Percentuais medianos de remoção de NT no Experimento aos 5 e 10 dias.....	42
Figura 44: Valores de sulfato no sistema de tratamento.	43
Figura 45: Percentuais medianos de remoção de sulfato no Experimento aos 5 e 10 dias.....	43
Figura 46: Valores de fósforo no sistema de tratamento.....	44
Figura 47: Percentuais medianos de remoção de P no Experimento aos 5 e 10 dias.....	44
Figura 48: Demonstrativo do desenvolvimento das macrófitas durante o experimento.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Produção, crescimento e comércio mundial de carnes (mil t)	8
Tabela 2: Poluentes e mecanismos de depuração.....	13
Tabela 3: Alguns limites de concentrações para enquadramento em corpos d'águas doces classe 2.....	19
Tabela 4: Características físico-químicas dos efluentes do Experimento oriundos da suinocultura e do RALHF.	27
Tabela 5: Características físico-químicas dos efluentes oriundos da suinocultura, de acordo com diferentes autores.	28

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CE	Condutividade Elétrica
CEHISA	Centro Experimental de Hidráulica e Saneamento Ambiental
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagens
EUA	Estados Unidos da América
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
NT	Nitrogênio Total
NBR	Norma Brasileira
°C	Graus Celsius
OD	Oxigênio Dissolvido
P	Fósforo
pH	Potencial Hidrogeniônico
PVC	Policloreto de polivinila
RAHLF	Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo
SST	Sólidos em Suspensão Totais
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
t	Temperatura
TDH	Tempo de Detenção Hidráulico
UASB	Reator Anaeróbio de fluxo ascendente de alta eficiência (<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>)
UE	União Europeia

UFMT	Universidade Federal de Mato Grosso
UTM	Sistema de coordenadas planas (Universal Transversa de Mercator)
WCHP	<i>Wetland</i> Construída com <i>Helicônia Psittacorum</i>
WCNV	<i>Wetland</i> construída não vegetada
WCPP	<i>Wetland</i> Construída com <i>Pontederia Parviflora</i>
WC's	<i>Wetlands</i> Construídas
WCV	<i>Wetland</i> construída vegetada
WCNV	<i>Wetland</i> construída não vegetada

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi avaliar o desempenho de *Wetlands* construídas de Fluxo Vertical vegetadas com as macrófitas *Helicônia Pisittacorum* (WCHP) e *Pontederia Parviflora* (WCPP) e *Wetlands* Construídas de Fluxo Vertical Não Vegetado (WCNV), em escala piloto, na remoção de matéria orgânica e nutrientes, como pós-tratamento de Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo (RAHLF), utilizando-se águas residuárias da suinocultura da fazenda experimental da Universidade Federal de Mato Grosso. A metodologia consistiu de projetar e construir o RAHLF e o sistema de *Wetlands* construídas, em escala piloto, que foi instalado e monitorado na área do Centro Experimental de Hidráulica e Saneamento Ambiental (CEHISA), no *Campus* de Cuiabá/UFMT. Foram monitorados os efluentes brutos da suinocultura, o efluente tratado do reator RAHLF, e também foi monitorado o sistema de *Wetlands* construídas com Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) de 5 a 10 dias. Os parâmetros analisados foram: temperatura, pH, Condutividade elétrica (CE), Oxigênio dissolvido (OD), Sólidos Totais Dissolvidos (STD), sólidos suspensos totais (SST), cor, turbidez, demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅) e demanda química de oxigênio (DQO), Nitrogênio (Nitrito, Nitrato e Nitrogênio Total), Fósforo (P), Sulfato, de acordo com os métodos estabelecidos pelo *Standard Methods* (APHA, 1998). Os resultados obtidos demonstraram que houve remoção nas *Wetlands* vegetadas com a macrófita endêmica do pantanal brasileiro, a *Pontederia Parviflora*, com eficiências médias de 84-91%, para DBO₅ e DQO, e de 98-93-84% para Nitrito, Nitrato e NT, e de 93% para o Fósforo.

Palavras-chave: Impactos ambientais, *Helicônia Psittacorum*, *Pontederia Parviflora*

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the performance of Wetlands constructed of Vertical Flow vegetated with *Heliconia Pisittacorum* (WCHP) and *Pontederia Parviflora* (WCPP) and Wetlands Constructed of Non-Vegetal Vertical Flow (WCNV), on a pilot scale, in the removal of organic matter and nutrients, such as post-treatment of Horizontal Anaerobic Fixed Bed Reactor (RAHLF), using wastewater from pig farms of the experimental farm of the Federal University of Mato Grosso. The methodology consisted of designing and constructing the RAHLF and the Wetlands system built on a pilot scale that was installed and monitored in the area of the Experimental Center for Hydraulics and Environmental Sanitation (CEHISA), in the Campus of Cuiabá / UFMT. The crude effluents from swine were monitored, the treated effluent from the RAHLF reactor, and also the Wetlands system was built with a Hydraulic Detention Time (TDH) of 5 to 10 days. The parameters analyzed were: temperature, pH, electrical conductivity (CE), dissolved oxygen (OD), total dissolved solids (STD), total suspended solids (TSS), color, turbidity, biochemical oxygen demand (BOD) (Nitrogen, Nitrate and Total Nitrogen), Phosphorus (P), Sulphate, according to the methods established by Standard Methods (APHA, 1998). The results showed that there was removal in the Wetlands vegetated with the endemic macrophyte of the Brazilian wetland, the *Pontederia Parviflora*, with average efficiencies of 84-91%, for BOD_{55} and COD, and 98-93-84% for Nitrite, Nitrate and NT, and of 93% for phosphorus.

Keywords: Environmental Impacts, *Helicônia Psittacorum*, *Pontederia Parviflora*.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
2. OBJETIVOS	7
2.1 OBJETIVO GERAL.....	7
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
3.1 A SUINOCULTURA NO BRASIL.....	8
3.1.1 A SUINOCULTURA EM MATO GROSSO	9
3.2 REATORES ANAERÓBIOS	10
3.2.1 REATOR ANAERÓBIO DE LEITO HORIZONTAL FIXO (RALHF)	11
3.3 WETLANDS NATURAIS E CONSTRUÍDAS	11
3.3.1 WETLANDS NATURAIS	11
3.3.2 WETLANDS CONSTRUÍDAS	12
3.3.3 MODELOS DE WETLANDS CONSTRUÍDOS	15
3.3.4 WETLANDS CONSTRUÍDAS COMO PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTES PRÉ TRATADOS	17
3.4 PARÂMETROS DE CONTROLE.....	17
3.5 CONDIÇÕES E PADRÕES DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES	18
4. MATERIAL E MÉTODOS	20
4.1 Área de Estudo.....	20
4.2 Experimentos em escala piloto: Reator (RALHF) e <i>Wetlands</i> Construídas	21
4.2.1 Reator (RALHF)	21
4.2.2 <i>Wetlands</i> Construídas.....	22
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO EFLUENTE DA SUINOCULTURA 27	
5.2 RESULTADOS DAS VARIÁVEIS FÍSICAS E QUÍMICAS	28
5.2.1 TEMPERATURA (t).....	28
5.2.2 pH	29
5.2.3 CE (Condutividade elétrica)	30
5.2.4 SÓLIDOS	31

5.2.5	COR e TURBIDEZ	34
5.2.6	OD (Oxigênio Dissolvido)	36
5.2.7	Relação de DBO ₅ e DQO	36
5.2.8	DBO ₅	37
5.2.9	DQO	38
5.2.10	NITROGÊNIO	39
5.2.11	SULFATO (SO ₄)	43
5.2.12	FÓSFORO (P)	44
5.3	CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DAS MACRÓFITAS	45
6.	CONCLUSÕES	46
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

1. INTRODUÇÃO

A carne suína é a segunda proteína animal mais consumida do mundo, estando atrás apenas dos pescados. Em terceiro lugar vem o frango e, em quarto, os bovinos. O consumo de carne suína é concentrado: China (50,7%), União Europeia (19,1%) e Estados Unidos da América (8,5%). O consumo de carne suína tem crescido e apresenta boas perspectivas para o Brasil no mercado internacional (CUSTODIO et al., 2017).

O Brasil tem exportado, nos últimos anos, aproximadamente 15% de sua produção, dos quais cerca de 80%, em volume, em cortes resfriados ou congelados para os cinco continentes e mais de setenta países (ABPA, 2016).

A concentração regional da produção de carne suína está no Sul, responsável, em 2015, por 67% dos abates com algum tipo de fiscalização (federal, estadual ou municipal). A região Centro-Oeste corresponde com 14%, o estado de Mato Grosso aponta uma evolução do efetivo de suínos de 2014 para 2015, quando passou de 1,840 milhão para 2,849 milhões, alta de 54,83% (IBGE, 2016).

A produção de suinocultura de forma inadequada pode gerar uma série de problemas ambientais, tais como a contaminação do solo e dos recursos hídricos (águas superficiais e subterrâneas) (LÜDDEKE et al., 2015; AMINI et al., 2016).

Atualmente, os sistemas de tratamento anaeróbio vêm se apresentando como uma alternativa econômica e tecnicamente viável para o tratamento de águas residuárias, principalmente em países de clima quente, como é o caso do Brasil (JORDÃO E PESSÔA, 2014).

O reator RAHLF pode ser construído e operado de forma a minimizar os custos do tratamento com baixa produção de sólidos, e grandes economias de área. Contudo, esse sistema apresenta capacidade limitada de remoção de matéria orgânica, de remoção de nutrientes e patógenos, em geral demandando pós-tratamento, seja para o lançamento em corpos receptores, seja para o reuso (CHERNICHARO, 2001).

Wetlands construídas (WC) podem constituir boa opção para o pós-tratamento de efluentes anaeróbios, pois comprovadamente apresentam elevada capacidade de remoção de demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅), demanda química de oxigênio (DQO) e sólidos, assim como de nutrientes e de organismos indicadores de contaminação, muito embora, nesses casos, com informações mais escassas e/ ou menos precisas (USEPA, 1999; KADLEC et al., 2000; MBWETTE et al, 2001; STOTT et al , 2003; CALIJURI et al., 2009).

O emprego de WC para o tratamento de esgotos sanitários tem crescido substancialmente em várias partes do mundo, particularmente em instalações de pequeno porte (CALIJURI et al., 2009).

Neste contexto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o desempenho de *Wetlands* Construídas com Vegetação (WCV) e *Wetlands* Construídas Não Vegetado (WCNV), em escala piloto, na remoção de matéria orgânica (DBO₅ e DQO) e nutrientes (N e P), como pós-tratamento de Reator Anaeróbio Horizontal de

Leito Fixo (RAHLF), utilizando águas residuárias da suinocultura da fazenda experimental da Universidade Federal de Mato Grosso.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o desempenho de *Wetlands* Construídas com Vegetação (WCV) e *Wetlands* Construídas Não Vegetado (WCNV) na remoção de matéria orgânica e nutrientes (N e P) como pós-tratamento de reator RAHLF, utilizando águas residuárias de suinocultura.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar os efluentes bruto da suinocultura e avaliar a eficiência do efluente tratado do Reator Rahlf por meio de parâmetros físico-químicos;
- Verificar à influência da variação do tempo de detenção hidráulico (TDH) de 5 e 10 dias, e o comportamento de WCV utilizando as plantas *Helicônia Psitacorum* e *Pontederia parviflora* (endêmica no pantanal mato-grossense) e WCNV por meio da determinação de parâmetros físicos e químicos;
- Avaliar o crescimento e desenvolvimento das macrófitas *Helicônia psitacorum* e *Pontederia parviflora* nos WCV.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A SUINOCULTURA NO BRASIL

A suinocultura é uma atividade de grande importância social e econômica no Brasil, pois envolve um grande número de pequenos produtores e gera muitos empregos em toda sua cadeia produtiva, é também responsável por garantir o abastecimento interno e gerar divisas pelas exportações.

O consumo de carne suína no mundo ocupa a segunda posição, estando atrás apenas dos pescados (Tabela 01), apresentando boas perspectivas para o Brasil no mercado internacional tendo em vista o seu enorme potencial de terras agricultáveis.

Tabela 1: Produção, crescimento e comércio mundial de carnes (mil t)

Carnes	Produção	Taxa de cresc.	Exportações	Participação
		anual 2005-2015 (%)		exp./ produção (%)
Pescados	167.285	2,3	35.228	21,1
Carne suína	110.321	1,6	7.208	6,5
Carne de frango	88.712	3,5	10.273	11,6
Carne bovina	58.389	0,4	9.554	16,4

Fonte: CUSTODIO, 2015.

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, no ano de 2006, havia no Brasil 1,5 milhão de estabelecimentos agropecuários que criavam suínos sendo que 97,4% destes era de rebanhos abaixo de 50 cabeças (subsistência), e apenas 38,9 mil estabelecimentos (industrial) com rebanho superior à 50 cabeças de suínos (MIELE et al., 2014).

A suinocultura no Brasil tem demonstrado crescimento significativo nos últimos anos ao se analisar os indicadores econômicos e sociais, volume de exportações e participação no mercado mundial, bem como os empregos diretos e indiretos gerados em toda a cadeia produtiva. A produção brasileira de carne suína teve um incremento de 3,2% a.a. no período de 2005 a 2015 (USDA, 2016). A evolução nas técnicas e nos modelos que envolvem as atividades dos fornecedores de insumos, agroindústrias, produtores rurais e sistemas distributivos, tem transformado toda a cadeia de produção em uma atividade econômica e competitiva.

Todo esse conjunto de atividades relacionadas à suinocultura destaca-se como importantíssimo setor na matriz produtiva do agronegócio brasileiro. Segundo estimativas, mais de 730 mil pessoas dependem diretamente da suinocultura, sendo essa atividade responsável pela renda de mais de 2,7 milhões de pessoas (ROPPA, 2002). Ultimamente, a suinocultura no Brasil tem apresentado resultados importantes via mercado internacional, principalmente pela disponibilidade de insumos básicos para a produção através de grãos essenciais como milho e soja, tornando os custos de produção no Brasil, inferiores aos principais competidores internacionais. E também uma vantagem comparativa importante e favorável ao

Brasil por sua grande extensão geográfica que possibilita ampliar o rebanho de suínos sem comprometer significativamente componentes ambientais, tais como contaminação de solos e lençóis freáticos por dejetos oriundos da produção.

O Brasil é o quarto maior produtor de carne suína no mundo, estando atrás apenas da China, União Europeia e EUA (ITO et al., 2016). Segundo GUIMARÃES, 2017, a região Sul foi responsável, em 2015, por 67% dos abates com algum tipo de fiscalização. A região Sudeste respondeu, naquele ano, por 18%, e o Centro-Oeste, por 14%. As regiões Norte e Nordeste responderam pelo restante 1%. Dentre os estados, destacaram-se os de Santa Catarina, com 27% do total, Rio Grande do Sul e Paraná, com 20% cada (IBGE, 2016).

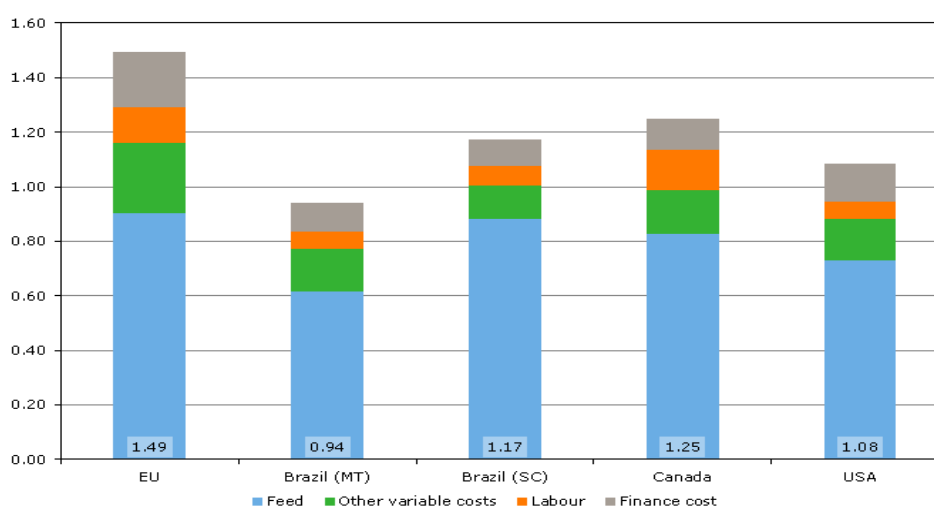


Figura 1: Os custos de produção na UE e países não pertencentes à UE (€/kg de peso de carcaça quente), dividido em categorias de custo

Fonte: HOSTE, 2017

Nos últimos vinte anos a região Centro-Oeste brasileira, Mato Grosso em especial, tem se destacado no cenário suinocultor conseguindo suplantar os custos de produção inferior de qualquer concorrente, tanto à nível nacional como internacional. O destaque (Figura 01) pode ser observado na publicação de revista especializada (*Wageningen Economic Research*), onde se compara os custos internacionais de produção por região brasileira (HOSTE, 2017).

3.1.1 A SUINOCULTURA EM MATO GROSSO

O Estado de Mato Grosso tornou-se o maior produtor nacional de soja e milho, que são matérias-primas essenciais à formulação da ração animal. A partir de um mercado cada vez mais competitivo, e considerando as perdas ocorridas por mortalidade e condenações de carcaça, devido às operações de transporte à grandes distâncias, parte da agroindústria voltada à suinocultura começou a se instalar diretamente nas regiões produtoras do Estado (Figura 2).

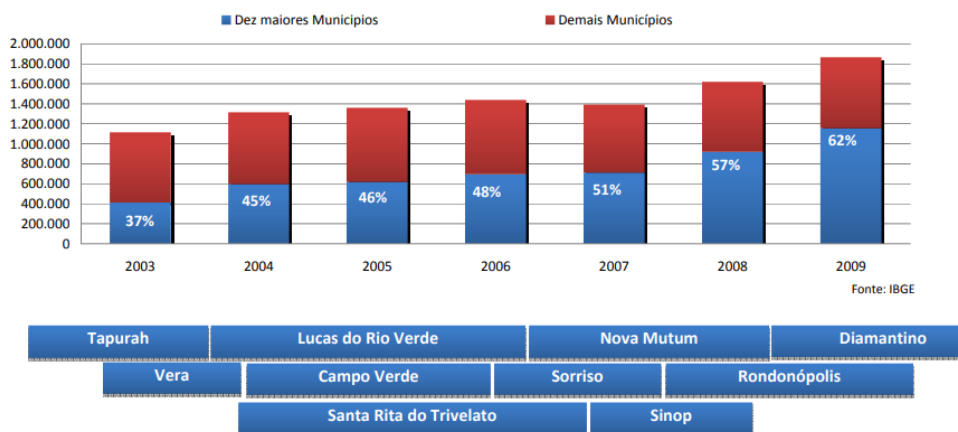


Figura 2: Evolução do Rebanho Municipal de suínos em Mato Grosso 2003-2009 (número de cabeças / %do rebanho)
Fonte: Adaptado da ACRISMAT (2018)

3.2 REATORES ANAERÓBIOS

São sistemas de tratamento de esgotos que utilizam processos biológicos provocados por microrganismos heterótrofos (bactérias, fungos, protozoários e pequenos artrópodes) na degradação da matéria orgânica. Essa degradação decorre da transformação dos compostos orgânicos pela atividade microbiana, transformando-os em subprodutos, através de processos bioquímicos como a hidrólise, a acidogênese, a acetogênese, a metanogênese e a sulfetogênese (VON SPERLING, 2005; CHERNICARO, 2001).

As degradações das matérias orgânicas feitas pelos microrganismos fazem a transformação de moléculas orgânicas complexas pela da hidrólise, quando os microrganismos fermentativos, transformam carboidratos, proteínas e lipídeos em moléculas orgânicas simples, açúcares, aminoácidos e peptídeos, respectivamente. Conseqüentemente a hidrólise os microrganismos fermentativos quebram as moléculas orgânicas simples em ácidos orgânicos ou sulfato através da acidogênese, que as transforma em gás carbônico e hidrogênio (H_2+CO_2), sulfato e gás carbônico, ou em acetato.

Os acetatos, gás carbônico e hidrogênio, gerados através da acidogênese, sofrem a quebra ou a associação a outras moléculas através de da metanogênese ou sulfetogênese, formando sulfeto ou metano e gás carbônico, conforme observa-se na Figura 3 .

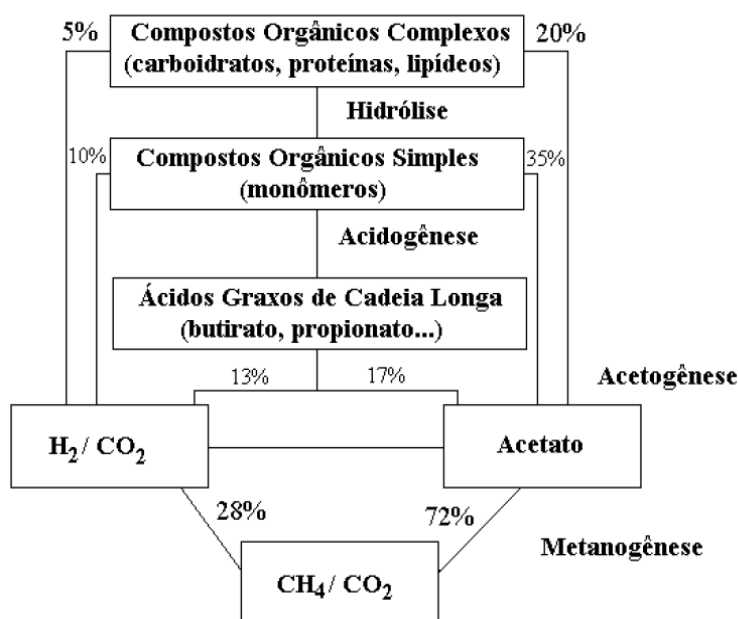


Figura 3: Etapas simplificadas do processo de conversão anaeróbia da matéria orgânica

Fonte: Adaptado de Speece, 1996

3.2.1 REATOR ANAERÓBIO DE LEITO HORIZONTAL FIXO (RALHF)

São reatores anaeróbios com baixos tempos de detenção hidráulica e elevados tempos de retenção celular, com mecanismos de retenção da biomassa incorporados em um meio suporte (material de enchimento) no qual os sólidos biológicos podem aderir ou ficarem retidos em seus interstícios. É formada uma massa de microrganismos aderido ao material suporte que degrada o substrato contido no fluxo horizontal do esgoto, proporcionando um bom desempenho no processo de tratamento (CHERNICARO, 2001).

3.3 WETLANDS NATURAIS E CONSTRUÍDAS

3.3.1 WETLANDS NATURAIS

Wetland é uma expressão da língua inglesa que significa pântano ou literalmente, terra úmida. Os pântanos ou *Wetlands* ocorrem naturalmente ao longo de todo o planeta em regiões baixas em relação ao entorno, onde existem condições de alagamento provocado por baixa permeabilidade do solo ou com aquífero freático elevado, podendo gerar regiões alagadas de baixa profundidade, várzeas e pântanos (SALATI, 2003; PHILIPPI e SEZERINO, 2005). As *wetlands* são regiões onde a saturação em água é o fator dominante para determinar a natureza de desenvolvimento do solo e quais as comunidades vegetais e animais que formam este ecossistema (U.S.FWS, 1979).

As áreas alagadas naturais se encontram entre ambientes aquáticos e terrestres, influenciando diretamente no tipo de solo e de vegetação. A água presente no solo e na zona de raízes das plantas proporciona uma adaptação da vegetação para essas condições diferentes das zonas secas. As características e profundidade do solo, clima, sazonalidade da inundação, irão determinar que tipo de vegetação vai se adaptar e desenvolver ali, nessa condição (WELSCH, 1995). Esses ecossistemas possuem comunidades com características fisiológicas adaptadas (Macrófitas aquáticas) para resistir à deficiência de oxigênio provocada pela saturação do solo (TAIZ e ZEIGER, 1991).

Assim, as diferenças regionais que ocorrem onde estão instaladas essas áreas, fazem com que possamos ter a ideia do que seja uma *Wetland* natural, porém sem nenhum consenso, pois a variabilidade natural gera combinações diversas de acordo com as condições climáticas e pedológicas. Esses sistemas reciclam nutrientes de regiões mais altas, dando suporte para as micros e macros vegetações presentes, e transformando as formas inorgânicas em materiais orgânicos, necessários aos animais existentes nestes ambientes (HAMMER, 1989).

A população microbiana aeróbica, anaeróbica e facultativa presentes nessas regiões inundadas, influencia os processos biogeoquímicos, garantindo um maior número de processos físico-químicos e biológicos do que em outros ecossistemas (WELSCH, 1995).

3.3.2 WETLANDS CONSTRUÍDAS

As *Wetlands* Construídas são sistemas artificiais que reproduzem as zonas pantanosas naturais com o objetivo controlado de remover poluentes, nutrientes e outros patógenos presentes nas águas residuárias (SHUTES, 2001). Estes sistemas se utilizam de processos físico-químicos e biológicos, que ocorrem na interação entre água, solo, planta, microrganismo e a atmosfera, realizando a ciclagem da matéria orgânica contida nos esgotos, caracterizando-se em um mecanismo complementar e de baixo custo para o tratamento de efluentes de origem doméstica (METCALF e EDDY, 1991). Estes sistemas diferem das *Wetlands* Naturais principalmente por causa do regime hidrológico que é controlado (SALATI, 2009).

Para se obter maior eficiência do sistema é preciso se efetivar o conhecimento das variedades de plantas macrófitas disponíveis, das características da colonização dos grupos de microrganismos, dos grupos biogenéticos e dos contaminantes das águas à serem tratadas, e ainda da interação desses fatores com o meio filtrante ou material de enchimento (STOTTMEISTER, 2003).

Brix (1987) classifica os principais elementos constituintes das *Wetlands* Construídas como, o meio filtrante (britas e areia), as macrófitas aquáticas e os microrganismos.

Os principais poluentes e seus mecanismos de depuração são descritos na Tabela 2.

Tabela 2: Poluentes e mecanismos de depuração

Constituintes do Esgoto	Mecanismos de Remoção
Sólidos suspensos	Sedimentação Filtração
Nitrogênio	Amonificação seguido de nitrificação Denitrificação microbiana Retirada pela planta Adsorção Volatilização da Amônia
Fósforo	Adsorção Retirada pela planta
Metais	Complexação Precipitação Retirada pela Planta Oxidação/redução microbiana
Patogênicos	Sedimentação Filtração Predação

Fonte: adaptado de Philippi & Sezerino (2004)

3.3.2.1 Meio Filtrante

A escolha do material de enchimento nas *Wetlands* Construídas tem que ser determinada pelas características hidrodinâmicas, bem como pela disponibilidade local. Sendo assim, a granulometria é de vital importância já que o efluente precisa percolar por esse meio com determinada condutividade hidráulica. Neste caso os solos que em sua maioria são compostos por materiais de baixa granulometria e não são recomendados. O ideal é que esse material mantenha uma boa condutividade hidráulica ao longo do tempo, que sirva de suporte para as raízes das plantas macrófitas e formação de biofilme microbiológico (BRIX, 1987; SEZERINO, 2006 KADLEC E KNIGHT, 1996; PHILIPPI e SEZERINO, 2004; USEPA, 1999).

3.3.2.2 Macrófitas Aquáticas

Segundo Cancian (2007), as macrófitas aquáticas são plantas herbáceas terrestres que se adaptaram aos ambientes úmidos ao longo de sua evolução, permitindo a sua sobrevivência e desenvolvimento em zonas saturadas de água. Nestas plantas, o sistema radicular (rizosfera) é aeróbio e necessita manter altas concentrações de oxigênio para não apodrecer.

Esses vegetais desenvolveram grandes espaços intercelulares preenchidos por gases advindos da fotossíntese e respiração em seu tecido parenquimático, formando uma adaptação morfológica denominada aerênquima. Assim, esse sistema de aerênquimas, transporta o oxigênio do caule até as raízes proporcionando uma zona aeróbia radicular onde se fixam bactérias e uma ampla comunidade de outros organismos incluindo fungos e protozoários, fundamentais na degradação aeróbia da matéria orgânica e também na nitrificação (BRIX, 1987).

Várias são as funções das plantas macrófitas num sistema de *Wetlands* Construídas, entre as principais são: a transferência de oxigênio para o substrato, a retirada de nutrientes e outros constituintes do efluente, sombreamento para evitar o desenvolvimento de algas e desenvolvimento de raízes que servem de suporte para o crescimento de biofilme (MARQUES, 1999). Outros benefícios ainda podem ser destacados pela utilização das macrófitas, além do tratamento de efluentes, o controle de insetos e odores, e também a estética do sistema (VALENTIN, 2003).

Estes vegetais são classificados em submersos, emergentes, com folhas flutuantes e flutuantes livres (ESTEVES, 1998). As formas dominantes nas *Wetlands* Construídas são as macrófitas emergentes, que possuem o sistema radicular fixo no substrato. Estas plantas se desenvolvem em situações nas quais o nível do lençol freático está 0,50 m abaixo do nível do solo e subsistem em situações nas quais o nível de água está 1,50 m acima do nível do solo (SALATI, 2009).

Diversos autores tem avaliado ao longo do globo, a eficiência dos mais variados tipos de macrófitas na remoção de nutrientes de águas residuárias através de WC, cada uma com sua vocação de acordo com o clima e o tipo de esgotos à serem tratados: *Phragmites australis* (ABIDI et al., 2008); *Lactuca sativa* (GROSS et al. 2007); *Phragmites australis*, *Typha angustifolia*, *Iris pseudacorus* and *Scirpus lacustres* (ANSOLA et al., 1995); *Phragmites karka* (KURNIADIE, 2010); *Schoenoplectus validus* (LANTZKE et al., 1997); *Typha latifolia* (MORARI, 2009); *Typha domingensis* (SEZERINO et al., 2014); *Cyperus sp* (SARMENTO et al., 2011).

3.3.2.3 Comunidade Microbiana

A remoção do nitrogênio e da matéria orgânica nos sistemas de tratamento de *Wetlands* Construídas são intermediadas por uma comunidade heterogênea de microrganismos composta por bactérias, fungos, protozoários, algas e artrópodes, originários do próprio efluente de águas residuárias (U.S. EPA, 1999). Nas *Wetlands* Construídas, estes microrganismos encontram-se suspensos ou colados ao meio filtrante e raízes das macrófitas em forma de biofilme microbiológico (OLIJNYK, 2008).

Nos sistemas de *Wetlands* Construídas, toda a base da cadeia alimentar microbiana é promovida pelo efluente de esgoto que contém energia armazenada através de moléculas orgânicas. Estes organismos conseguem transformar as diversas formas do Nitrogênio em formas biologicamente utilizáveis ao metabolismo das plantas, o mesmo ocorrendo com o Fósforo, possibilitando sua absorção e incorporação às massas das macrófitas (U.S.EPA, 1999). O processo de retirada da matéria orgânica por microrganismos acontece porque estes precisam obter energia e carbono para seu metabolismo e reprodução. Estes microrganismos são classificados em heterotróficos, quando utilizam o carbono em sua forma orgânica para a formação do tecido celular e metabolismo, e autotróficos quando utilizam o carbono inorgânico (CO₂) (BITTON, 2005).

3.3.3 MODELOS DE WETLANDS CONSTRUÍDOS

Os sistemas de *Wetlands* Construídas podem apresentar configurações diferenciadas de acordo com o tipo de fluxo de água, regime de aplicação e com o tipo de macrófitas utilizadas. A direção do fluxo pode ser horizontal (fluxo superficial e subsuperficial) e vertical (fluxo ascendente e descendente).

SALATI (2009) descreve três tipos de configurações de *Wetlands* Construídas a partir do tipo de macrófita utilizada: *Wetlands* com macrófitas flutuantes (Figura 4), *Wetlands* com macrófitas emergentes e *Wetlands* com macrófitas submersas (Figura 5).

A configuração com macrófitas flutuantes geralmente é feita em canais relativamente rasos onde se utiliza uma espécie isolada ou uma combinação de espécies.

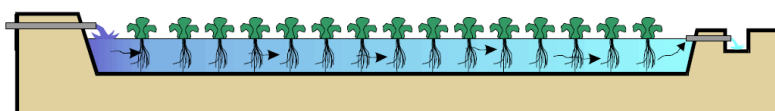


Figura 4: *Wetlands* com macrófitas flutuantes
Fonte: SALATI, 2009

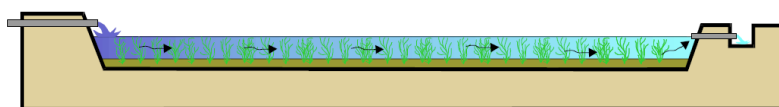


Figura 5: *Wetlands* com macrófitas submersas
Fonte: SALATI, 2009

Nas *Wetlands* Construídas com macrófitas submersas os canais são estreitos e longos, e também com profundidade variável.

Nos sistemas *Wetlands* Construídas com macrófitas emergentes existem 3 esquemas básicos reconhecidos:

- Macrófitas emergentes com fluxo superficial (Figura 6).

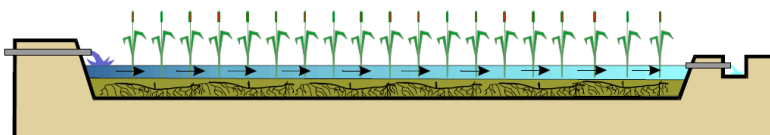


Figura 6: *Wetlands* com Macrófitas emergentes com fluxo horizontal superficial
Fonte: SALATI, 2009

- Macrófitas emergentes com fluxo sub-superficial horizontal (Figura 7)

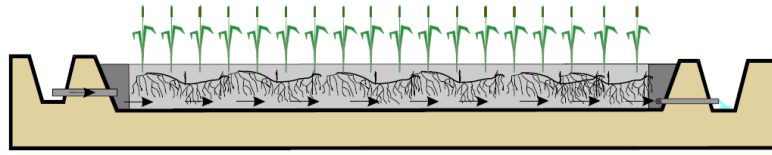


Figura 7: *Wetlands* Construídas com Macrófitas emergentes com fluxo horizontal sub-superficial
Fonte: SALATI, 2009

- Macrófitas emergentes com fluxo vertical (Figura 8).

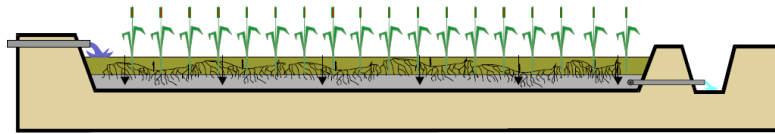


Figura 8: *Wetlands* Construídas com Macrófitas emergentes com fluxo Vertical
Fonte: SALATI, 2009

Ainda segundo Salati (2009), podemos ter *Wetlands* Construídas a partir das configurações associadas com macrófitas das três espécies, à uma Camada Filtrante, tanto com fluxo vertical descendente (Figura 9) como ascendente (Figura 10). De maneira geral, a Camada Filtrante é composta de britas, pedriscos e areia agindo como filtro mecânico, filtro físico-químico e filtro biológico.

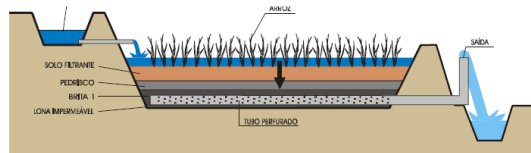


Figura 9: *Wetlands* Construídas com fluxo vertical descendente
Fonte: SALATI, 2009

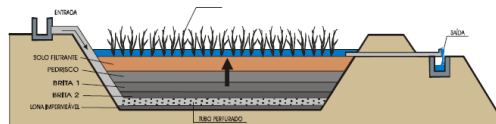


Figura 10: *Wetlands* Construídas com fluxo vertical ascendente
Fonte: SALATI, 2009

3.3.4 WETLANDS CONSTRUÍDAS COMO PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTES PRÉ TRATADOS

Abidi et al. (2009), na Tunísia, estudaram a eficiência de remoção de matéria orgânica e nitrogênio, com duas espécies de macrófitas (*Phragmites australis* e *Typha*), através de um sistema combinado composto por um digestor anaeróbio e *Wetland* construída de fluxo vertical. Ambos os sistemas indicaram alta eficiência de remoção em nitrogênio, carbono orgânico, SST e bactérias.

Elela et al. (2012) monitoraram ao norte do Cairo, no Egito, uma unidade de *Wetland* Construída com três espécies de macrófitas (*Canna*, *Phragmites australis* e *Cyprus papyrus*) em escala piloto após a estação de tratamento de águas residuárias, com TDH de 7,7 dias. A avaliação de remoção de DBO₅, DQO e SST foi feita após dois anos de operação, conseguindo demonstrar que a WCFV é uma tecnologia eficaz para o tratamento e uso de águas residuais para irrigação em áreas rurais e pequenas comunidades.

Calijuri et al. (2009), estudaram durante 19 meses sobre o comportamento de *Wetlands* Construídas com duas espécies de macrófitas (*Typha sp* e *Brachiaria arrecta*) na remoção de matéria orgânica, sólidos, nutrientes e coliformes, em unidades em escala piloto de fluxo horizontal, subsuperficial e superficial, com tempo de detenção hidráulica entre 1,3 a 5,3 dias, operando como pós-tratamento de efluentes de reatores UASB (esgotos sanitários). O estudo revelou que *Wetlands* Construídas de fluxo horizontal (WCFH) revelaram elevada capacidade e estabilidade de remoção de DBO₅ e SST.

Sousa et al. (2004), também estudaram o desempenho de três sistemas *Wetland*, com macrófitas do tipo *Juncus spp*, operados com efluente proveniente de reator UASB, no que se refere à remoção de nutrientes, organismos patogênicos e material carbonáceo, durante três anos de monitoramento. O sistema demonstrou eficiência da remoção de matéria carbonácea durante os três anos. A eficiência da remoção de nutrientes foi satisfatória no primeiro ano com decaimento na remoção de fósforo a partir do segundo ano.

3.4 PARÂMETROS DE CONTROLE

Os parâmetros mais importantes de controle em uma *Wetland* Construída são: Vazão (Q), Temperatura do efluente (t), Potencial de Hidrogênio (pH), Condutividade elétrica (CE), Oxigênio dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO) e os Nutrientes Fósforo (P) e Nitrogênio (N) (PHILLIPI E SEZERINO, 2004).

A temperatura (t) da água afeta diretamente na seleção das espécies microbianas, pois esta afeta o seu crescimento, já que os microrganismos não têm meios de controlar a temperatura interna de suas células, sendo esta determinada pela temperatura do ambiente externo (VON SPERLING et al., 2005).

O Potencial Hidrogeniônico (pH) fornece as características de acidez, alcalinidade e neutralidade da água, fornecendo esta indicação através da concentração dos íons de Hidrogênio em escala antilogarítmica. Valores afastados da neutralidade afetam os microrganismos responsáveis pelo tratamento dos esgotos (VON SPERLING, 2005).

A Condutividade elétrica (CE) é o parâmetro que dá a habilidade de uma solução aquosa em transportar a corrente elétrica, fornecendo de forma indireta a quantidade de sais presentes no líquido (VON SPERLING, 2005).

O Oxigênio dissolvido é de essencial importância para os organismos que vivem na presença de oxigênio (aeróbios). Para estabilizar a matéria orgânica as bactérias fazem uso de oxigênio em seus processos respiratórios diminuindo sua concentração no meio (VON SPERLING, 2005).

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) é a quantidade de oxigênio requerida para oxidar bioquimicamente os compostos orgânicos biodegradáveis numa massa líquida. Ela é feita à uma temperatura de 20 °C num período de cinco dias para se ter uma resposta mais rápida.

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) é a quantidade de oxigênio necessária a oxidar quimicamente os poluentes presentes no efluente, biodegradável ou não.

O Nitrogênio pode ser encontrado no meio aquático em suas formas N₂, NH₃, NH₄⁺, NO₂⁻ e NO₃⁻, sendo indispensável ao desenvolvimento de microrganismos responsáveis pelo tratamento de esgotos. A determinação da forma predominante do Nitrogênio em um corpo d'água pode fornecer informações acerca do estágio da poluição, sendo que a poluição recente está associada ao nitrogênio em forma orgânica, e a mais remota está relacionada ao nitrogênio na forma de Nitrato (VON SPERLING, 2005).

O Fósforo apresenta-se no meio aquático em suas formas de ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico, e sua origem antropogênica tem relação com os despejos domésticos, industriais, excrementos de animais e fertilizantes. O Fósforo é um nutriente essencial aos microrganismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica (VON SPERLING, 2005).

3.5 CONDIÇÕES E PADRÕES DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES

O Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA, do Ministério do Meio Ambiente publicou a Resolução nº 357, em 17 de março de 2005, dispondo sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento e estabelecendo as condições e padrões de lançamento de efluentes. Em 13 de maio de 2011, a Resolução nº 430, complementou e alterou a Resolução nº 357/2005.

A Resolução nº 430 em seu artigo 16 estabelece sobre as condições de lançamento de efluentes: pH (5-9), temperatura abaixo de 40 °C não podendo

ultrapassar ± 3 °C da temperatura do corpo d'água, DBO₅₋₂₀ máximo de 120 mg/L com remoção mínima de 60%.

Apesar desta legislação (Resolução nº 430) não estabelecer limites para o Nitrogênio e Fósforo para o lançamento de efluentes em corpos hídricos, em seu artigo 5º ela estabelece que “*Os efluentes não poderão conferir ao corpo receptor características de qualidade em desacordo com as metas obrigatórias progressivas, intermediárias e final, do seu enquadramento.*” Então, mesmo não obrigando a se fazer o controle dos parâmetros no lançamento, esta mesma legislação é bastante rígida nos efeitos desses lançamentos nos corpos d'água em relação à diluição dos nutrientes.

A resolução 357, de 17 de março de 2005 do CONAMA que 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, estabelece às águas doces de classe 2 as condições e padrões apontados na Tabela 3.

Tabela 3: Alguns limites de concentrações para enquadramento em corpos d'água doces classe 2

Parâmetros	Valores máximos
Fósforo total (ambiente lótico)	0,1 mg/L
Nitrato	10,0 mg/L
Nitrito	1,0 mg/L
Sulfato total (SO ₄)	250 mg/L
cor verdadeira	75 mg Pt/L
turbidez	até 100 UNT
OD	não inferior a 5 mg/L

Fonte: Resolução 357 - CONAMA

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de Estudo

O Reator (RAHLF) e a Wetland Construída, em escala piloto, foi instalado e monitorado na área do Centro Experimental de Hidráulica e Saneamento Ambiental (CEHISA), no Campus de Cuiabá/UFMT localizado nas coordenadas UTM-21S- E 599.963, N 8.274.062m - SIRGAS 2000 (Figura 11).

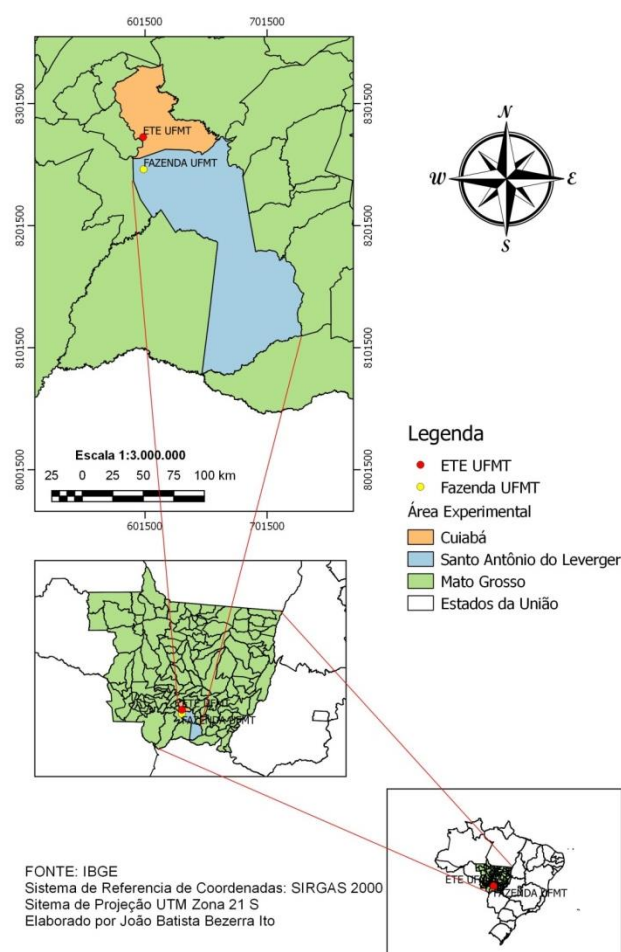


Figura 11: Mapa de localização da Fazenda experimental e da CEHISA da UFMT.
Fonte: Ito (2018)

O efluente da suinocultura foi coletado na cidade de Santo Antônio de Leverger, Estado de Mato Grosso, na Fazenda Experimental da Universidade Federal de Mato Grosso. Atualmente, estão confinados na fazenda experimental um total de dezessete cachacos (macho adulto reprodutor) e duas matrizes (fêmeas reprodutoras), sendo todos alimentados com ração a base de sorgo, soja e/ou milho (Figura 12).



Figura 12: Suínos na fazenda experimental-UFMT
Fonte: Santos (2018)

A cidade de Cuiabá tem um clima tropical com o verão tendo muito mais pluviosidade que o inverno. A temperatura média de 26,1 °C e a média anual de pluviosidade é de 1267 mm.

4.2 Experimentos em escala piloto: Reator (RAHLF) e *Wetlands* Construídas

4.2.1 Reator (RAHLF)

O reator anaeróbio utilizado no pré-tratamento deste estudo foi construído em escala piloto, em tubos de PVC (Policloreto de polivinila) contendo quatro reatores dispostos em série de fluxo horizontal. Cada reator foi construído com as seguintes dimensões: comprimento de 2,90m e diâmetro de 0,200m. Os reatores foram identificados como R 1, R 2, R 3 e R 4 possuem conexões para entrada do afluente e saída do efluente líquido e biogás (Figura 13).

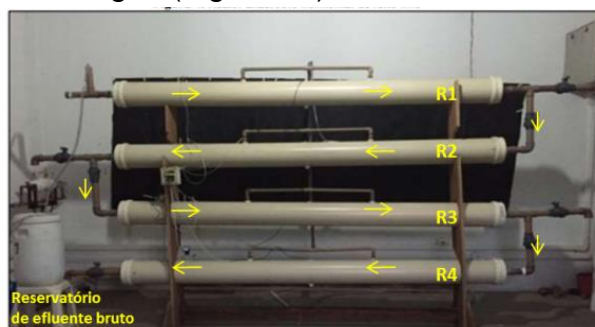


Figura 13: Reator anaeróbio horizontal de leito fixo
Fonte: Santos (2018)

Cada reator possui um volume total de 0,091m³, entretanto, o mesmo foi preenchido com meio suporte, sendo eles anéis de plástico, ou seja, conduíte corrugado de aproximadamente 5cm com diâmetro de 7 cm , ocupando 2/3 do reator, ou seja, o volume útil do reator possui 0,0606m³ (Figura 14).



Figura 14: Meio suporte
Fonte: Santos (2018)

O RAHLF foi inoculado com o lodo proveniente do reator anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB), este reator está localizado na Estação de Tratamento de Efluentes no Município de Várzea Grande – MT (Figura 15). O volume do lodo colocado nos reatores preencheu cerca de 10% do volume de cada reator.



Figura 15: Reator UASB na ETE de Várzea Grande-MT
Fonte: Santos (2018)

4.2.2 Wetlands Construídas

As *Wetlands* Construídas utilizadas para realizar o pós-tratamento, em escala piloto foi dimensionada de acordo com o volume do efluente do reator anaeróbio (RAHLF) do experimento anterior. Foram utilizados cinco tubos de PVC com diâmetro de 0,15m com 1,00m de comprimento, dispostos verticalmente em paralelo (Figura 16). O sistema possui 5 (cinco) *Wetlands* Construídas, sendo dois *Wetlands* Construídos Vegetado com as espécies *Heliconia psittacorum* e dois com as espécies *Pontederia parviflora*, e um *Wetlands* Construídos Não Vegetado (WCNV).



Figura 16: Sistemas de Wetlands Construídos
Fonte: Ito (2018)

O volume total de cada *Wetland* Construído piloto foi calculado em $0,0150\text{m}^3$, sendo o volume de vazios preenchido com o efluente do RAHLF, em bateladas, em $0,0043\text{m}^3$ (28,67%) resultando num volume de sólidos (brita e areia) de $0,0107\text{m}^3$ (71,33%).

O meio filtrante foi preenchido com as seguintes camadas: 0,30m de brita número 2 na base; 0,25m de areia média na camada intermediária; e 0,30m de brita número 2 na camada superior conforme Figura 17.

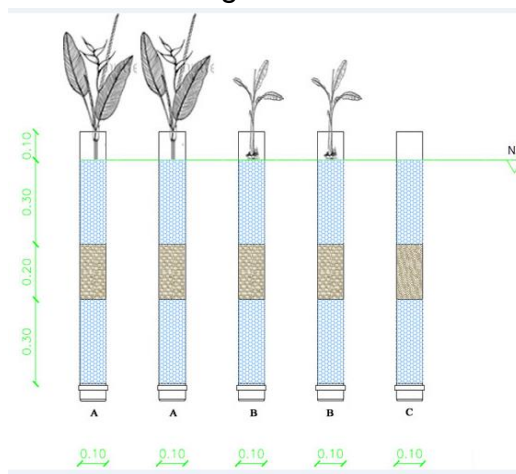


Figura 17: Meio filtrante dos WCV e WCNV
Fonte: Ito (2017)

A porosidade do solo (meio filtrante) (n em %), portanto, é a razão entre o volume de vazios (V_v) e o volume total da uma amostra de solo (V_t).

$$n(\%) = \frac{V_v \times 100}{V_t} \quad \text{Eq. 1}$$

Sua determinação, porém, é feita em função do índice de vazios (ϵ) – que nada mais é do que o volume de vazios sobre o volume total da amostra (V_v/V_t), através da relação:

$$n = \frac{\epsilon}{1 + \epsilon} \quad \text{Eq. 2}$$

A obtenção deste índice de vazios (ϵ) é que requer maior rigor. Pode ser determinado pelas etapas a seguir:

- 1) Determinação do peso específico aparente do solo (γ) para umidade $\neq 0$

$$\gamma = \frac{Ph}{Vt} \quad \text{Eq. 3}$$

Onde: Ph é o peso úmido e Vt é o volume úmido (volume conhecido)

- 2) Determinação do teor de umidade do solo (h)

$$H = \frac{P2 - P1}{P2 - P} \quad \text{Eq. 4}$$

Onde: P, é o peso do solo úmido + Peso da capsula, P2 é o peso do solo após 24h em estufa + o peso da cápsula e P é o peso da cápsula.

- 3) Determinação do peso específico aparente do solo seco (γ_s)

$$\gamma_s = \frac{\gamma}{1+h} \quad \text{Eq. 5}$$

Onde: h é o teor de umidade do solo.

- 4) Determinação de índice de vazio (ϵ)

$$\epsilon = \frac{\gamma}{\gamma_s} - 1 \quad \text{Eq. 6}$$

onde: γ_g é o peso Específico das partículas de um solo, que segundo Caputo (1996) varia de 2,65 g/cm³ a 2,85 g/cm³ para a maioria dos solos. Valor recomendado de $\gamma_g = 2.68\text{g/cm}^3$

- 5) Por fim, a Porosidade (n):

$$n = \frac{\epsilon}{1 + \epsilon} \quad \text{Eq. 7}$$

As análises granulométrica de acordo com a NBR 7181 - Solo, conforme as normas específicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e do

Departamento Nacional de Estradas e Rodagens (DNER), foram realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos I e II da Universidade Federal de Mato Grosso.

4.2.2.1 Espécies cultivadas

Em dois *Wetlands* Construídas Vegetado foram cultivadas planta da espécie *Heliconia psittacorum* é uma espécie diversificada onde se estimam mais de 85 formas naturais de ocorrência, com mais de catorze variedades cultivadas comercialmente (Figura 18)(BERRY & KRESS, 1991). Esta planta foi escolhida por ser facilmente encontrada e cultivada em viveiros comerciais e jardins.



Figura 18: *Heliconia psittacorum*
Fonte: Ito (2018)

Em outros dois *Wetlands* Construídas Vegetado foram cultivadas planta da espécie *Pontederia parviflora* (Guapé) da família *Pontederiaceae*, coletado no município de Poconé nas coordenadas UTM-21S-547.080, 8248043 – SIGAS 2000 (Figura 19). Por ser uma macrófita endêmica no pantanal matogrossense, esta planta foi escolhida com a finalidade de analisar o seu comportamento em *WCs*, já que não foi encontrado nenhum registro de estudo de suas potencialidades nestas.



Figura 19: *Pontederia parviflora*
Fonte: Ito (2018)

A *Pontederia parviflora* é uma erva emergente, perene, com pequeno rizoma; folha estreita ou larga, curta (15 cm) ou longa (120 cm), conforme o ambiente. Floresce em grande parte do ano, enquanto tem umidade e geralmente ocorre na borda de lagoas, formando um cinturão na zonação concêntrica, até 60 cm de profundidade, acompanhando o nível da água à medida (POTT, 2000).

Nas plantas foram avaliados: Comprimento do pseudocaule: tomado do colo da planta até a inserção da folha mais nova; comprimento da haste floral: colo da planta até a base da inflorescência; e diâmetro do pedúnculo floral: base do pedúnculo floral, na altura da inserção da folha mais nova.

4.2.2.2 Parâmetros, Monitoramento e Interpretação dos Dados Estatísticos

As amostras foram coletadas do efluente bruto da suinocultura, do efluente tratado do reator RAHLF e depois de 5 e 10 dias no sistema de *Wetlands* Construídas. O monitoramento do reator RAHLF e *Wetlands* Construídas ocorrerá por meio de análises físicas e químicas. Os parâmetros avaliados foram: temperatura do ar e do líquido, pH, DBO₅, DQO, sólidos em suspensão totais (SST), sólidos dissolvidos totais (STD) cor, turbidez, nitrato, nitrito, sulfato, nitrogênio total e fósforo total, conforme descrito no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998).

Com objetivo de determinar a eficiência das atividades do sistema composto pelos RAHLF e *Wetlands* Construídas, utilizou-se a Equação (1), onde as concentrações CAF e CEF eram do parâmetro o qual se desejava obter a eficiência sobre ele.

$$E = \frac{c_{AF} - c_{EF}}{c_{AF}} \quad \text{Eq. 8}$$

Onde: E = Eficiência de Remoção (%);
 cAF = Concentração no afluente bruto (mgL⁻¹);
 cEF = Concentração no efluente tratado (mgL⁻¹).

Os resultados das variáveis físicas e químicas mensuradas neste experimento estão aqui representados graficamente, sendo que foram feitas também as tabelas de Eficiência de remoção, em percentuais. E após, foram confeccionados uma estatística descritiva das amostras com valores mínimos, máximos, quartis1 (25% das observações abaixo e 75% acima), quartis 2 (mediana, deixa 50% das observações abaixo e 50% das observações acima) e quartis3 (75% das observações abaixo e 25% acima), através de gráficos de caixa ou *Boxplot*, com os valores percentuais da Eficiência de remoção.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO EFLUENTE DA SUINOCULTURA

Os valores encontrados para as concentrações dos principais parâmetros físico-químicos do afluente da suinocultura da Fazenda Experimental da Universidade Federal de Mato Grosso, estão dentro da faixa descrita por diferentes autores conforme Tabela 4.

Os dejetos da suinocultura são constituídos por fezes, urina, água dos bebedouros e resíduos de alimentos (sorgo, soja e/ou milho) responsáveis pela alta concentração de matéria orgânica, sólidos e nutrientes nos efluentes.

A capacidade poluidora dos dejetos de suínos, em termos comparativos, é muito superior à de outras espécies, pois enquanto a DBO_5 *per capita* de um suíno, com 85 kg de peso vivo varia de 189 a 208 g/animal/dia, a doméstica é de apenas 54 g/habitante/dia (PERDOMO & LIMA, 1998; JORDÃO E PESSÔA, 2014). Considerando a concentração de DBO_5 do esgoto doméstico de 540 mg L⁻¹, enquanto a DBO_5 dos dejetos de suínos de pequeno porte oscila entre 4116 mg L⁻¹ (FIA, 2009; ZHENG et al., 2006; LEE et al. 2004; RODRIGUES et al. 2010), ou seja, em torno de 7,62 vezes superior. Em relação a uma suinocultura de grande porte a DBO_5 dos dejetos de suínos oscila entre 30.000 e 52.000 mg/l, ou seja, cerca de 260 vezes superior.

De acordo com Oliveira et al. (1993), o suíno adulto produz, em média, 0,27m³ de dejetos ao mês, assim a produção de dejetos é de 5,13 m³ por mês, que são utilizados na alimentação, bebedouro e nos sistemas de limpeza das baias.

Tabela 4: Características físico-químicas dos efluentes do Experimento oriundos da suinocultura e do RALHF

PARÂMETROS	AFLUENTE BRUTO					EFLUENTE DO RALHF				
	out/17	nov/17	dez/17	jan/18	fev/18	out/17	nov/17	dez/17	jan/18	fev/18
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	528	607.2	729.00	729.00	1057	121	125	81	81	61
TSD (mg L ⁻¹)	1018	1089	1894	2365	2144	279	328	315	387	335
CE (s cm ⁻¹)	1493	1529	2086	2781	2887	974	634	1272	1573	923
pH(adim)	8.04	8.00	8.15	7.95	7.98	7.21	7.20	7.12	6.97	6.95
TURBIDEZ (ntu)	900	983	1967	2244	2128	131	128	125	94	115
COR (uH)	1449	1972	2115	2415	2114	285.5	176	168	148	124
NITRITO (mg L ⁻¹)	0.12	0.150	0.180	0.190	0.175	0.095	0.100	0.019	0.017	0.015
NITRATO (mg L ⁻¹)	32	33	42	44	27.8	1.9	1.9	2.3	2.5	2.7
SULFATO (mg L ⁻¹)	85	60.8	87	89	92	27	24.5	35	27	31
OD (mg O ₂ L ⁻¹)	2.3	2.7	3.1	3.1	2.8	0.46	0.62	0.3	0.3	0.2
DBO (mg O ₂ L ⁻¹)	1016	1367	2884	3128	3372	265	374	436	436	473
ST (mg O ₂ L ⁻¹)	3440	3658	2655.00	2655.00	2789	1776	1926	1743	1743	837
P (mg L ⁻¹)	-	132	-	164	-	-	22	-	26	-
NT(mg L ⁻¹)	-	1036	-	1392	-	-	332	-	445	-

Fonte: Própria

Tabela 5: Características físico-químicas dos efluentes oriundos da suinocultura, de acordo com diferentes autores

Variáveis	Concentrações						
	1	2	3	4	5	6	7
pH(adim)	7,6	8,0	8,2	-	7,1	-	7,0
CE ($\mu\text{s cm}^{-1}$)	4300	-	-	-	-	-	-
DQO ($\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$)	2492	2540	-	6372	3840	1137	31300
DBO ($\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$)	777	-	-	4210	-	377	11100
NTK ($\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$)	530	-	-	918	-	206	2374
ST ($\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$)	953	5550	14870	-	-	696	13939

Fonte: (1) Fia (2009), (2) Lim e Fox (2011), (3) Liu et al (2011), (4) Zheng et al (2006), (5) Yang e Cicek (2008), (6) Lee et al (2004), (7) Rodrigues et al (2010) - Adaptado de GONÇALVES (2012)

5.2 RESULTADOS DAS VARIÁVEIS FÍSICAS E QUÍMICAS

5.2.1 TEMPERATURA (t)

Na Figura 20 estão apresentados os valores das temperaturas máximas, médias e mínimas do ar, observadas durante a operação do sistema de tratamento do experimento. A média da temperatura do ar constatada foi de 27,4 °C, valor próximo as temperaturas médias internas do Reator RAHLF (26,4 °C) e dos WCs (WCHP= 25,7 °C; WCHP= 25,6 °C; WCHP= 25,5 °C; e WCHP= 25,8 °C). Este fato ocorreu devido aos microrganismos que não possuem meios de controlar sua temperatura interna, por isso, a temperatura interior das células é determinada pela temperatura ambiente externa (VON SPERLING et al., 2003) (Figura 20).

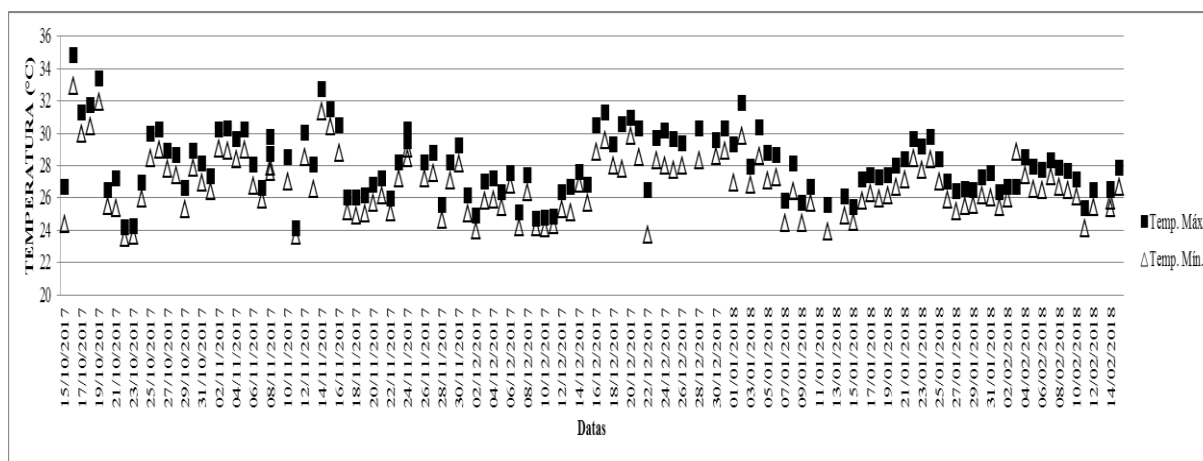


Figura 20: Valores de temperatura do ar durante o sistema de tratamento
Fonte: INMET, 2018

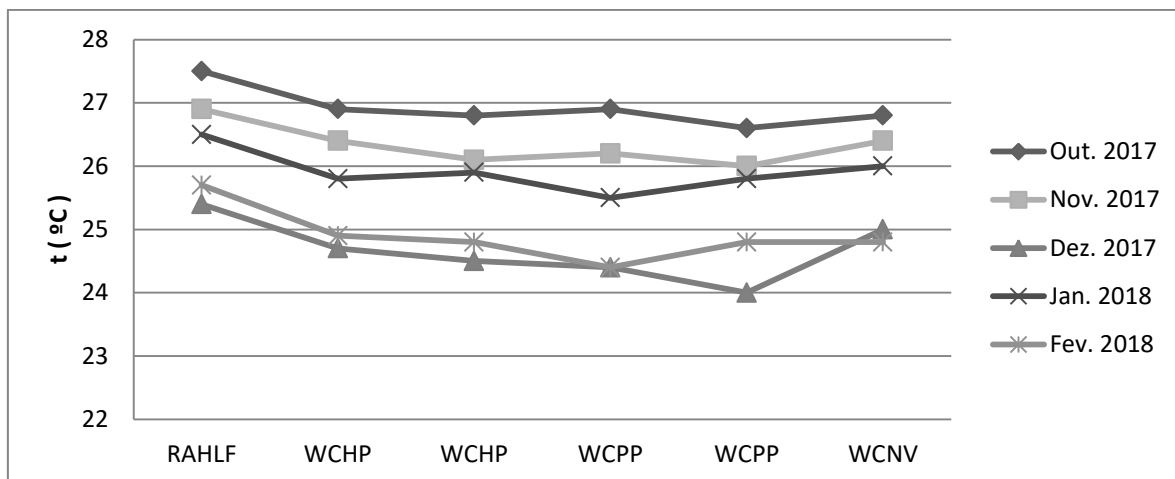


Figura 21: Valores da temperatura interna do RAHLF e dos WC
Fonte: Própria

A média da temperatura do ar encontrada não atingiu a temperatura ótima para a faixa mesófila que varia entre 30 e 38 °C, para digestão anaeróbia (Reator RAHLF) (METCALF E EDDY, 1991). De acordo com Jordão e Pessôa (2014), na prática no Brasil a temperatura interna se mantém entre 26 e 30 °C para digestores sem aquecimento, de acordo com a região.

De acordo com a Figura 21, no período do monitoramento a temperatura dos WC apresentou pouca variação e dentro da faixa de 10 a 30 °C para *Wetlands* cultivados (USEPA, 1980). Segundo Von Sperling (2005), o controle da temperatura é importante porque à medida que a temperatura se eleva as taxas das reações físicas, químicas e biológicas aumentam, diminuem a solubilidade dos gases (ex: oxigênio dissolvido) e aumentam as taxas de transferência de odores, o que pode causar mau cheiro, no caso da liberação de gases com odores desagradáveis o que não constatado no experimento.

A temperatura é um fator importante na remoção de matéria orgânica, nutrientes e patógenos (CALIJURI, 2009). Áreas predominantemente tropicais, como o Brasil, acabam por favorecer a implantação desses sistemas, pois uma elevada temperatura acaba por aumentar a atividade microbiológica, e a maior incidência solar faz com que as plantas cresçam mais rapidamente, o que acaba por potencializar os sistemas de WCs (LAUTENSCHLAGER, 2001).

5.2.2 pH

O valor do pH no reator RAHLF se estabelece após o equilíbrio iônico dos diferentes sistemas ácido/base presentes no sistema de tratamento (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994). As bactérias formadoras de ácidos fracionam a matéria orgânica e produzem os ácidos voláteis. Resultando no aumento da acidez do meio e uma redução do pH no reator RAHLF (Figura 22).

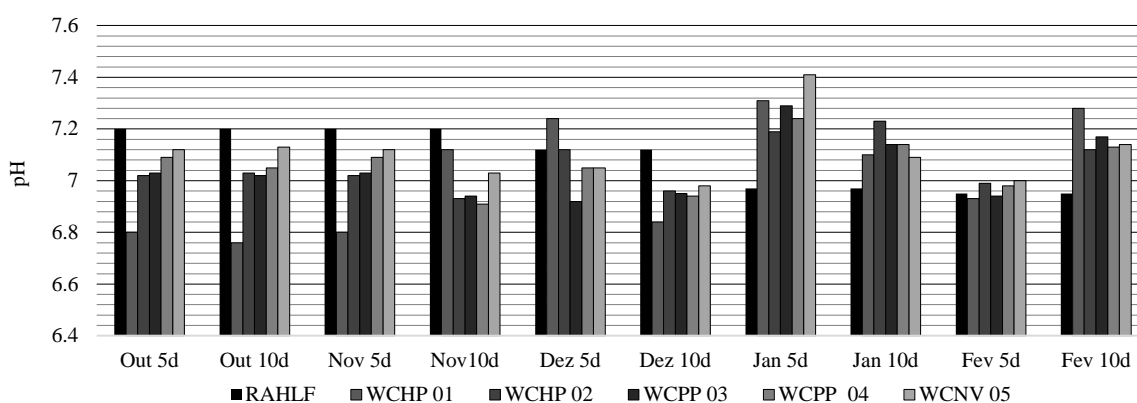


Figura 22: Valores de pH no sistema de tratamento
Fonte: Própria

As bactérias *Archaea* metanogênicas envolvidas no processo de digestão anaeróbia constituem a população mais sensível a alterações de pH, segundo SPEECE (1996) a operação do reator anaeróbio deve ocorrer em pH entre 6,5 e 8,2 para evitar inibição da metanogênese.

Ao longo do ciclo monitorado nos WCs, de 5 e 10 dias, a variação na faixa do pH foi de 6,76 a 7,31, o que é considerado uma faixa adequada de pH para o processo de neutralidade, propicia crescimento microbiano de bactérias generalistas adaptadas a estes valores, como as nitrificantes. Chang et al. (2012) obtiveram valores de pH próximo a neutralidade no efluente de sistemas de *Wetlands* Construídas Verticais com combinações das espécies *Typha orientalis* e *Arundo donax var. versicolor* e *Canna indica* e *Pontederia cordata*, respectivamente. Observamos uma pequena variação de pH dos WCHP e o WCNV (SANTOS, 2012).

A faixa de pH, estabelecida pela resolução do CONAMA (BRASIL, 2011), é de 5,0 a 9,0 para lançamento de efluentes, o que é atendido pelos sistemas propostos nesta pesquisa.

5.2.3 CE (Condutividade elétrica)

No sistema de tratamento ocorreu uma remoção considerável de íons tanto nas *Wetlands* vegetadas, como nas não vegetadas, como demonstrado na Figura 23.

Nas WCHP 01 e WCHP 02 houveram remoção mediana de 59% e 61% aos cinco dias, e de 64% e 54% aos dez dias, respectivamente. Nas WCPP 03 e WCPP 04 houveram remoção mediana de 60% e 62% aos cinco dias, e de 60% e 60% aos dez dias, respectivamente. Na WCNV 05 houve remoção mediana de 65% aos cinco dias, e de 62% aos dez dias (Figura 24). Observa-se que não ocorreram diferenciações significativas nas remoções tanto para as WCs vegetadas como para a WC não vegetada, e também para os tempos de detenções de cinco e dez dias.

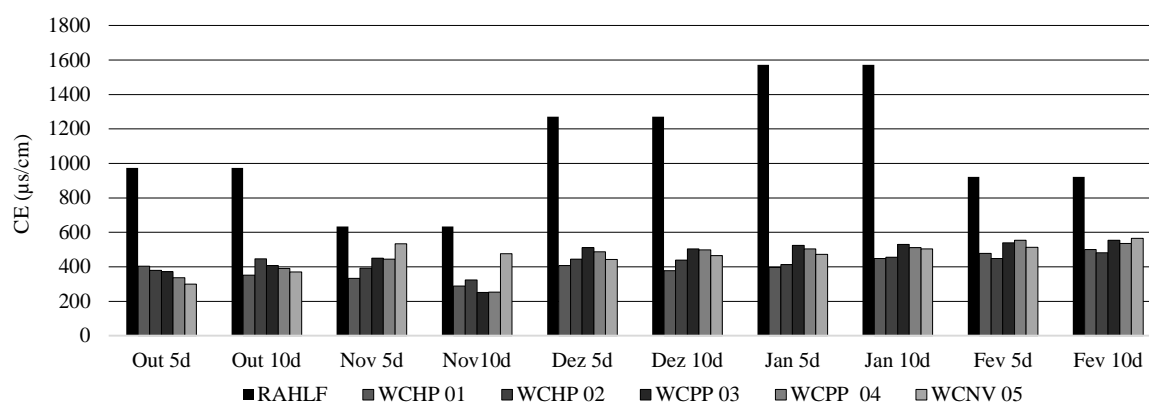


Figura 23: Valores de CE no sistema de tratamento
Fonte: Própria

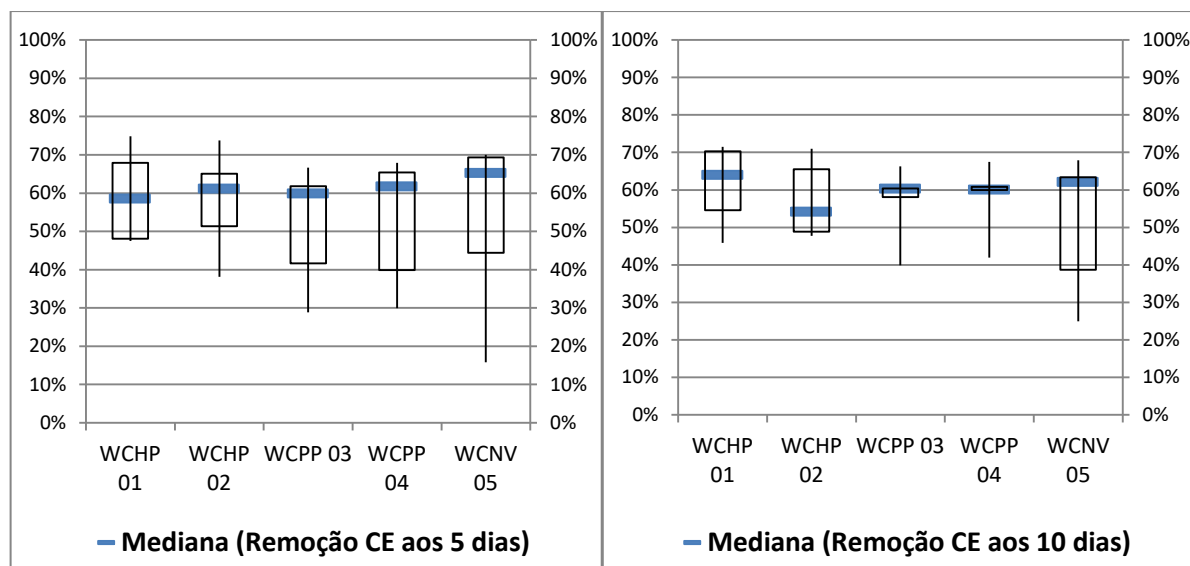


Figura 24: Percentuais medianos de remoção de CE aos 5 e 10 dias
Fonte: Própria

5.2.4 SÓLIDOS

5.2.4.1 STD (Sólidos Totais Dissolvidos)

A remoção dos sais ocorre pelo fenômeno da sorção (adsorção e absorção), que está relacionada com o material de enchimento e o biofilme de microrganismos que utilizam esse material para obtenção de energia. A Figura 25 demonstra os valores dos Sólidos Totais Dissolvidos encontrados durante o experimento.

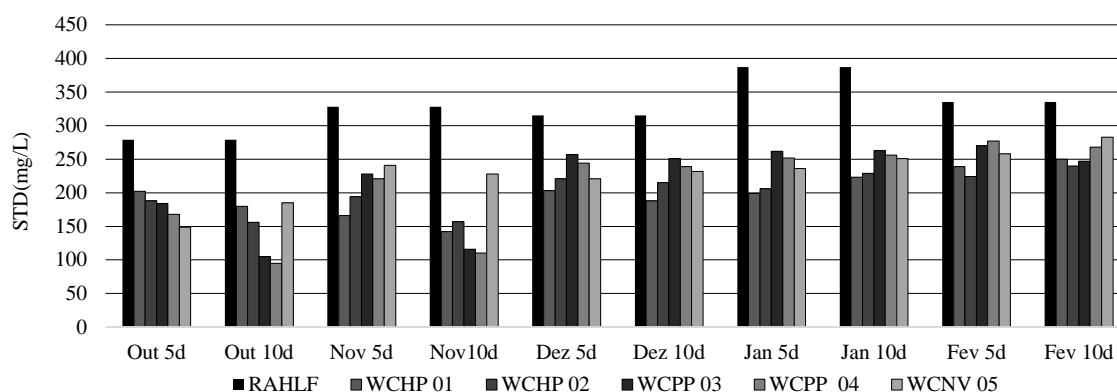


Figura 25: Concentrações de STD no sistema de tratamento

Fonte: Própria

Nas WCHP 01 e WCHP 02 houve remoção mediana de 36% e 33% aos cinco dias, e de 40% e 41% aos dez dias, respectivamente. Nas WCPP 03 e WCPP 04 houve remoção mediana de 30% e 33% aos cinco dias, e de 32% e 34% aos dez dias, respectivamente. Na WCNV 05 houve remoção mediana de 30% aos cinco dias, e de 30% aos dez dias (Figura 26).

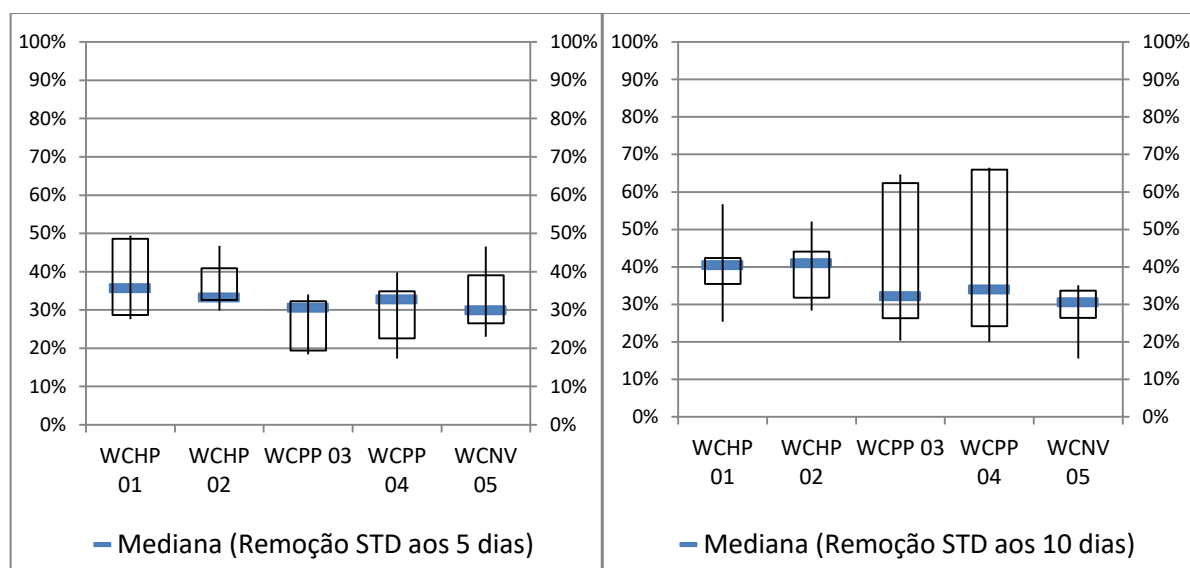


Figura 26: Percentuais medianos de remoção de STD aos 5 e 10 dias

Fonte: Própria

5.2.4.2 ST (Sólidos totais)

Na Figura 27 estão plotados os valores das concentrações de Sólidos Totais encontrados no experimento.

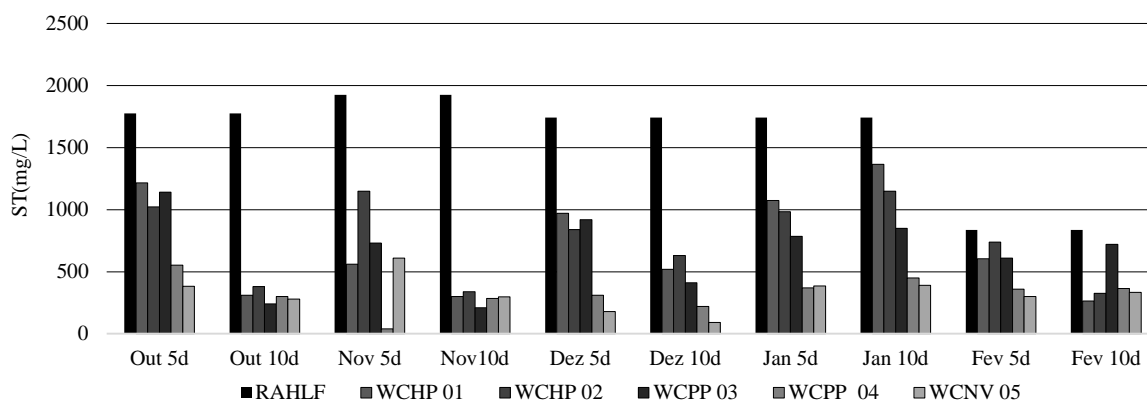


Figura 27: Concentrações de ST no sistema de tratamento
Fonte: Própria

Nos sistemas de *Wetlands* de escoamento sub-superficial, os sólidos suspensos são retirados por meio da filtração e da sedimentação (COOPER, SMITH e MAYNARD, 1996). As baixas velocidades de percolação dos efluentes nos sistemas, associadas à presença de macrófitas e ao meio filtrante contribuem na retirada dos sólidos em suspensão (KADLEC e KNIGHT, 1996).

Nas WCHP 01 e WCHP 02 houve remoção mediana de 38% e 42% aos cinco dias, e de 70% e 64% aos dez dias, respectivamente. Nas WCPP 03 e WCPP 04 houve remoção mediana de 47% e 79% aos cinco dias, e de 76% e 83% aos dez dias, respectivamente. Na WCNV 05 houve remoção mediana de 78% aos cinco dias, e de 84% aos dez dias (Figura 28). Sun et al. (2005) conseguiram remoção de 56,8% de SST em águas residuárias de suinocultura, com tempo de detenção de dois dias e utilizando *Wetlands* com macrófita *Phragmites australis*.

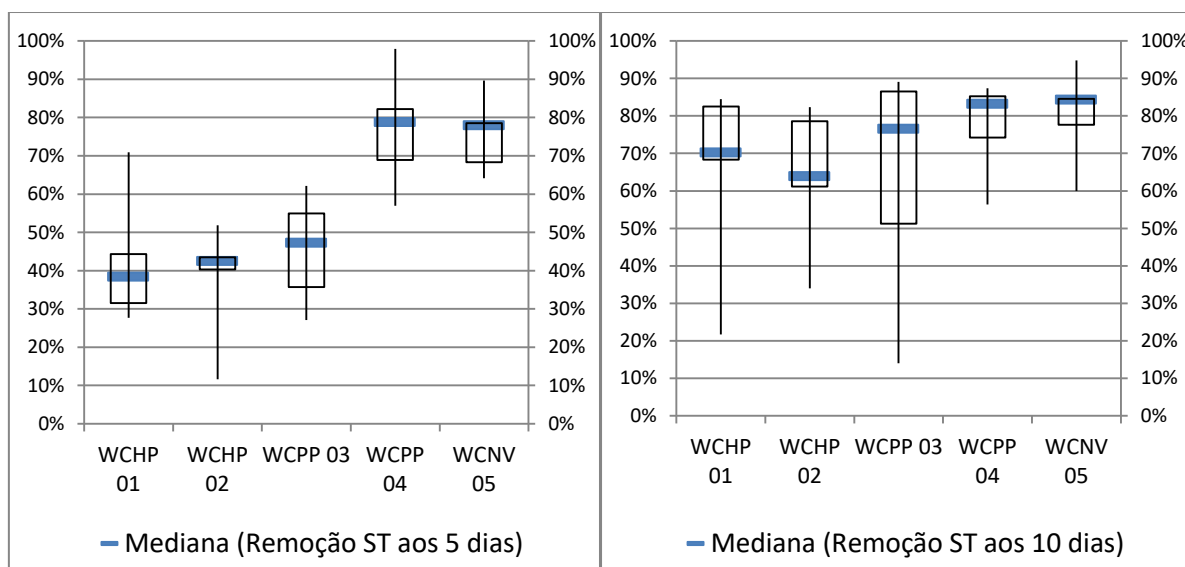


Figura 28: Percentuais medianos de remoção de ST aos 5 e 10 dias
Fonte: Própria

5.2.5 COR e TURBIDEZ

Para as variáveis cor e turbidez verificamos que houve eficiência tanto no sistema de *WCV* e *WCNV*. Provavelmente, a redução de cor e turbidez do sistema de tratamento com *Wetlands* Construídos de fluxo vertical funciona como meio filtrantes retendo sólidos em suspensão (SCHIMITT et al., 2016).

Os valores de cor e turbidez encontrados estão dentro da faixa estabelecida pela resolução do CONAMA (BRASIL, 2011), de 75 uH e de 100 NTU, respectivamente.

5.2.5.1 COR

A redução deste parâmetro no experimento representa a sorção do material dissolvido ocorrida no sistema de tratamento. A sorção (adsorção e absorção) está relacionada com o material de enchimento e o biofilme de microrganismos que utilizam esse material para obtenção de energia. Na Figura 29 estão plotados os valores das concentrações de Cor encontrados no experimento, demonstrando que houve remoção considerável durante o sistema de tratamento (DORNELAS, 2008).

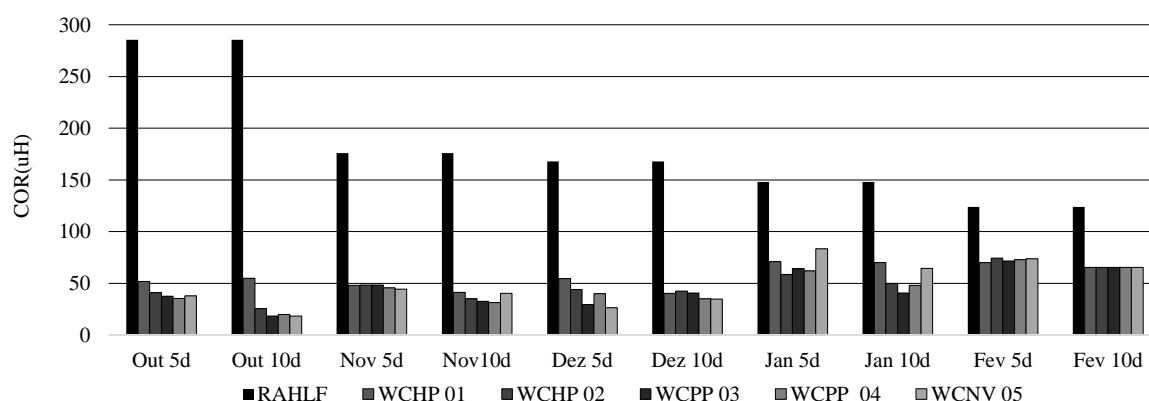


Figura 29: Concentrações de cor no sistema de tratamento
Fonte: Própria

Nas *WCHP* 01 e *WCHP* 02 houve remoção mediana de 68% e 72% aos cinco dias, e de 76% e 75% aos dez dias, respectivamente. Nas *WCPP* 03 e *WCPP* 04 houve remoção mediana de 73% e 74% aos cinco dias, e de 76% e 79% aos dez dias, respectivamente. Na *WCNV* 05 houve remoção mediana de 75% aos cinco dias, e de 77% aos dez dias (Figura 30). Observa-se que não ocorreram diferenciações significativas nas remoções tanto para as *WCVs* vegetadas como para a *WCNV* não vegetada, e também para os tempos de detenções de cinco e dez dias.

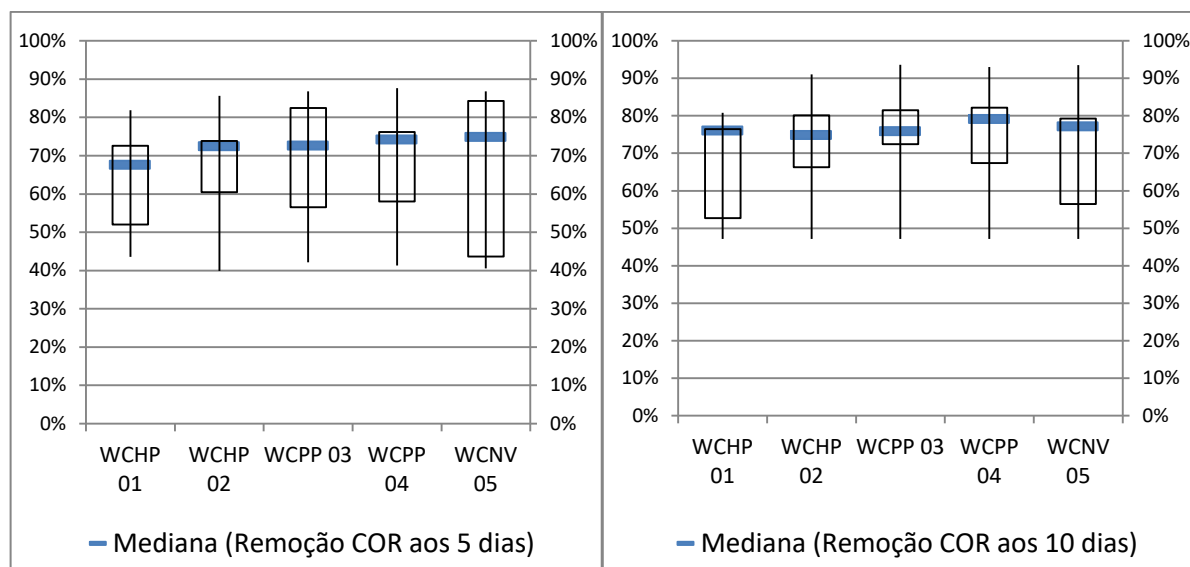


Figura 30: Percentuais medianos de remoção de cor no Experimento aos 5 e 10 dias
Fonte: Própria

5.2.5.2 TURBIDEZ

A Turbidez apresentou remoção considerável conforme demonstrado na Figura 31. Igualmente à cor, a remoção da turbidez ocorre pela sorção (adsorção e absorção), que está relacionada com o material de enchimento e o biofilme de microrganismos que utilizam esse material para obtenção de energia (OLIVEIRA e COSTANZI, 2014)

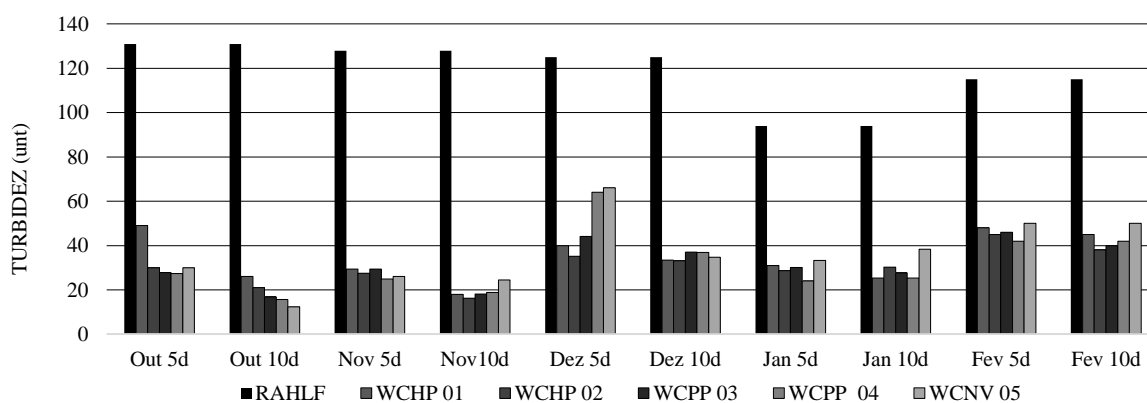


Figura 31: Concentrações de turbidez no sistema de tratamento
Fonte: Própria

Nas WCHP 01 e WCHP 02 houve remoção mediana de 67% e 72% aos cinco dias, e de 73% e 73% aos dez dias, respectivamente. Nas WCPP 03 e WCPP 04 houve remoção mediana de 68% e 74% aos cinco dias, e de 71% e 73% aos dez dias, respectivamente. Na WCNV 05 houve remoção mediana de 65% aos cinco dias, e de 72% aos dez dias (Figura 32). Observa-se que não ocorreram diferenciações significativas nas remoções tanto para as WCVs como para a WCNV, e também para os tempos de detenções de cinco e dez dias.

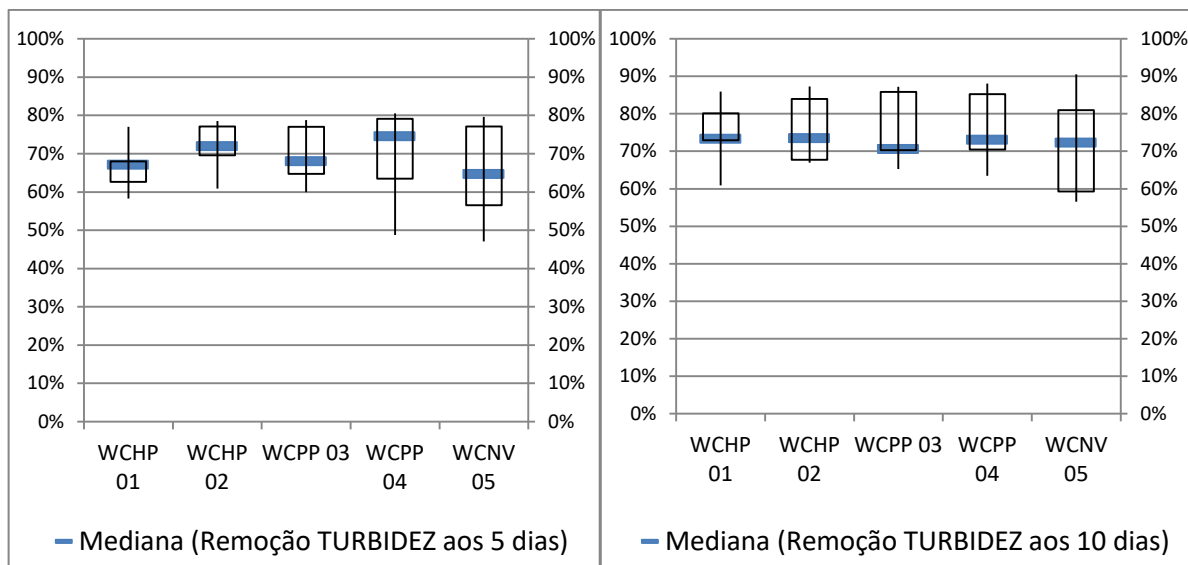


Figura 32: Percentuais medianos de remoção de turbidez no Experimento aos 5 e 10 dias

Fonte: Própria

5.2.6 OD (Oxigênio Dissolvido)

A Figura 33 demonstra os valores de OD no experimento, demonstrando que as WC's conseguiram incorporar O_2 no efluente, sendo que a WCNV foi mais eficiente, provavelmente pela entrada de oxigênio por difusão atmosférica que se dá em função da área superficial (PLATZER, 1999).

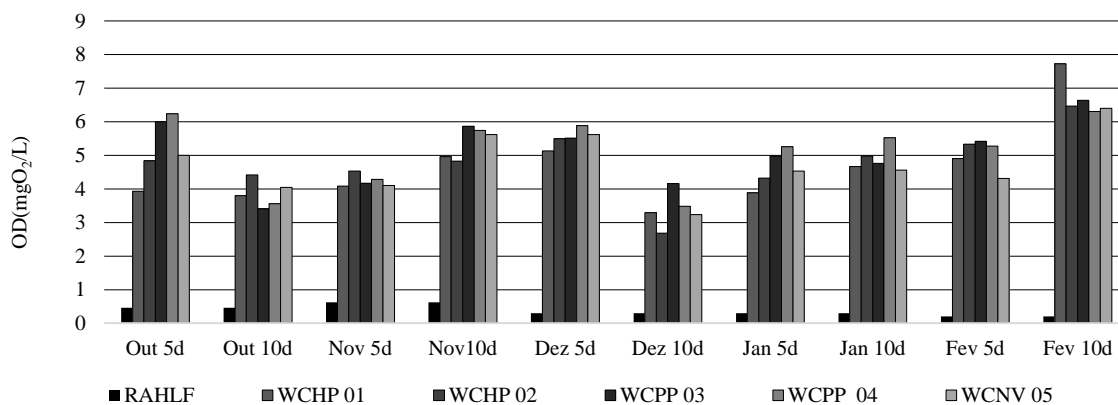


Figura 33: Concentrações de OD no sistema de tratamento

Fonte: Própria

Para enquadramento em corpos d'águas doces classe 2, a taxa de Oxigênio dissolvido não pode ser inferior à 5 mg/L .

5.2.7 Relação de DBO_5 e DQO

A Figura 34 apresenta a relação DBO_5/DQO que está relacionada com a biodegradabilidade do despejo do sistema de tratamento. Observamos que os dados

estão próximos de 1 indicando a biodegradabilidade (Relação DBO/DQO > 0,6) do efluente pela ação de microrganismos (tratamento biológico).

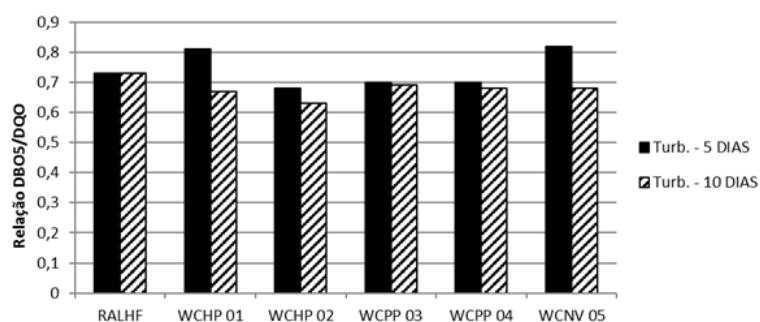


Figura 34: Relação de DBO₅/DQO no sistema de tratamento
Fonte: Própria

5.2.8 DBO₅

Na Figura 35 estão plotados os valores de DBO₅ encontrados durante o sistema de tratamento, demonstrando que houveram remoção significativa.

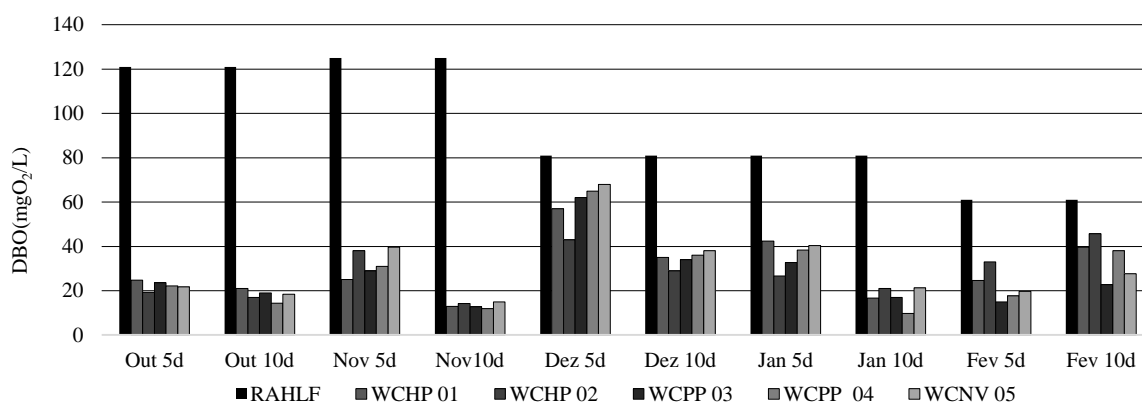


Figura 35: Concentrações de DBO₅ no Sistema de Tratamento
Fonte: Própria

Nas WCHP 01 e WCHP 02 houve remoção mediana de 60% e 67% aos cinco dias, e de 79% e 74% aos dez dias, respectivamente. Nas WCPP 03 e WCPP 04 houve remoção mediana de 75% e 71% aos cinco dias, e de 79% e 88% aos dez dias, respectivamente. Na WCNV 05 houve remoção mediana de 68% aos cinco dias, e de 74% aos dez dias (Figura 36). Sun et al. (2005) conseguiram remoção de 57,4% de DBO₅ em águas residuárias de suinocultura, com tempo de detenção de dois dias e utilizando *Wetlands* com macrófita *Phragmites australis*.

Esgotado o oxigênio, as águas dos rios ou dos lagos são incapazes de sustentar a vida aeróbia. Portanto, tem que existir um limite mínimo (DBO₅, 5 dias, 20°C: máximo de 120 mg/l) (CONAMA 430/2011).

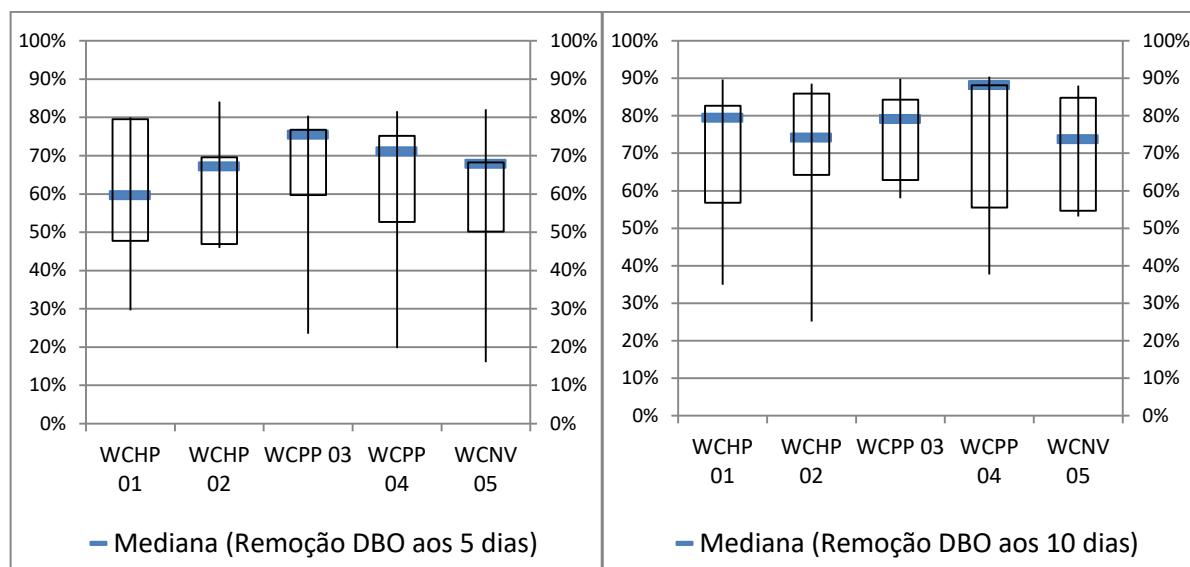


Figura 36: Percentuais medianos de remoção de DBO₅ no Experimento aos 5 e 10 dias

Fonte: Própria

5.2.9 DQO

A Demanda Química de Oxigênio apresentou uma eficiência global com ótima taxa de remoção na depuração do sistema de tratamento (Figura 37). Mazzola et al. (2005) utilizaram sistemas de *Wetlands* Construídas verticais alimentadas com efluente de um reator anaeróbico que trata esgoto doméstico, e obtiveram valor médio de DQO de 223 mg/L, superior ao reportado neste trabalho.

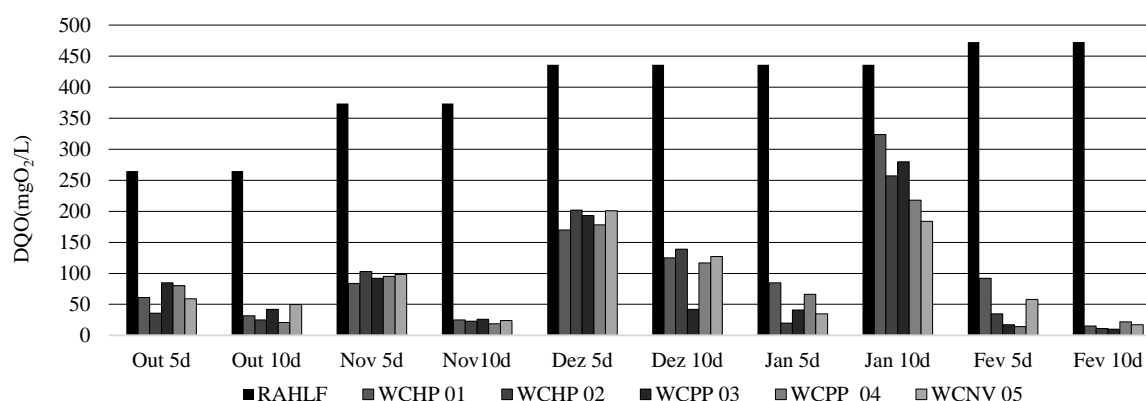


Figura 37: Concentrações de DQO no Sistema de Tratamento

Fonte: Própria

Pelos valores de eficiências de remoção, é possível observar que o WC apresenta excelente desempenho na remoção de DQO. Nas WCHP 01 e WCHP 02 houve remoção mediana de 78% e 86% aos cinco dias, e de 88% e 91% aos dez dias, respectivamente. Nas WCPP 03 e WCPP 04 houve remoção mediana de 75% e 75% aos cinco dias, e de 90% e 92% aos dez dias, respectivamente. Na WCNV 05 houve remoção mediana de 78% aos cinco dias, e de 81% aos dez dias (Figura 38).

Zhao et al. (2010) conseguiram remoção de 68% de DQO em águas residuárias de esgoto, com tempo de detenção de dois dias e utilizando *Wetlands* vegetadas e com fluxo vertical.

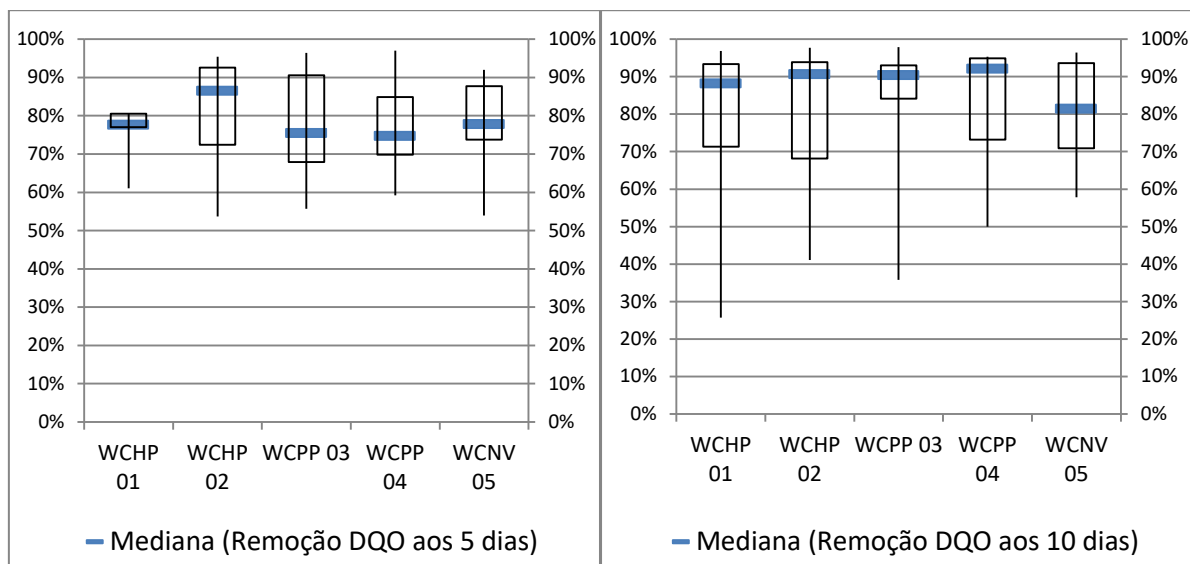


Figura 38: Percentuais medianos de remoção de DQO no Experimento aos 5 e 10 dias

Fonte: Própria

5.2.10 NITROGÊNIO

Segundo Sperling (1996), o nitrogênio orgânico é resultante da excreção animal e humana de urina e fezes, ou da morte de seres vivos presentes no meio líquido. A remoção de nitrogênio ocorre nestes sistemas por meio de processos biológicos e físico-químicos, como amonificação, nitrificação, desnitrificação, volatilização, assimilação pelas plantas e adsorção pelo material filtrante (LOBÃO *et al.*, 1998; ESTEVES, 1998; OLIJNYK, 2008; PHILIPPI e SEZERINO, 2004; KADLEC e KNIGHT, 1996).

5.2.10.1 NITRITO (NO₂)

Sendo o Nitrito instável na presença de oxigênio, ele ocorre como uma forma intermediária, em pequenas quantidades indicando a ocorrência de processos biológicos ativos influenciados pela poluição orgânica (BASTOS, 2007).

Na Figura 39 estão plotados as concentrações de Nitrito encontrados no experimento, demonstrando que houve remoção considerável durante o sistema de tratamento.

Nas WCHP 01 e WCHP 02 houve remoção mediana de 82% e 94% aos cinco dias, e de 95% e 95% aos dez dias, respectivamente. Nas WCPP 03 e WCPP 04 houve remoção mediana de 94% e 88% aos cinco dias, e de 98% e 98% aos dez dias, respectivamente. Na WCNV 05 houve remoção mediana de 88% aos cinco dias, e de 95% aos dez dias (Figura 40).

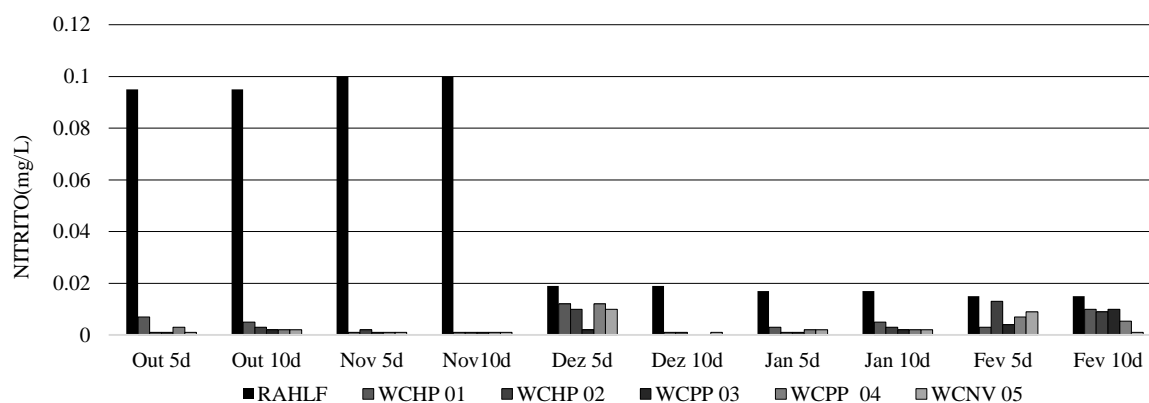


Figura 39: Concentrações de nitrito no sistema de tratamento
Fonte: Própria

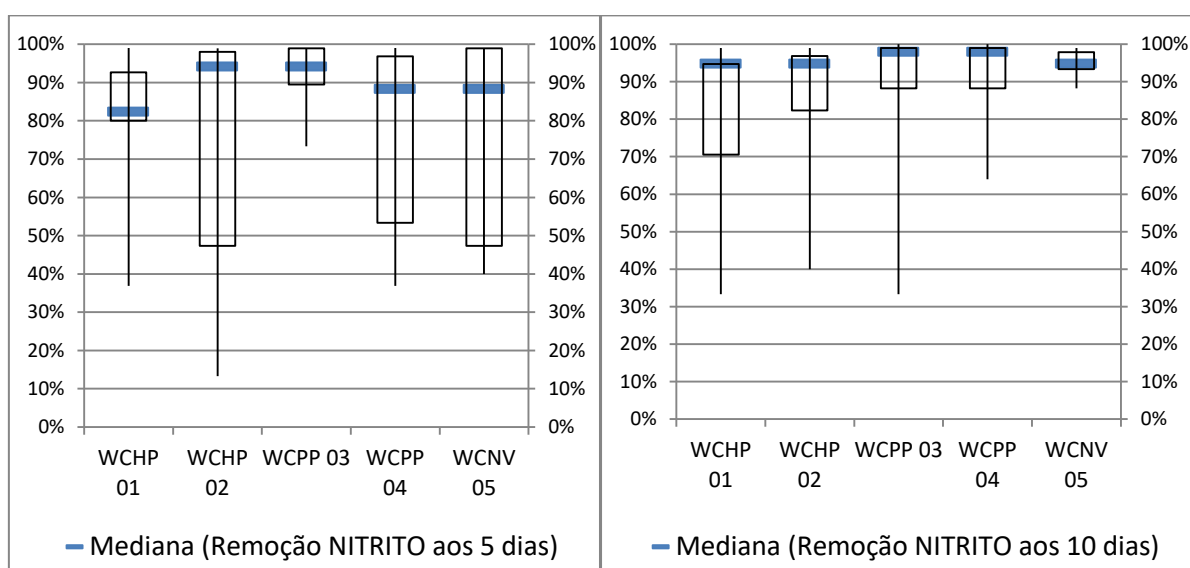


Figura 40: Percentuais medianos de remoção de nitrito no Experimento aos 5 e 10 dias
Fonte: Própria

5.2.10.2 NITRATO (NO₃)

O excesso de nitrato na água potável constitui um risco para a saúde, visto que pode resultar em metemoglobinemia tanto em bebês recém-nascidos como em adultos com determinada deficiência enzimática (BAIRD, 2002). A metemoglobinemia é uma condição clínica originada pela conversão excessiva da hemoglobina em metahemoglobina, que é incapaz de ligar-se e transportar Oxigênio.

Na Figura 41 estão plotados as concentrações de Nitrato encontrados no experimento, demonstrando que houve remoção considerável durante o sistema de tratamento.

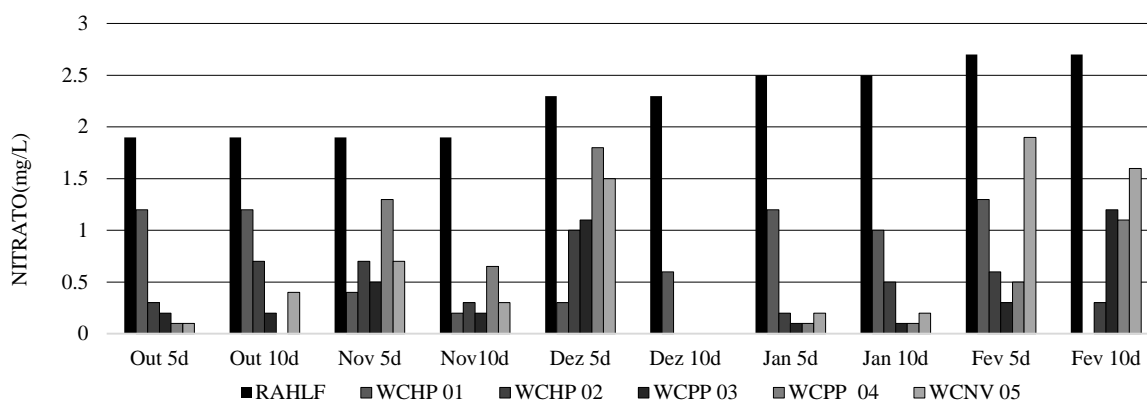


Figura 41: Concentrações de nitrato no sistema de tratamento
Fonte: Própria

Nas WCHP 01 e WCHP 02 houve remoção mediana de 52% e 78% aos cinco dias, e de 74% e 84% aos dez dias, respectivamente. Nas WCPP 03 e WCPP 04 houve remoção mediana de 89% e 81% aos cinco dias, e de 89% e 96% aos dez dias, respectivamente. Na WCNV 05 houve remoção mediana de 63% aos cinco dias, e de 84% aos dez dias (Figura 42).

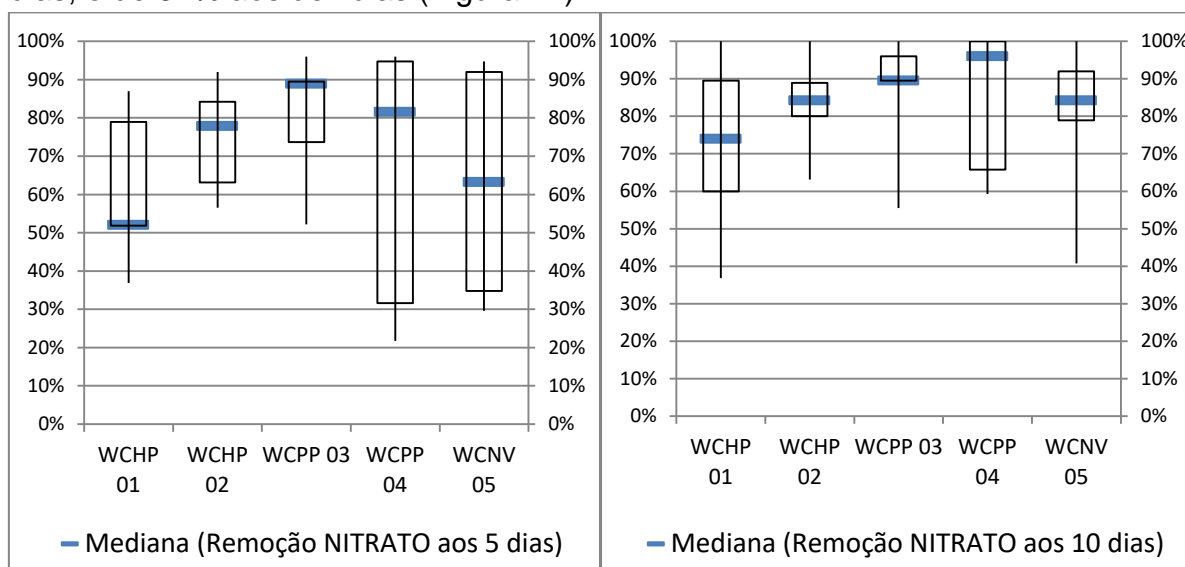


Figura 42: Percentuais medianos de remoção de nitrato no Experimento aos 5 e 10 dias

Fonte: Própria

A remoção ocorre provavelmente por processo de desnitrificação, no qual microrganismos anaeróbicos (bactérias quimioheterotróficas) reduzem o nitrato à óxido nítrico, óxido nitroso e, finalmente, nitrogênio gasoso, sob condições anóxicas (ESTEVES, 1998; OLIJNYK, 2008; PHILIPPI e SEZERINO, 2004).

5.2.10.3 NITROGÊNIO TOTAL

O nitrogênio pode ser assimilado pela planta, incorporado à biomassa e liberado na forma de nitrogênio orgânico, após a decomposição (CUNHA, 2006).

Na Figura 43 estão plotados os valores das concentrações de NT encontrados no experimento, demonstrando que houve remoção considerável durante o sistema de tratamento

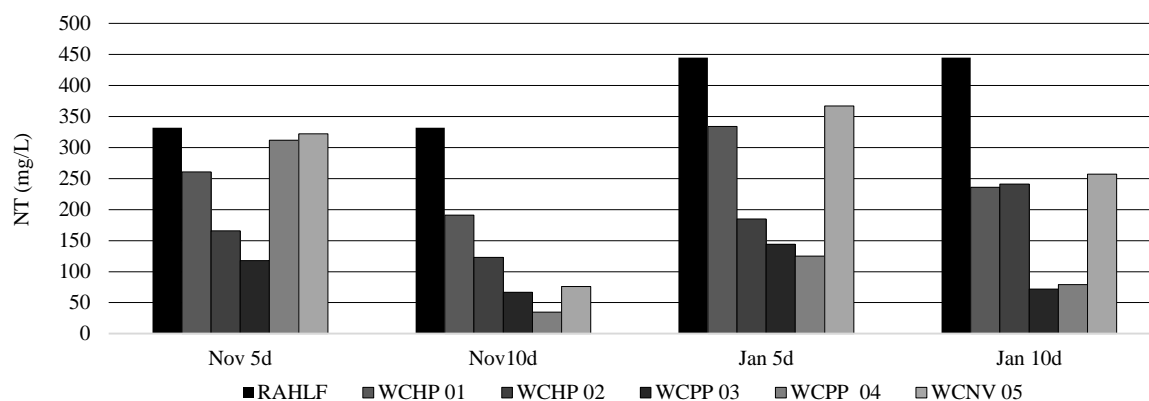


Figura 43: Concentrações de NT no sistema de tratamento

Fonte: Própria

Nas WCHP 01 e WCHP 02 houve remoção mediana de 23% e 54% aos cinco dias, e de 45% e 54% aos dez dias, respectivamente. Nas WCPP 03 e WCPP 04 houve remoção mediana de 66% e 39% aos cinco dias, e de 82% e 86% aos dez dias, respectivamente. Na WCNV 05 houve remoção mediana de 10% aos cinco dias, e de 60% aos dez dias (Figura 44). Sousa et al. (2004) estudaram o desempenho de três sistemas WC's, operados com efluente de esgotos domésticos pré-tratados em reator UASB, durante três anos de monitoramento, e conseguiram remoção de 66% de Nitrogênio. Este experimento demonstra que houve remoção de N através de incorporação pela planta e também provavelmente, pelos microrganismos presentes no interior do filtro, que se formaram a partir do efluente.

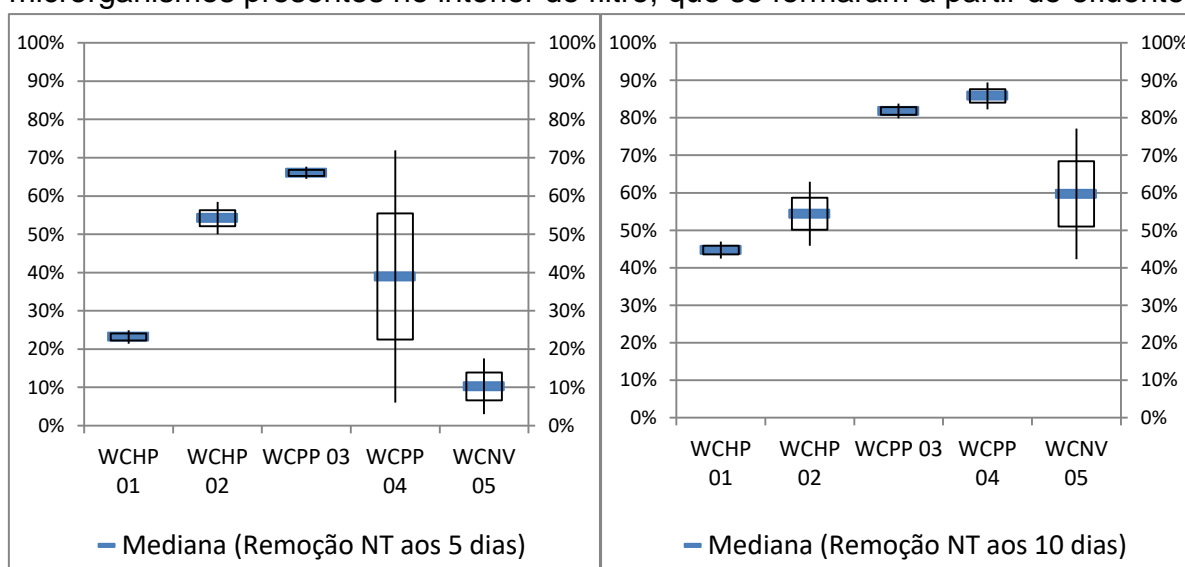


Figura 44: Percentuais medianos de remoção de NT no Experimento aos 5 e 10 dias

Fonte: Própria

5.2.11 SULFATO (SO₄)

Na Figura 45 estão plotados os valores das concentrações de SULFATO encontrados no experimento, demonstrando que houve remoção considerável durante o sistema de tratamento com 10 dias de TDH.

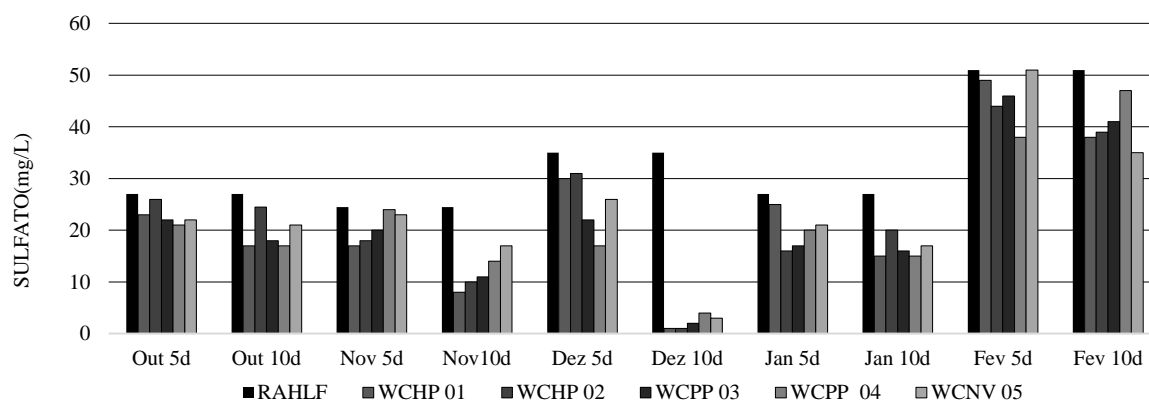


Figura 45: Concentrações de sulfato no sistema de tratamento

Fonte: Própria

Nas WCHP 01 e WCHP 02 houve remoção mediana de 14% e 14% aos cinco dias, e de 44% e 26% aos dez dias, respectivamente. Nas WCPP 03 e WCPP 04 houve remoção mediana de 19% e 25% aos cinco dias, e de 41% e 43% aos dez dias, respectivamente. Na WCNV 05 houve remoção mediana de 19% aos cinco dias, e de 31% aos dez dias (Figura 46).

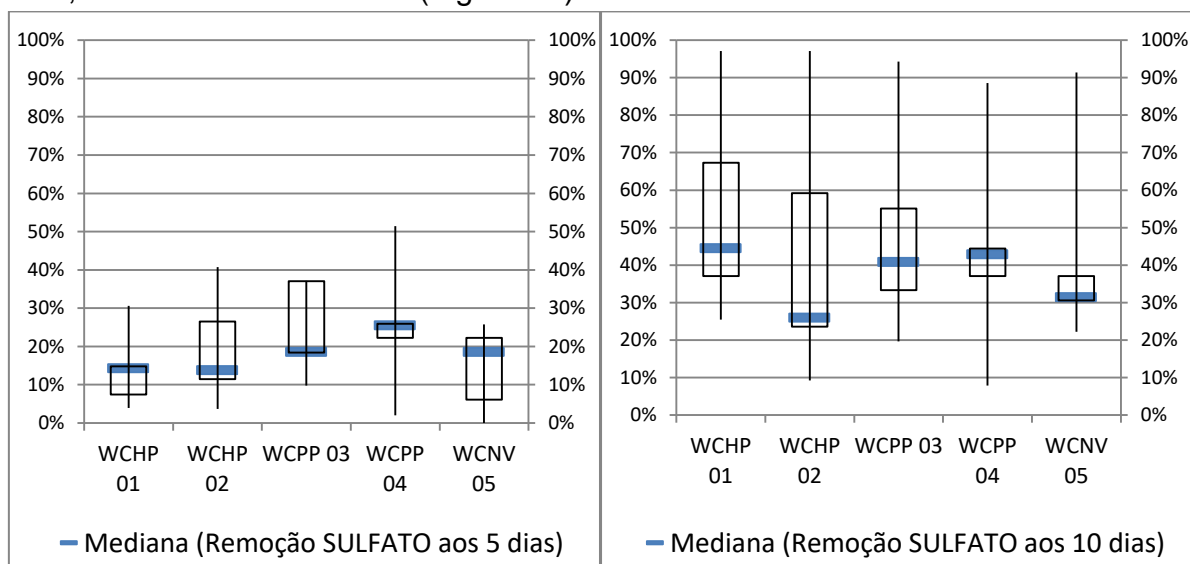


Figura 46: Percentuais medianos de remoção de sulfato no Experimento aos 5 e 10 dias

Fonte: Própria

5.2.12 FÓSFORO (P)

O fósforo é encontrado nos efluentes na forma orgânica (presente nas proteínas, lipídios e aminoácidos) e na forma inorgânica (ortofosfato e polisfosfatos) (SPERLING, 1996). Na Figura 47 estão plotados os valores das concentrações de P encontrados no experimento, demonstrando que houve remoção considerável durante o sistema de tratamento

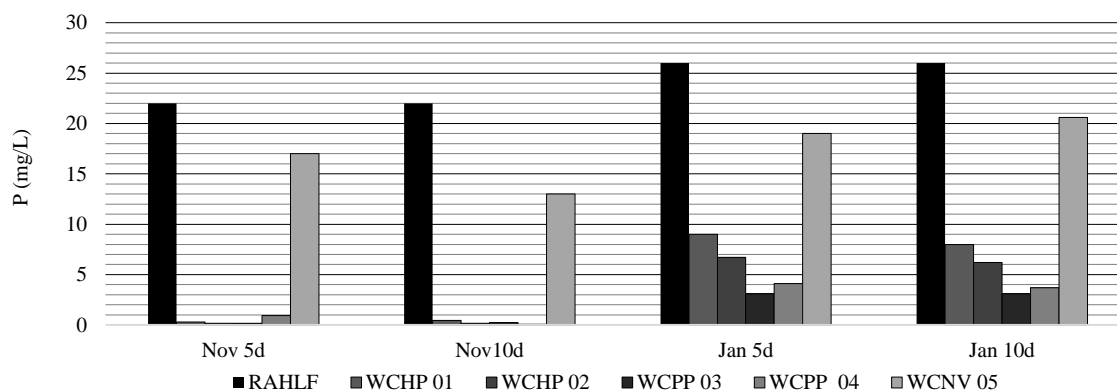


Figura 47: Concentrações de fósforo no sistema de tratamento
Fonte: Própria

Nas WCHP 01 e WCHP 02 houve remoção mediana de 82% e 87% aos cinco dias, e de 84% e 88% aos dez dias, respectivamente. Nas WCPP 03 e WCPP 04 houve remoção mediana de 94% e 90% aos cinco dias, e de 93% e 93% aos dez dias, respectivamente. Na WCNV 05 houve remoção mediana de 25% aos cinco dias, e de 31% aos dez dias (Figura 48). Abou-Elela et al, 2012 conseguiram remoção de 62% de Fósforo em águas residuárias de esgoto, com tempo de detenção de 7,7 dias e utilizando *Wetlands* vegetadas e com fluxo vertical.

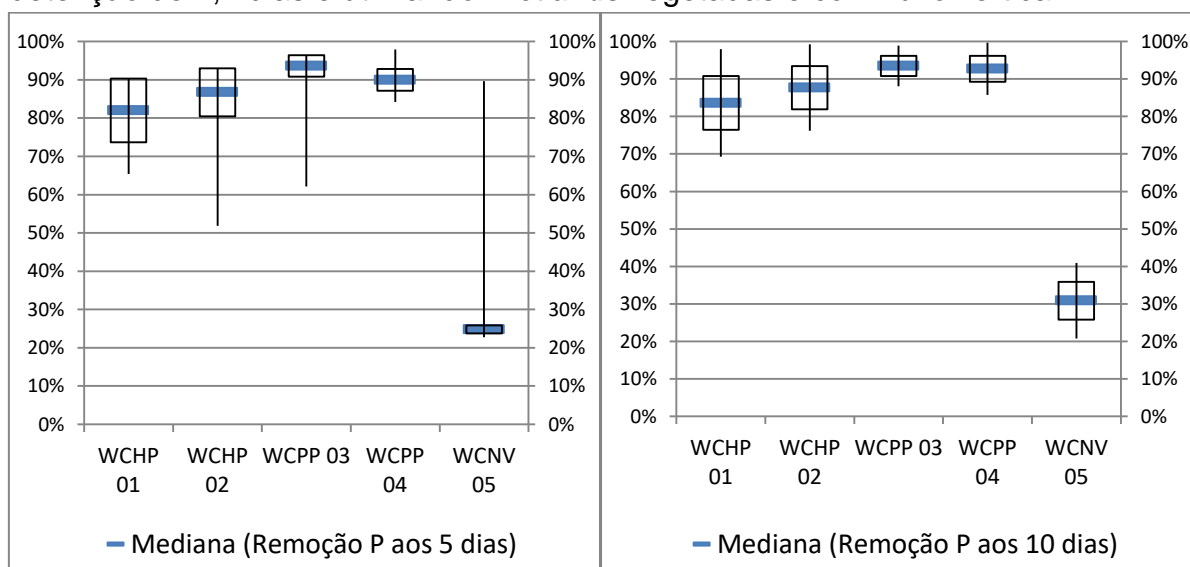


Figura 48: Percentuais medianos de remoção de P no Experimento aos 5 e 10 dias
Fonte: Própria

5.3 CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DAS MACRÓFITAS

A *Pontederia parviflora* pode chegar a 80 cm de altura, entretanto, neste experimento o desenvolvimento ficou bastante limitado, porque elas foram plantadas diretamente sobre a brita saturada com o efluente do RAHLF, diferindo de como é comumente encontrada em seu habitat natural, sobre solos finos saturados. E também porque em seu habitat natural em geral recebem insolação durante todo o dia. Neste experimento a insolação ocorreu somente no período vespertino, e durante a manhã o experimento ficava numa região sombreada.

Do mesmo modo, a *Heliconia Psittacorum* chega a medir entre 1,5 e 2,0 metros de altura quando se desenvolvem em solo fértil e máxima insolação. Neste experimento, elas foram plantadas diretamente sobre a brita, saturada com o efluente do RAHLF.

A Figura 49 demonstra o crescimento das duas espécies ao longo do experimento, indicando que houve crescimento contínuo durante todo o experimento.

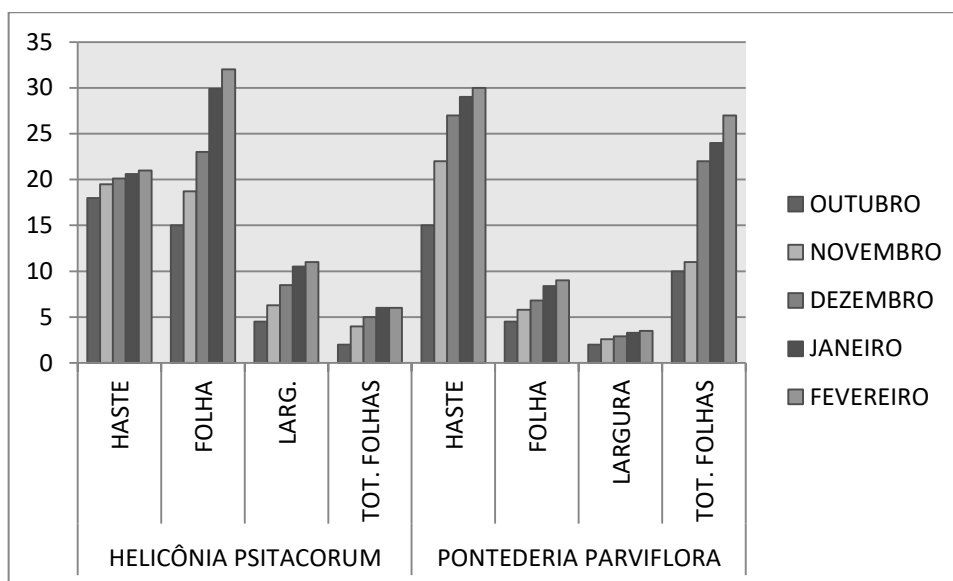


Figura 49: Demonstrativo do desenvolvimento das macrófitas durante o experimento
Fonte Própria

6. CONCLUSÕES

O experimento apresentou alta percentagem de remoção de matéria orgânica do efluente do RALHF, demonstrando uma ótima alternativa para tratamento de águas residuárias de suinocultura. Porém, a remoção da matéria orgânica DBO_5 e dos aspectos físicos (cor e turbidez) tratado pelo RAHLF, apresentou resultado superior aos limites estabelecidos nos parâmetros do CONAMA para corpos d'água doce classe 2.

Comparando os WC o melhor desempenho foi com o tempo de detenção hidráulica de dez dias, demonstrando uma melhor performance para as *Wetlands* vegetadas, com ligeira vantagem para as *Wetlands* vegetadas com a *Pontederia Parviflora*.

Nas remoções de Nitrito, Nitrato e Total de Nitrogênio também houve melhor desempenho com o tempo de detenção de dez dias, demonstrando um melhor desempenho para as *Wetlands* vegetadas, e também com melhores resultados para as *Wetlands* vegetadas com a *Pontederia Parviflora*.

Na remoção de Fósforo houve melhor eficiência com o tempo de detenção de dez dias, e enorme diferenciação entre as WC's com vegetação e a WC não vegetada, demonstrando que a vegetação é preponderante na remoção deste nutriente. Entre as *Wetlands* vegetadas também houve ligeira vantagem para as WCPPs.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abidi, S.; Kallali, H.; Jedidi, N.; Bouzaiane, O.; Hassen, A. - **Comparative pilot study of the performances of two constructed wetland wastewater treatment hybrid systems**. MEDA WATER International Conference on Sustainable Water Management, Tunis, March 21–24 2007. Elsevier. 2009. 49-50p

ABOU-ELELA, S. I.; HELLAL, M.S. **Municipal wastewater treatment using vertical flow constructed wetlands planted with Canna, Phragmites and Cyprus**. Ecological Engineering 47- Elsevier. 2012. 209-213p

ABPA – **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL**. Relatório Anual 2016. 2016. Disponível em: Acesso em: 01 dez. 2017.

ACRISMAT – **ASSOCIAÇÃO DOS CRIADORES DE SUÍNOS DE MATO GROSSO**. Disponível: <http://www.acrismat.com.br/novo_site/arquivos/07122010043244Rebanho%20Municipal.pdf>, 2018.

Amini, H., Wang, L., Shahbazi, A., 2016. **Effects of harvesting cell density, medium depth and environmental factors on biomass and lipid productivities of *Chlorella vulgaris* grown in swine wastewater**. Chem. Eng. Sci. 152, 403–412.

APHA – American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20.ed. Washington: AWWA/APHA/WEF, 1998. s.p.

ANSOLA, G., Fernández, C., Luis, E. de. **Removal of organic matter and nutrients from urban wastewater by using an experimental emergent aquatic macrophyte system** Ecological Engineering 5- Elsevier. 1995. 13-19p

BERRY, F. & KRESS, W.J. **Heliconia: an identification guide**. Honk Kong: Smithsonian Institution, 1991. 334p.

BITTON, G. **Wastewater Microbiology**. 3^a ed. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, 2005. 765p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de águas e diretrizes ambientais para o seu enquadramento**, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, BR, 2005. 23 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. CONAMA. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes**,

complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005,. Brasília, BR, 2005. 23 p.

BRIX, H. **Do Macrophytes Play a Role in Constructed Treatment Wetlands?** Water. Science and. Technology. Vol. 35. n5. p11-17.1997.

BRIX, H. **Treatment of Wastewater in the Rhizosphere of Wetland Plants –The Root-Zone Method.** Water. Science and. Technology. Vol. 19. p.107-118. 1987.

CALIJURI, M. L.; BASTOS, R. K. X.; MAGALHÃES, T.B.; CAPELETE, B. C.; DIAS, E. H. O. 2009. **Tratamento de esgotos sanitários em sistemas reatores UASB/Wetlands construídas de fluxo horizontal: eficiência e estabilidade de remoção de matéria orgânica, sólidos, nutrientes e coliformes.** Eng. Sanitária e Ambiental. v.14 n.3. jul/set. 421-430.

CANCIAN, Leonardo Farage. **Crescimento das macrófitas aquáticas flutuantes Pistia stratiotes e Salvinia molesta em diferentes condições de temperatura e fotoperíodo.** 2007. iii, 54 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Centro de Aquicultura, 2007.

CHANG, Jun J.; WU, Su. Q.; DAI, Yan R.; LIANG, Wei.; WU, Zhen. B. **Treatment performance of integrated vertical-flow constructed wetland plots for domestic wastewater.** Ecological Engineering, v.44, p. 152-159, 2012.

CHERNICHARO, C.A.L. (Coord.) **Pós-tratamento de reatores anaeróbios.** Belo Horizonte: ABES, 2001. Projeto Prosab.

COOPER, Paul; SMITH, Mark; MAYNARD, Henrietta. **The design and performance of a nitrifying vertical-flow reed bed treatment system.** Water Science and Technology, v. 35, n. 5, p. 215-221, 1996.

CUNHA, Caroline de A. G. da. **Análise da eficiência de um sistema combinado de alagados construídos na melhoria da qualidade das águas.**2006. 157 f. Dissertação (Ciências da Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2006.

CUSTODIO, S.; GUIMARÃES, D.; AMARAL, G.; MAIA, G.; LEMOS, M. ITO, M. 2017. **Agroindústria. Suinocultura: estrutura da cadeia produtiva, panorama do setor no Brasil e no mundo e o apoio do BNDES.** BNDES Setorial 45. p. 85-136.

DORNELAS, F. L. **Avaliação do desempenho de wetlands horizontais sub-superficiais como pós-tratamento de efluentes de reatores UASB.** 2008. 101f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.) - Escola de Engenharia da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

ELELA, A.S.I.; Mohamed S. Hellal, M.S.; - **Municipal wastewater treatment using vertical flow constructed wetlands planted with Canna, Phragmites and Cyprus** – Elsevier, Ecological Engineering 47 (2012) 209– 213p.

ESTEVEZ, Francisco de A. **Fundamentos de limnologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência/FINEP, 1998.

GARCIA GONÇALVES, R. y MAUCH PALMEIRA, E.: "**Suinocultura Brasileira**" en **Observatorio de la Economía Latinoamericana**, Número 71, 2006.

GUIMARÃES, Diego Duque et al. **Suinocultura: estrutura da cadeia produtiva, panorama do setor no Brasil e no mundo e o apoio do BNDES**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 45 , p.[85]-136, mar. 2017.

HAMMER, D. A. **Constructed Wetlands for Wastewaters Treatment: Municipal, industrial and agriculture**. Chelsea: Lewis, 350p 1989

HOSTE, R., **International comparison of pig production costs 2015; Results of InterPIG**. Wageningen, Wageningen Economic Research, Report 2017-048. 28 pp.; 13 fig.; 6 tab.; 6 ref. 2017.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário**, 2016.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Séries históricas**. [s.d.]. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/precos/inpc_ipca/defaultseriesHist.shtm>.

ITO, M.; Guimarães, D.; Amaral, G. **Impactos ambientais da suinocultura – desafios e oportunidades**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, BNDES, n. 44, p. 125-156, set. 2016. Disponível <<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/9974>>.

KADLEC, R. et al. **Constructed wetlands for pollution control. Processes, performance, design and operation**. London: IWA Publishing, 2000. Scientific and Technical Report Series, 8.

KADLEC, R.H. E KNIGHT, R.L. **Treatment Wetlands**. Boca Raton, Florida: Lewis Publishers. 1996, 893p.

KHATIWAD, N.R.; POLPRASERT, C. **Kinetics of fecal coliform removal in constructed wetlands**. **Water Science and Technology**, v. 40, n. 3, p. 109-115, 1999.

Kurniadie, D.- **Wastewater Treatment Using Vertical Subsurface Flow Constructed Wetland in Indonesia** American Journal of Environmental Sciences– 2011. 15-19p

LANTZKE, I. R.; HERITAGE A. D.; PISTILLO G.; MITCHELL, D. S. **Phosphorus removal rates in bucket size planted wetlands with a vertical hydraulic flow**. CSIRO Division of Water Resources, Griffith, NSW 2680, Australia.

LAUTENSCHLAGER, S. R., **Modelagem do desempenho de "wetlands" construídas**. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica. 2001.

LOBÃO, Vera L.; LUZIA, Liania A.; SAMPAIO, Geni R.; HORTENCIO, Elisabeth; SOUZA, Airton M. de. **Estudo comparativo entre quatro métodos de sistemas fechados de circulação em larvicultura de *Macrobrachium rosenbergii***. Boletim do Instituto de Pesca, v. 25, p. 101-109, 1998.

LÜDDEKE, F., HEß, S., GALLERT, C., WINTER, J., GÜDE, H., LÖFFLER, H., 2015. **Removal of total and antibiotic resistant bacteria in advanced wastewater treatment by ozonation in combination with different filtering techniques**. Water Res. 69, 243–251.

MARQUES, D. de M. **Terras úmidas construídas de fluxo subsuperficial**. In.: CAMPOS, J.R. Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e dispersão controlada no solo. Rio de Janeiro: ABES/PROSAB, 1999. 405p

MAZZOLA, Marcelo; ROSTON, Denis M.; VALENTIM, Marcelus A. A. **Uso de Leitões Cultivados de Fluxo Vertical por Bactéria no Pós-Tratamento de Efluente de Reator Anaeróbio Compartimentado**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campinas, v. 9, n. 2, p. 276-283, 2005.

MBWETTE, T.S.A; KATIMA, J.H.Y.; JØRGENSEN, S.E. (Eds.). **Application of wetland systems and waste stabilization ponds in water pollution control**. Dar es Salaam: Institute of Kiswahili Research, 2001.

METCALF & EDDY. INC. **Wastewater Engineering – Treatment, Disposal and Reuse**. 3^o ed. McGraw-Hill Book. 1991, 1334p.

MIELE, M. **Contratos, especialização, escala de produção e potencial poluidor na suinocultura de Santa Catarina**, Tese de Doutorado apresentada no Programa de Pós Graduação na UFRGS, 2006

MIELE, M.; Lopes, L.S.; Almeida, M. M. T. B.; Monticelli, C. J.; Waquil, P. D. **Tipologia de suinocultores nas regiões Sul e Centro-Oeste do Brasil**. In: 52^o CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 2014, Goiânia, GO. Anais..., 2014. p. 1-20.

MORARI, F.; GIARDINI, L. - **Municipal wastewater treatment with vertical flow constructed wetlands for irrigation reuse** - Dipartimento di Agronomia Ambientale e Produzioni Vegetali, Agripolis, Università di Padova, viale dell'Università 16, 35020,

Legnaro (Padova), Italy – Elsevier 2008 ecological engineering 3 5 (2 0 0 9) 643–653p.

OLIJNYK, D. P. **Avaliação da Nitrificação e Desnitrificação de Esgoto Doméstico Empregando Filtros Plantados com Macrófitas (Wetlands) de Fluxos Vertical e Horizontal – Sistemas Híbridos**. 2008. Dissertação (Doutorado em Engenharia Ambiental). UFSC, 2008. 113p.

OLIVEIRA, D. M. C.; COSTANZI, R. N. **Wetlands construídos para o tratamento de água cinza**. Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Belo Horizonte/MG. 2014.

OLIVEIRA, P. A. V., e Colaboradores. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: EMBRAPA/CNPSA, 1993, 188 p.

PLATZER, Christoph. **Design recommendation for subsurface flow constructed wetlands for nitrification and denitrification**. *Wat. Sci. Tech.*, v. 40, n. 3, p. 257-263, 1999.

PHILLIPI, L. S. SEZERINO, P. H. **Aplicação de Sistemas Tipo Wetlands no Tratamento de Águas Residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas**. Florianópolis: 2004, 144p.

POTT, Vali Joana. **Plantas Aquáticas do Pantanal/** por Vali Joana Pott; Arnildo Pott; Embrapa. Centro de Pesquisa Agropecuária do Pantanal (Corumbá,MS).- Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia,2000.

ROPPA, L. **Tendências da suinocultura mundial e as oportunidades brasileiras**. Anuário da Pecuária Brasileira, São Paulo, 2002 .

SALATTI, E; SALATTI, E Filho; SALATTI, E. **Utilização de Sistemas de Wetlands Construídas para o Tratamento de Águas**. Instituto Terramax - Consultoria e Projetos Ambientais LTDA. 2009.

SANTOS, F.F.S. **Desempenho de reatores anaeróbios horizontal de leito fixo (RAHLF) para tratamento das águas residuárias de suinocultura**. Dissertação de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos/UFMT, 2018.

SARMENTO, A.P.; Borges, A. C.; Matos, A. T. - **Evaluation of Vertical-Flow Constructed Wetlands for Swine Wastewater Treatment** - *Water Air Soil Pollut* (2012) 223:1065–1071p.

SCHIMITT, G. T.; MODOLO, R. C.E.; MORAES, C. A. M.; JOHANN, A. D. D.; NUNES, T. **Revista Tecnologia e Sociedade.**, Curitiba, v. 12, n. 26, p. 209-221, set./dez. 2016.

SEZERINO, P. H. **Potencialidade dos Filtros Plantados com Macrófitas (Constructed Wetlands) no Pós-Tratamento de Lagoas de Estabilização sob Condições de Clima Subtropical**. 2006. 171p. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental). UFSC, 2006.

SHUTES, R.B.E. **Artificial wetlands and water quality improvement**. Environment International 26 (2001) 441,447.

SOUSA, J.T.; HAANDEL, A.V.; LIMA, E.P.C.; HENRIQUE, I.N. **Utilização de wetland construído no pós-tratamento de esgotos domésticos pré-tratados em reator UASB**. Eng. Sanit. Ambient. v.9 n.4 Rio de Janeiro out./dez. 2004

SPEECE, R. E. **Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters**. Tennessee: Vanderbilt University, 1996. 394 p.

STOTT, R.; MAY, E.; MARA, D.D. **Parasite removal by natural wastewater treatment**. *Water Science and Technology*, v. 48, n. 2, p. 97-104, 2003.

STOTTMEISTER, U.; WIESSNER, A.; KUSCHK, P. **Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment**. BIOTECHNOLOGY ADVANCES 2003 , Volume 22 , Number 1-2; Page(s) 93 To 117.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. Redwood City: The Benjamin/Cummings Publishing Company, 1991. p.249-264.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, USEPA. **Manual: Constructed wetlands treatment of municipal wastewater**. Cincinnati, Ohio: Usepa, Office of Research and Development, 2000. (EPA/625/R-99/010). Disponível em: http://www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/Design_Manual2000.pdf.

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Livestock and Poultry: World Markets and Trade**. Foreign Agricultural Service, 12 out. 2016. Disponível em: <<http://www.fas.usda.gov/data/livestock-andpoultry-world-markets-and-trade>>. Acesso em: 4 nov. 2016.

U.S.FWS – **U.S. Fish and Wildlife Service**, REGION 5. UUnique Wildlife Ecosystem Concept Pla-state of West Virginia. U.S. Department of the Interior. Newton Corner MA, June 1979.

USEPA-UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Manual Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters**. Cincinnati, Ohio.1999. 166p.

VALENTIN, M. A. A. **Desempenho dos leitos cultivados (constructed Wetlands) para tratamento de esgoto: Contribuições para concepção e operação**.2003.

Tese doutorado – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. **Anaerobic sewage treatment: a practical guide for regions with a hot climate**. Chichester: John Wiley & Sons, 1994, 226 p.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos: princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, vol. 1. 3a ed, 2005. 242p.

WELSCH, D. J.; SMART, D. L. ;BOYER, J. N. ; MINKIN, P. ; SMITH, H. C.; MCCANDLESS, T. L. **Forested Wetlands Functions, Benefits, and the use of best managem and Practies**, Radnor, 1995, 63p.

ZHAO,Y.J.; LIU, B.; ZHANG, W. G.;OUYANG, Y.; QING, S. **Performance of pilot-scale vertical-flow constructed wetlands in responding to variation in influent C/N ratios of simulated urban sewage**. Elsevier, Bioresource Technology, 2010