

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

RAABY BATISTA DO NASCIMENTO

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TEMPORAL DA EFICIÊNCIA DE SISTEMAS  
WETLAND TRATANDO ESGOTOS SANITÁRIOS**

JOÃO PESSOA

2018

**RAABY BATISTA DO NASCIMENTO**

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TEMPORAL DA EFICIÊNCIA DE SISTEMAS  
WETLAND TRATANDO ESGOTOS SANITÁRIOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba – UFPB, como pré-requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Gilson Barbosa Athayde Júnior.

**JOÃO PESSOA**

**2018**

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

N244a Nascimento, Raaby Batista do.

Análise do comportamento temporal da eficiência de sistemas wetland tratando esgotos sanitários / Raaby Batista do Nascimento. - João Pessoa, 2018.  
44f.

Orientação: Gilson Barbosa Athayde Junior.  
Monografia (Graduação) - UFPB/CT.

1. Wetlands. 2. Tratamento de esgoto. 3. Comportamento temporal. 4. Eficiência. I. Junior, Gilson Barbosa Athayde. II. Título.

UFPB/BC

## FOLHA DE APROVAÇÃO

RAABY BATISTA DO NASCIMENTO

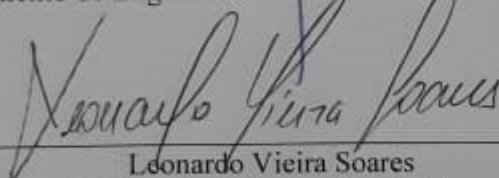
### ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TEMPORAL DA EFICIÊNCIA DE SISTEMAS WETLAND TRATANDO ESGOTOS SANITÁRIOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado em 25/10/2018 perante a seguinte Comissão Julgadora:



Gilson Barbosa Athayde Júnior  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



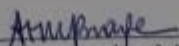
Leonardo Vieira Soares  
Universidade Federal da Paraíba

APROVADO



Renio Félix de Sena  
Universidade Federal da Paraíba

APROVADO



Prof.<sup>a</sup> Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga  
Matricula Siape: 1668619  
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por estar comigo todos os dias de minha vida, por cada dia em que me apoiou nos meus estudos, em toda a minha caminhada pela UFPB e por tudo que Ele ainda fará em por mim.

Agradeço aos meus pais, Denieires e Batista, por todo o apoio durante o curso, a meu irmão, pelas palavras positivas nos meus piores dias. Agradeço a eles por serem minha família, pelo incentivo dado em todos os momentos.

Agradeço aos amigos que fiz durante todo o curso, por estarem sempre dispostos a ajudar um aos outros. Eles foram muito importantes no decorrer do curso, por toda a alegria e carinho compartilhados.

Agradeço ao meu orientador, professor Gilson Barbosa por contribuir na elaboração desse trabalho.

Aos professores Leonardo Vieira e Rennio Félix, por aceitarem o convite para participar da banca examinadora.

Agradeço ao projeto BRAMAR, pelo fornecimento dos dados para a realização do trabalho.

Agradeço ao Laboratório de Tecnologia Química da UFPB (LTQ), pelo apoio as análises laboratoriais.

Obrigada a todos!

*“Deem graça ao Senhor, porque Ele é bom. O seu amor dura para sempre”.*  
*Salmos,136:1.*

## RESUMO

A carência de tratamento e coleta de esgoto é um dos fatores que afetam o índice de desenvolvimento humano no Brasil. Sabe-se que aproximadamente 51,92% da população tem acesso à coleta de esgoto, sendo 44,92% esgotos tratados (SNIS, 2018). Portanto, são relevantes estudos de tecnologias que apresentem viabilidade técnica e econômica para tratar esgotos, como os relacionados a sistema de wetlands construídas. Os dados deste estudo foram obtidos de um sistema de fluxo vertical, constituído de 3 células, cultivadas com plantas do tipo junciforme, instalado na Estação de Tratamento de Esgoto de Mangabeira, da Companhia de Água e Esgoto da Paraíba (CAGEPA). Este trabalho teve como objetivo analisar o comportamento temporal da eficiência das wetlands no tratamento de esgotos sanitários, quanto aos parâmetros: DQO, DBO5 e Nitrogênio Amoniacal. Ao fim do estudo, foi observado que não houve uma tendência temporal nos valores de eficiências de remoção no efluente final do sistema quanto aos parâmetros analisados.

Palavras-chave: wetlands; tratamento de esgoto; comportamento temporal; eficiência.

## **ABSTRACT**

The lack of treatment and collection of sewage is one of the factors that affect the human development index in Brazil. It is known that approximately 51.92% of the population has access to sewage collection, with 44.92% treated sewage (SNIS, 2018). Therefore, studies of technologies that present technical and economic viability to treat sewage, such as those related to built wetlands system, are relevant. The data of this study were obtained from a vertical flow system, consisting of 3 cells, grown with the junciform type plants, installed at the Mangabeira Sewage Treatment Station of the Companhia de Água e Esgoto da Paraíba (CAGEPA). The objective of this work was to analyze the temporal behavior of the wetlands efficiency in the treatment of sanitary sewage, regarding the parameters: COD, BOD5 and Ammonia Nitrogen. At the end of the study, it was observed that there was nono temporal trend in the value of removal efficiencies in the final effluent of the system regarding the parameters analyzed.

**Keywords:** wetlands; sewage treatment; temporal behavior; efficiency.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Perfil esquemático de uma wentland natural. ....	17
Figura 2: Exemplo de perfil esquemático de um wetland construído. ....	18
Figura 3: Perfil esquemático de sistema de fluxo horizontal.....	21
Figura 4: Perfil esquemático de sistema de fluxo vertical.....	21
Figura 5: Materiais Filtrantes ( 1. Pelotas fragmentadas de argila expandida; 2. RCC de natureza concretícia; 3. RCC de natureza cerâmica) .....	28
Figura 6: Esquema de construção do sistema de Wetlands na ETE de Mangabeira. ....	29
Figura 7: Células do sistema de wetlands trabalhando fase 01 (7-14 dias).....	29
Figura 8: Células do sistema de wetlands trabalhando fase 02 (3, 5-7 dias).....	30
Figura 9: Comportamento da eficiência de remoção durante o período em estudo. ....	32
Figura 10: Valores do efluente final durante o período em estudo. ....	33
Figura 11: Comportamento da eficiência de remoção durante o período em estudo. ....	34
Figura 12: Valores do efluente final durante o período em estudo. ....	35
Figura 13: Comportamento da eficiência de remoção durante o período em estudo. ....	37
Figura 14: Valores do efluente final durante o período em estudo. ....	38

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Papel das macrófitas nas wetlands construídas. ....	23
Tabela 2: Mecanismos predominante na remoção de poluentes nas wetlands construídas.....	25
Tabela 3: Datas das coletas realizadas no período em estudo. ....	30
Tabela 4: Análise estatística dos indicadores das amostras – Parâmetro DQO.....	31
Tabela 5: Eficiências de remoção – Parâmetro DQO.....	31
Tabela 6: Análise estatística dos indicadores das amostras – Parâmetro DBO5.....	33
Tabela 7: Eficiências de remoção – Parâmetro DBO5.....	34
Tabela 8: Análise estatística dos indicadores das amostras – Parâmetro Nitrogênio Amoniacal. .....	36
Tabela 9: Eficiências de remoção – Parâmetro Nitrogênio Amoniacal.....	36

## LISTA DE SIGLAS

SNIS	Sistema Nacional De Informações Sobre Saneamento
RCC	Resíduo da Construção Civil
WC	Wetland Construídas
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DBO5	Demanda Bioquímica de Oxigênio em 5 dias, a 20°C
DQO	Demanda Química de Oxigênio
UFPB	Universidade Federal Da Paraíba
CAGEPA	Companhia de Água e Esgotos da Paraíba
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	13
2	OBJETIVOS.....	15
2.1	OBJETIVO GERAL .....	15
2.2	OBJETIVO ESPECÍFICO .....	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
3.1	HISTÓRICO .....	16
3.2	CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS TIPO WETLANDS.....	17
3.2.1	WETLANDS NATURAIS .....	17
3.2.2	WETLANDS CONSTRUÍDAS .....	18
3.2.3	CLASSIFICAÇÃO DAS WETLANDS CONSTRUÍDAS.....	19
3.3	ELEMENTOS ATUANTES NAS WETLANDS.....	22
3.3.1	MACRÓFITAS .....	22
3.3.2	MATERIAL FILTRANTE.....	23
3.3.3	MICRORGANISMOS .....	24
3.4	MECANISMOS DE DEPURAÇÃO DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS NAS WETLANDS CONSTRUÍDAS .....	24
3.4.1	DEPURAÇÃO DA MATÉRIA CARBONÁCEA (DBO E DQO).....	25
3.4.2	TRANSFORMÇÃO E REMOÇÃO DA SÉRIE NITROGENADA.....	26
4	METODOLOGIA .....	27
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO MANGABEIRA .....	27
4.2	CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE WETLANDS CONSTRUÍDAS.....	27
4.3	AMOSTRAGEM.....	30
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	31
5.1	DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO.....	31
5.2	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO.....	33

5.3	NITROGÊNIO AMONIACAL .....	36
6	CONCLUSÕES.....	39
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	40
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	41

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo dados fornecidos pelo Sistema Nacional de Informações sobre saneamento (SNIS), o índice total de tratamento dos esgotos gerados no Brasil é de 44,9% e o índice total de tratamento dos esgotos coletados é de 74,9%. O volume de esgotos tratado saltou de 3,81 bilhões de m<sup>3</sup> em 2015 para 4,06 bilhões de m<sup>3</sup> em 2016, correspondendo a um incremento de 6,6% (BRASIL, 2018). O crescimento é notório, entretanto a carência de abastecimento de água e tratamento e coleta de esgoto ainda são um dos fatores que deixam o Brasil em atraso no índice de desenvolvimento humano (SARTORI,2016).

Apesar de o saneamento básico ser essencial para promoção da qualidade de vida, é ainda um grande problema no país, pois apesar de ser um direito assegurado pela Constituição e definido por lei, os dados comprovam que o país ainda tem um longo caminho para ter uma boa qualidade na saúde pública.

Assim, a coleta e tratamento dos esgotos devem ser tratados como prioridade, a fim de evitar danos a população e ao ambiente. E para definir o processo de tratamento que será utilizado, é necessário considerar aspectos como eficiência, confiabilidade, área de implantação, impactos ambientais e custos de operação e implantação (SPERLING, 2014).

Fica evidente a importância do tratamento dos esgotos no país, tornando relevantes estudos de tecnologias que apresentem viabilidade técnica e econômica. Diante desse cenário existem alternativas ambientalmente sustentáveis, apontadas na literatura, que são empregadas como alternativa aos sistemas convencionais de tratamento de esgotos. Destaca-se como sendo uma dessas alternativas a utilização de sistemas de wetlands construídas, que também podem ser chamados de filtros plantados com macrófitas.

Os filtros plantados com macrófitas destacam-se como uma tecnologia que apresenta baixo custo de implantação, operação e manutenção, possuindo ainda as vantagens de possibilidade de reúso e de aproveitamento de biomassa. No Brasil, as vantagens se estendem às favoráveis condições climáticas e disponibilidade de área territorial na maioria das regiões (OLIJNYK, 2008).

O presente trabalho apresenta uma revisão bibliográfica sobre o tema, destacando o funcionamento das wetlands, os elementos atuantes e as formas de remoção de poluentes nestes

sistemas. O sistema de wetlands construídas em estudo foi instalado na Estação de Tratamento de Esgoto de Mangabeira, da Companhia de Água e Esgoto da Paraíba (CAGEPA), através do Projeto de pesquisa BRAMAR. O sistema foi constituído de 3 células, cultivadas com as plantas do tipo junciforme, popularmente conhecida como junco. Os resultados a serem apresentados e discutidos, tem como objetivo analisar o comportamento temporal da eficiência das wetlands tratando esgotos sanitários.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Este trabalho tem como objetivo verificar o comportamento temporal da eficiência de sistemas tipo wetlands no tratamento de esgotos sanitários. Os parâmetros escolhidos para realizar as análises estatísticas foram: DQO, DBO<sub>5</sub> e Nitrogênio Amoniacal.

### **2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO**

Analisar estatisticamente os dados de remoção das wetlands no período de operação em estudo.



### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 HISTÓRICO

O termo “wetland” é utilizado para caracterizar vários ecossistemas naturais que ficam parcial ou totalmente alagados (SALATI, 2003).

Estas áreas alagadas são ecossistemas produtivos, capazes de transformar poluentes presentes em águas residuárias, em produtos inofensivos ou em nutrientes para a comunidade biológica local (KADLEC e KNIGHT, 1996 apud MELLO, 2016).

As wetlands podem ser naturais ou construídas para o controle da poluição das águas e estão se tornando uma tecnologia global. Levantamentos realizados, indicaram a existência de mais de 6.000 wetlands construídas para tratamento de resíduos domésticos na Europa, enquanto que na América do Norte já eram mais de 1.000 wetlands controlando a poluição de resíduos industriais e domésticos. Por outro lado, no Brasil, África, Ásia e Austrália o número de wetlands construídas para o tratamento de resíduos tem aumentado rapidamente (KNIGHT & KADLEC, 2000 apud TAVARES, 2013).

A tecnologia de construção de wetlands teve início a partir do movimento ambientalista da década de 70, e teve como objetivo primordial a produção de habitats e desenvolvimento de técnicas naturais e baratas para o controle da qualidade da água (KADLEC & KNIGHT, 1996 apud TAVARES, 2013).

Segundo Philippi e Sezerino (2004), em 1973 foi construído o primeiro sistema experimental americano de tratamento por wetlands. Tal sistema utilizava a combinação deste, com lagoas de estabilização e terras alagadas. Recentemente, a utilização das áreas úmidas apresenta um aspecto de recomposição de habitats de vida selvagem e se inscreve numa perspectiva de proteção desses ecossistemas.

No Brasil, as experiências com a utilização de sistemas de wetlands na melhoria da qualidade das águas e no controle da poluição ocorreram no início dos anos 80 (SALATI, 2009).

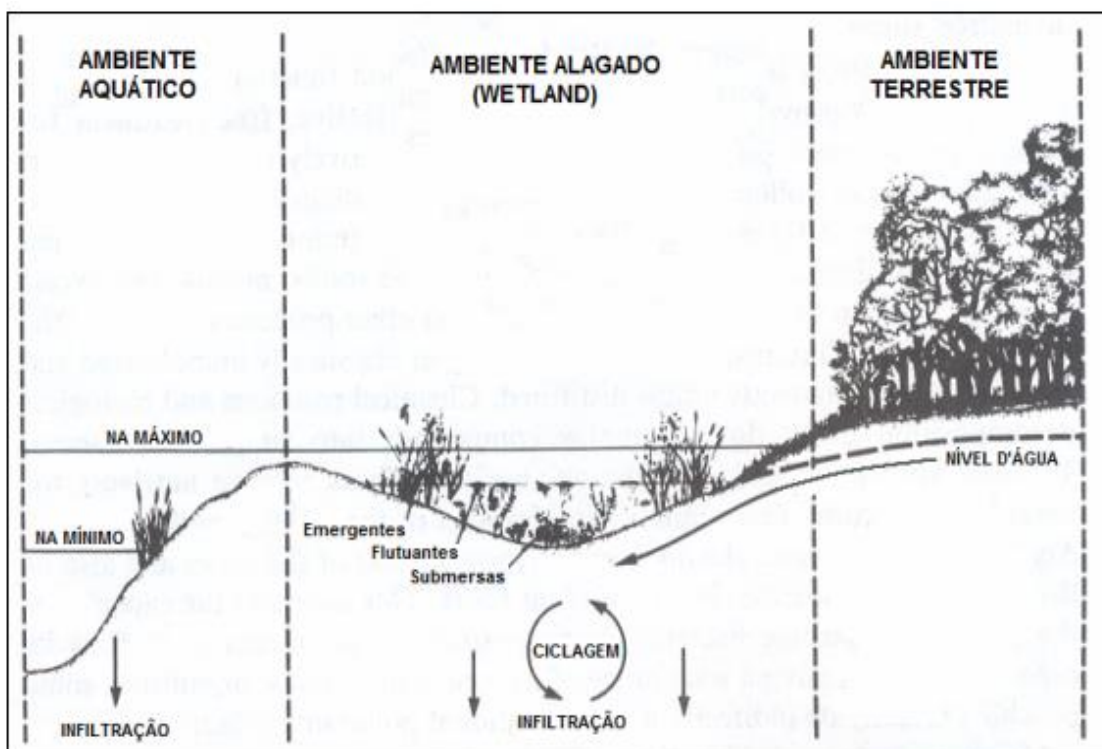
## 3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS TIPO WETLANDS

### 3.2.1 WETLANDS NATURAIS

Wetlands são áreas de transição entre ambientes terrestres e aquáticos. São áreas inundáveis onde inúmeros agentes (animais, plantas, solo, etc.) recebem, detêm e reciclam nutrientes continuamente. Estes nutrientes sustentam uma grande variedade de vegetação, que convertem matéria inorgânica em matéria orgânica, a qual é requerida, direta ou indiretamente, como alimento para animais, incluindo o homem (HAMMER, 1989).

Nessas áreas caracterizadas por ambientes úmidos e com macrófitas aquáticas em sua extensão, ocorre depuração biológica, que degrada a matéria orgânica, reciclando os nutrientes e dessa forma, melhorando a qualidade da água (PHILIPPI e SEZERINO, 2004; ANJOS, 2003, apud POÇAS, 2015). Na Figura 1 é apresentado um perfil esquemático de uma wetland natural.

**Figura 1: Perfil esquemático de uma wetland natural.**



Fonte: adaptado de HAMMER (1989).

De acordo com Valentim (2003), quando a água, o solo, as plantas, os microrganismos e a atmosfera interagem, promovem processos físicos, químicos e biológicos que culminam no tratamento da água residuária.

As wetlands naturais são sistemas que também auxiliam na redução das inundações e protegem as margens de lagos e áreas que sofrem ações erosivas e enchentes, além de promover o melhoramento da qualidade da água (WELSCH et al, 1995, apud MELLO, 2016).

Esses sistemas são considerados indispensáveis na manutenção da biodiversidade do planeta, pois são ecossistemas naturais responsáveis pela reciclagem do nitrogênio, fósforo, carbono e alguns metais relacionados (PIO; ANTONY e SANTANA, 2013, apud MELLO, 2016).

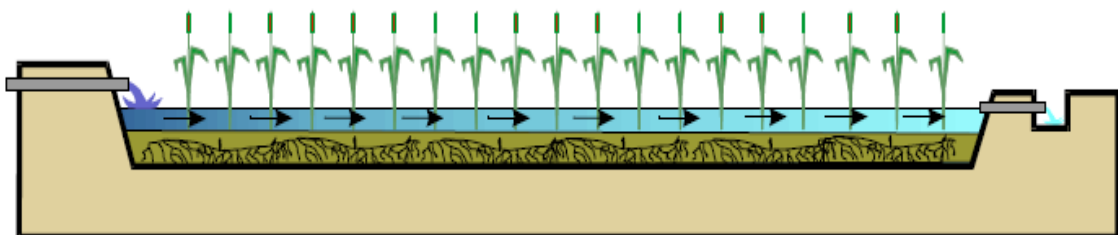
Segundo TAVARES (2013), algumas wetlands estão entre os maiores sistemas naturais produtivos da terra e são de vital importância para a conservação da biodiversidade do planeta, entre os quais podem-se destacar no Brasil os manguezais (que ocupam grande faixa do litoral brasileiro), os igarapés da Amazônia e o pantanal Mato-grossense.

### 3.2.2 WETLANDS CONSTRUÍDAS

O termo “wetlands construídas” (WC) refere-se ao sistema de tratamento baseado nas áreas alagadas naturais, artificialmente projetado para utilizar plantas aquáticas (macrófitas) em substratos como areia, cascalhos, brita ou outro material inerte, onde ocorre proliferação de biofilmes que agregam populações variadas de microrganismos os quais, por meio de processos biológicos, químicos e físicos tratam efluentes (SOUSA et al., 2003 apud SILVA, 2012).

Sendo assim, esses sistemas têm como finalidade simular condições ideais de tratamento dos wetlands naturais, com a vantagem de oferecer flexibilidade quanto à escolha do local de implantação, definição das variáveis hidráulicas e mais facilmente no manejo da vegetação, objetivando obter maior eficiência de remoção de matéria orgânica e nutrientes (KADLEC e KNIGHT, 1996, apud SANTIAGO, 2005). Na Figura 2 é apresentada um perfil esquemático de um wetland construído, composto com macrófitas emergentes e fluxo superficial.

**Figura 2: Exemplo de perfil esquemático de um wetland construído.**



Fonte: SALATI (2003).

Segundo Silva (2007), as WC utilizam o princípio de solo úmido cultivado, onde o solo e a zona de raízes das plantas são responsáveis pela despoluição das águas residuárias e podem desempenhar algumas funções semelhantes ao tratamento convencional dos esgotos domésticos, por meio de processos físicos, químicos e biológicos.

A distinção básica entre os sistemas construídos e os sistemas naturais está no grau de controle dos processos naturais. Por exemplo, as WC operam com vazão afluyente controlada e relativamente estável, pois se trata de um sistema de tratamento, em contraste com a grande variabilidade da vazão encontrada nos ambientes naturais. Como resultado, os organismos que vivem nas WC são mais susceptíveis às variações de vazão, da concentração de Sólidos Suspensos Totais (SST), da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e de outros poluentes que por vezes apresentam valores superiores aos encontrados nas condições naturais (USEPA, 1999).

### **3.2.3 CLASSIFICAÇÃO DAS WETLANDS CONSTRUÍDAS**

De acordo com Philippi e Sezerino (2004) as wetlands construídas são classificadas em dois grandes grupos, quais são: sistemas de escoamento superficial (lâmina livre) e sistemas de escoamento subsuperficial, sendo este último dividido em função da direção do líquido, em horizontal, vertical e híbrido.

#### **a) Wetlands de escoamento superficial (lâmina livre)**

Nas wetlands de fluxo superficial, o efluente flui acima da superfície do meio filtrante, por entre os caules e as folhas da vegetação (MANNARINO, 2003 apud ORMONDE, 2012).

Portanto, wetlands construídas com lâmina livre ou escoamento superficial consistem de um reservatório construído no solo que servirá de suporte para desenvolvimento das raízes das macrófitas, possuindo uma estrutura de controle de nível da água / efluente (PHILIPPI e SEZERINO, 2004).

São utilizados para solos com baixa permeabilidade (solos argilosos) e terrenos com declividade reduzida. A quantidade de matéria orgânica e de sólidos suspensos removida é

muito elevada, devido à alta eficiência hidráulica (baixa velocidade de fluxo e alto tempo de residência hidráulico) e boas condições de sedimentação (RAN et al., 2004 apud SILVA, 2007).

Philippi e Sezerino (2004) subdividem os sistemas de escoamento superficial de acordo com a predominância de macrófitas, são eles:

- Sistemas de escoamento superficial com macrófitas emergentes;
- Sistemas de escoamento superficial com macrófitas flutuantes;
- Sistemas de escoamento superficial com macrófitas de folhas flutuantes e solo enraizado;
- Sistemas de escoamento superficial com substrato flutuante;
- Sistemas de escoamento superficial com macrófitas submersas.

#### **b) Wentlands de escoamento subsuperficial**

Os sistemas de escoamento subsuperficial são conhecidos como filtros plantados com macrófitas que dispõem de um material de recheio (usualmente empregado brita, areia ou cascalho) onde o efluente a ser tratado é disposto. O efluente irá percolar pelo material de recheio, também conhecido como material filtrante, onde as macrófitas empregadas, do tipo emergente, são plantadas diretamente (PHILIPPI e SEZERINO, 2004).

É denominado subsuperficial pelo fato da coluna de água ou do efluente não aparecer na superfície do sistema, ou seja, estar abaixo da primeira camada dos materiais filtrantes (PIO; ANTONY; SANTANA, 2013 apud MELLO, 2016).

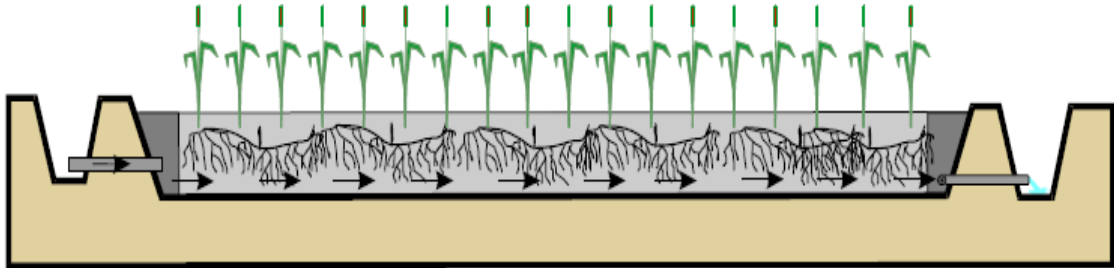
Nos sistemas subsuperficial, os processos de depuração da matéria orgânica e transformação da série nitrogenada, bem como a retenção do fósforo, são físicos (filtração e sedimentação); químicos (adsorção, complexação e troca iônica) e biológicos (degradação microbiana aeróbia e anaeróbia, predação e retirada de nutrientes pelas macrófitas), ocorrendo tanto no material filtrante como na rizosfera.

Esses filtros são classificados quanto à indução de fluxo hidráulico, podendo ser de fluxo horizontal, vertical ou híbridos (PHILIPPI e SEZERINO, 2004).

Nos sistemas de fluxo horizontal, o efluente a ser tratado é disposto na zona de entrada e percola através dos poros do material filtrante, em um caminho mais ou menos horizontal até alcançar a zona de saída. Durante este percurso, o esgoto entra em contato com zonas aeróbias, anóxicas e anaeróbias (Figura 3). As zonas aeróbias ocorrem perto das raízes e rizomas. Durante

a passagem do efluente pela rizosfera, ocorre a degradação do mesmo pela ação dos microrganismos e pelos processos físicos e químicos (BRIX, 1987; COOPER et al., 1996 apud OLIJNYK, 2008).

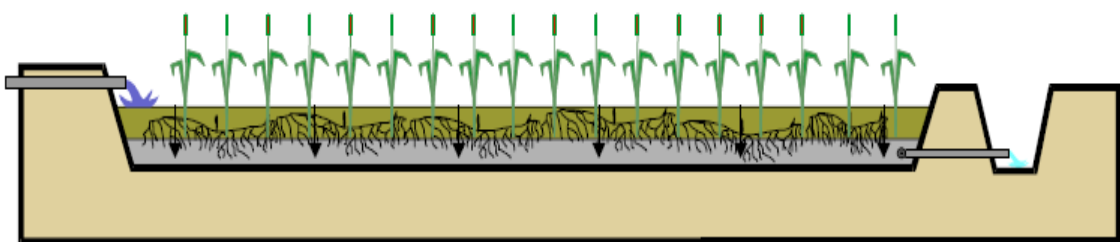
**Figura 3: Perfil esquemático de sistema de fluxo horizontal.**



Fonte: SALATI (2003).

Os sistemas de fluxo vertical são de superfície plana, preenchidos com materiais inertes (comumente areia e brita), no qual os efluentes são lançados sobre toda a superfície e posteriormente são drenados gradual e verticalmente pelo meio filtrante até atingirem a parte inferior onde são coletados (Figura 4). Neste sistema, prevalece a entrada de ar, carregado através do efluente, e conseqüentemente maior presença de zonas aeróbias (PHILIPPI e SEZERINO, 2004; apud OLIJNYK, 2008).

**Figura 4: Perfil esquemático de sistema de fluxo vertical.**



Fonte: SALATI (2003).

Os sistemas que utilizam essa metodologia apresentam bons indicativos de remoção de sólidos suspensos, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Amônia e Fósforo. (HILL & SAWHNEY.,1981 apud SALATI et al, 2009).

Os sistemas híbridos ou combinados correspondem à associação dos sistemas vertical e horizontal, ou seja, um sistema horizontal seguido de um sistema vertical ou vice-versa, para buscar melhorias da eficiência do processo (PHILIPPI e SEZERINO, 2004).

### 3.3 ELEMENTOS ATUANTES NAS WETLANDS

#### 3.3.1 MACRÓFITAS

As plantas cultivadas no sistema de wetlands construídas são chamadas macrófitas aquáticas, hidrófitas, hidrófitas vasculares ou plantas aquáticas. As macrófitas são plantas que crescem em ambientes de transição entre sistemas aquáticos e terrestres e produzem quantidades expressivas de matéria seca, com elevado teor de nutrientes (GUNTENSPERGEN et al, 1988 apud POÇAS, 2015)

As macrófitas são geralmente classificadas nos seguintes grupos (ESTEVES, 1998 apud MELLO, 2016):

- a) macrófitas aquáticas emersas ou emergentes: enraizadas, porém com folhas fora da água. Ex: Eleocharis, Typha, Juncus spp;
- b) macrófitas aquáticas com folhas flutuantes: enraizadas e com folhas que flutuam na superfície da água. Ex: Nymphaea, Nymphoides;
- c) macrófitas aquáticas submersas enraizadas: enraizadas, que crescem totalmente submersas na água. Ex: Egeria, Mayaca;
- d) macrófitas aquáticas submersas livres: permanecem flutuando submergidas na água. Geralmente prendem-se aos pecíolos, talos e caules de outras macrófitas. Ex: Utricularia;
- e) macrófitas aquáticas flutuantes: flutuam na superfície da água. Ex: Lemna, Azolla.

Segundo IWA (2000, apud OLIJNYK, 2008), a escolha da macrófita está relacionada à tolerância da planta quanto a ambientes saturados de água (ou esgoto), seu potencial de crescimento, à presença destas plantas nas áreas onde o sistema será implantado, pois assim as macrófitas estarão adaptadas às condições climáticas da área em questão, bem como o custo para o plantio e manutenção

Com a intensificação dos estudos e as aplicações de sistemas wetlands, muitas foram as ações atribuídas as macrófitas, a Tabela 1 destaca-as resumidamente (BRIX, 1997).

**Tabela 1: Papel das macrófitas nas wetlands construídas.**

Propriedade das macrófitas	Ação de auxílio no tratamento de esgotos
Parte aérea (tecidos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Atenuação da luminosidade = redução do crescimento de fitoplâncton;</li> <li>- Redução da velocidade do vento = redução da resuspensão de material sólido (verificado em <i>wetlands</i> de escoamento superficial);</li> <li>- Potencial estético – embelezamento paisagístico</li> <li>- Armazenamento de nutrientes;</li> </ul>
Tecidos da planta em contato com a água (esgoto)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Promoção da filtração;</li> <li>- Redução da velocidade de escoamento = aumento da taxa de sedimentação e evita a resuspensão de sólidos;</li> <li>- Dispõem grande área para aderência de microrganismos;</li> <li>- Liberação de oxigênio devido a fotossíntese = aumento na taxa de degradação aeróbia da matéria orgânica;</li> <li>- Retirada de nutrientes;</li> </ul>
Raízes e rizomas em contato com o solo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prevenção contra erosão;</li> <li>- Prevenção contra a colmatação em unidades de fluxo vertical;</li> <li>- Liberação de oxigênio = auxílio na degradação aeróbia da matéria orgânica e na nitrificação;</li> <li>- Retirada de nutrientes.</li> </ul>

Fonte: Adaptado de BRIX (1997).

O monitoramento das macrófitas deve ser realizado periodicamente, assegurando a estabilidade do tratamento e averiguando o crescimento e adaptação das plantas (ORMONDE, 2012).

### 3.3.2 MATERIAL FILTRANTE

O material que servirá de enchimento nos sistemas construídos de fluxo subsuperficial, deverão ter suas características físicas e químicas conhecidas, pois o meio filtrante possui um papel importante nos processos de depuração da matéria orgânica contida nas águas residuárias (ORMONDE, 2012).

No âmbito químico do material filtrante, este deve ser capaz de promover adsorção de compostos inorgânicos presentes nas águas residuárias, tais como amônia (NH<sub>4</sub>) e ortofosfato (PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>) (PHILIPPI e SEZERINO, 2004).



No âmbito físico do material filtrante, este deve ser capaz de manter ao longo do tempo boas condições de fluxo (condutividade hidráulica). O regime hidráulico (permeabilidade ou fluxo) é expresso através das propriedades das partículas sólidas do material filtrante (PHILIPPI e SEZERINO, 2003).

### **3.3.3 MICRORGANISMOS**

Os filtros plantados com macrófitas são extremamente heterogêneos quando comparados a outros sistemas biológicos de tratamento, pois contêm uma ampla variedade de micro habitats para crescimento microbiano (DECAMP et al., 1999 apud OLIJNYK, 2008).

Segundo Poças (2015), dos diversos grupos de microrganismos que habitam os filtros plantados, as bactérias são as mais representativas, responsáveis pelos processos de decomposição da matéria orgânica e de nitrificação e desnitrificação.

Estes microrganismos, encontrados nos filtros plantados, estão presentes suspensos no esgoto e aderidos ao meio suporte do leito filtrante e nas raízes das plantas, formando o biofilme (OLIJNYK, 2008).

O biofilme pode ser definido como um conjunto de microrganismos e de produtos extracelulares que se aderem sobre um suporte sólido, formando uma camada volumosa e espessa, com uma estrutura externa não totalmente regular e uniforme (COSTA, 1989 apud OLIJNYK, 2008).

A matéria orgânica presente no esgoto será digerida pela população de microrganismos presentes no biofilme formado sobre o meio suporte (OLIJNYK, 2008).

## **3.4 MECANISMOS DE DEPURAÇÃO DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS NAS WETLANDS CONSTRUÍDAS**

Nos sistemas de wetlands construídas, os microrganismos, as plantas e o meio filtrante são elementos constituintes do pelo de degradação do efluente por meio de processos físicos, químicos e biológicos.

Para Philippi e Sezerino (2004), essa depuração dá-se tanto em condições aeróbias quanto anaeróbias, nas quais inúmeros mecanismos ocorrem simultaneamente.

Na Tabela 2 são apresentados os mecanismos predominantes na remoção de poluentes nos sistemas de wetlands construídos.

**Tabela 2: Mecanismos predominante na remoção de poluentes nas wetlands construídas.**

<b>Constituintes dos efluentes</b>	<b>Mecanismos de remoção</b>
Sólidos suspensos	- Sedimentação e Filtração
Matéria orgânica	- Decomposição microbiana – aeróbia e anaeróbia
Nitrogênio	- Amonificação seguida de Nitrificação e Desnitrificação microbiana; Adsorção; Volatilização da amônia; Retirada pela planta
Fósforo	- Adsorção; Retirada pela planta
Metais	- Complexação; Precipitação; Retirada pela planta; Oxidação/Redução microbiana
Patógenos	- Sedimentação; Precipitação; Filtração

Fonte: Adaptado de COOPER, SMITH e MAYNARD, 1996 apud PHILIPPI E SEZERINO, 2004.

A seguir serão abordados alguns dos mecanismos mais relevantes para o presente trabalho.

### **3.4.1 DEPURAÇÃO DA MATÉRIA CARBONÁCEA (DBO E DQO)**

A matéria carbonácea presente nos efluentes é geralmente medida e quantificada em termos de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) (PHILIPPI e SEZERINO, 2004).

Nos sistemas de wetlands construídas, a matéria orgânica pode ser degradada pelos microrganismos tanto na presença de oxigênio (fase aeróbia), quanto na ausência de oxigênio (fase anaeróbia) (KADLEC e WALLACE, 2009 apud MELLO, 2016).

Segundo Philippi e Sezerino (2004), a degradação acontece devido às necessidades dos microrganismos de obter energia e fonte de carbono para seu metabolismo e reprodução.

A degradação aeróbia é realizada na região da rizosfera e no material filtrante pelas bactérias aeróbias, e o oxigênio requerido para a degradação é fornecido pelas raízes das macrófitas e pela interface ar/água (PHILIPPI e SEZERINO, 2004 apud MELLO, 2016).

Na degradação anaeróbia ocorre conversão da matéria orgânica em ácidos e álcoois por bactérias formadoras de ácidos como primeira etapa; e a conversão da matéria orgânica à

metano e dióxido de carbono por arqueias produtoras de metano na segunda etapa (SPERLING, 1996).

A degradação anaeróbia é muito mais lenta do que a aeróbia. Contudo, quando o oxigênio é um fator limitante nos wetlands construídos, a degradação anaeróbia torna-se predominante e responsável pela redução da DBO (COPPER et al., 1996 apud PHILIPPI e SEZERINO, 2004).

### **3.4.2 TRANSFORMÇÃO E REMOÇÃO DA SÉRIE NITROGENADA**

O nitrogênio é um elemento importante nos ciclos biogeoquímicos existentes nas wetlands. As formas encontradas nas wetlands construídas, na sua maior parte oriundas da carga de efluente lançada, variam desde compostos orgânicos (aminoácidos, ureia, ácidos úricos, purinas e pirimidinas, até compostos inorgânicos em diversos estados de oxidação: amônia, nitrito, nitrato, óxido nítrico, óxido nitroso e gás nitrogênio (PHILIPPI e SEZERINO, 2004).

Nas wetlands, os compostos nitrogenados estão presentes na massa seca das macrófitas, nos sedimentos, no material filtrante e na comunidade microbiana, sendo que a concentração pode variar conforme o sistema e sua configuração (PELLISSARI, 2013).

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 (MELLO, 2016).

De acordo com IWA (2000), os processos de amonificação, nitrificação e desnitrificação, realizados pelas bactérias, são extremamente significativos para retenção, transformação e eliminação das formas nitrogenadas nos sistemas de wetlands construídos. E o processo de volatilização da amônia e a assimilação pelas plantas (caso ocorra o corte das partes aéreas das macrófitas) são também métodos de consideráveis na remoção de nitrogênio nos wetlands construídas (REED, CRITES E MIDDLEBROOKS, 1995 apud MELLO, 2016).

## **4 METODOLOGIA**

### **4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO MANGABEIRA**

O sistema experimental de wetlands objeto de estudo deste trabalho era instalado nas dependências da Estação de Tratamento de Esgotos de Mangabeira, operada pela CAGEPA (Companhia de Água e Esgotos da Paraíba). Essa ETE faz parte do sistema de esgotamento sanitário da cidade de João Pessoa e é abastecida principalmente com esgoto doméstico, coletado dos bairros de Mangabeira, Valentina de Figueiredo, Ernesto Geisel, Funcionários I e II, Gramame, Grotão, Jardim São Paulo e Monsenhor Magno.

### **4.2 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE WETLANDS CONSTRUÍDAS**

O sistema selecionado para o estudo foi o de wetlands construídas de fluxo vertical e operados em batelada. Os filtros plantados com a macrófita (WC) eram compostos por três células de tratamento, que estavam dispostas em paralelo.

A alimentação das wetlands era realizada por batelada de maneira intermitentemente para evitar qualquer tipo de obstrução no sistema, com esgoto sanitário submetido a tratamento preliminar (gradeamento e caixa de areia). O esgoto bruto era bombeado até um tanque de distribuição, que alimentava o sistema de wetlands por gravidade. O tanque de distribuição tinha uma capacidade de 310 litros e na sua parte inferior possuía três válvulas de esfera, uma para cada célula do sistema. Através de controle automatizado, as válvulas realizam o fluxo, fazendo com que o efluente fluísse pelo leito do filtro específico.

Quanto ao funcionamento, as células eram alimentadas na primeira fase em ciclos de 3 semanas, sendo cada uma alimentada por vez. Dessa forma, cada célula trabalhava uma semana e descansava duas. Na segunda fase, cada área trabalhava 3,5 dias e descansava uma semana.

O sistema de wetlands foi dimensionado para tratar o efluente de 6 pessoas, assim possuindo uma capacidade de 900 litros por dia. Cada célula possuía 2,5m<sup>2</sup> de área superficial, totalizando 7,5 m<sup>2</sup>, a profundidade adotada foi de 140 cm, sendo 120 cm para o meio filtrante e 20 cm para camada de lodo e superfície livre da água. Tais medidas foram adotadas de acordo com Kohlgrueber (2016).

Cada célula do sistema foi preenchida com um material filtrante diferente, os quais foram pelotas fragmentadas de argila expandida na wetland 01, resíduos da construção civil (RCC) de natureza cerâmica, na wetland 02, e resíduos da construção civil (RCC) de natureza concretícia na wetland 03 (Figura 5).

**Figura 5: Materiais Filtrantes ( 1. Pelotas fragmentadas de argila expandida; 2. RCC de natureza concretícia; 3. RCC de natureza cerâmica)**



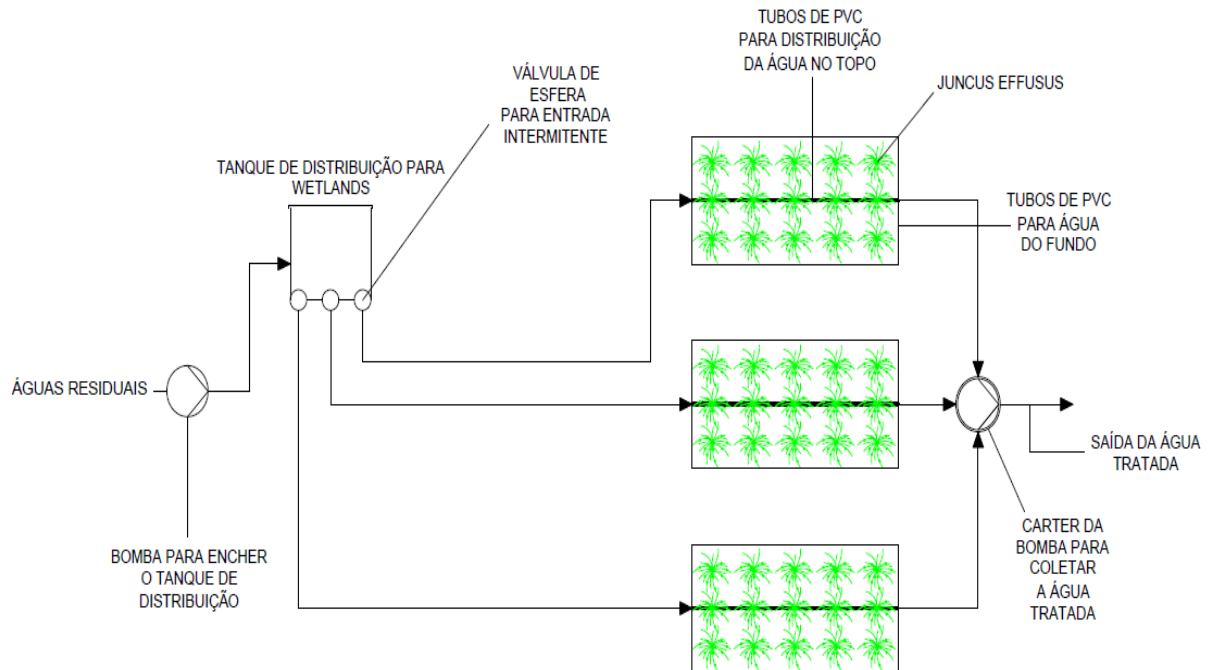
Fonte: AUTOR (2018).

A macrófita utilizada na superfície das wetlands para realizar o tratamento (filtrar e absorver os constituintes dos efluentes), foi a junciforme, popularmente conhecida por Junco. Essa possui um crescimento rápido e suas folhas crescem para fora da água (macrófita emersa).

A construção do sistema foi projetada de acordo com o esboço apresentado a seguir na Figura 6.



**Figura 6: Esquema de construção do sistema de Wetlands na ETE de Mangabeira.**



Fonte: Adaptado de KHOLGRUBER (2016).

As Figuras 7 e 8 mostram as células do sistema de wetlands funcionando nos ciclos de 7-14 dias (1º fase) e 3,5-7 dias (2º fase), respectivamente.

**Figura 7: Células do sistema de wetlands trabalhando fase 01 (7-14 dias).**



Fonte: SILVA, R. (2017)

**Figura 8: Células do sistema de wetlands trabalhando fase 02 (3, 5-7 dias).**



Fonte: SILVA, R. (2017).

### 4.3 AMOSTRAGEM

As amostras do sistema em estudo foram coletadas semanalmente durante o período de 4 de maio de 2017 até 15 de março de 2018. Essas foram encaminhadas ao Laboratório de Tecnologia Química da UFPB para realização das análises. Foram utilizadas garrafas PET limpas, com capacidade de 2 litros para coleta do material.

As variáveis em estudo foram: Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO<sub>5</sub>) e Nitrogênio amoniacal.

**Tabela 3: Datas das coletas realizadas no período em estudo.**

DATAS DE COLETA							
mai/17	04/05/2017	ago/17	02/08/17	nov/17	28/11/17	dez/17	14/12/17
	11/05/2017		31/08/17		29/11/17		20/12/17
	18/05/2017	set/17	06/09/17		30/11/17	jan/18	10/01/18
	25/05/2017		14/09/17	01/12/17	17/01/18		
jun/17	01/06/2017	out/17	21/09/17	dez/17	02/12/17	fev/18	24/01/18
	08/06/2017		28/09/17		03/12/17		01/02/18
	14/06/2017		05/10/17		04/12/17	08/02/18	
	22/06/2017	11/10/17	05/12/17		22/02/18		
	29/06/2017	nov/17	01/11/17		06/12/17	mar/18	01/03/18
13/07/2017	08/11/17		07/12/17	07/03/18			
19/07/2017	16/11/17		08/12/17	15/03/18			
27/07/2017		23/11/17	07/12/17				

Fonte: AUTOR (2018).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise tem por objetivo verificar no período de estudo, o comportamento temporal da eficiência do sistema de wetlands através dos parâmetros de DQO, DBO<sub>5</sub> e Nitrogênio Amoniacal.

### 5.1 DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO

Para realizar o cálculo das eficiências do sistema de tratamento em estudo foram necessários os valores das amostras coletas das wetlands e do esgoto bruto. A Tabela 4 apresenta o resumo dos dados coletados para o parâmetro DQO em comparação com o esgoto bruto.

**Tabela 4: Análise estatística dos indicadores das amostras – Parâmetro DQO.**

DQO (mg/L)					
Nº de Amostra	Amostra	Média (mg/L)	Desvio Padrão (mg/L)	Mínimo (mg/L)	Máximo (mg/L)
40	ESGOTO BRUTO	661	230	182	1190
40	WETLANDS	154	115	3	478

Fonte: AUTOR (2018).

Os dados apresentados acima representam as características do parâmetro das amostras coletadas no sistema experimental de wetlands no período em estudo. A Tabela 5 ilustra as eficiências do sistema wetland na remoção para o parâmetro DQO.

**Tabela 5: Eficiências de remoção – Parâmetro DQO.**

Eficiência de remoção - DQO	
Eficiência Mínima	52%
Eficiência Média	79%
Eficiência Máxima	99%
Desvio Padrão	13%
Coefficiente de Variação	16%

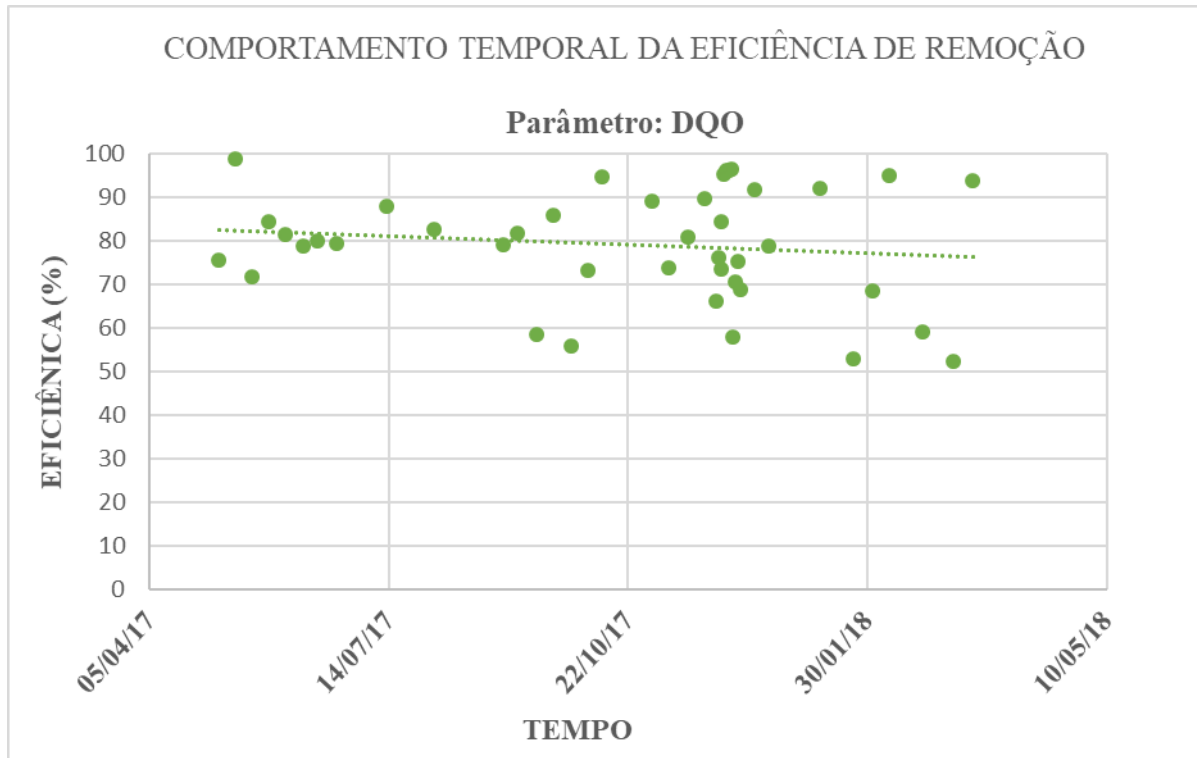
Fonte: AUTOR (2018).



É notado, por meio da caracterização das eficiências, a boa capacidade do sistema de tratamento na remoção do parâmetro analisado.

Com relação ao gráfico da Figura 9, não foi observada uma mudança acentuada na eficiência, com o passar do tempo de utilização do sistema em estudo.

**Figura 9: Comportamento da eficiência de remoção durante o período em estudo.**



Fonte: AUTOR (2018).

Assim, de acordo com a análise estatística realizada chegou-se à conclusão que, para o tempo de operação em estudo das wetlands, o sistema não apresentou uma tendência temporal, quanto à remoção de DQO.

Contudo, nota-se a capacidade de remoção desse parâmetro comparado ao Esgoto Bruto que chega na ETE.

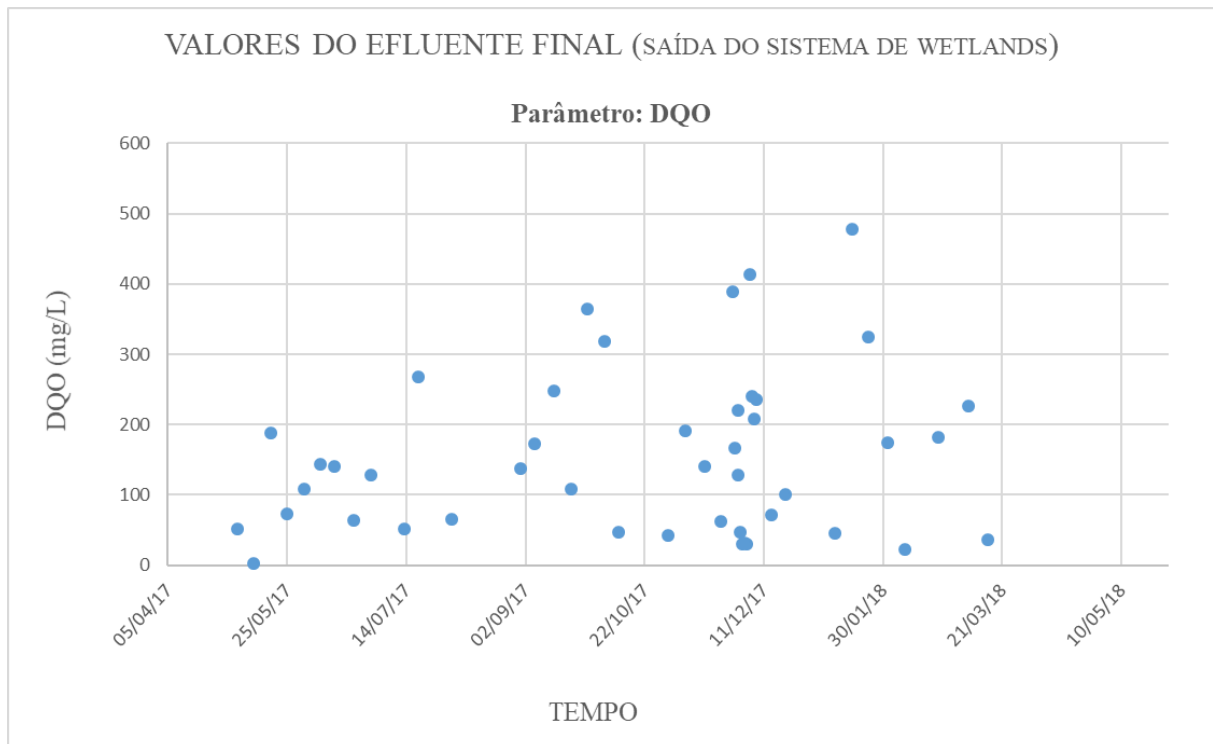
A resolução CONAMA n° 430/2011 dispõe sobre as condições e padrões para efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários, assim é possível saber se o efluente final do sistema de wetlands estudado obedece aos padrões e limites estabelecidos.

Entretanto, a resolução citada não determina valores limites para o parâmetro da DQO. Porém os valores encontrados são semelhantes a valores presentes em pesquisas relacionadas

ao tema. Assim, mais uma vez fica evidente a capacidade do sistema como tratamento de águas residuais.

A Figura 10 mostra o gráfico com os valores de DQO no efluente final (saída das wetlands) ocorridos nas amostras durante o período das análises.

**Figura 10: Valores do efluente final durante o período em estudo.**



Fonte: AUTOR (2018).

## 5.2 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO

A Tabela 6 representa o resumo dos dados do parâmetro  $DBO_5$ , como também do esgoto bruto ao longo do período de análises.

**Tabela 6: Análise estatística dos indicadores das amostras – Parâmetro  $DBO_5$ .**

<b><math>DBO_5</math> (mg/L)</b>					
Nº de Amostra	Amostra	Média (mg/L)	Desvio Padrão (mg/L)	Mínimo (mg/L)	Máximo (mg/L)
30	ESGOTO BRUTO	342	120	135	716
30	WETLANDS	45	30	2	98

Fonte: AUTOR (2018).

A partir dos dados da Tabela 6, determinou-se a eficiência de remoção quanto a DBO<sub>5</sub>.

**Tabela 7: Eficiências de remoção – Parâmetro DBO<sub>5</sub>.**

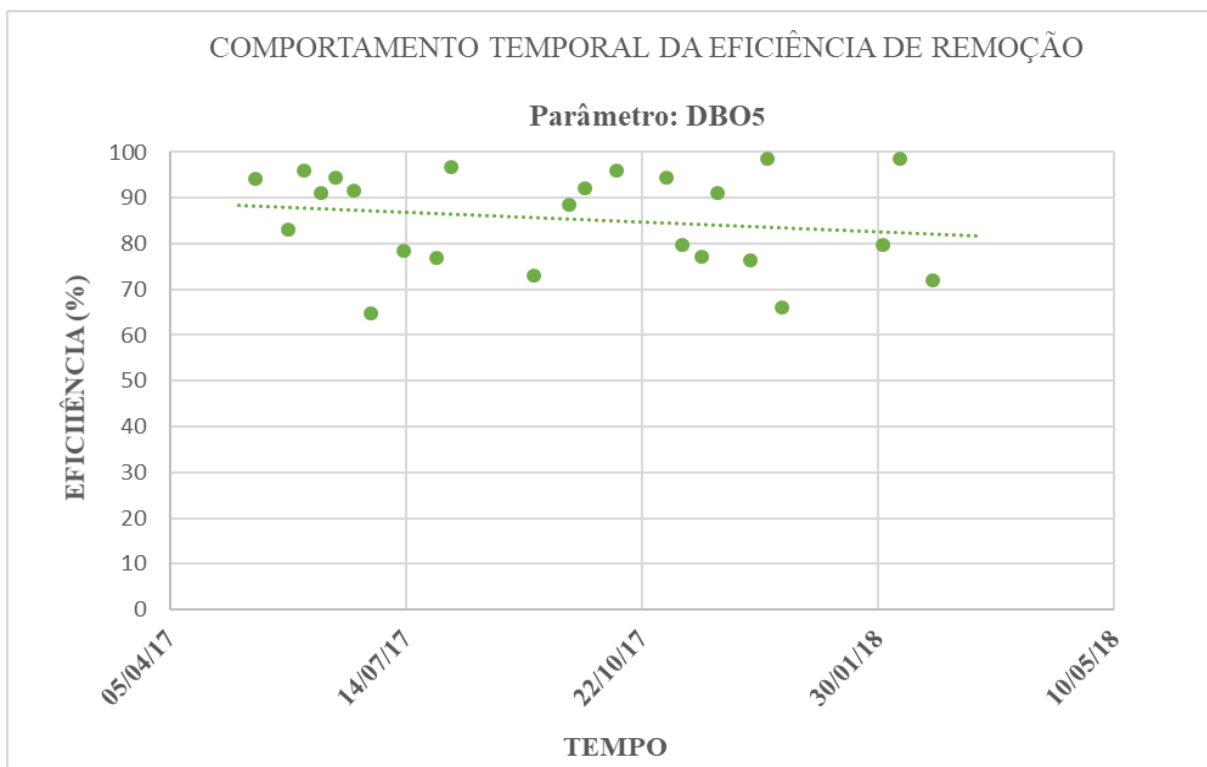
Eficiência de remoção - DBO <sub>5</sub>	
Eficiência Mínima	65%
Eficiência Média	85%
Eficiência Máxima	99%
Desvio Padrão	10%
Coefficiente de Variação	12%

Fonte: AUTOR (2018).

Em relação com a eficiência de remoção do parâmetro anterior (DQO), os dados estatísticos mostrados na Tabela 7, permitem perceber que a eficiência de remoção quanto a DBO<sub>5</sub> mostrou-se mais elevada. Pois, na análise do valor mínimo da eficiência, no parâmetro DBO<sub>5</sub> foi de 65%, já no parâmetro DQO o valor foi de 52%.

Para a caracterização temporal da eficiência, foi construído o gráfico da Figura 11, nele é possível analisar o comportamento do sistema de tratamento ao longo do período em estudo.

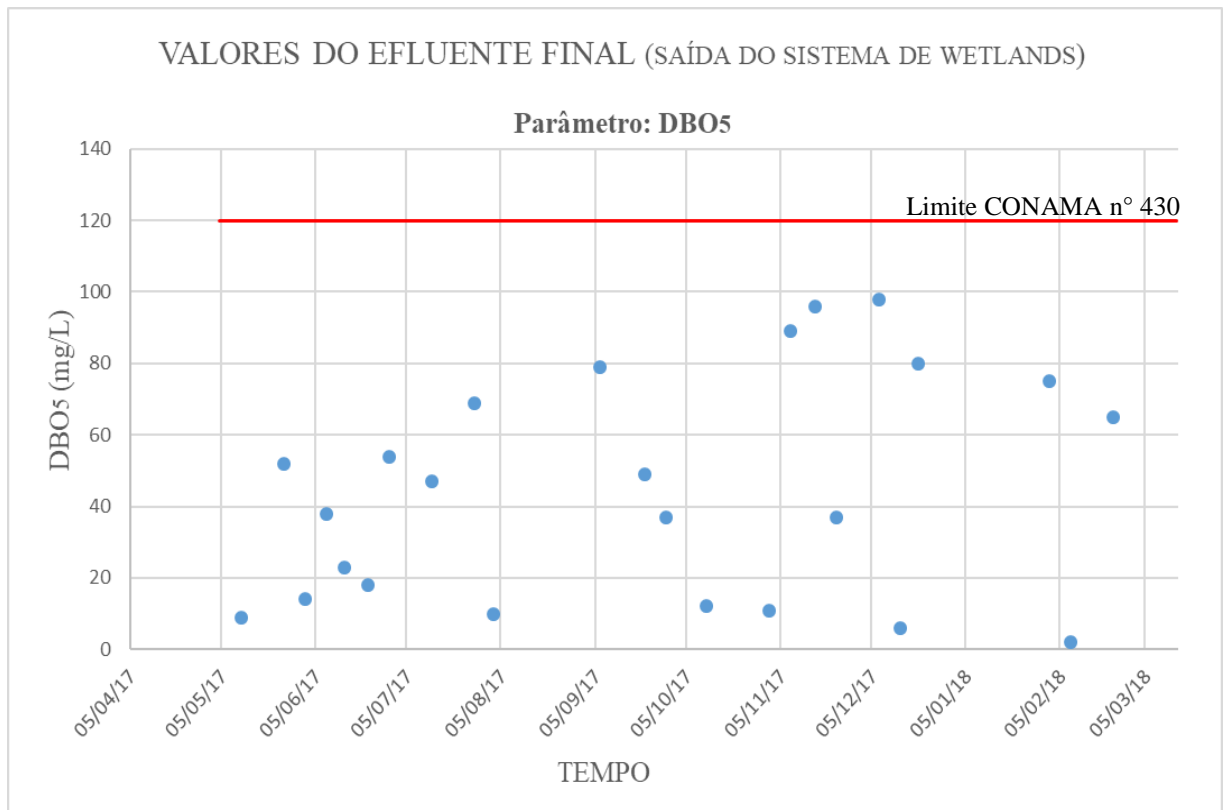
**Figura 11: Comportamento da eficiência de remoção durante o período em estudo.**



Fica evidente pelo gráfico da Figura 11 a oscilação dos valores de eficiência de  $DBO_5$  do sistema de tratamento em estudo em torno de uma média. Portanto, apesar de uma pequena tendência de decréscimo na linha mostrada no gráfico, não se pode afirmar uma diminuição da eficiência do sistema.

De acordo com a Resolução CONAMA n° 430/2011 a  $DBO_5$  deve atingir um valor máximo de 120mg/L para que o efluente possa ser lançado direto nos corpos hídricos. A Figura 12 mostra o gráfico dos valores de  $DBO_5$  no efluente final (saída das wetlands) ocorridos nas amostras durante o período das análises. Todos os valores obtidos no período de estudo foram abaixo do limite estabelecido pela resolução. Dessa forma, pode-se concluir que o sistema de wetlands em estudo atende ao padrão exigido para lançamento de efluentes.

**Figura 12: Valores do efluente final durante o período em estudo.**



Fonte: AUTOR (2018).

### 5.3 NITROGÊNIO AMONIAL

A Tabela 8 apresenta os parâmetros estatísticos dos dados de nitrogênio amoniacal nas amostras de esgoto bruto e nas wetlands.

**Tabela 8: Análise estatística dos indicadores das amostras – Parâmetro Nitrogênio Amoniacal.**

<b>Nitrogênio Amoniacal (mg/L)</b>					
Nº de Amostra	Amostra	Média (mg/L)	Desvio Padrão (mg/L)	Mínimo (mg/L)	Máximo (mg/L)
35	ESGOTO BRUTO	59	14	31	86
35	WETLANDS	11	8	1	31

Fonte: AUTOR (2018).

A partir dos dados da Tabela 8 determinou-se a eficiência de remoção do sistema quanto ao nitrogênio amoniacal.

**Tabela 9: Eficiências de remoção – Parâmetro Nitrogênio Amoniacal.**

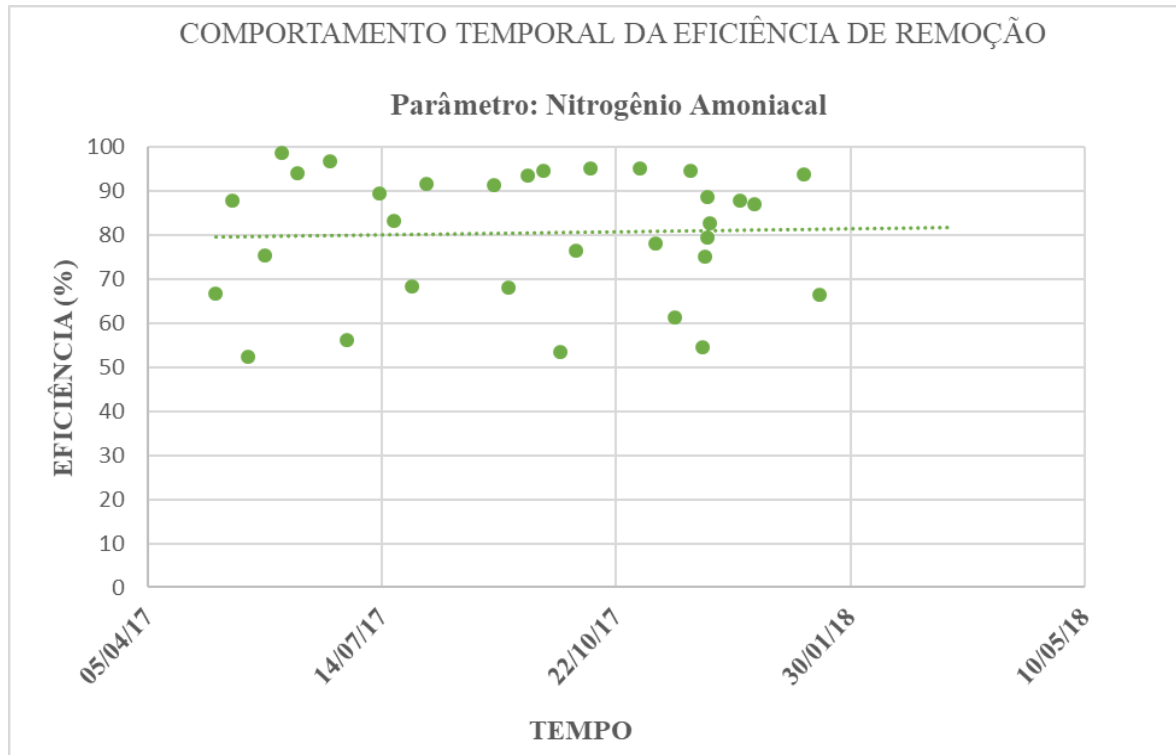
<b>Eficiência de remoção - Nitrogênio Amoniacal</b>	
Eficiência Mínima	52%
Eficiência Média	81%
Eficiência Máxima	99%
Desvio Padrão	14%
Coeficiente de Variação	18%

Fonte: AUTOR (2018).

Dos parâmetros analisados no presente estudo, a eficiência de remoção quanto ao nitrogênio amoniacal foi o que obteve maiores valores no desvio padrão e coeficiente de variação. Tal observação deve-se ao fato da variabilidade dos componentes do efluente recebido pelo sistema de wetlands.

Nota-se pelo gráfico da Figura 13 que a maioria dos valores encontrados estão na faixa entre 70% a 100% de eficiência.

**Figura 13: Comportamento da eficiência de remoção durante o período em estudo.**



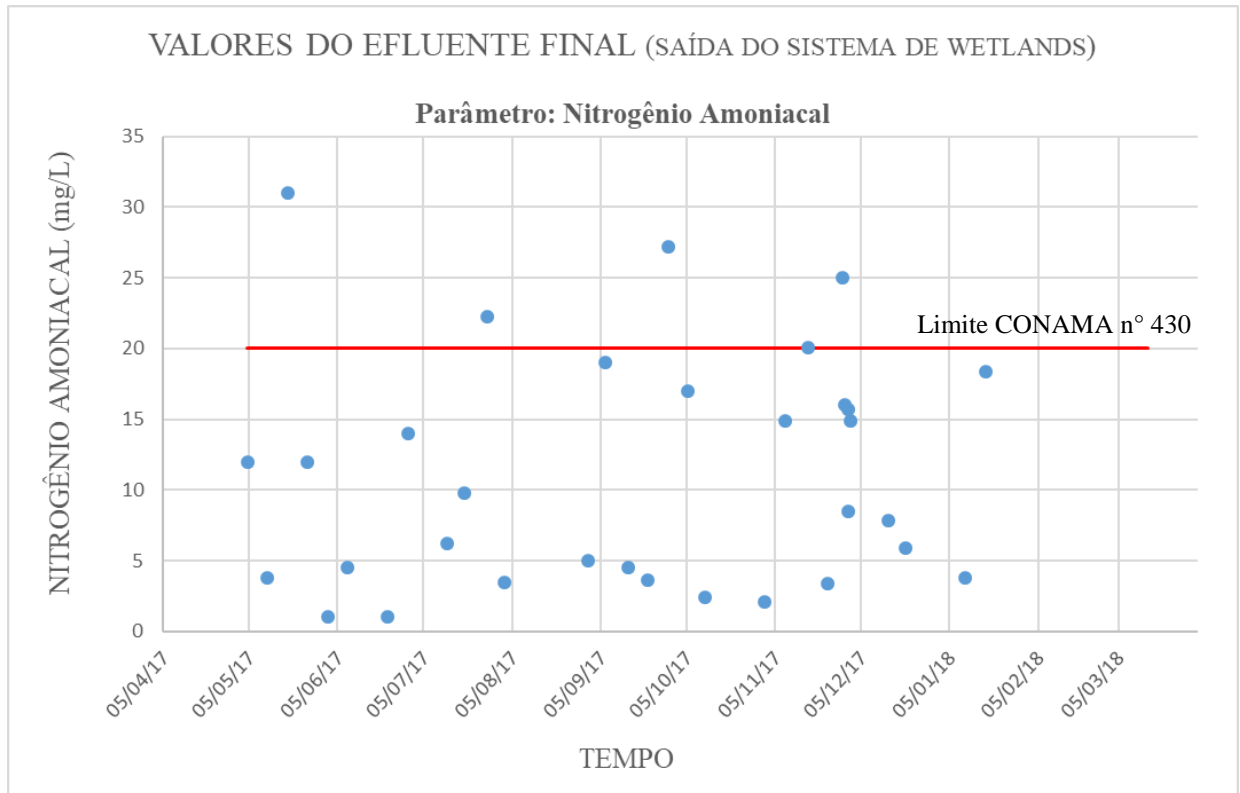
Fonte: AUTOR (2018).

Em geral não há diferença acentuada nos valores de eficiência entre o início e o término de operação do sistema de tratamento, considerando o tempo de estudo para este trabalho. Dessa forma, conclui-se que não existiu tendência na eficiência das wetlands na remoção do nitrogênio amoniacal.

A Resolução CONAMA n° 430/2011 não faz restrições específicas para efluentes lançados por sistemas de tratamento de esgoto sanitário, em relação a quantidade de nitrogênio amoniacal. O limite de 20 mg/L é exigido para efluentes de qualquer fonte poluidora, que lançam diretamente no corpo receptor.

O gráfico da Figura 14 mostra os valores de nitrogênio amoniacal no efluente final (saída das wetlands) ocorridos nas amostras durante o período das análises.

**Figura 14: Valores do efluente final durante o período em estudo.**



Fonte: AUTOR (2018).

A maioria os valores obtidos no período de estudo foram abaixo do limite estabelecido pela resolução. Dessa forma, pode-se concluir que o sistema de wetlands em estudo atendeu ao padrão exigido para lançamento de efluentes em 87% das amostras coletadas.

## 6 CONCLUSÕES

Este trabalho analisou o comportamento temporal da eficiência de sistemas wetlands, num período de aproximadamente 10 meses. Foi observado que não houve uma tendência temporal dos valores de eficiências de remoção no efluente final do sistema quanto aos parâmetros analisados no período de início ao fim do estudo.

As eficiências encontradas para DQO, DBO<sub>5</sub> e nitrogênio amoniacal foram bastante elevadas, demonstrando a viabilidade técnica da alternativa aplicada ao tratamento de esgotos sanitários nas condições climáticas do nordeste brasileiro.



## **7 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A expectativa era que com o passar do tempo a vegetação das células de wetlands estariam bem estabelecidas e com isso haveria uma tendência de crescimento na eficiência de remoção dos poluentes. Entretanto, no período analisado o comportamento da eficiência das wetlands permaneceu praticamente estável.

Para verificação de possível melhoria nas eficiências de tratamento, sugere-se um período de estudo maior, podendo até se estabelecer o período de estabilização da vegetação para alcançar o ótimo funcionamento do sistema de wetlands.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. (2016) **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2016 – Brasília: MCIDADES. SNSA, 2012. 220 p.**

BRIX, Hans. **Do Macrophytes Play a Role in Constructed Treatment Wetlands?**. Water Science and Technology. v. 35. n 5, 1997. p. 11-17.

HAMMER, Donald A. **Constructed wetlands for wastewater treatment: municipal, industrial and agricultural.** Chelsea, Michigan: Lewis publishers, INC, 1989. 831 p.

IWA – International Water Association. **Constructed Wetlands for Pollution Control: Processes, Performance, Design and Operation.** Scientific and Technical Report No. 8. London, England: IWA Publishing, 2000. 156 p.

KOHLGRÜBER, V. **Planning of a constructed wetland for municipal wastewater treatment.** 2016. 12 f.

MELLO, D. de. **Avaliação do uso de wetlands construídas no tratamento de esgoto sanitário.** 2016. 164f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

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. 112f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.

ORMONDE, V. S. S. **Avaliação de 'wetlands' construídos no pós-tratamento de efluentes de lagoas de maturação.** 2012. 96f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental) Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2012.

PELLISSARI, Catiane. **Tratamento de efluente proveniente da bovinocultura de leite empregando wetlands construídos de escoamento subsuperficial.** 2013. 147f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Maria, 2013.

PHILIPPI, Luiz Sérgio; SEZERINO, Pablo Heleno. **Aplicação de sistemas tipo wetlands no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas.** Ed. do Autor. Florianópolis, 2004. 144 p. 39

POÇAS, C. D. **Utilização da tecnologia de *wetlands* para tratamento terciário: controle de nutrientes.** 2015. 109f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2015.

SALATI, E. et al. **Utilização de sistema de *wetlands* construídas para tratamento de águas.** 2009. Piracicaba, 2009. 23 p.

SANTIAGO, A; CALIJURI, M; LUÍS, P. **Potencial para a utilização de sistemas de *wetlands* no tratamento de águas residuárias: uma contribuição a sustentabilidade dos recursos hídricos no brasil.** *Natureza & Desenvolvimento*, v. 1, n. 1. 2005. p. 29-39.

SARTORI, Hiran. **O Saneamento Básico no Brasil.** Portal Saneamento Básico. Ago,2016. Disponível em: < <http://www.saneamentobasico.com.br/o-saneamento-basico-no-brasil-por-hiram-sartori/>>. Acesso em 12 de set. 2018.

SILVA, S, C da. **“Wetlands Construídos” de fluxo vertical com meio suporte de solo natural modificado no tratamento de esgotos domésticos.** 2007. 231 f. Monografia (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

SOUSA, J. T. DE, VAN HAANDEL, A.C. GUIMARÃES, A.V.A. **Performance of constructed wetland systems treating anaerobic effluents.** *Water Science and Technology*, v.48, n.6, 2003. p. 295-299.

SPERLING, Marcos. V. **Introdução à qualidade da água e ao tratamento de esgotos: Princípio do tratamento biológico de águas residuárias.** 4ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG, 2014.

SPERLING, Marcos. V. **Introdução à qualidade da água e ao tratamento de esgotos: Princípio do tratamento biológico de águas residuárias.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental /UFMG, v.1 1996a. p. 243.

TAVARES, S.R. de L. **Uso de Wetlands e Tecnologias Associadas.** Brasília: Ed. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2013. p. 94-132.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **USEPA/625/R-99/010: constructed wetlands treatment of municipal wastewaters.** Cincinnati, Ohio 1999.

VALETIM, M. A. A. **Desempenho de leitos cultivados ("constructed wetland") para tratamento de esgoto: contribuições para concepção e operação.** 2003. 233 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, 2003.