



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS - CTRN
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL – UAEC**

SAMARA RHÚBIA DE ANDRADE ARAÚJO LIMA

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE JARDINS
FLUTUANTES NA QUALIDADE DA ÁGUA NO AÇUDE DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG**

Campina Grande – PB

2017

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS - CTRN
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL – UAEC**

SAMARA RHÚBIA DE ANDRADE ARAÚJO LIMA

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE JARDINS
FLUTUANTES NA QUALIDADE DA ÁGUA NO AÇUDE DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG**

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado ao Curso de Engenharia
Civil da Universidade Federal de
Campina Grande para a obtenção do
grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.^a Dra. Patrícia
Hermínio Cunha Feitosa

Coorientadora: Eng.^a Civil Elis Gean
Rocha

Campina Grande – PB

2017

TERMO DE APROVAÇÃO

SAMARA RHÚBIA DE ANDRADE ARAÚJO LIMA

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE JARDINS
FLUTUANTES NA QUALIDADE DA ÁGUA NO AÇUDE DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande como requisito à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil, pela seguinte banca examinadora:

Prof.^ª Dr.^ª Patrícia Hermínio Cunha Feitosa
Orientadora

Eng.^ª Civil Elis Gean Rocha
Coorientadora

Prof.^ª Dr.^ª Dayse Luna Barbosa
Examinadora Interna

MS. Patrícia Alves Pereira
Examinadora Externa

Campina Grande-PB
Setembro de 2017

Dedico este trabalho aos amores da minha vida, Núbia, Osiran e Rhassa, que fizeram este sonho se tornar possível.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela minha vida, por me conceder saúde e proteção, e por ter colocado pessoas tão especiais no meu caminho.

À Núbia, Osiran e Rhaíssa, por todo apoio e esforços em prol da minha felicidade e do meu bem-estar, me dando a força que eu precisei para vencer os desafios e nunca desistir.

À minha orientadora, professora Patrícia, por todo o tempo despendido, atenção, cuidado e comprometimento durante este trabalho, me guiando em direção ao sucesso.

À minha coorientadora e amiga, Elis, pela paciência e aprendizado transferido, pela companhia e por tornar os cansativos dias de coleta e laboratório em momentos leves e divertidos.

Aos meus amigos, Jabes, Larissa, Bruna e Yana, por terem segurado minha mão e não me deixarem atravessar a estrada sozinha, fazendo-me ir mais longe do que eu imaginava conseguir.

Meu muito obrigado ao pessoal do laboratório de saneamento, Tiquinho, Val e Cris, por me acolherem tão carinhosamente e com tanto cuidado.

Aos meus familiares, que tanto torcem pelas minhas conquistas e pela minha alegria.

À UFCG, pela oportunidade de concretizar esse grande sonho de me tornar engenheira civil.

A todas as pessoas que de alguma forma contribuíram na realização desse trabalho.

“Quando o último rio secar, a última árvore for cortada e o último peixe pescado, eles vão entender que dinheiro não se come.”

(Provérbio Indígena)

RESUMO

As atividades antrópicas têm acarretado a degradação dos corpos hídricos de forma bastante acelerada. No intuito de mitigar os efeitos do lançamento de esgotos no meio ambiente, muitas tecnologias têm sido criadas, aliadas ao uso racional dos recursos naturais. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um sistema de jardins flutuantes e avaliar sua eficiência como ferramenta de auxílio na revitalização das águas do “Laguinho” da Universidade Federal de Campina Grande. A montagem do sistema deu-se em duas etapas: na primeira, foram desenvolvidos 5 grandes módulos com estrutura suporte de bambu; na segunda, foram criados 5 módulos pequenos com estrutura suporte de paletes. Em ambas as etapas utilizaram-se substrato de coco e plantas ornamentais. Após a instalação dos jardins, foi feito o monitoramento da qualidade da água em relação à remoção de matéria orgânica, mediante realizações de análises físico-químicas para os parâmetros de DBO, DQO, OD, Temperatura e SDT. Os resultados obtidos nas análises foram comparados com dados experimentais anteriores à implantação do sistema. Através de investigações feitas no entorno do “Laguinho” e registro de memorial fotográfico, foram identificadas possíveis fontes de contribuição de matéria orgânica no “Laguinho”, como lançamentos domésticos e industriais de bairros à montante, despejo de efluentes da universidade no próprio açude, infiltrações provenientes das fossas sépticas e lançamento de dejetos de animais locais. Os jardins de paletes foram mais bem sucedidos que os de bambu, devido as menores dimensões e densidade, facilidade de manutenção, rapidez na execução dos módulos, e menor necessidade de mão-de-obra. O sistema mostrou-se eficiente para os parâmetros de DBO, DQO e OD, principalmente nos meses de julho e agosto, marcado por frequentes chuvas e pela implantação dos jardins de paletes. O sistema foi ineficiente quanto aos SDT, devido à falta de lavagem do substrato antes da sua implantação. Quando comparados com resultados experimentais anteriores à implantação do sistema de jardins flutuantes, os resultados obtidos foram melhores. Para uma melhor avaliação da eficiência do sistema, sugere-se a implantação de novos módulos de pequena dimensão, maximizando os efeitos do sistema e ampliação das análises físico-químicas da água do “Laguinho” em períodos de baixa precipitação.

Palavras-Chave: Matéria orgânica, Fitorremediação, Qualidade da água.

ABSTRACT

Anthropogenic activities have led to the degradation of water bodies very rapidly. In order to mitigate the effects of sewage disposal on the environment, many technologies have been created, coupled with the rational use of natural resources. The objective of this work was to develop a system of floating gardens and evaluate its efficiency as a tool to aid in the revitalization of the “Laguinho” waters of the Federal University of Campina Grande. The assembly of the system took place in two stages: in the first one, 5 large modules with bamboo support structure were developed; In the second, 5 small modules with pallet support structure were created. In both steps coconut and ornamental plants were used. After the installation of the gardens, the water quality was monitored in relation to the removal of organic matter, by means of physical-chemical analysis for the parameters of BOD, COD, DO, Temperature and TDS. The results obtained in the analyzes were compared with experimental data prior to the implantation of the system. Through investigations carried out around the “Laguinho” and photographic records, possible sources of contribution of organic matter in the “Laguinho” were identified, such as domestic and industrial releases of upstream districts, effluent discharges from the university in the dam itself, infiltrations From septic tanks and disposal of local animal waste. Pallet gardens were more successful than bamboo, due to the smaller size and density, ease of maintenance, faster execution of the modules, and less need for labor. The system proved to be efficient for the parameters of BOD, COD and DO, especially in July and August, marked by frequent rains and the implantation of pallet gardens. The system was inefficient for TDS due to the lack of washing of the substrate prior to its implantation. When compared with experimental results prior to the implantation of the floating gardens system, the results obtained were better. For a better evaluation of the efficiency of the system, it is suggested the implantation of new small modules, maximizing the effects of the system and amplification of the physical-chemical analyzes of the "Laguinho" water in periods of low precipitation.

Keywords: Organic matter, Phytoremediation, Water quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Tipos de fitorremediação	16
Figura 2 - Esquemas de sistemas solo-planta de a) irrigação e b) escoamento superficial	17
Figura 3 - Sistema de jardins flutuantes	18
Figura 4 - Representação gráfica dos jardins flutuantes no canal de Gowanus, em Nova York	19
Figura 5 - Modelos experimentais simulando o ambiente do “Laguinho da UFCG”	20
Figura 6 - Material e métodos	21
Figura 7 - Sistema de Drenagem e de Esgotamento de Campina Grande	22
Figura 8 – “Laguinho da UFCG”	22
Figura 9 - Aerofotogrametria da área do açude antes de ser represado.....	23
Figura 10 – Percurso das águas até o “Laguinho da UFCG”	24
Figura 11 - Protótipo dos jardins flutuantes feitos com bambu.....	25
Figura 12 – Dimensões dos jardins de bambu.....	25
Figura 13 - Substrato de coco dos jardins flutuantes.....	26
Figura 14 - Plantas utilizadas nos jardins flutuantes de bambu.....	26
Figura 15 - Jardins flutuantes montados com suporte de paletes	27
Figura 16 - Localização da área experimental.....	28
Figura 17 - Localização dos pontos de coleta.....	28
Figura 18 - Aves de várias espécies atraídas para o “Laguinho da UFCG”	31
Figura 19 - Pontos de entrada (a) e saída (b) da água do açude.	31
Figura 20 - Localização dos possíveis pontos de contribuição de esgoto	32
Figura 21 - Lançamentos feitos no açude de possíveis fontes de contribuição de esgoto	33
Figura 22 - Localização das 3 principais fossas sépticas da UFCG	34
Figura 23 - Jardins flutuantes colocados no “Laguinho da UFCG”	35
Figura 24 – Variações de temperatura	38
Figura 25 - Dados de precipitação de Campina Grande entre maio e agosto de 2017 ...	38
Figura 26 - Oxigênio Dissolvido e Solubilidade	40
Figura 27- Oxigênio Dissolvido	41
Figura 28 - Demanda Bioquímica de Oxigênio.....	43

Figura 29 - Demanda Química de Oxigênio.....	45
Figura 30 - Relação DQO/DBO	46
Figura 31 - Sólidos Dissolvidos Totais.....	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Métodos indicados para os parâmetros de qualidade da água segundo o <i>Standart Methods of Water and Wastewater</i>	29
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Médias e eficiências de OD em relação à entrada.....	41
Tabela 2 - Médias e eficiências de OD em relação à entrada antes da instalação do sistema	42
Tabela 3 - Médias e eficiências de DBO em relação à entrada	43
Tabela 4 - Médias e eficiências de DBO em relação à entrada antes da instalação do sistema	44
Tabela 5 - Médias e eficiências de DQO em relação à entrada.....	45
Tabela 6 - Médias e eficiências de DQO em relação à entrada antes da instalação do sistema	46
Tabela 7 - Médias e eficiências de SDT em relação à entrada	48
Tabela 8 - Médias e eficiências de SDT em relação à entrada antes da instalação do sistema	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas

CAGEPA – Companhia de Água e Esgotos da Paraíba

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

COT – Carbono Orgânico Total

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

OD – Oxigênio Dissolvido

PET – Polietileno Tereftalato

pH – Potencial Hidrogeniônico

PNMA – Plano Nacional do Meio Ambiente

PNSB – Plano Nacional de Saneamento Básico

PVC – Policloreto de vinila

SEPLAN – Secretaria Municipal de Planejamento

SNIS – Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento

SdT – Sólidos Dissolvidos Totais

UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanked

UFMG – Universidade Federal de Campina Grande

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS	3
2.1	Objetivo Geral	3
2.2	Objetivos Específicos	3
3	JUSTIFICATIVA	3
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
4.1	Poluição Hídrica	5
4.1.1	Fontes Poluidoras, Poluentes e Parâmetros de Qualidade da Água	6
4.2	Parâmetros Químicos	7
4.2.1	Matéria Orgânica	7
4.2.1.1	<i>Demanda Bioquímica (ou Biológica) de Oxigênio (DBO520)</i>	7
4.2.1.2	<i>Demanda Química de Oxigênio (DQO)</i>	8
4.2.2	Oxigênio Dissolvido (OD)	9
4.3	Parâmetros Físicos	11
4.3.1	Sólidos Dissolvidos Totais	11
4.3.2	Temperatura.....	11
4.4	Tratamento Aeróbio e Anaeróbio	13
4.5	Fitorremediação	14
4.6	Sistemas Naturais fitorremediadores	16
4.6.1	Jardins Flutuantes	17
5	MATERIAL E MÉTODOS	21
5.1	Caracterização da área de estudo	21
5.2	Identificação das fontes de contribuição de matéria orgânica	24
5.3	Montagem do sistema de jardins flutuantes	24
5.3.1	Estrutura suporte de bambu	25
5.3.2	Substrato de base para raízes e sustentação das plantas	26
5.3.3	Plantas.....	26
5.3.4	Estrutura suporte de paletes	27
5.4	Monitoramento da qualidade da água do açude	27
5.4.1	Escolha dos pontos de coleta	27
5.4.2	Coleta e análise dos parâmetros de qualidade da água	29

5.5	Comparação com dados experimentais anteriores à implantação do sistema de jardins flutuantes.....	30
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
6.1	Fontes de Contribuição de matéria orgânica	30
6.1.1	Dejetos animais	30
6.1.2	Contribuições à montante do açude.....	31
6.1.3	Levantamento de contribuições no “Laguinho da UFCG”.....	32
6.1.4	Principais fossas sépticas da UFCG	34
6.2	Montagem do sistema de jardins flutuantes.....	34
6.2.1	Estrutura de Suporte	35
6.2.2	Substrato	36
6.2.3	Plantas.....	37
6.3	Análises Físico-químicas.....	37
6.3.1	Temperatura.....	37
6.3.1.1	<i>Comparação com dados experimentais anteriores à implantação do sistema</i>	<i>39</i>
6.3.2	OD	39
6.3.2.1	<i>Comparação com dados experimentais anteriores à implantação do sistema</i>	<i>41</i>
6.3.3	DBO.....	42
6.3.3.1	<i>Comparação com dados experimentais anteriores à implantação do sistema</i>	<i>43</i>
6.3.4	DQO	44
6.3.4.1	<i>Comparação com dados experimentais anteriores à implantação do sistema</i>	<i>45</i>
6.3.5	Relação DQO/DBO	46
6.3.5.1	<i>Comparação com dados experimentais anteriores à implantação do sistema</i>	<i>47</i>
6.3.6	Sólidos Dissolvidos Totais	47
6.3.6.1	<i>Comparação com dados experimentais anteriores à implantação do sistema</i>	<i>48</i>
7	CONCLUSÕES	50
7.1	Recomendações para futuros trabalhos.....	51
	REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

A população brasileira vem crescendo de forma acelerada e desordenada nos últimos anos, interferindo diretamente na qualidade das águas urbanas. O desenvolvimento urbano se acentuou na segunda metade do século XX com a concentração da população em pequenas áreas, causando grande competição pelos recursos naturais (solo e água), acabando com parte da biodiversidade natural (TUCCI, 2008).

Com o intuito de prevenir doenças e suas consequências, Tucci (2008) relata que o despejo dos esgotos (sem tratamento) era realizado a jusante do manancial da cidade, ocorrendo na verdade a transferência dos impactos para jusante.

A situação se tornou caótica, ficando cada vez mais evidente a necessidade de serem realizadas ações sanitárias. Deu-se início a estatização do serviço de saneamento e adoção de medidas de saúde. Em 1930, todas as capitais possuíam sistemas de distribuição de água e coleta de esgotos, graças aos esforços de um grande engenheiro sanitário, Saturnino de Brito (PAULI, 2011). No entanto, a implantação de obras de saneamento nunca acompanhou o ritmo de crescimento populacional, avanço econômico e industrial nas cidades brasileiras.

Segundo o Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento – SNIS – (2017), no ano de 2015, o atendimento urbano por rede coletora de esgoto foi de 58,0%. A cobertura urbana pela rede de água foi de 93,1%, evidenciando um grande desequilíbrio entre o número de domicílios servidos por rede de água e o número de domicílios que possuem rede coletora de esgoto (BNDES, 1998 apud SAIANI & JÚNIOR, 2010). De acordo com o Instituto Trata Brasil, esses resultados mostram que os avanços continuam lentos quando se pensa em atingir a universalização dos serviços de água tratada, coleta e tratamento dos esgotos em 20 anos (prazo do Plano Nacional de Saneamento Básico (PNSB) – 2014 a 2033).

O quadro de desigualdade entre cobertura de água e esgoto é constatado na cidade de Campina Grande, área de estudo do presente trabalho. A cidade entrou no plano de urbanização das grandes cidades brasileiras, atentando para o saneamento e embelezamento das áreas centrais da cidade, com planos para o seu posterior crescimento e incentivo ao turismo (SOUSA, 2003). Porém, com o foco nas áreas mais importantes da cidade, as regiões periféricas e a população mais pobre ficaram à parte desse planejamento. Diante desse contexto, é evidente a geração de resíduos, descartados de forma inadequada, lançados na forma de esgotos clandestinos em açudes e canais, contribuindo com a poluição hídrica e trazendo consequências nocivas ao homem e ao meio ambiente.

Como as atividades antrópicas têm acarretado a degradação dos corpos hídricos de forma bastante acelerada (SIRTOLI et al., s.d.) e no intuito de mitigar os efeitos do lançamento de esgotos nas correntes de água, muitas tecnologias têm sido criadas, aliadas ao uso racional dos seus recursos.

Sistemas solo-planta, *wetlands*-construídos e jardins flutuantes são exemplos de sistemas naturais (ZANELLA, 2008) que estão sendo bastante utilizados pelo mundo, no intuito de mimetizar o ambiente natural, associando tratamento do esgoto e embelezamento paisagístico. As plantas agem como filtros, contribuindo na diminuição e eliminação da carga poluidora em corpos hídricos. Zanella (2008) destaca nos sistemas naturais a menor dependência de equipamentos mecânicos, menor custo de energia elétrica e necessidade de pequena quantidade de substâncias químicas.

No presente trabalho, utilizou-se do sistema de jardins flutuantes como uma medida corretiva em contrapartida ao lançamento de esgotos no corpo hídrico, tendo em vista a dificuldade de se detectar as fontes pontuais de lançamento clandestino no mesmo. Há pouca informação na literatura até o momento acerca da estrutura desse sistema, sua construção e desempenho, porém, os estudos encontrados têm mostrado resultados positivos.

Foram utilizadas neste sistema: plantas ornamentais, a maior parte disponível no *campus* da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), trazendo efeitos estéticos e de tratamento; estrutura de bambu, devido a sua grande disponibilidade na área de estudo; estrutura de paletes, para dar uma nova aplicação a esse tipo de plataformas; e o substrato do coco, material flutuante e inerte, a fim de reaproveitamento de biomassa. Foi então avaliada a eficiência desse sistema na remoção de matéria orgânica da água do “Laginho da UFCG”, bem como, a qualidade desta água, que recebe esgotos ilegais advindos do canal à montante deste açude.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um sistema de jardins flutuantes para avaliar sua eficiência como ferramenta de auxílio na revitalização das águas no “Laguinho” da Universidade Federal de Campina Grande.

2.2 Objetivos Específicos

- a) Identificar as possíveis fontes de contribuição de matéria orgânica no “Laguinho da UFCG”;
- b) Montar os sistemas de jardins flutuantes, utilizando diferentes estruturas;
- c) Monitorar a qualidade da água do açude após a instalação dos jardins flutuantes, mediante realização de análises físico-químicas;
- d) Comparar os resultados obtidos na avaliação da qualidade da água após a instalação dos jardins flutuantes no açude com dados experimentais anteriores.

3 JUSTIFICATIVA

O tamanho da população, seu ritmo de crescimento e grau de urbanização são determinantes demográficos da demanda por saneamento (LIMA, 2005).

Tucci (2008) afirma que a urbanização é espontânea e o planejamento é efetivado para a população de média e alta renda. Atualmente, mesmo com as melhorias, a situação sanitária no Brasil está marcada por uma grande desigualdade e déficit ao acesso, principalmente em relação à coleta e tratamento de esgoto (LEONETI, PRADO & OLIVEIRA, 2011). É possível observar um atendimento melhor nos grandes centros, em detrimento da periferia e do interior (BNDES, 1998 apud SAIANI & JÚNIOR, 2010).

Esse panorama das cidades brasileiras é percebido também no município de Campina Grande, área de estudo do presente trabalho. Com a intensificação do êxodo rural, na década de 70, a cidade passou por um processo de urbanização que acelerou o crescimento desordenado. Com o desenvolvimento intenso da economia, provocada pela cultura do algodão, a população de Campina Grande subiu de 20 mil para 130 mil habitantes em 30 anos (LIMA et al., 2014).

Segundo dados do Instituto Trata Brasil de 2017, Campina Grande apresenta uma cobertura de 88,28% de esgotamento sanitário e 100% da população urbana é atendida com água tratada. Embora se destaque uma cobertura urbana de 100% de água, esse serviço não é universalizado, pois não é garantido o fornecimento de forma ininterrupta.

A população, principalmente de áreas mais pobres, passou por anos difíceis, marcados por seca severa e racionamento de água. Essa medida foi tomada para garantir o fornecimento de água da cidade em meio a uma crise hídrica, desde dezembro de 2014, pela concessionária de água, a CAGEPA (BRITO, 2017).

A crescente demanda por água ligada a fatores de ordem legal, operacional e de falta de planejamento e gestão dos recursos hídricos, resultou na escassez hídrica do açude Epitácio Pessoa (BRITO, 2017), reservatório que abastece Campina Grande e região. O açude chegou a atingir o seu “volume morto”, reserva atribuída a manutenção ecológica dotada de águas impróprias para o consumo humano se submetidas apenas ao tratamento convencional (ARAÚJO, J., 2017). Com a chegada das águas da Transposição do Rio São Francisco e a gradativa recarga do manancial em abril desse ano, a situação do corpo hídrico vem melhorando, com previsão para se encerrar o racionamento no final do mês de agosto (Portal G1 Paraíba, 2017).

Lopes et al. (2015) apontam problemas no sistema de esgotamento sanitário de Campina Grande, como falta de cobertura em algumas áreas, perda de efluente ao longo da rede por vazamentos, contribuição de esgotos no sistema de drenagem e uma estrutura de manutenção e operação deficientes.

Diante do exposto, justifica-se a importância da adoção de medidas e tecnologias alternativas que visem à preservação e melhoria da qualidade dos corpos hídricos integrantes a cidade de Campina Grande.

Dentre as tecnologias fitorremediadoras, o sistema de jardins flutuantes tem apresentado excelentes resultados quanto a sua eficiência na remoção de poluentes. Galisa (2016) obteve bons resultados para remoção de matéria orgânica, utilizando modelos experimentais de jardins flutuantes. Sendo assim, optou-se pela utilização desse sistema na melhoria da qualidade das águas do “Laguinho da UFCG”.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Poluição Hídrica

De forma abrangente, Von Sperling (1996) explica que a poluição das águas resulta da adição de substâncias ou de formas de energia que, direta ou indiretamente, modificam as características físico-químicas do corpo d'água de tal maneira que prejudique a utilização de suas águas para usos benéficos.

O art. 3º, inciso III da lei federal 6.938/81 da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) define poluição como:

[...] a degradação da qualidade ambiental, resultante de atividades que direta ou indiretamente: a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem estar da população; b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; c) afetem desfavoravelmente a biota; d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; e e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos (BRASIL, 1981, art.3).

Com a urbanização crescente atrelada a falta de saneamento básico, muitas atividades foram intensificadas, gerando um maior volume de resíduos, tornando-se grandes fontes de poluição aquática. Sendo assim, população crescente, fatores geológicos, urbanização, desenvolvimentos agrícolas, mercados globais, industrialização e regulação das águas residuais afetam diretamente a quantidade e a qualidade da água (FAROOQ et al., 2006 apud LUQMAN et al., 2013).

De acordo com Carvalho & Oliveira (2010), os poluentes podem entrar em contato com a água de forma pontual (nos casos em que é possível localizar o que causou a poluição) e de forma difusa (não há como localizar exatamente de onde provêm os resíduos poluentes).

Diversas atividades contribuem com a poluição das águas, como o lançamento de resíduos domésticos sem nenhum tratamento prévio em canais, rios, lagos, etc. (KAHLONN & MAJEED, 2003 apud LUQMAN et al., 2013); condução de lixo nas ruas pela água da chuva até um corpo hídrico; águas residuais proveniente do descarte indiscriminado de produtos industriais e agroindustriais, como pesticidas e fertilizantes; resíduos radioativos; poluição por hidrocarbonetos; vazamento de armazenamento subterrâneo; deposição atmosférica; aquecimento global; eutrofização (LUQMAN et al., 2013); mineração; navegação; entre outras.

4.1.1 Fontes Poluidoras, Poluentes e Parâmetros de Qualidade da Água

Os principais poluentes aquáticos são os sólidos em suspensão, matéria orgânica biodegradável e não biodegradável, nutrientes, patogênicos, metais pesados e sólidos inorgânicos dissolvidos (CARVALHO & OLIVEIRA, 2010; VON SPERLING, 1996).

Estes poluentes encontrados nos esgotos causam desequilíbrios no corpo receptor, como a eutrofização do corpo d'água. A eutrofização dos corpos d'água é o crescimento excessivo das plantas aquáticas a tal ponto que interfira no uso desejável do corpo hídrico (THOMANN & MUELLER, 1987 apud VON SPERLING, 1996).

Nos lagos, o enriquecimento com nutrientes provoca eutrofização, provocando o aumento de biomassa no meio, e, especialmente em lagos menos profundos, acarretam fortes desequilíbrios no ecossistema (PALMA-SILVA et. al, 2012). Estando recebendo uma carga poluidora maior do que possa suportar, o corpo hídrico não consegue se autodepurar, entrando num estado de desequilíbrio que pode ocasionar a morte de muitas espécies animais e vegetais.

Os poluentes são provenientes de diversas fontes de contribuição, como esgotos domésticos, depósitos de lixo, mineração, agricultura e indústrias. Pereira (2004) explica que cada fonte de poluição determina um grau de poluição no corpo hídrico, mensurado através das características físicas, químicas e biológicas das impurezas nele presentes, identificados por meio dos parâmetros de qualidade da água (físicos, químicos e biológicos).

Para se obter um diagnóstico da qualidade físico-química de corpos d'água, Vieira A. et al. (2014) citam alguns indicadores básicos (Turbidez, Oxigênio Dissolvido (OD), Temperatura, Condutividade e Coliformes Fecais), parâmetros secundários (Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Potencial Hidrogeniônico (pH), Nitrogênio, Fósforo e Sólidos Suspensos) e indicadores complementares (Metais Pesados e Pesticidas).

Segundo Valente et al. (1997), a adição de matéria orgânica nos cursos d'água consome oxigênio dos mesmos, através da oxidação química e bioquímica, por meio da respiração dos micro-organismos, depurando a matéria orgânica.

Von Sperling (1996) aponta como principais parâmetros:

- Físicos: temperatura, cor, odor e turbidez;

- Químicos: sólidos totais (ST) e suas frações, matéria orgânica: DBO, DBO última, Demanda Química de Oxigênio – DQO, Carbono Orgânico Total – COT, nitrogênio total, fósforo, pH, alcalinidade, cloretos, óleos e graxas;
- Biológicos: bactérias, fungos, protozoários, vírus e helmintos.

Estes parâmetros são utilizados para determinados tipos de poluentes, analisando assim, sua concentração na água e servindo de indicador na análise da qualidade da água. Para a matéria orgânica, são utilizados métodos diretos, como o COT ou indiretos, como a DBO, DBO última e DQO. (VON SPERLING, 1996).

4.2 Parâmetros Químicos

4.2.1 Matéria Orgânica

4.2.1.1 Demanda Bioquímica (ou Biológica) de Oxigênio (DBO_5^{20})

A DBO ou DBO_5^{20} é um teste padrão que segue o procedimento descrito no *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Ela mede a quantidade de oxigênio requerida para estabilizar a matéria orgânica carbonácea, através de processos bioquímicos (VON SPERLING, 1996, p.66). A DBO demonstra, de forma indireta, a taxa de matéria orgânica nos esgotos ou no corpo d'água, sendo uma indicação do potencial de consumo de OD, aplicada na caracterização de águas residuais (brutas e tratadas) e corpos d'água. (VON SPERLING, 1996).

É também chamada de DBO_5^{20} pois é medida a quantidade de oxigênio produzido durante cinco dias a uma temperatura de 20°C (VON SPERLING, 1996). Valente et al. (1997) explicam que é uma medida feita em laboratório com o objetivo de simular o que acontece no corpo d'água.

As principais vantagens desse teste, segundo Von Sperling, (1996, p.68) são relacionadas ao fato de que o teste da DBO possibilita: “a indicação aproximada da fração biodegradável e taxa de degradação do despejo; a indicação da taxa de consumo de oxigênio em função do tempo e a determinação aproximada da quantidade de oxigênio requerido para a estabilização biológica da matéria orgânica presente”.

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA), níveis altos de DBO num corpo d'água são geralmente ocasionados pelo lançamento de cargas orgânicas, principalmente

advindas de esgotos domésticos, o que gera uma diminuição dos valores de oxigênio dissolvido na água, o que pode acarretar a morte de peixes e de outros organismos aquáticos.

Dessa forma, Muller (s.d.) destaca a importância do equilíbrio entre o oxigênio consumido e o oxigênio produzido e diz que esse equilíbrio é baseado em duas medidas:

1) a quantidade de esgoto lançado ao corpo d'água deve ser proporcional à vazão ou ao volume de água, isto é, à disponibilidade de oxigênio dissolvido; 2) Se a proporcionalidade acima não puder ser atendida recorre-se a outras fontes adicionais de oxigênio ao meio aquático e isto se faz: a) intensificando sua aeração, que pode ser feito por meio artificial, através de borbulhamento de ar comprimido ou forte agitação feita por rotores ou escovas rotativas ou b) desenvolvendo condições favoráveis à proliferação e atividade de organismos fotossintetizantes tais como algas microscópicas (MULLER, s.d.).

4.2.1.2 *Demanda Química de Oxigênio (DQO)*

Eckenfelder & Ford (1970) conceituam DQO como a medida, na parcela orgânica da amostra, do correspondente em oxigênio, que é suscetível à oxidação de permanganato ou dicromato numa solução ácida. A oxidação com permanganato é mais utilizada em águas limpas, com baixa concentração de matéria orgânica, com concentrações inferiores a 5 mg/L (VALENTE et al., 1997).

A principal diferença entre a DBO e a DQO, segundo Von Sperling (1996), é que a DBO se refere a uma oxidação bioquímica da matéria orgânica, realizada completamente por micro-organismos e a DQO corresponde a uma oxidação química da matéria orgânica, obtida através de um forte oxidante (dicromato de potássio) em meio ácido. Pereira (2004) afirma que em locais que contêm substâncias tóxicas para as bactérias decompositoras, a única forma de se determinar a carga orgânica é pela DQO ou COT, já que a DBO não pode ser empregada, pois há mortes das bactérias.

Valente et al. (1997) destacam que a principal vantagem da DQO é a rapidez na obtenção do resultado, que é de pouco mais de duas horas enquanto que o teste de DBO leva cinco dias. Von Sperling (1996) ressalta a vantagem de que o resultado do teste dá uma indicação do oxigênio requerido para a estabilização da matéria orgânica. Além disso, o teste não é afetado pela nitrificação, dando uma indicação da oxidação apenas da matéria orgânica carbonácea (e não da nitrogenada).

Para esgotos domésticos brutos, a relação DQO/DBO varia em torno de 1,7 a 2,4. Quando a relação DQO/DBO é baixa, a fração biodegradável é alta. Caso contrário, a fração inerte (não biodegradável) é elevada (VON SPERLING, 1996). O esgoto é tido como

biodegradável se a relação DQO/DBO for menor do que 5 (PORTO, 1991, apud VALENTE et al., 1997).

Altas concentrações de DQO indicam grande contribuição de resíduos industriais. Os efluentes de indústrias de refrigerante, por exemplo, apresentam DQO na faixa de 1000mg/L para lavagem e até 5500mg/L para as bebidas diluídas. Para matadouros e fábricas de embutidos esses valores podem chegar a 12000mg/L (GIORDANO, 2004 apud BRASIL, 2008). Especialistas da UNEP (1998) indicam padrão de DQO de 300mg/L para lançamento de efluentes domésticos e industriais na região do Caribe (BRASIL, 2008) No Japão, os padrões nacionais para lançamento de efluentes estabelecem, para a proteção do meio ambiente, valores de DQO de até 160mg/L. Na Tailândia, a DQO não pode exceder 400mg/L, em casos especiais.

4.2.2 Oxigênio Dissolvido (OD)

O oxigênio presente na água é fundamental na respiração dos seres ali presentes, na fotossíntese das plantas aquáticas e também na decomposição da matéria orgânica. Pereira (2004) e Von Sperling (1996) citam como principais fontes de produção de oxigênio na água: a troca com a atmosfera (aeração natural ou artificial); produção pelos organismos produtores primários via fotossíntese e; a própria água.

No que diz respeito ao consumo de oxigênio, Von Sperling (1996) destaca como principais fontes de consumo de oxigênio no meio aquático: a oxidação da matéria orgânica (respiração); demanda bentônica (camada superior do lodo de fundo); e nitrificação (oxidação da amônia). Outro fator salientado pelo autor é a reintrodução na massa líquida da matéria orgânica anteriormente sedimentada, causada pelo revolvimento da camada de lodo. Tal revolvimento ocorre devido ao aumento de vazão e de velocidade do escoamento da água.

Como algumas bactérias aeróbias fazem uso do oxigênio na água para sua respiração, a quantidade de oxigênio que sobra fica a disposição dos outros animais e plantas aquáticas. Segundo Von Sperling (1996) uma grande quantidade de oxigênio consumido pelas bactérias aliada a uma baixa taxa de aeração, possibilita a ocorrência de um aumento na quantidade de matéria orgânica e a morte de muitos peixes. Se totalmente consumido, têm-se condições anaeróbias, com liberação de odores desagradáveis.

Características físicas como a velocidade no corpo hídrico também são importantes na oxigenação da água. Muller (s.d) ressalta que em todo corpo d'água com pequena velocidade de escoamento, por melhor oxigenado que seja, há sempre um ambiente anaeróbico no seu leito, em camadas mais profundas. Sendo assim, para que não ocorra atividade anaeróbica, com suas consequências danosas e desprendimento de maus odores, deve-se adicionar oxigênio suficiente ao meio para estimular a atividade aeróbia.

Vinculado ao reestabelecimento do equilíbrio no meio aquático está o fenômeno da autodepuração, através de mecanismos essencialmente naturais, após as alterações induzidas pelos despejos afluentes, ou seja, a autodepuração faz com que os compostos inorgânicos tornem-se inertes, não prejudiciais do ponto de vista ecológico (VON SPERLING, 1996). Este fenômeno é importante para quantificar a carga poluidora que o corpo hídrico suporta sem que cause desequilíbrio no meio. Nesse contexto, o oxigênio dissolvido tem sido utilizado para medir o grau de poluição e de autodepuração nos cursos d'água.

O oxigênio dissolvido é o principal parâmetro indicador do nível de poluição da água por despejos orgânicos bem como da quantidade de matéria orgânica nela contida e é utilizado com mais frequência no controle operacional das estações de tratamento de esgotos e caracterização de corpos d'água (VON SPERLING, 1996).

A solubilidade do OD varia em função da temperatura e salinidade da água e da pressão atmosférica, além de outros fatores bioquímicos e climáticos. A solubilidade dos gases diminui quando se aumenta a temperatura, sendo assim, lagos e rios aquecidos artificialmente como resultado de poluição térmica contêm menos OD. Estima-se em 8,6mg/L a concentração de saturação do O₂, a 25°C e no nível do mar (FIORUCCI & FILHO, 2005). Valores acima da concentração de saturação indicam a presença de algas fotossintetizantes e a níveis inferiores, forte presença de componentes orgânicos. Ao atingir-se nível 0mg/L de OD tem-se condições anaeróbias (RIBEIRO, 2009).

A ANA informa que águas limpas apresentam uma taxa de OD acima de 5mg/L. No entanto, as águas eutrofizadas podem apresentar OD superiores a 10 mg/L (supersaturação), devido a fotossíntese de grande quantidade de algas, durante o dia, e cair bastante durante a noite, devido a respiração das plantas, podendo causar a morte de peixes por asfixia.

4.3 Parâmetros Físicos

4.3.1 Sólidos Dissolvidos Totais

De forma sucinta, Vieira, M. (2014) define sólidos totais como “a soma dos sólidos suspensos com os dissolvidos”. Tucci (2008) explica que os sólidos totais são formados pelos sedimentos, oriundos da erosão do solo, decorrentes do efeito de precipitação e do sistema de escoamento, e os resíduos sólidos são os produzidos pela população. Silva & Oliveira (2001) explicam que nos líquidos, a quantidade de matéria em suspensão e coloidal não dissolvida aumenta com o grau de poluição e que os lodos apresentam a maior parte da matéria sólida sob forma não dissolvida.

Os sólidos podem ser classificados de acordo com as suas características físicas ou químicas. Para o caso dos sólidos nos esgotos, segundo Von Sperling (1996) podem ser classificados:

- Quanto às características físicas (tamanho e estado): sólidos em suspensão ou dissolvidos;
- Quanto às características químicas: sólidos orgânicos (voláteis) e inorgânicos (fixos);
- Quanto à decantabilidade: sólidos em suspensão sedimentáveis ou não sedimentáveis.

Os sólidos em suspensão são aqueles que ficam retidos por meio de filtração e os dissolvidos, com diâmetro entre 3 e 10 μm , passam pela filtração, continuando presentes na amostra.

A análise de sólidos dissolvidos está entre um dos parâmetros mais usuais utilizados na caracterização ambiental de corpos d'água receptores (rios e lagos) devido a sua importância nos estudos de controle de poluição da água.

Silva & Oliveira (2001) explicam que, a partir desse método, é feito o fracionamento em que é obtida a quantidade de sólidos fixos e voláteis a partir da combustão da matéria orgânica a fim de obter-se uma medida grosseira da quantidade de matéria orgânica presente na amostra.

4.3.2 Temperatura

A temperatura ($^{\circ}\text{C}$) é a medição da intensidade de calor, com origem natural da transferência de calor por radiação, condução e convecção da atmosfera e do solo e com

origem antropogênica devida a águas de torres de resfriamento e despejos industriais (VON SPERLING, 1996).

Elevadas temperaturas aumentam a taxa das reações químicas e biológicas (na faixa usual de temperatura), diminuem a solubilidade dos gases, como o oxigênio dissolvido e também aumentam a taxa de transferência de gases, podendo causar odores desagradáveis. A verificação da temperatura é utilizada com mais frequência na caracterização de corpos d'água e águas residuais brutas. Ela é analisada juntamente com outros parâmetros, como o OD (VON SPERLING, 1996).

A temperatura está entre um dos principais parâmetros físicos dos esgotos domésticos. Em corpos d'água, em particular os lânticos, a análise do comportamento da temperatura com a profundidade é, na maioria das vezes, um ponto de interesse para a caracterização da ocorrência de ciclos diários ou sazonais de estratificação térmica e mistura (SILVA & OLIVEIRA, 2001). Ela é ligeiramente maior que a da água de abastecimento, mas varia conforme a estação do ano, influenciando na atividade microbiana, solubilidade dos gases e viscosidade do meio líquido (VON SPERLING, 1996).

Durante os meses mais quentes, a temperatura da camada superficial é bem mais elevada que a do fundo devido à radiação solar, tornando a densidade superficial maior que a do fundo, fazendo com que haja camadas distintas no corpo d'água (VON SPERLING, 1996). Conforme explica o autor, essa diferença pode ser tão grande que cause uma estratificação, com as camadas não se misturando entre si, podendo haver uma ausência completa de oxigênio na camada do hipolímnio (camada mais profunda).

Nos períodos mais frios essas camadas se homogêizam, provocando uma inversão térmica, reintroduzindo na massa líquida, compostos reduzidos do hipolímnio, causando a deterioração da qualidade da água (Von SPERLING, 1996).

Em corpos lânticos, como lagos, lagoas e reservatórios, que tem sua temperatura medida ao longo da profundidade, Silva & Oliveira (2001) explicam que são usados termistores posicionados em diferentes níveis de profundidade, ligados a teletermômetros ou medidores de condutância (medidores da variação da resistência induzida por variações de temperatura).

4.4 Tratamento Aeróbio e Anaeróbio

Segundo o Guia do Tratamento de Efluentes da Tera Ambiental (2014), o tratamento pode associar processos químicos, físicos e biológicos para dar uma correta destinação aos líquidos residuais, sejam eles industriais ou domésticos.

Durante a etapa de tratamento físico ocorre a separação e remoção de material particulado em suspensão. Já os processos químicos e biológicos objetivam remover os nutrientes, patógenos, substâncias tóxicas, redução de DQO e DBO (BENATTO, 2012).

O tratamento biológico tem como objetivo decompor a matéria orgânica pelas bactérias presentes no próprio efluente, convertendo-as em flocos biológicos e gases, tornando-os estáveis (GUIA..., 2014). Este processo que simula um fenômeno natural é classificado como aeróbio ou anaeróbio (FARRUGIA, 2012).

No tratamento anaeróbio, a matéria orgânica no afluente é biodegradada por bactérias na ausência de oxigênio, produzindo gás sulfídrico, metano, dióxido de carbono, amônia e fosfatos, com alguns deles provocando odores desagradáveis (BENATTO, 2012).

Um aspecto único do tratamento anaeróbio é que não é necessário um aceptor de elétron como oxigênio e nitrato, por exemplo, pois a própria matéria orgânica ou gás carbônico resultante do processo preenchem essa necessidade (McCARTY, 2001 apud SANTOS & PAULO, 2008). Os autores apresentam os principais sistemas desse tipo de tratamento: tanque séptico, tanque Imhoff, digestores de alta carga com 1 ou 2 estágios, filtro anaeróbio e lagoa e mais recentemente os sistemas de “alta taxa” como o *Upflow Anaerobic Sludge Blanket - UASB*.

Em relação ao processo aeróbio, seu princípio geral de funcionamento consiste em acelerar o processo de oxidação e decomposição natural da matéria orgânica que ocorre nos corpos hídricos receptores, na presença de oxigênio. Nesta reação há consumos de oxigênio, a matéria orgânica é convertida em biomassa bacteriana e mineralizada para gás carbônico (CO₂) e água (H₂O), substâncias inofensivas e úteis à vida vegetal (FARRUGIA, 2012).

Esse tipo de tratamento se destaca pela alta eficiência de remoção DQO/DBO (PESTANA & GANGHIS, 2009), visto a influência da presença do oxigênio, acelerando o processo de decomposição e estabilização da matéria, contribuindo na purificação do corpo hídrico. Kozak et al. (2012) salientam que o tratamento anaeróbio, quando comparado com o aeróbio, se mostra ineficiente na remoção de nutrientes, sendo compensado pelo aeróbio que

realiza maior fotossíntese, eleva o pH, age na volatilização da amônia (NH₃) e na precipitação parcial do fósforo.

Santos, Santaella & Silva (2008) destacam algumas tecnologias desse tipo de tratamento: lagoas aeradas, lodos ativados, filtros biológicos percoladores, biofiltros aerados e *wetlands*.

4.5 Fitorremediação

O uso de plantas e seus micro-organismos associados para remover metais pesados e outros poluentes orgânicos e inorgânicos do solo, ar e água é uma tecnologia emergente conhecido como fitorremediação (LUQMAN et al., 2013; PALMA-SILVA et. al, 2012).

Luqman et al. (2013) ressaltam que o uso de plantas é uma técnica relativamente barata se comparada a outras tecnologias da engenharia, possibilitando a remoção de poluentes da água e tornando-os inofensivos de tal maneira que não reajam com a água.

Luqman et al. (2013) explicam que as plantas são utilizadas no processo de remediação do solo e de águas contaminadas com metais pesados e poluentes perigosos. Elas agem como filtros, melhorando a qualidade da água. Luqman et al. (2013) discorrem sobre algumas das vantagens da fitorremediação como (1) o fato de ser uma tecnologia “limpa” e sustentável; (2) é utilizada para eliminar uma vasta gama de contaminantes de acordo com espécies diferentes de plantas; (3) é mais barato quando comparados com métodos físico-químicos convencionais e outros métodos e (4) é esteticamente mais agradável, contribuindo com o paisagismo local.

Palma-Silva et al. (2012) mostram resultados positivos da espécie aquática *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, conhecida popularmente como aguapé, em relação a remoção de nutrientes em lagos eutrofizados no sul do Brasil. Entretanto, ressaltam que devido as suas características de crescimento, esta espécie pode tornar-se uma peste em canais, lagos e rios. Avaliando a remoção de metais pesados, Demarco et al. (2016) também destacam as espécies de macrófitas aquáticas *Enhydra anagallis Gardner*, com grande potencial fitoacumulador de chumbo, cromo e níquel, a *Sagittaria montevidensis* Cham. & Schldl, com potencial para o cobre, *Pistia stratiotes* L. para o manganês, *Hymenachne grumosa* (Nees) Zuloaga para o vanádio e *Hydrocotyle ranunculoides* L.f. para o zinco.

Luqman et al. (2013) e Sene (2008) dividem a fitorremediação em subgrupos (figura 1). São eles: fitoextração, fitodegradação, rizofiltração, fitoestabilização e fitovolatilização.

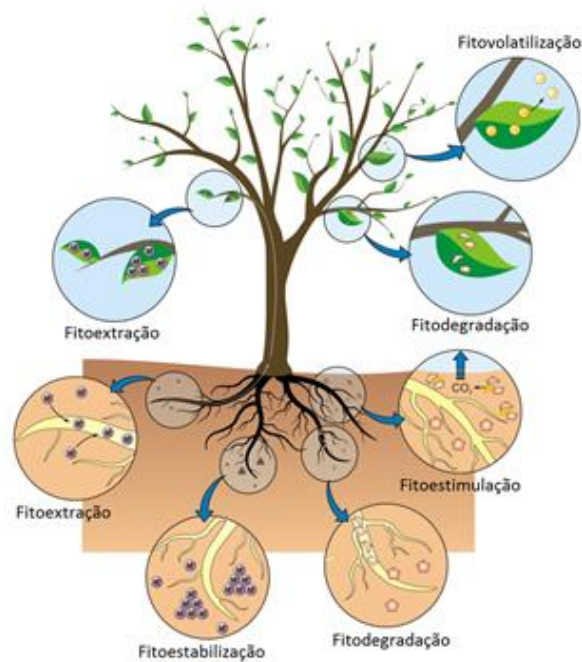
- Fitoextração: Ocorre a absorção e translocação dos contaminantes do solo e das águas subterrâneas nos tecidos da parte superior da planta (folhas, caule) e nas raízes, seguido de coleta e destruição da fitomassa;
- Fitodegradação: Ocasiona a decomposição dos contaminantes que são absorvidos pela planta através de processos metabólicos em seus tecidos vegetais ou externamente a partir de enzimas produzidas pela própria planta;
- Rizofiltração: Faz referência à remoção de contaminantes de águas, sejam elas superficiais, subterrâneas ou de rejeitos, através da absorção, precipitação sobre a superfície radical ou absorção nas raízes. Diferencia-se da fitoextração porque ao invés da translocação dos contaminantes ocorrer na parte epígea¹ da planta, a rizofiltração localiza-se a nível radical.
- Fitoestabilização: Os poluentes são absorvidos e acumulados na raiz ou precipitam-se na rizosfera². As plantas reduzem a mobilidade e biodisponibilidade dos contaminantes no ambiente e previnem a migração para a água ou o ar;
- Fitovolatilização: Nesta forma particular da fitorremediação, ocorre a liberação na atmosfera dos poluentes (volatilização através das folhas), após os processos de absorção e translocação na planta;
- Fitodescontaminação: Ocorre a redução dos contaminantes da água e solo a níveis aceitáveis pela degradação da microflora;
- Fitoestimulação: A biodegradação é intensificada na região da rizosfera, ou seja, verifica-se a degradação no solo de poluentes através dos efeitos combinados entre micro-organismos que vivem numa ligação íntima com as raízes.

As principais limitação da fitorremediação, apontadas por Luqman et al. (2013) são que: (1) é um processo demorado, que depende do crescimento das plantas; (2) plantas que absorvem metais pesados e tóxicos podem por em risco os animais e contaminar a cadeia alimentar; (3) deve haver um cuidado durante a seleção das espécies de plantas para que a fitorremediação seja bem sucedida e eficaz; (4) como para cada contaminante existem espécies próprias de plantas, depende-se muito da disponibilidade local de plantas adequadas ao tratamento e (5) são mais utilizadas em corpos d'água com baixo nível de contaminantes.

¹ Região caulinar abaixo do nó cotiledonar.

² Região onde o solo e as raízes das plantas entram em contato.

Figura 1- Tipos de fitorremediação



Fonte: Ciimarnaescola (2015).

4.6 Sistemas Naturais fitorremediadores

Dentro do contexto da fitorremediação, Zanella (2008) destaca os sistemas naturais para tratamento de efluentes. Esses tipos de sistemas são simulações de processos que ocorrem na natureza em contraponto aos sistemas complexos e mecanizados, gerando menores gastos com energia e pequena necessidade de materiais químicos.

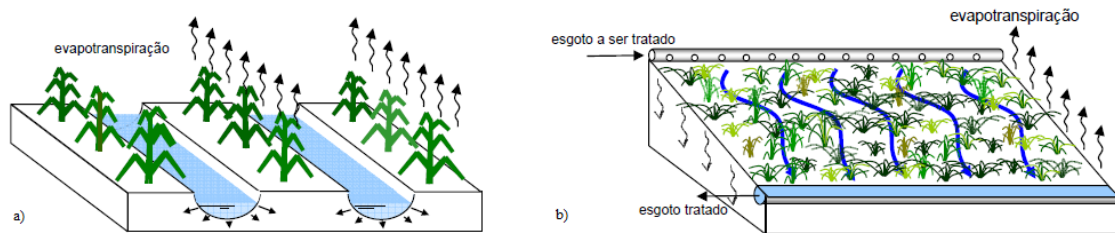
Sistemas solo-planta, *wetlands*-construídos e jardins flutuantes são exemplos de sistemas que mimetizam ambientes naturais com o objetivo maior de tratamento do efluente. Dentre as configurações do sistema solo-planta citadas por Zanella (2008) destacam-se irrigação e escoamento superficial devido ao uso de plantas (figura 2).

O método de irrigação utiliza esgoto pré-tratado e sofre ação física dos solos e decomposição pelos micro-organismos. Os nutrientes são absorvidos pelas plantas e a parte líquida é em boa parte perdida para a atmosfera na forma de vapor d'água por evaporação e evapotranspiração, diminuindo o volume do efluente que infiltra para as zonas mais profundas do solo (ZANELLA, 2008).

O processo de escoamento superficial diferencia-se da irrigação quanto à inclinação do solo e permeabilidade. O tratamento do efluente ocorre quando ele escoar por entre as plantas, devido à baixa permeabilidade. A água residual sofre evaporação, evapotranspiração, infiltração e

estabilização pelo biofilme aderido às plantas. As plantas, além de remover nutrientes como o nitrogênio e o fósforo, contribuem para evitar a erosão do solo. No sistema de irrigação, o objetivo principal é a infiltração do efluente no solo e aproveitamento pelas plantas, enquanto que no escoamento superficial, a inclinação faz com que o esgoto percorra uma extensão de solo vegetada e seja coletado tratado na parte mais baixa (ZANELLA, 2008).

Figura 2 - Esquemas de sistemas solo-planta de a) irrigação e b) escoamento superficial



Fonte: Zanella (2008).

Os *Wetlands*-construídos são sistemas controlados, alagados ou saturados, de matriz solo, planta e micro-organismos, criados com o intuito de controlar a poluição ou tratar a água residuária, simulando o que ocorre nos ambientes naturais de *wetlands*, áreas de transição entre o ambiente aquático e terrestre, como por exemplo, pântanos, manguezais, charcos, várzeas e lagos muito rasos (ZANELLA, 2008).

4.6.1 Jardins Flutuantes

Os jardins flutuantes ocorrem naturalmente nos corpos d'água e consistem em uma grossa esteira orgânica flutuante, que dá suporte ao crescimento das plantas. A parte superior é formada por um tapete flutuante de plantas e turfa decomposta. A parte abaixo do tapete é dotada de raízes entrelaçadas cobertas por biofilme, onde se desenvolvem comunidades de invertebrados e zooplâncton (NAICHIA et al., 2015).

Simulando o ambiente dos jardins flutuantes naturais, foram criados os jardins flutuantes artificiais (chamados nesse trabalho apenas de jardins flutuantes), empregados principalmente fora do país, na recuperação de rios, lagos e canais e mitigação dos efeitos nocivos do lançamento de esgotos na água.

Headler & Tanner (2008) explicam que ao invés de fixarem-se sobre os sedimentos, as plantas emergentes empregadas nos jardins flutuantes crescem sobre um tapete flutuante na

superfície de um corpo hídrico do tipo lago/lagoa e suas raízes desenvolvem-se por baixo dela (figura 3). É um tipo de tratamento ecológico, de baixo custo que associa preservação e revitalização da paisagem.

Figura 3 - Sistema de jardins flutuantes



Fonte: GreenMe (2016).

Esse sistema utiliza plantas aquáticas para filtrar poluentes sem o uso de produtos químicos, promovendo o tratamento do corpo hídrico, contaminado por esgotos domésticos. Headley & Tanner (2008) destacam que o objetivo dos jardins flutuantes é maximizar o contato entre o biofilme criado nas raízes das plantas e a água poluída que passa pelo sistema, fazendo com que as bactérias ali presentes possam atuar na degradação dos poluentes.

Os jardins flutuantes (*Floating Treatment Wetlands*) são uma espécie de combinação dos sistemas de lagoas e de *wetlands*. Esses sistemas de tratamento são eficientes, porém apresentam algumas limitações. As plantas das *wetlands* toleram apenas pequenas profundidades (cerca de 30 cm) e podem não resistir a inundações frequentes ou por longos períodos. As lagoas são bastante eficientes na remoção de sedimentos suspensos, mas não tanto na eliminação de partículas finas e contaminantes dissolvidos na água (HEADLEY & TANNER, 2008).

Headley & Tanner (2008) mostram que esse sistema integra os benefícios das plantas em desenvolvimento, sem a limitação das águas rasas necessárias às *wetlands* e melhorando potencialmente o desempenho do tratamento dos sistemas convencionais de lagoas.

Os jardins flutuantes admitem várias profundidades da água, devendo ter um nível acima de 1m para prevenir que as raízes se fixem ao substrato, fazendo com que o sistema

ancore e fique submerso quando o nível de água subir, causando a morte das plantas (HEADLEY & TANNER, 2008).

Headley & Tanner (2008) mostram que a parte coberta ocupada pelos jardins flutuantes no lago contribui para diminuir a penetração de luz e conseqüentemente, limita o crescimento de algas.

Esse tipo de sistema, com ilhas flutuantes de 110 m², foi implantado no canal Paco, em Manila, capital das Filipinas, associado à utilização de uma bactéria que decompõem a matéria orgânica, funcionando como um sistema catalisador do processo natural de autodepuração. (MOURA, 2016).

Hsiao-Ling et al. (2014) analisaram a eficiência dos jardins flutuantes na remoção de contaminantes da água do lago Lize. O lago, localizado na universidade de MingDao, em Taiwan, recebe esgotos domésticos dos dormitórios. Foram construídos modelos experimentais, com plantas aquáticas, associados à dispositivos de aeração à base de energia solar, que mostraram excelentes resultados em relação à remoção de fósforo, dissolução de oxigênio, diminuição das taxas de compostos nitrogenados e de DQO.

Um projeto de jardins flutuantes conhecido por *GrowOnUs* (figura 4) está sendo testado com o objetivo de despoluir o canal de Gowanus em Nova Iorque. As estruturas são feitas a partir de 54 tubos de metal (mesmo material dos tubos que lançam esgotos no canal), mais de 30 espécies de plantas e outros materiais flutuantes, como fibra de coco, bambu, micélio e fibras de plástico reciclado (REVISTA TAE, 2016).

Figura 4 - Representação gráfica dos jardins flutuantes no canal de Gowanus, em Nova York



Fonte: Revista TAE (2016).

Zhao et al. (2011) integraram o sistema de jardins flutuantes a implantação de vegetação em margens de áreas ribeirinhas de um rio eutrofizado na cidade de Jiaxing, província de Zhejiang onde obtiveram bons resultados quanto à remoção de nitrogênio, fósforo total, clorofila, sólidos suspensos, coliformes e metais pesados.

Estudos apresentados por Galisa (2016) utilizando modelos experimentais de jardins flutuantes simulando o ambiente do “Laguinho da UFCG” mostraram resultados positivos em relação ao substrato da fibra de coco (comparado com a casca de pinus) e a *Tradescantia pallida* (coração-roxo) como uma das alternativas de plantas ornamentais. Foram utilizadas como materiais de suporte o bambu e o PVC (figura 5).

Figura 5 - Modelos experimentais simulando o ambiente do “Laguinho da UFCG”

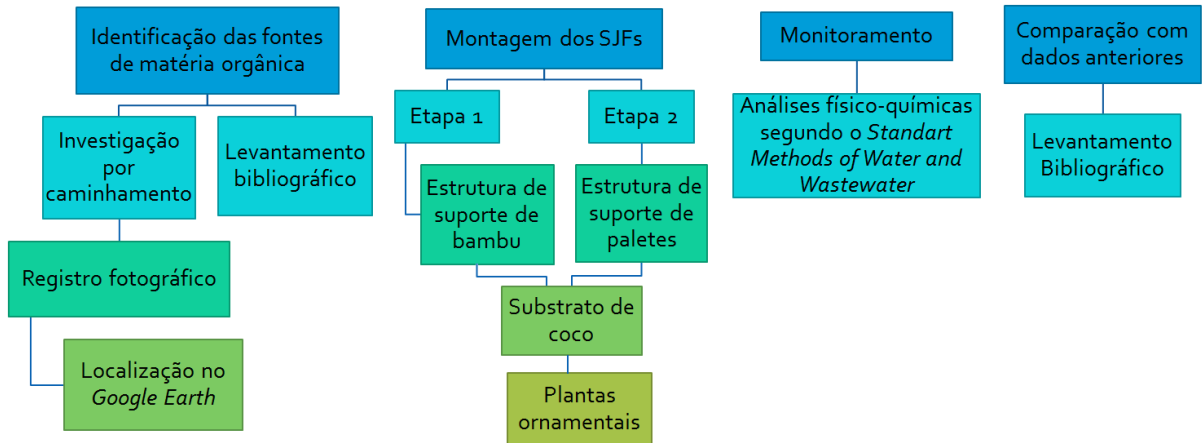


Fonte: Galisa (2016).

5 MATERIAL E MÉTODOS

As etapas do trabalho foram apresentadas, de maneira geral, através de um fluxograma (figura 6), mostrando o material e métodos para cada objetivo específico.

Figura 6 - Material e métodos



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

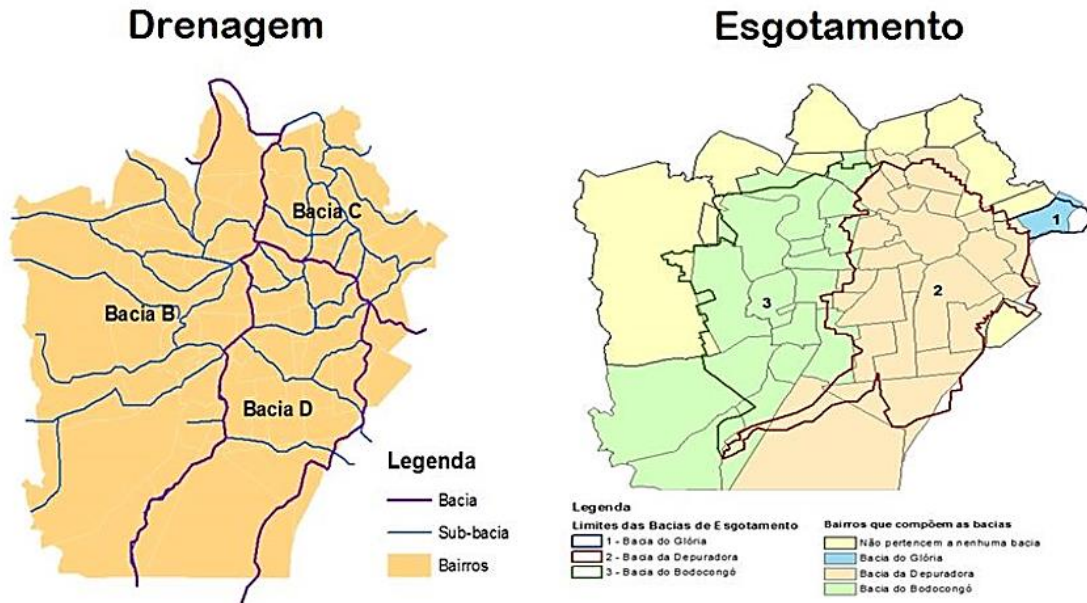
5.1 Caracterização da área de estudo

Este estudo foi realizado na cidade de Campina Grande ($07^{\circ}13'11''S$ e $35^{\circ}52'31''W$), na Paraíba. O clima é do tipo As' (quente e úmido com chuva de outono a inverno) segundo a classificação de Köppen (CUNHA et. al, 2009).

O sistema de esgotamento sanitário da cidade é dividido em três bacias (figura 7): Depuradora (leste); Bodocongó (oeste); e Glória. Nas áreas onde não há rede coletora, o esgoto é destinado a sistemas individuais ou segue a céu aberto, em valas, riachos e córregos (LOPES et al., 2016). A UFCG encontra-se inserida na bacia de Bodocongó, de onde o esgoto segue para a estação de tratamento da Catingueira (JUNIOR & SOUSA, 2014).

As bacias de drenagem e de esgotamento estão quase que sobrepostas, inferindo-se que problemas numa bacia de esgotamento afetem a respectiva bacia de drenagem (GALISA, 2016). De acordo com Gomes (2013) apenas 3% do esgoto da bacia de Bodocongó chega a ETE da Catingueira, o que sugere desvios do esgoto e lançamentos no sistema de drenagem.

Figura 7 - Sistema de Drenagem e de Esgotamento de Campina Grande



Fonte: Cagepa (2014) apud Galisa (2016).

Dentro deste contexto, encontra-se inserida a área de estudo do presente trabalho: um pequeno açude localizado na Universidade Federal de Campina Grande (figura 8), conhecido por “Laguinho da UFCG”.

Figura 8 – “Laguinho da UFCG”



Fonte: Assessoria de Comunicação da UFCG (2015).

A figura 9 mostra a área que hoje é formada pelo “Laguinho da UFCG”, antes do represamento de suas águas. Este pequeno açude foi represado após um evento de fortes chuvas em maio de 2011, que causou a destruição da antiga ponte que dava acesso ao setor C do *campus* da UFCG e inundou blocos de aula, causando grandes transtornos. O maior

objetivo de sua criação é o de aproveitamento de suas águas para irrigação de áreas verdes, bem como a harmonização paisagística do *campus* universitário. Atualmente, esse reservatório tem 473 metros lineares (ARAÚJO C., 2017).

Figura 9 - Aerofotogrametria da área do açude antes de ser represado



Fonte: Seplan (2010).

Este reservatório recebe a contribuição de um pequeno riacho à montante da UFCG, que tem vazão garantida mesmo em períodos de estiagem devido às contribuições ilegais de esgoto. Ele segue então, por um canal de drenagem dentro da universidade (GALISA, 2016). As águas correm pelo canal, até passar por uma pequena ponte de concreto (construída após a queda da ponte anterior) e então deságua no açude. Após percorrer o Laguinho, as águas passam por um vertedouro, seguindo caminho até o açude de Bodocongó (figura 10).

O açude é cercado por bambuzais e possui algumas árvores no seu perímetro e dentro de sua área alagada. No interior do reservatório existe também um pequeno banco de terra com plantas da espécie *Canna x generalis*. (cana-da-índia na cor vermelha), que foram utilizadas nos jardins flutuantes. Apresenta um quiosque às suas margens, além de alguns bancos de concreto e um coreto, construídos como parte de uma série de melhorias na urbanização de seu entorno promovidos pela Prefeitura Universitária.

Figura 10 – Percurso das águas até o “Laguinho da UFCG”



Fonte: Google Earth (2017).

5.2 Identificação das fontes de contribuição de matéria orgânica

Mediante reconhecimento da área *'in loco'*, foi feita a identificação visual e registro de memorial fotográfico de possíveis pontos de contribuição de esgoto no açude. Com o uso de um GPSMAP®76CSx, foram delimitadas as coordenadas dos pontos e indicados através de imagem do *Google Earth*. Através de pesquisas anteriores foram identificadas fontes de contribuição à montante do “Laguinho” (GALISA, 2016) e localização das principais fossas sépticas da UFCG, todas próximas da área do açude (FERREIRA, 2017).

5.3 Montagem do sistema de jardins flutuantes

Os jardins flutuantes foram montados em duas etapas, a primeira, com início no mês de março e a segunda etapa, em julho de 2017. Na primeira etapa os jardins foram feitos com estrutura de suporte de bambu e substrato de fibra de coco, que serve como base para raízes, e plantas ornamentais, de diferentes espécies. Foram colocados, inicialmente, cinco módulos de jardins no açude, conforme modelo apresentado na figura 11. Eles foram ancorados depois do canal, de forma que toda água que entrasse no açude, tivesse que passar pelos jardins, maximizando seus efeitos.

Na segunda etapa, foram colocados mais cinco modelos feitos com estrutura de suporte de paletes, em módulos menores que os de bambu, e com o substrato de coco, totalizando 10 jardins flutuantes. A maioria das plantas utilizadas foi retirada do *campus* da UFCG, outras foram adquiridas no *campus* da UFPB do município de Areia ou compradas em lojas de plantas ornamentais em Campina Grande.

Figura 11 - Protótipo dos jardins flutuantes feitos com bambu

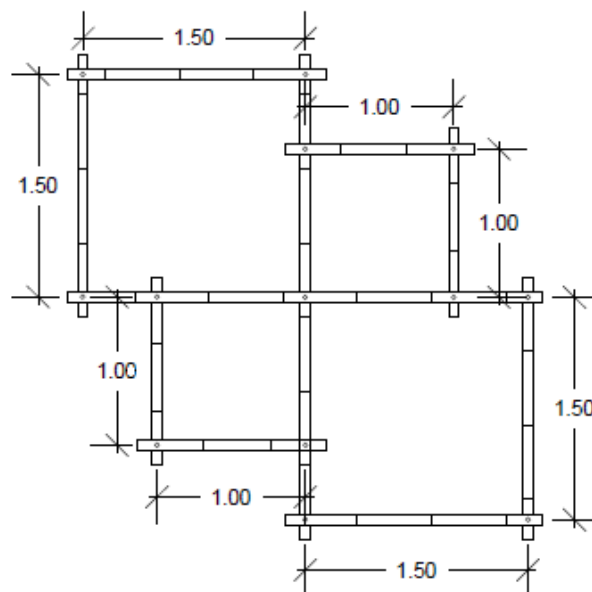


Fonte: Elaborado pela autora (2017).

5.3.1 Estrutura suporte de bambu

O material escolhido para o esqueleto do sistema na primeira etapa foi o bambu, devido a sua grande disponibilidade na área de estudo, fácil acesso e nenhum custo. Outros materiais empregados na montagem da estrutura foram barras roscadas de 45mm, arruelas, tela de mosquiteiro F9 verde com largura de 1,5m, totalizando 12m de tela em cada módulo e materiais adicionais para vedação e costura da rede, como silicone, espuma, verniz, selador e linha de nylon. Cada módulo é formado por 4 divisões na estrutura, sendo duas partes de 1,5x1,5 m e as outras duas, de 1,0x1,0m (figura 12).

Figura 12 – Dimensões dos jardins de bambu



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

5.3.2 Substrato de base para raízes e sustentação das plantas

O substrato selecionado foi o coco (figura 13), onde utilizou-se a casca em sua totalidade, devido a inviabilidade de custo e mão-de-obra de se obter apenas a fibra. O coco foi armazenado em sacos de ráfia de 60 kg, nas proximidades do “Laguinho”, e sendo utilizado conforme a necessidade durante a montagem dos jardins flutuantes. O substrato foi colocado entre as camadas de tela em quantidades aleatórias até que o volume fosse preenchido de maneira satisfatória.

Figura 13 - Substrato de coco dos jardins flutuantes



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

5.3.3 Plantas

Foram utilizadas nos jardins, plantas das seguintes espécies (figura 14): *Cyperus papyrus* (papiro), *Cyperus isocladius* (mini papiro), *Canna x generalis* (biri), *Iris pseudacorus* (iris-amarela), *Tradescantia pallida* (coração-roxo), *Tradescantia zebrina* e a *Spathiphyllum wallisii* (Lírio da Paz). Nos jardins de paletes também foi usada *Heliconia psittacorum* (*Heliconia papagaio*) e grama.

Figura 14 - Plantas utilizadas nos jardins flutuantes de bambu



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

5.3.4 Estrutura suporte de paletes

Visto a grande disponibilidade dos paletes, seu baixo custo e suas propriedades de flutuação, optou-se pelo seu uso na segunda etapa da construção dos jardins flutuantes. Foram feitos cinco módulos com paletes (2 jardins de 1,0x1,2m, 2 jardins de 1,0x1,0m e 1 jardim de 0,6x0,5m), estruturados de maneira semelhante aos jardins feitos com bambu, com substrato de coco, tela de mosquiteiro e plantas locais. Um menor deles foi coberto com grama acima do substrato e os demais foram totalmente envolvidos com a tela (figura 15).

Figura 15 - Jardins flutuantes montados com suporte de paletes



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

5.4 Monitoramento da qualidade da água do açude

5.4.1 Escolha dos pontos de coleta

O número de pontos amostrais foi determinado mediante delineamento estatístico para melhor representação do corpo hídrico em estudo. Foram escolhidos 7 pontos para serem analisados, seguindo uma linha do fluxo percorrido pelas águas do “Laguinho”, próximos aos jardins flutuantes. Os pontos de coleta foram marcados através da fixação de estacas de madeira, na entrada do açude, onde o riacho deságua.

A área experimental é indicada pela figura 16, onde foram colocados os jardins flutuantes no açude, além dos pontos de entrada e saída de água (vertedouro).

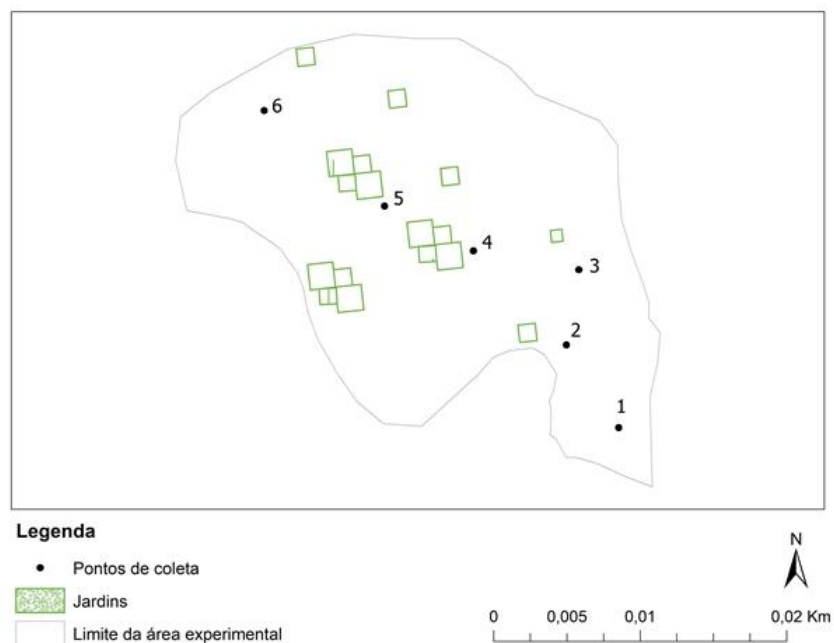
Figura 16 - Localização da área experimental



Fonte: Google Earth (2017).

A figura 17 mostra o mapeamento dos jardins flutuantes e pontos de coleta, cuja localização foi obtida a partir dos dados de um GPSMAP®76CSx. O ponto de entrada, P.1, localiza-se à montante dos jardins flutuantes. Os pontos P.2, P.3, P.4, P.5 e P.6 localizam-se entre os jardins flutuantes, no sentido do fluxo das águas. O P.7, não representado no mapa, é o ponto que se encontra no vertedouro, onde o açude deságua ao extravasar seu volume, encontrado na direção dos pontos 1, 2, 4, 5 e 6.

Figura 17 - Localização dos pontos de coleta



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

5.4.2 Coleta e análise dos parâmetros de qualidade da água

Após a implantação dos jardins flutuantes, foi feito o monitoramento no período da manhã (entre 8:30 e 10:30h), de amostras da água nos 7 pontos amostrais do açude. As coletas foram iniciadas no dia 18 de maio e finalizadas em 21 de agosto de 2017. Foram realizadas com o auxílio de um pequeno barco cedido pela área de Recursos Hídricos da Unidade Acadêmica de Engenharia Civil da UFCG e uso de um coletor de PVC. As amostras eram transferidas do coletor para garrafas de plástico e frascos de DBO, onde eram armazenadas dentro de caixas térmicas com gelo. Após as coletas, as amostras eram encaminhadas ao Laboratório de Saneamento da Unidade Acadêmica de Engenharia Civil para realização das análises.

Para os 7 pontos selecionados para monitoramento da qualidade da água, foram avaliados os parâmetros de DBO, DQO, OD, Temperatura e SDT, a fim de avaliar a eficiência dos jardins quanto à remoção de matéria orgânica no corpo d'água. As análises físico-químicas dos indicadores de qualidade da água seguiram a metodologia do *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater* conforme mostrado no quadro 1.

Quadro 1 - Métodos indicados para os parâmetros de qualidade da água segundo o *Standart Methods of Water and Wastewater*

Parâmetro	Método
Temperatura	Determinação por Termômetro
OD	Método Iodométrico (Método de Winkler) – Modificação Azida
DBO	Método Padrão Modificado
DQO	Método da Refluxação Fechada
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais secos a 103-105°C

Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Foram utilizadas amostras em duplicata para as análises de DBO, OD e SDT e triplicata para DQO, obtendo-se as médias dos resultados para cada indicador. As temperaturas foram medidas com termômetro ponto a ponto, obtendo-se uma média representativa. O armazenamento dos dados foi feito mediante diário de coletas, englobando as análises de cada ponto, data de coleta e informações adicionais auxiliares, posteriormente transferidas para

banco digital. Foram realizadas 9 análises para cada parâmetro para o ponto de entrada (P.1), a média dos pontos que passam pelo sistema (P.2, P.3, P.4, P.5 e P.6) e o ponto de saída (P.7).

A partir dos valores obtidos nas análises, gráficos foram elaborados para ilustrar a distribuição dos indicadores, através da ferramenta Excel do Windows.

5.5 Comparação com dados experimentais anteriores à implantação do sistema de jardins flutuantes

Os resultados obtidos através das análises físico-químicas foram comparados com dados da pesquisa bibliográfica e com dados experimentais de trabalhos anteriores apresentados por Galisa (2016), Araújo, C. (2017) e Lins (2017). Estes trabalhos envolvem a análise de parâmetros físico-químicos de amostras da água do “Laguinho” em diferentes períodos, antes da implantação do sistema de jardins flutuantes.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Fontes de Contribuição de matéria orgânica

Como parte dos primeiros resultados deste trabalho foram identificadas algumas fontes de contribuição de matéria orgânica no “Laguinho”, provenientes de atividades internas e externas à UFCG.

6.1.1 Dejetos animais

Com a criação do “Laguinho”, o ambiente tem atraído uma grande variedade de espécies animais, como bem-te-vi de coroa, garça branca, patos, gansos e saguis (figura 18). Funcionários e frequentadores do *campus* já disseram até mesmo ter visto um jacaré pequeno no açude.

No entanto, apesar de proporcionar uma bela paisagem, as fezes dos animais são continuamente despejadas no “Laguinho”, contribuindo para a sua eutrofização e conseqüente mortandade de peixes.

Figura 18 - Aves de várias espécies atraídas para o “Laguinho da UFCG”



Fonte: Tabosa (2015).

6.1.2 Contribuições à montante do açude

O canal por onde percorrem as águas do sistema de drenagem e que deságua no “Laguinho” recebe a contribuição de esgoto clandestino advindo dos bairros da Bela Vista e Monte Santo, conforme foi constatado por Galisa (2016).

Além disso, Araújo, C. (2017) aponta possíveis contribuições de esgoto proveniente da fábrica de papéis Fofex, localizado nas imediações da universidade. As diversas cargas de esgotos recebidas pelo açude fazem com que suas águas apresentem um aspecto desagradável, com coloração esverdeada e exalem maus odores.

Pode-se notar, pela figura 19, a formação de espumas sendo trazidas pelo canal, provenientes do lançamento de esgotos com concentração de detergentes, carregadas pelas águas em direção ao reservatório. Além disso, podem-se notar manchas de óleos concentrados ao redor do vertedouro.

Figura 19 - Pontos de entrada (a) e saída (b) da água do açude.



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Recentemente, a universidade construiu, no canal que dá acesso ao “Laguinho”, uma escada hidráulica dissipadora, aumentando a velocidade do fluxo e contribuindo com a re-oxigenação do efluente, impedindo que a água fique estagnada e aumentando o oxigênio dissolvido. Um estudo mostrou que esse tipo de descida d’água é utilizado em canais de estações de tratamento de esgoto para remover componentes orgânicos (TOOMBES, 2002, apud SIMÕES, 2008).

6.1.3 Levantamento de contribuições no “Laguinho da UFCG”

Mediante uma busca no *campus* e através de identificação visual e memorial fotográfico, pôde-se identificar possíveis fontes de contribuição de esgotos no “Laguinho”. Os pontos identificados foram marcados em mapa, mostrando sua localização (figura 20).

Figura 20 - Localização dos possíveis pontos de contribuição de esgoto



Fonte: Google Earth (2017).

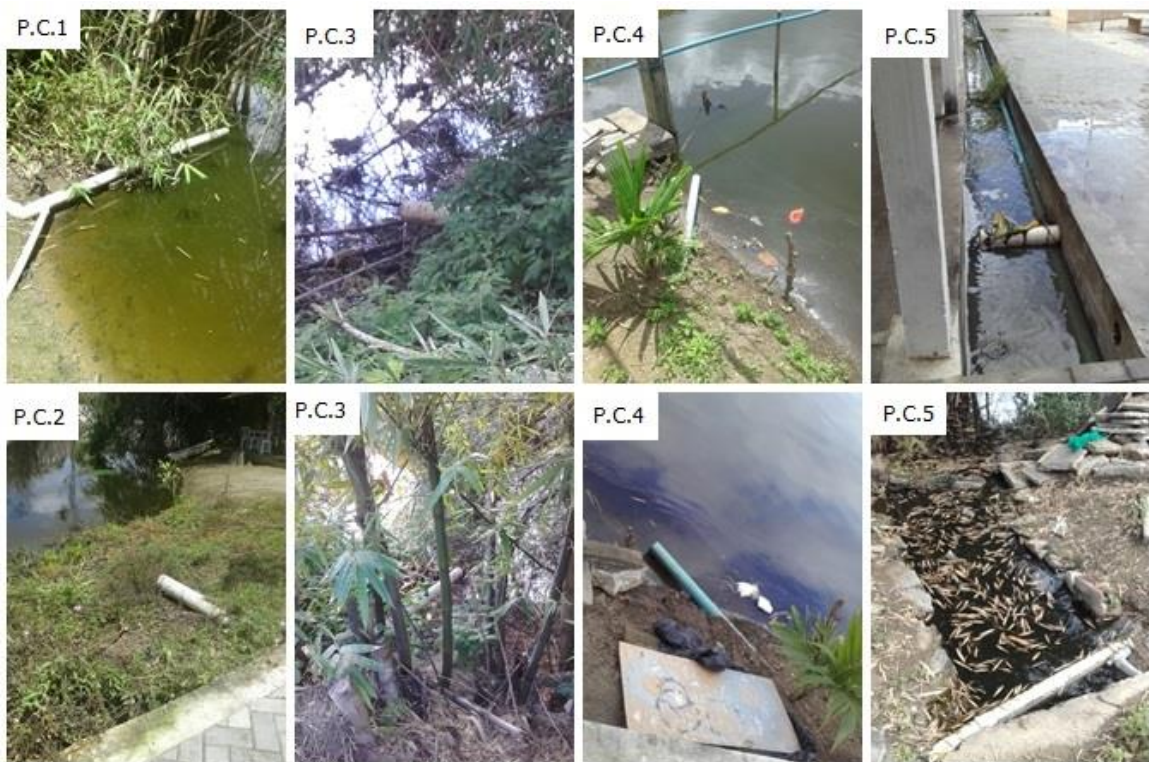
Um dos pontos de lançamento (figura 21) vem da direção dos bancos e restaurante universitário (P.C.3), onde se pôde perceber que, mesmo não havendo chuvas, é visto um lançamento constante de líquidos, através da tubulação, o que sugere uma contribuição irregular de esgotos.

Foi possível notar também o lançamento de um líquido turvo através de uma tubulação que sai do quiosque da lanchonete para o açude (P.C.1). Outra tubulação próxima do quiosque foi descoberta (P.C.2), assim que o período chuvoso cessou e o nível da lâmina d'água diminuiu.

Outras tubulações foram observadas nas imediações do bloco BU (P.C.4), que se tornaram visíveis com a baixa no nível da água. Presume-se então, que haja lançamento indevido de esgoto no açude, provenientes dos prédios do *campus* localizados no entorno do “Laguinho”, conforme pode ser constatado pela figura 21.

É possível que haja a contribuição de esgoto vindo do canal de drenagem que deságua no “Laguinho”, próximo ao bloco CA (P.C.5).

Figura 21 - Lançamentos feitos no açude de possíveis fontes de contribuição de esgoto



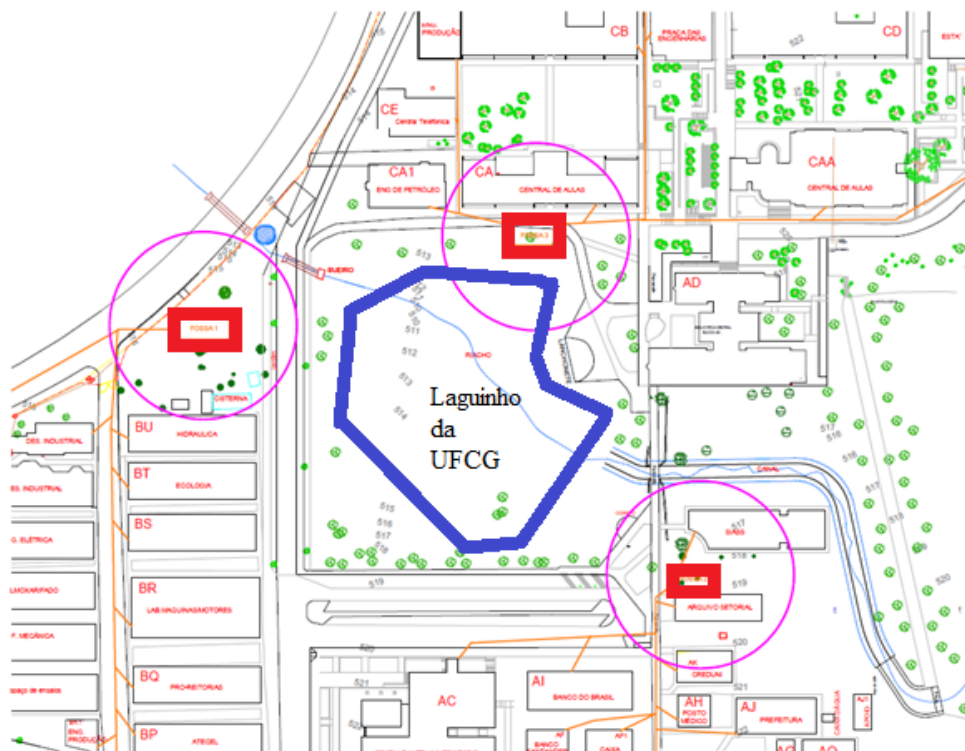
Fonte: Elaborado pela autora (2017).

6.1.4 Principais fossas sépticas da UFCG

O sistema de esgotamento da universidade é constituído por 3 grandes fossas sépticas principais que atendem aos setores A, B e C da universidade, localizadas nas imediações do “Laguinho” (figura 22).

Ferreira (2017) identificou alguns problemas relacionados ao sistema de esgotamento na UFCG, dentre os quais, entupimento e vazamento na rede, que podem ser ocasionados por falta de manutenção preventiva das fossas, acarretando em poluição e contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas. Tendo em vista a proximidade dessas fossas da área do “Laguinho”, é possível que haja a transferência de carga orgânica através do solo e das águas para o mesmo.

Figura 22 - Localização das 3 principais fossas sépticas da UFCG



Fonte: Ferreira (2017).

6.2 Montagem do sistema de jardins flutuantes

A montagem do sistema de jardins flutuantes deu-se em duas etapas, sendo construídos cinco módulos em cada etapa. O módulo é constituído de: uma estrutura de suporte, substrato e plantas ornamentais. Na primeira etapa foram desenvolvidos 5 módulos de bambu (figura 23) e na segunda, 5 módulos de paletes

Figura 23 - Jardins flutuantes colocados no “Laguinho da UFCG”



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

6.2.1 Estrutura de Suporte

A estrutura de suporte fornece aos jardins a propriedade de flutuação, impedindo que as folhas submerjam e tenham seu processo de fotossíntese prejudicado, além de prevenir as plantas do ataque de predadores aquáticos (GALISA, 2016).

Analisando as propriedades de diversos materiais, atentamos para o uso do bambu, material leve, renovável, perene, resistente, versátil e com boas características físicas e mecânicas. Além disso, absorve grandes quantidades de carbono (MOIZÉS, 2007).

Galisa (2016) utilizou pequenos modelos com estruturas de suporte de bambu e de PVC em tanques, mostrando que esses tipos de materiais atendem as necessidades do sistema. No entanto, o PVC é um material que traria maiores custos, e ante a grande disponibilidade do bambu no *campus*, optou-se por seu uso.

Algumas semanas após a implantação do sistema de jardins flutuantes observou-se, porém, que partes de alguns jardins haviam afundado por causa do grande tamanho, diferentes diâmetros das peças de bambu e diferentes volumes de substrato em cada lado do módulo, ocasionando uma variação na densidade do sistema. Isso acarretou na morte das plantas de um dos jardins por saturação, devido serem plantas terrestres e não aquáticas. Outro jardim se desancorou, sendo levado para distante dos outros, do outro lado do açude, ficando preso entre os bambuzais e também terminou afundando. Após essa observação, optou-se por colocar cinco novos módulos, menores e com estrutura de suporte de paletes.

O palete em madeira é uma plataforma móvel em forma de estrado idealizada para facilitar o transporte e armazenamento de cargas. O crescente descarte desse tipo de suporte por indústrias e empresas tem despertado o interesse de formas alternativas ao seu uso convencional, gerando assim novos produtos, como mobiliário (MATOS & MÁXIMO, 2015) e sistemas construtivos residenciais (RIBEIRO & ANDRADE, 2015).

Por ser um material que flutua e de baixo custo, utilizou-se os paletes na segunda etapa. A montagem com paletes foi muito mais rápida, necessitando de menos mão-de-obra, quando comparados com os jardins de bambu. A manutenção dos jardins feitos com paletes também tornou-se muito mais fácil, já que, por serem menores, é possível removê-los com maior facilidade para às margens, para que seja feita a poda das folhas e o corte na rede para que as novas plantas não cresçam por baixo da tela.

6.2.2 Substrato

O substrato, dentro de um sistema hidropônico, serve como suporte para que as plantas fixem suas raízes e para reter a água que irá fornecer os nutrientes às plantas. Melo et al. (2006) apontam algumas características de um substrato ideal:

- Elevada capacidade de retenção de água;
- Distribuição das partículas de tal modo que, ao mesmo tempo em que retenham água, mantenham a aeração para que as raízes não sejam submetidas a baixos níveis de oxigênio, o que compromete o desenvolvimento da cultura;
- Decomposição lenta;
- Disponível no comércio;
- Apresenta baixo custo.

Muitos materiais naturais têm sido estudados e utilizados na construção de jardins flutuantes. Zanella (2008) fez uso de anéis de bambu e brita, materiais que já foram utilizados com sucesso, embora os anéis de bambu apresentem dificuldades em relação ao seu corte. O autor cita também o emprego de materiais como casca de arroz, cascalho, PVC e pneu picado em diversos tipos de sistemas naturais. Outros substratos são encontrados na literatura como turfa, fibra de coco, vermiculita, perlita, lã de rocha, escória, serragem e produtos de espuma.

O material de suporte escolhido foi o coco, devido as propriedades relativas à fibra do coco, tais como fluabilidade, retenção de água, arejamento, resistência, remoção da

clorofila, armazenamento de alguns nutrientes para quando a planta necessitar, possibilidade de reaproveitamento da biomassa, biodegradabilidade, isenção de aditivos químicos e baixo custo quando comparado a outros tipos de substrato (LACERDA et al., 2006).

O coco atendeu as expectativas como substrato, dando uma excelente sustentação às plantas e retendo grande quantidade de água.

6.2.3 Plantas

Para sistemas naturais de tratamento, Zanella (2008) explica que é possível adaptar plantas ornamentais, como *Zantedeschia aethiopica* (copo de leite), *Cyperus papyrus* (papiro), *Canna x generalis* (biri) e *Cyperus isocladius* (mini papiro).

Zanella (2008) aponta algumas limitações do uso de plantas aquáticas, o que justifica a escolha por várias plantas ornamentais no presente trabalho:

1) algumas macrófitas tem rápido crescimento, e isso gera uma maior facilidade de propagação, podendo as mesmas extrapolar os limites do sistema de tratamento contaminado e propagar-se pelos cursos d'água circunvizinhos;

2) Se forem espécies competitivas, podem vir a se tornar uma praga necessitando-se de uma manutenção periódica para manter a eficiência de purificação;

3) As plantas aquáticas podem aumentar a proliferação de mosquitos e servirem de incubadoras de ovos e larvas.

As plantas ornamentais apresentaram boa adaptação ao sistema, principalmente o papiro, por ser uma planta aquática, se desenvolvendo melhor também devido as chuvas características do período. Apenas as plantas dos jardins de bambu que afundaram, não sobreviveram.

6.3 Análises Físico-químicas

6.3.1 Temperatura

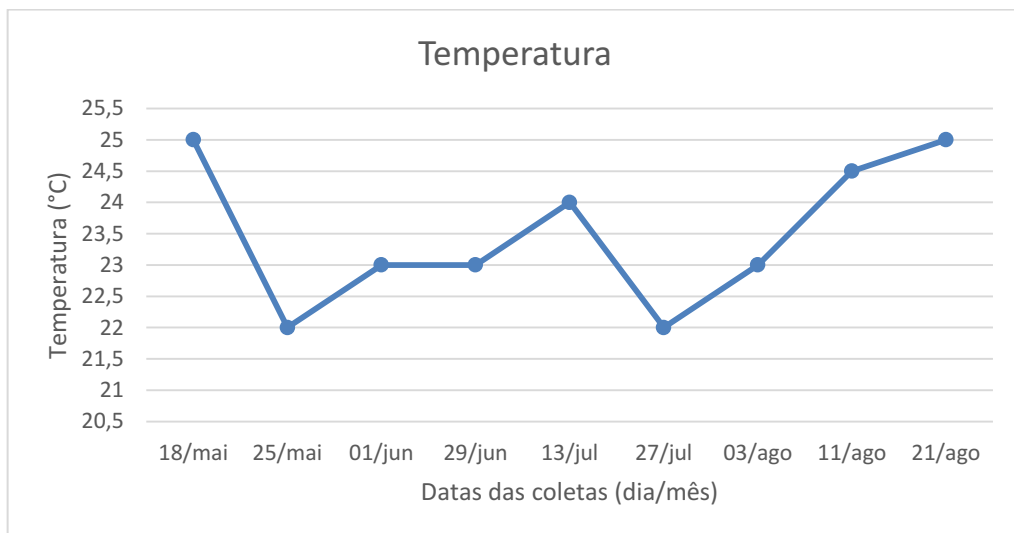
A temperatura é um parâmetro que influencia diretamente em outros indicadores físico-químicos, como por exemplo, o OD. Altas temperaturas aceleram a taxa das reações químicas e biológicas, diminuindo a solubilidade dos gases, como o oxigênio dissolvido e aumentando a taxa de transferência de gases, ocasionando odores desagradáveis.

Conforme apresentado na figura 24, as temperaturas da água variaram entre 22 e 25°C entre os meses de maio e agosto, conforme o clima apresentado no período da manhã. Elas representaram uma média das temperaturas para cada ponto nos diferentes dias de coleta.

Segundo a AESA, não foram constatadas chuvas no dia 18 de maio nem em dias anteriores a este, apresentando temperatura da água de 25°C, máxima obtida. Também não houve chuvas no dia 21 de agosto, que teve a mesma temperatura, mostrando a influência da precipitação e da temperatura atmosférica neste parâmetro.

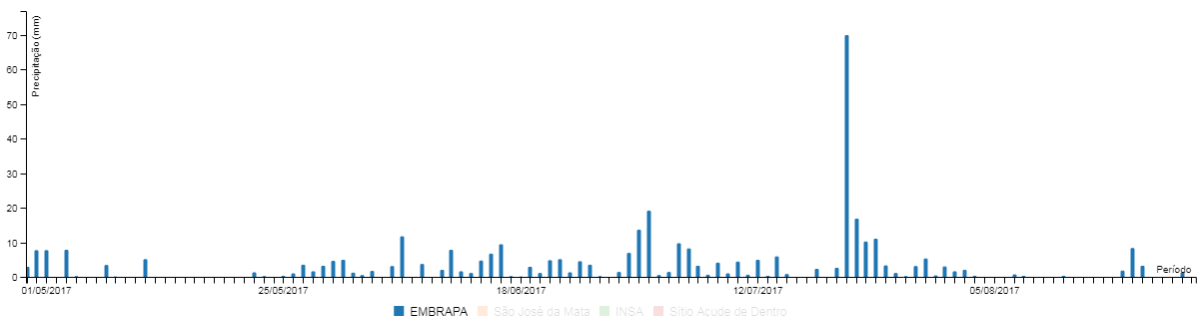
Houve chuva nos dias em que a temperatura foi a menor, 22°C, e em dias anteriores. Nos dias anteriores a 27 de julho, por exemplo, houve grandes precipitações de 69,8, 16,8 e 10,2 mm, de acordo com a AESA (ver figura 25).

Figura 24 – Variações de temperatura



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Figura 25 - Dados de precipitação de Campina Grande entre maio e agosto de 2017



Fonte: AESA (2017).

Segundo a ANA (2017), todos os corpos hídricos apresentam variações de temperatura ao longo do dia e das estações do ano. No entanto, o lançamento de efluentes com altas temperaturas pode causar impacto significativo nos corpos d'água. Sendo assim, o lançamento de efluentes domésticos e industriais, devido as suas características particulares, pode causar poluição térmica.

6.3.1.1 Comparação com dados experimentais anteriores à implantação do sistema

As temperaturas obtidas por Araújo, C. (2017) não variaram muito, ficando entre 24 e 24,5°C. Lins (2017) obteve temperaturas entre 24 e 27°C. As altas temperaturas encontradas pelos autores refletem o cenário de seca e estiagem, em que o “Laguinho” apresentou pequenas alturas de lâmina d'água.

6.3.2 OD

O oxigênio dissolvido é um parâmetro que representa a quantidade de oxigênio dissolvido no corpo hídrico. Para as águas do açude, o ideal seria encontrar valores em torno de 5 a 9 mgO₂/L, próximos de 100% de saturação.

Araújo (2017) realizou teste de salinidade das águas do açude a partir da concentração de sólidos totais dissolvidos e constatou salinidade média de 1,33g/L, classificando a água na categoria de salobra.

A salinidade tem influência na capacidade da água em dissolver oxigênio. O aumento da salinidade diminui a solubilidade do O₂ na água. Dessa forma, a presença de minerais e elevadas concentrações de sais dissolvidos na água decorrentes de atividades poluidoras podem influenciar no teor de OD. A salinidade é a principal causa do menor valor de OD nas águas salgadas, para o mesmo valor em águas doces e sob mesmas condições de temperatura e pressão atmosférica (FIORUCCI & FILHO, 2005).

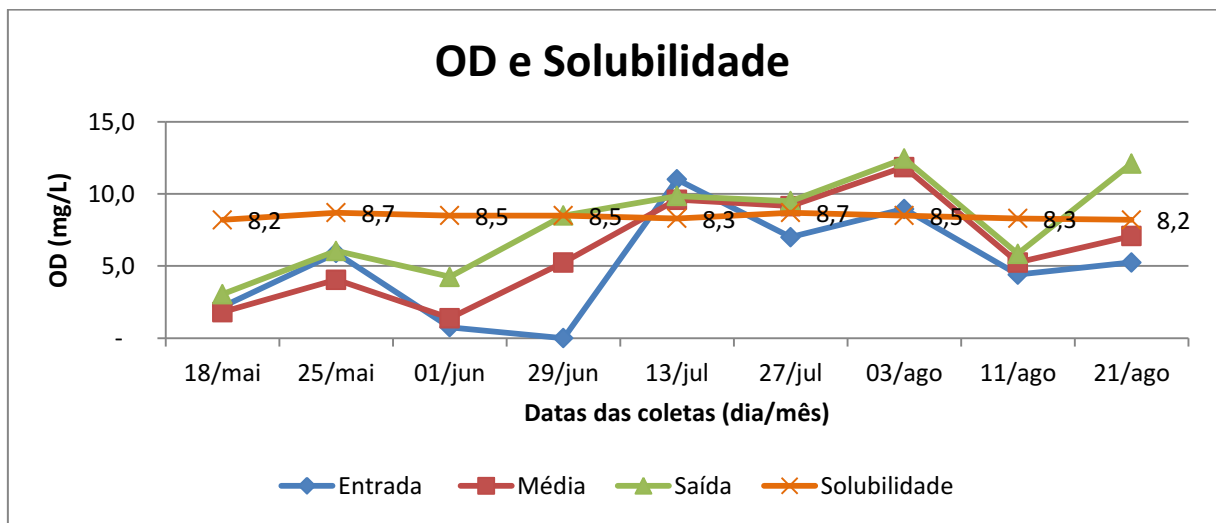
Em função das temperaturas e da salinidade, obteve-se valores de solubilidade para cada dia de coleta (figura 26), comparando as concentrações de saturação com as taxas de OD encontradas para os pontos 1 (entrada), média dos pontos 2 ao 6, e ponto 7 (saída).

Aproximadamente 33,33% dos valores de OD apresentaram valores abaixo de 5, bem inferiores as concentrações de saturação, indicando alta concentração de matéria orgânica na

água. Os 33,33% apresentaram-se na faixa ideal de OD (entre 5 e 9 mg/L), e os outros 33,33% ficaram acima de 9 mg/L, ultrapassando a capacidade de saturação, indicando presença de algas fotossintetizantes, e possível apresentação de baixas taxas de OD durante a noite.

Os primeiros meses, maio e junho, apresentaram os menores valores de OD. Foi percebido condição de anaerobiose no dia 29 de junho no ponto de entrada. Entre os dias 11 e 22 de maio não foram registradas precipitações na cidade segundo dados da AESA. Para os dias posteriores foi registrado chuvas quase todos os dias, trazendo contribuições diariamente de efluentes lançados à montante do “Laguinho”. Os baixos valores de OD referentes ao ponto de saída podem ser devido às contribuições recebidas, seja por matéria orgânica biológica, efluentes lançados pelo sistema de drenagem e infiltrações provenientes das fossas próximas do açude.

Figura 26 - Oxigênio Dissolvido e Solubilidade



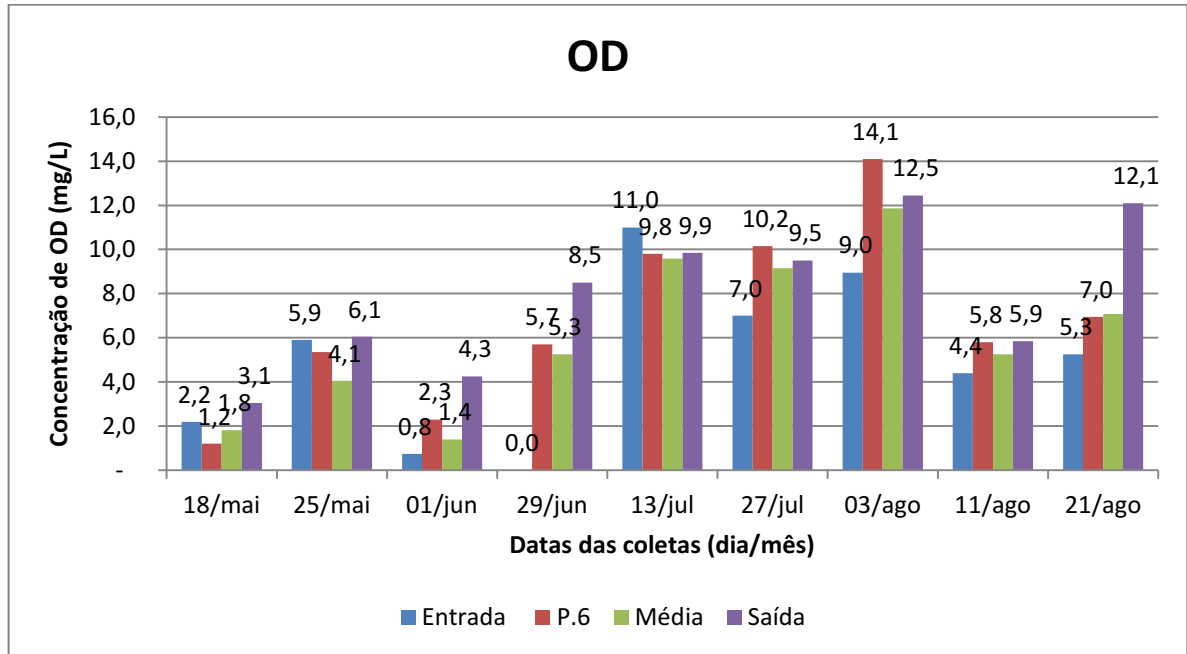
Fonte: Elaborado pela autora (2017).

De julho a agosto, os níveis de OD aumentaram, atentando para o fato que nesse período ocorrem maiores níveis de precipitação e, além disso, foram acrescentados no “Laguinho” 5 módulos de jardins feitos com paletes, podendo ter contribuído para melhora nos resultados de OD.

6.3.2.1 Comparação com dados experimentais anteriores à implantação do sistema

A figura 27 mostra o gráfico do OD para o ponto de entrada (P.1), média dos pontos 2 ao 6 (pontos próximos dos jardins), ponto P.6 e saída (P.7).

Figura 27- Oxigênio Dissolvido



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Ao analisar os dados, percebeu-se uma média de 5,1 e 8,0 para os pontos de entrada e de saída, respectivamente. A eficiência do sistema em relação à entrada foi de 22%, 35% e 58% para a média dos pontos, P.6 (ponto mais à jusante entre os localizados próximos do sistema) e P.7, respectivamente (tabela 1). A eficiência foi crescendo do ponto de entrada ao ponto de saída.

Tabela 1- Médias e eficiências de OD em relação à entrada

Pontos	Média (mg/L)	Eficiência (%)
Ponto de entrada (P.1)	5,1	-
Média de P.2 a P.6	6,8	22%
P.6 (mais afastado jardins)	6,2	35%
P.7 (vertedouro/saída)	8,0	58%

Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Araújo, C. (2017) obteve maiores valores de OD entre os meses de novembro e dezembro, período marcado por uma grande estiagem de chuvas, aumentando o consumo de

OD por algas fotossintetizantes durante o dia. A figura 26 mostra que os valores de OD oscilaram bastante, devido aos diferentes volumes de efluentes, domésticos e industriais, lançados diariamente no “Laguinho” com o período de chuvas.

Araújo, C. (2017) obteve média de 6,53 e 6,38 mgO₂/L para o ponto de entrada e de saída, respectivamente. Lins (2017) obteve média à montante de 6,23 mgO₂/L e à jusante de 5,32 mgO₂/L. Os resultados se mostraram ineficientes quanto a taxa de OD da entrada para a saída (tabela 2). Ambos os trabalhos foram feitos antes da instalação dos jardins flutuantes e em período de estiagem de chuvas. Comparando as eficiências obtidas por Araújo, C. (2017) e Lins (2017) observa-se que houve um aumento da taxa de eficiência da saída em relação à entrada após a implantação do sistema de jardins flutuantes (58%).

Tabela 2 - Médias e eficiências de OD em relação à entrada antes da instalação do sistema

Autores	Ponto de entrada	Ponto de saída	Eficiência (%)
Araújo, C. (2017)	6,53	6,38	-2
Lins (2017)	6,23	5,32	-15

Fonte: Elaborado pela autora (2017).

6.3.3 DBO

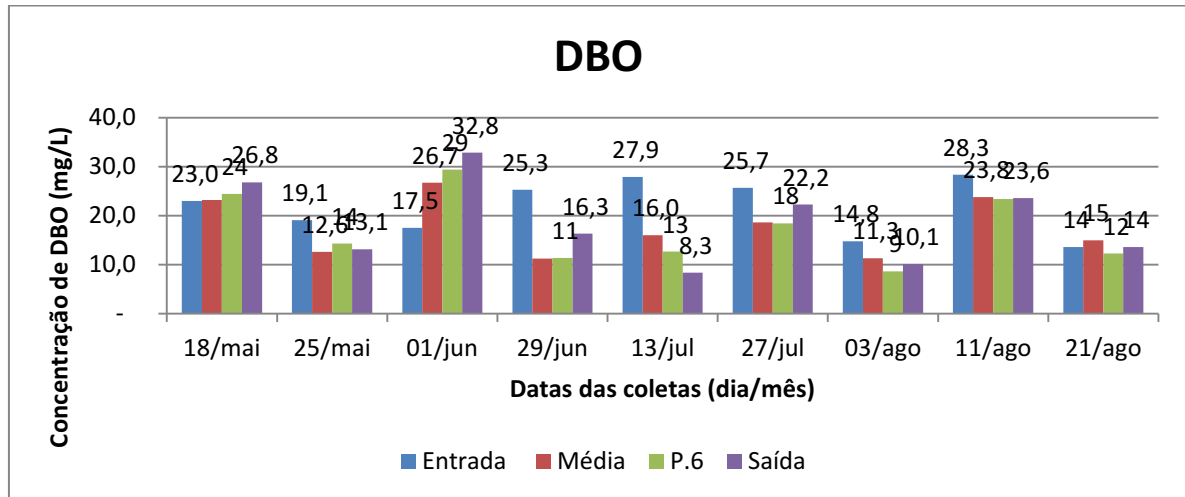
A DBO é o parâmetro mais utilizado na identificação de poluição por matéria orgânica. Sua determinação envolve a medida do oxigênio utilizado pelos micro-organismos na oxidação bioquímica da matéria orgânica.

Aumentos de DBO são provocados por efluentes de origem predominantemente orgânica. Nos Estados Unidos, valores médios de DBO para efluentes domésticos ou industriais, são em geral na ordem de centenas mg/L. Águas seriamente poluídas apresentam DBO maior do que 10mg/L (FIORUCCI & FILHO, 2005).

O dia de maior concentração de DBO (figura 28) foi marcado por chuva (01 de junho), com precipitação de 1,2mm (dado da AESA), porém com poucas precipitações em dias anteriores. Um dos dias de menor concentração (03 de agosto) apresentou precipitação de 0,3mm no dia e grandes níveis de precipitação em dias anteriores, conforme figura,

contribuindo para a diluição das águas do açude. Isso indica uma forte ligação da precipitação com o despejo de efluentes no meio.

Figura 28 - Demanda Bioquímica de Oxigênio



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

6.3.3.1 Comparação com dados experimentais anteriores à implantação do sistema

Para os dados da figura 28, obteve-se uma média de 21,7, 17,6, 17,2 e 18,62 mg/L, para os pontos de entrada, média, P.6 e P.7 (tabela 3). O sistema se mostrou eficiente em todos os pontos. Porém, a eficiência caiu entre o P.6 e o vertedouro (saída), o que pode ser justificado pelas contribuições de esgoto nessa área, que também não possui jardins flutuantes.

Tabela 3 - Médias e eficiências de DBO em relação à entrada

Pontos	Média (mg/L)	Eficiência (%)
Ponto de entrada (P.1)	21,7	-
Média de P.2 a P.6	17,6	19%
P.6 (próximo ao final do conjunto de jardins)	17,2	21%
P.7 (vertedouro/saída)	18,6	14%

Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Galisa (2016) obteve uma média de DBO de 25,8 mg/L para água à montante do açude, reservada em um tanque experimental. Araújo, C. (2017) obteve para o ponto de entrada, DBO de 51,6 mg/L e para o ponto de saída, de 48,6 mg/L. Lins (2017) apresentou média de 38,5 mg/L à montante e de 43,4 mg/L à jusante. Araújo, C. (2017) apresentou eficiência menor em relação à DBO, comparando a entrada com a saída (tabela 4) e Lins (2017) obteve ineficiência em relação à DBO. Os maiores valores de DBO devem-se a estiagem de chuvas, que fez com que o volume do açude diminuísse, recebendo exclusivamente contribuições de efluentes. Em dias de chuva, a água traz todo o efluente que ficou estagnado no canal no período anterior as chuvas, elevando a quantidade de matéria orgânica e consequentemente aumentando a DBO.

Tabela 4 - Médias e eficiências de DBO em relação à entrada antes da instalação do sistema

Autores	Ponto de entrada	Ponto de saída	Eficiência (%)
Araújo, C. (2017)	51,6	48,6	6
Lins (2017)	38,5	43,4	-13

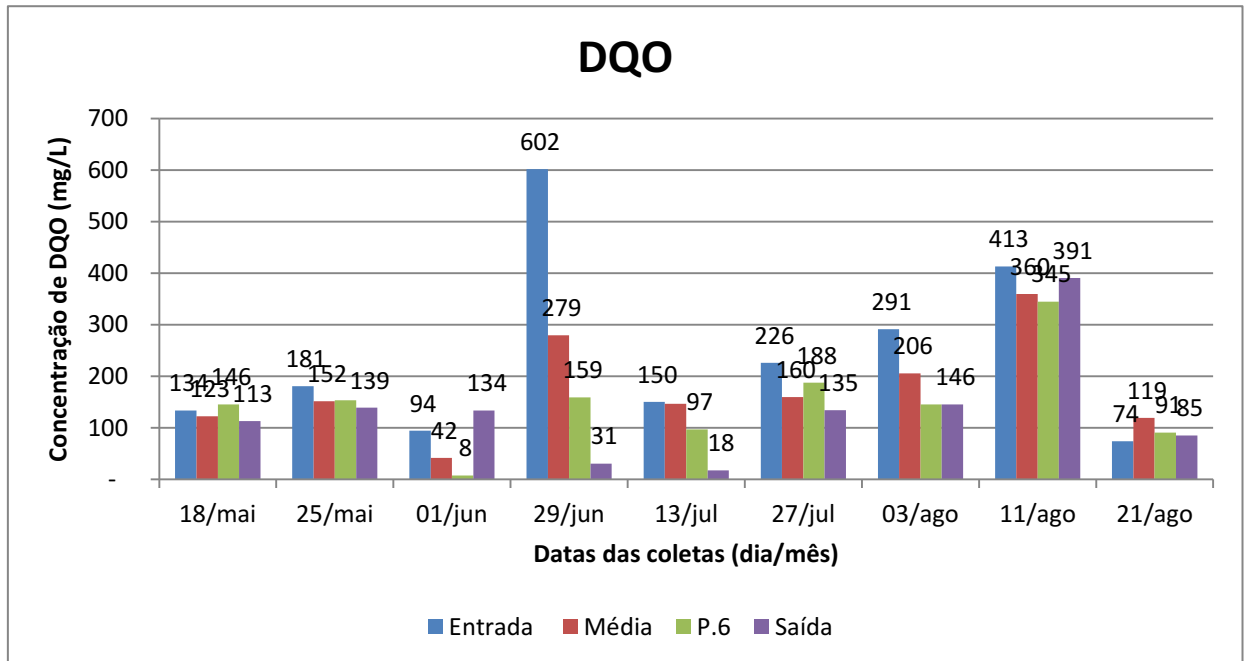
Fonte: Elaborado pela autora (2017).

6.3.4 DQO

A DQO representa a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica através de um agente químico oxidante. É utilizada no monitoramento de sistemas de tratamento de efluentes e na caracterização de efluentes industriais. Esse parâmetro está relacionado com a matéria orgânica total, biodegradável e não biodegradável. Aumentos de DQO decorrem, geralmente, de despejos de origem industrial.

A figura 29 representa a variação temporal da DQO para os pontos de entrada, da média, P.6 e de saída. Comparando com os dados de DBO, observamos que os valores de DQO são bem maiores, indicando presença de efluentes industriais, contendo sabões, fosfatos, amoníacos e outros resíduos, em virtude da maior facilidade com que grande quantidade dos compostos orgânicos é oxidada por meio químico em vez do biológico. A hipótese é de que esse tipo de efluente seja proveniente de uma fábrica de papéis localizada nas proximidades da universidade, conforme apontado por Araújo, C. (2017), além de receber outras contribuições de efluentes industriais.

Figura 29 - Demanda Química de Oxigênio



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

6.3.4.1 Comparação com dados experimentais anteriores à implantação do sistema

Para os pontos de entrada, média, P.6 e P.7, obteve-se DQO de 241, 176, 148 e 132 mg/L, respectivamente. A eficiência foi crescente, chegando a 45% da saída em relação à entrada (tabela 5).

Tabela 5 - Médias e eficiências de DQO em relação à entrada

Pontos	Média (mg/L)	Eficiência (%)
Ponto de entrada (P.1)	241	-
Média de P.2 a P.6	176	27%
P.6 (próximo ao final do conjunto de jardins)	148	38%
P.7 (vertedouro/saída)	132	45%

Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Araújo (2017) e Lins (2017) também obtiveram altos valores para DQO, com uma frequência maior do que os encontrados no presente trabalho (valores acima de 300mg/L), sendo esse fato, assim como na DBO, devido a grande contribuição de matéria orgânica ocasionada pelo período de estiagem. A eficiência do ponto de saída em relação ao ponto de

entrada, 45%, foi maior, visto que Araújo, C. (2017) e Lins (2017) obtiveram resultados ineficientes, o que mostra a influência do sistema de jardins na remoção de matéria orgânica.

Tabela 6 - Médias e eficiências de DQO em relação à entrada antes da instalação do sistema

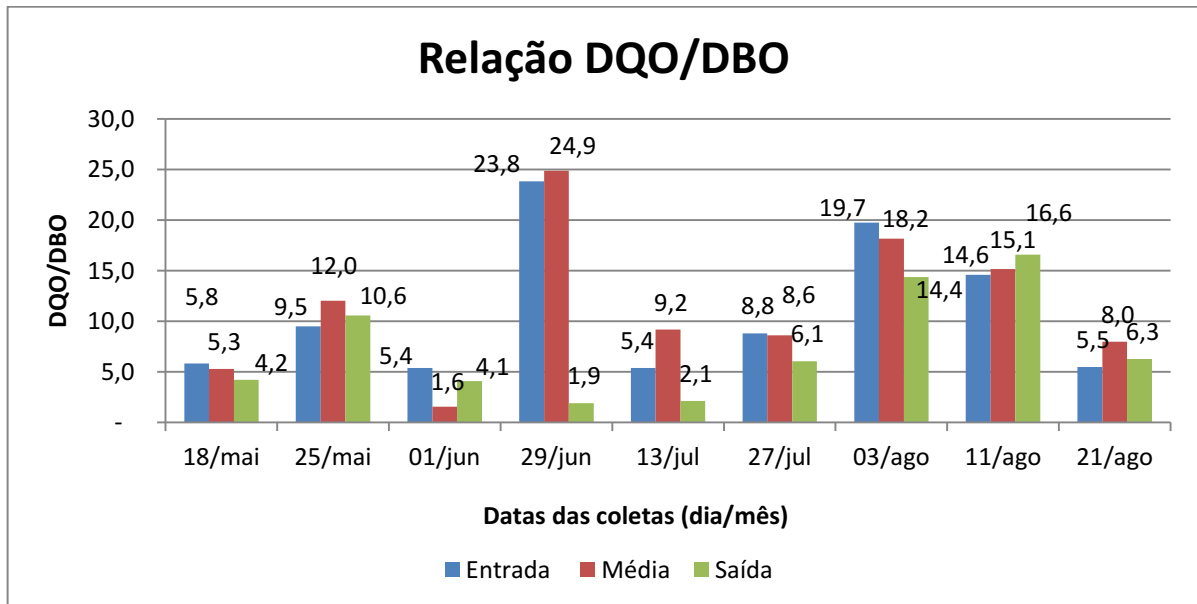
Autores	Ponto de entrada	Ponto de saída	Eficiência (%)
Araújo, C. (2017)	233	268	-15
Lins (2017)	224	265	-18

Fonte: Elaborado pela autora (2017).

6.3.5 Relação DQO/DBO

A figura 30 traz resultados para a relação DQO/DBO. Para uma relação DQO/DBO baixa, tem-se uma alta concentração de matéria orgânica biodegradável. Caso contrário, tem-se uma alta concentração não biodegradável. O esgoto é considerado biodegradável se a relação DQO/DBO for menor do que 5,0, segundo Valente et al. (1997).

Figura 30 - Relação DQO/DBO



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

De acordo com Jardim & Canela (2004), se a relação DQO/DBO for menor do que 2,5, o despejo orgânico é facilmente biodegradável, se for menor que 5,0, pode ser tratado por

processo biológico com devido cuidado para se ter uma relação desejável de carga orgânica, e se a relação for maior do que 5,0, o processo biológico é ineficiente, analisando-se a oxidação química como processo alternativo.

Conforme análise da figura 30, a maior parte dos valores encontrados foi acima de 5,0, cerca de 81%, chegando a apresentar uma relação DQO/DBO de 24,9 para os pontos da média e 23,8 no ponto de entrada no mesmo dia, o que indica uma forte presença de matéria não biodegradável, proveniente de despejos industriais na água do “Laguinho”. Os dias de maior relação DQO/DBO foram entre 01 de junho e 13 de julho, período com precipitações a níveis baixos, podendo ter contribuído para uma maior concentração de matéria não biodegradável no “Laguinho”.

6.3.5.1 Comparação com dados experimentais anteriores à implantação do sistema

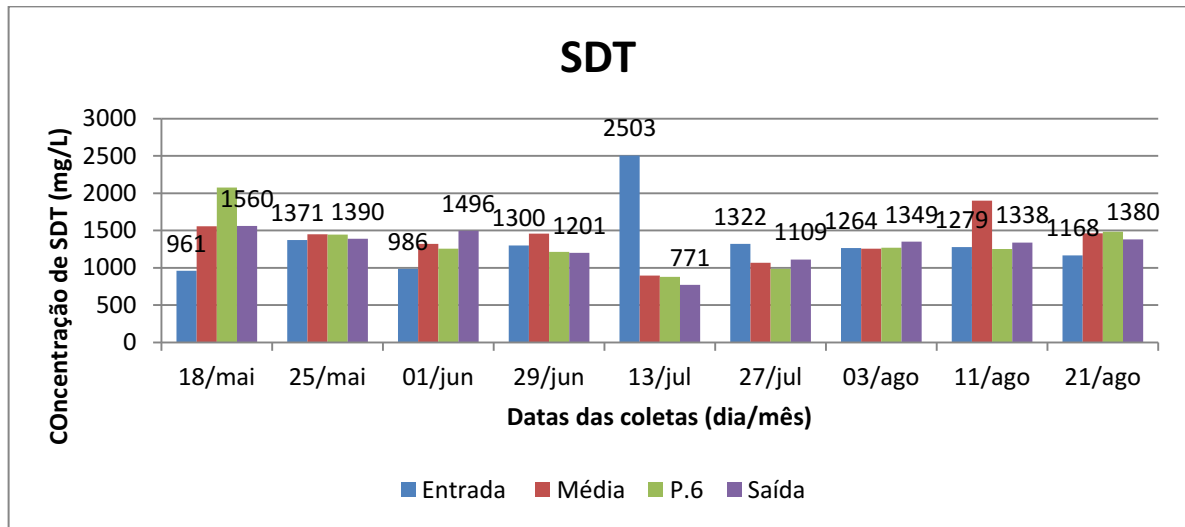
Araújo (2017) obteve valores máximos próximos de 12,0, abaixo do encontrado no dia 29 de junho, mostrando que mais efluente industrial é carreado pelas chuvas. A faixa de variação encontrada por Lins (2017) foi de 1,78 a 30,61, representando variação de 94%. Os valores, nesse trabalho, ficaram entre 1,9 e 24,9, representando variação de 92%. Os menores valores encontrados para a relação DQO/DBO foram em relação ao ponto de saída, demonstrando que a quantidade de matéria orgânica proveniente de efluentes industriais que entra é maior do que a que sai.

6.3.6 Sólidos Dissolvidos Totais

Sólidos Dissolvidos Totais é um parâmetro que indica a quantidade de sólidos orgânicos e inorgânicos presentes na água. Ele representa todas as substâncias que não ficaram retidas na filtração e permaneceram após a secagem da amostra. Para esgotos sanitários, o teor de sólidos varia entre 300 e 1200mg/L, com aproximadamente 70% de matéria orgânica. Em geral, tem-se para sólidos dissolvidos 30% de sólidos voláteis e 70% de sólidos fixos (FERNANDES, 1997).

A figura 31 mostra a variação temporal dos sólidos dissolvidos totais, em relação aos pontos de entrada, pontos da média, P.6 e ponto de saída. As variações no ponto de entrada ficaram entre 961 e 2503 mg/L, nos pontos da média, entre 893,6 e 1898,4 mg/L e no ponto de saída, entre 771 e 1560 mg/L.

Figura 31 - Sólidos Dissolvidos Totais



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

6.3.6.1 Comparação com dados experimentais anteriores à implantação do sistema

Carvalho et al. (2014) relaciona a concentração de SDT com as classes de água e considera que de 0 a 500 mg/L a água tem característica doce, salobra entre 501 a 1500 mg/L e salina para concentrações acima de 1501 mg/L. Através da análise desse e de outros parâmetros, Araújo, C. (2017) classificou essas águas entre salobra e salina, classe 3.

A tabela 7 mostra as médias para os pontos P.1, média (de P.2 a P.6), P.6 e P.7. Os valores obtidos mostram ineficiência quanto à remoção de SDT, mesmo indicando uma tendência crescente para a eficiência. A ineficiência para esse parâmetro pode ser justificada pela falta de lavagem do substrato de coco antes da implantação do sistema de jardins flutuantes no corpo hídrico, o que tem uma contribuição considerável na quantidade de sólidos dissolvidos na água. O decaimento da ineficiência é atribuído as constantes chuvas nesse período, contribuindo para a “lavagem” do substrato e maior diluição dos sólidos orgânicos.

Tabela 7 - Médias e eficiências de SDT em relação à entrada

Pontos	Média (mg/L)	Eficiência (%)
Ponto de entrada (P.1)	1350	-
Média de P.2 a P.6	1373	-2%
P.6 (próximo ao final do conjunto de jardins)	1318	-2%
P.7 (vertedouro/saída)	1288	5%

Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Araújo, C. (2017) obteve médias de 1639 e 2694 mg/L de SDT para os pontos de entrada e saída, respectivamente. Mesmo ineficiente, os resultados obtidos com o sistema foram melhores que os valores encontrados por Araújo, C. (2017), indicando uma tendência de melhora com o sistema para esse parâmetro, o que só poderá ser comprovado através de análises futuras sob as mesmas condições.

Tabela 8 - Médias e eficiências de SDT em relação à entrada antes da instalação do sistema

Autores	Ponto de entrada	Ponto de saída	Eficiência (%)
Araújo, C. (2017)	1639	1694	-3%

Fonte: Elaborado pela autora (2017).

7 CONCLUSÕES

Mediante os resultados obtidos, foi possível concluir que:

A partir de registro fotográfico exposto neste trabalho, identificou-se a localização de possíveis fontes de contribuição de esgoto lançadas diretamente no corpo hídrico em estudo.

A montagem dos pequenos módulos de jardins flutuantes com paletes foi mais rápida e mais eficiente do que a montagem dos jardins feitos com estrutura suporte de bambu.

A temperatura variou de acordo com a temperatura da região e com os níveis de precipitação.

Os resultados de OD apontam a presença de atividade fotossintética e possíveis quedas de OD durante a noite.

O sistema de jardins flutuantes se mostrou eficiente em relação à DBO para todos os pontos analisados. A eficiência do sistema em relação à DBO diminuiu do P.6 ao vertedouro, possivelmente devido às contribuições de esgoto no Lagunho.

A relação DQO/DBO foi alta, indicando forte contribuição de efluentes industriais.

O sistema de jardins flutuantes foi eficiente na remoção de DQO, com eficiência máxima de 39%.

Não se obteve eficiência quanto aos SDT. Grande quantidade de SDT deve-se, possivelmente, por falta da lavagem do substrato antes da instalação do sistema de jardins flutuantes.

A eficiência maior do sistema de jardins flutuantes, para DBO, foi a partir de julho, com a ampliação do sistema dos jardins de paletes.

A eficiência do sistema de jardins flutuantes foi maior, quando comparados com dados experimentais anteriores à sua implantação.

7.1 Recomendações para futuros trabalhos

Aconselha-se uma investigação detalhada na identificação de quais prédios dentro da universidade contribuem com lançamento de esgotos no “Laguinho” via sistema de drenagem, através de um teste com corante químico, por exemplo.

É recomendável a instalação de novos jardins flutuantes, preferencialmente de tamanho pequeno, com material de suporte de paletes devido à rapidez na execução do módulo. Indica-se também o uso de garrafas PET para garantir uma maior flutuação do sistema. Novos jardins flutuantes maximizarão os efeitos do sistema no tratamento do efluente no corpo hídrico.

Sugere-se que sejam cultivadas mudas nas margens do açude, que possam ser utilizadas posteriormente no sistema de jardins flutuantes e que possam também contribuir com a retirada de nutrientes do “Laguinho”.

Seria interessante uma análise dos parâmetros físico-químicos em período de baixa precipitação, mostrando a eficiência do sistema de jardins flutuantes para essa época do ano.

Sugere-se a realização de um perfil de 24 horas para o OD, com o intuito de identificar o decaimento de oxigênio durante a noite.

REFERÊNCIAS

- AESA. **Meteorologia. Município: Campina Grande.** Campina Grande, 2017. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas-grafico/?id_municipio=51&date_chart=2017-08-25&period=week>. Acesso em: Ago. 2017. il. color.
- ANA. Portal da Qualidade das Águas. **Indicadores de qualidade – Índice de qualidade das águas (IQA).** Disponível em: <<http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-idade-aguas.aspx>>. Acesso em: Jan. 2017.
- ARAÚJO, C.T.F. **Caracterização das águas do açude da Universidade Federal de Campina Grande e classificação preliminar para usos diversificados.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017.
- ARAÚJO, J.M., **Gestão de Recursos Hídricos: O caso da Transposição entre as Bacias do Rio Paraíba e Mamanguape.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017.
- Assessoria de Comunicação da UFCG. **Prefeitura da UFCG revitaliza lago e atrai várias espécies de aves.** 2015. Disponível em: <https://twitter.com/ufcg_oficial/status/593879098537209856>. Acesso em: Jul. 2017. il. color.
- BENATTO, N.C.B. **Controle de oxigênio dissolvido e pH para aplicação em sistemas de tratamento de esgoto.** 89p. Dissertação (Mestrado em Ciências, Programa de Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Informação Técnica nº 175/08/CGASQ/DIQUA, Ofício 08/08 DIQUA. Brasília, 2008. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/EFABF603/Ofi_08_2008DIQUAIBAMA_Completo.pdf>. Acesso em: Ago. 2017.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Política Nacional de Meio Ambiente, Lei Federal 6.938/81, 1981. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/46_10112008050406.pdf>. Acesso em: Fev. 2017.
- BRITO, V. da C. **Aplicação do método de árvore de falhas ao processo de gestão da disponibilidade hídrica do Reservatório Eptácio Pessoa.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2017.
- CARVALHO, A.R.de; OLIVEIRA, M.V.C.de. **Princípios Básicos do Saneamento do Meio.** 10 ed. São Paulo: Editora Senac, 2010.
- CARVALHO, L.S. et al. **Utilização de águas salobras produzidas por poço artesiano na plantação de milho verde (*Zea Mays*).** Cadernos de graduação ciências exatas e tecnológicas. v. 2. n. 1. Aracajú, 2014.

Ciimarnaescola. **Biorremediação e fitorremediação**. 2015. Disponível em: <<https://ciimarnaescola.wordpress.com/2015/03/18/biorremediacao-e-fitorremediacao/>>. Acesso em: Mar. 2017. il. color.

CUNHA, J. et. al. **Determinação da temperatura de superfície na cidade de Campina Grande-PB a partir de imagens do satélite Landsat5-TM**. Campina Grande: UFCG, 2009.

DEMARCO, C. F., et al. **Seleção de macrófitas aquáticas com potencial de fitorremediação no arroio Santa Bárbara, município de Pelotas/RS**. Brasília: 2016.

ECKENFELDER, W.W.; FORD, D.L. **Water Pollution Control. Experimental: Procedures for process design**. New York: Jenkins Pub Co., 1974.

FARRUGIA, B. Sistemas biológicos para tratamento de efluentes. *Revista TAE*. 2012. Disponível em: <<http://www.revistatae.com.br/noticiaInt.asp?id=3671>>. Acesso em: Fev. 2017.

FERNANDES, C. **Esgotos Sanitários**. João Pessoa: Ed. Univ./UFPB, 1997. 435p. Reimpressão Jan/2000.

FERREIRA, Y. B. C. **Proposta de um modelo de gestão ambiental com ênfase no saneamento básico para implantação na Universidade Federal de Campina Grande – PB**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017.

FIORUCCI, A. R. & FILHO, E.B. **A importância do oxigênio dissolvido em ecossistemas aquáticos**. 2005. Disponível em: <<http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc22/a02.pdf>>. Acesso em: Ago. 2017.

GALISA, D. **Utilização de jardins flutuantes no tratamento de águas superficiais urbanas**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2016.

GUIA do Tratamento de Efluentes. *TERA Ambiental*. 2014. Disponível em: <www.teraambiental.com.br/guia-do-tratamento-de-efluentes-tks?submissionGuid=4ccf5764-1d2f-461f-a7f4-0d2a2de70ae5>. Acesso em: Fev. 2017.

GOMES, E. F. **Perda de vazão e seus efeitos na operação do sistema de esgotamento sanitário de Campina Grande – PB**. 82f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2013.

HEADLEY, T.R. & TANNER, C.C. **Floating Treatment Wetlands: na Innovative Option for Stormwater Quality Applications**. Indore, 2008.

HSIAO-LING, L. et al. **Water quality improvement with artificial floating islands**. Taiwan: Elsevier, 2014.

Instituto TRATA BRASIL. **Ranking do Saneamento 2015**. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/ranking-do-saneamento-2015>>. Acesso em: Fev. 2017.

Instituto TRATA BRASIL. **Ranking nacional de saneamento básico coloca Campina Grande e João Pessoa entre as melhores cidades do país**. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/ranking-nacional-de-saneamento-basico-coloca-campina-grande-e-joao-pessoa-entre-as-melhores-cidades-do-pais-2>>. Acesso em: Ago. 2017.

- JARDIM, W. F. & CANELA, M. C. **Fundamentos da oxidação química no tratamento de efluentes e remediação do solo.** Caderno Temático. v.1. 10p. Universidade Federal de Campinas, 2004.
- JUNIOR, A.G.R. & SOUSA, C.M.de. **Campina Grande Hoje e Amanhã.** Campina Grande: EDUEPB, 2014.
- KOZAK, C. et al. **Comparação entre tratamento biológico aeróbio e anaeróbio de esgotos domésticos.** Ponta Grossa: UTFPR, 2012. Disponível em: <<http://saeq.pg.utfpr.edu.br/site/artigos/2012/5.pdf>>. Acesso em: Fev. 2017.
- LACERDA, M. R. B. et al. **Características físicas e químicas de substratos à base de pó de coco e resíduo de sisal para produção de mudas de Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth).** v. 30. n. 2. p. 163-170. Viçosa, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v30n2/a02v30n2.pdf>>. Acesso em: Ago. 2017.
- LEONETI, A.B.; PRADO, E.L.do & OLIVEIRA, S.V.W.B.de. **Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século XXI.** Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rap/v45n2/03.pdf>>. Acesso em: Fev. 2017.
- LIMA, R.C.S.A de. et al. **Abastecimento de água em Campina Grande (PB): um panorama histórico.** Campina Grande – Hoje e Amanhã. Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande-PB, 2014.
- LIMA, S. C. R. B. de. **Aspectos demográficos da cobertura de serviços de saneamento no Brasil urbano contemporâneo.** 2005. 152 p. Tese (Doutorado) – Pós-Graduação em Demografia, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Belo Horizonte, 2005.
- LINS, C. A. **Caracterização físico-química e avaliação da eutrofização da água do lago da UFCG, campus de Campina Grande –PB.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017.
- LOPES, W. da S. et al. **Determinação de um índice de desempenho do serviço de esgotamento sanitário. Estudo de caso: cidade de Campina Grande, Paraíba.** Campina Grande: Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande, 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbrh/v21n1/2318-0331-rbrh-21-1-1.pdf>>. Acesso em: Jul. 2017.
- LUQMAN, M. et al. **Phytoremediation of polluted water by trees: A review.** AJAR. V.8 (17). Pp. 1591-1595. 2003.
- MATOS, F.A. & MÁXIMO, F.H.D. **Reutilização através do design sustentável de paletes de madeira na produção de mobiliário.** In: FÓRUM BIENAL DE PESQUISA EM ARTES. PELE DA ARTE, 7., 2015, Belém. Anais: Pele da Arte. Belém: PPGARTES/ICA/UFPA, 2015. 889 p.
- MELO, G.W.B. de, et al. **Produção de Morangos no Sistema Semi-Hidropônico.** Embrapa, 2006. Disponível em: <<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Morango/MorangoSemiHidropnico/index.htm>>. Acesso em: Jul. 2017.

- MOURA, G. BIOMATRIX: Como despoluir um rio gastando pouco. *GreenMe*. 2016. Disponível em: <<https://www.greenme.com.br/viver/saude-e-bem-estar/474-biomatrix-como-despoluir-um-rio-gastando-pouco>>. Acesso em: Mar. 2017.
- MOIZÉS, F. A. **Painéis de Bambu, uso e aplicações: uma experiência didática nos cursos de Design em Bauru, São Paulo**. 2007. 113 f. Dissertação (Mestrado em Desenho Industrial) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Bauru, 2007.
- MULLER, A.C. **Introdução à Ciência Ambiental**. Uso didático. p. 67-73. Curitiba: PUC-PR. Disponível em: <http://ambientes.ambientebrasil.com.br/agua/impactos_sobre_as_aguas/a_importancia_da_bo.html>. Acesso em: Jan. 2017.
- NAICHIA, Y. et al. *Artificial floating islands for environmental improvement*. Taiwan: Elsevier, 2015.
- PALMA-SILVA, C., et al. **Uso de *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms para fitorremediação de ambientes eutrofizados subtropicais no sul do Brasil**. v. 36. n. 133. p. 73-81. Erechim: Uri-Erechim, 2012.
- PAULI, D.R. **O saneamento no Brasil**. São Paulo: Sabesp, 2011. Disponível em: <http://proclima.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/28/2014/11/1sabesp_saneamento_brasil_abes2011.pdf>. Acesso em: Fev. 2017.
- PEREIRA, R.S. **Identificação e Caracterização das fontes de poluição em sistemas hídricos**. Revista Eletrônica de Recursos Hídricos. IPH. v.1, n.1. p.20-36. UFRGS, 2004. Disponível em: <<http://www.vetorial.net/~regissp/pol.pdf>>. Acesso em: Jan. 2017.
- PESTANA, M.; GANGHIS, D. **Apostila de Tratamento de Efluentes**. CEFET-BA. 69f. Bahia: Coordenação de Processos Industriais, 2009.
- Portal G1 Paraíba*. Racionamento de água em Campina Grande termina dia 26, anuncia governo da PB. Campina Grande, 2017. Disponível em: <<http://g1.globo.com/pb/paraiba/noticia/racionamento-em-campina-grande-termina-diz-26-anuncia-governo-da-pb.ghtml>>. Acesso em: Ago. 2017.
- Revista TAE*. Jardins flutuantes ajudam a produzir plantas e despoluir canal em NY. Santo André, 2016. Disponível em: <<http://www.revistatae.com.br/noticiaInt.asp?id=10806&genero=2>>. Acesso em: Mar. 2017.
- RIBEIRO, F. M. & ANDRADE, R.C. **Construção de casas emergenciais utilizando “Pallet” em Rio Grande/RS**. Rio Grande: 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Franciele_Ribeiro2/publication/280089130_Construcao_de_Casas_Emergenciais_utilizando_Pallet_em_Rio_GrandeRS/links/55a7bfe308ae7837c65d7fe8.pdf>. Acesso em: Jul. 2017.
- RIBEIRO, C. B. de M. **Apostila de Mananciais e Qualidade da água. Disciplina Mananciais e Qualidade da água**. Juiz de Fora: UFJF, 2009.
- SAIANI, C.C.S.JÚNIOR, R.T. **Evolução do acesso a serviços de saneamento básico no Brasil (1970 a 2004)**. v.19, n.1 (38), p.79-106. Campinas: Economia e Sociedade, 2010.

SANTOS, A.B.dos; PAULO, P.L. **Tratamento anaeróbio de esgotos**. Esgotamento sanitário: processos de tratamento e reuso de esgotos: guia do profissional em treinamento. v.2. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – Salvador: ReCESA, 2008.

SANTOS, A.B.dos; SANTAELLA, S.T.& SILVA, F.J.A.da. **Noções de tratamento aeróbio de esgotos**. Esgotamento sanitário: processos de tratamento e reuso de esgotos: guia do profissional em treinamento. v.2. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – Salvador: ReCESA, 2008.

SENE, L. **Fitorremediação** [Notas de Aula da Prof^a Luciene Sene]. Cascavel: UNIOESTE, 2008. Disponível em: <<http://www.unioeste.br/cursos/cascavel/biotecnologia/aulas/2008/fitorremedia%C3%A7%C3%A3o.pdf>>. Acesso em: Mar. 2017.

SEPLAN. **Aerofotogrametria da cidade de Campina Grande**. Campina Grande, 2010. in. color.

SILVA, S.A.; OLIVEIRA, R.de. **Manual de análises físico-químicas de águas de abastecimento e residuárias**. 266p. Campina Grande: 2001.

SIMÕES, A.L.A. **Considerações sobre a hidráulica de vertedores em degraus: metodologias adimensionais para pré-dimensionamento**. 286f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) –São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-21072008-141151/pt-br.php>>. Acesso em: Ago. 2017.

SIRTOLI, A.R.dos A. et al. **Restauração da Qualidade da Água Contaminada usando a Fitorremediação com Plantas Aquáticas**. Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Setor de Ciências Agrárias – UFPR.

SNIS. **Diagnóstico dos serviços de água e esgoto – 2015**. Brasília, 2017. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2015>>. Acesso em: Fev. 2017.

SOUSA, F.G.R.B. de. **Campina Grande: cartografias de uma reforma urbana no Nordeste do Brasil**. Departamento de História e Geografia da UFCG. Revista Brasileira de História. v.23. n.46. p.61-92. São Paulo, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbh/v23n46/a04v2346.pdf>>. Acesso em: Fev. 2017.

TABOSA, F. **Lago da UFCG**. Campina Grande, 2015. Disponível em: <<http://www.flickrriver.com/photos/inimitavel/17237778313/>>. Acesso em: Jul. 2017. il. color.

TUCCI, C.E.M.; **Águas Urbanas**. Estudos Avançados. v.22, n.63. São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10295/11943>>. Acesso em: Fev. 2017.

VALENTE, J.P.S. et al. **Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no Ribeirão Lavapés/Botucatu – SP**. São Paulo: Eclética Química, 1997.v.22, p. 49-66. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-46701997000100005&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: Jan. 2017.

VIEIRA, A.C. et al. **Ciências do Ambiente**. 1 ed. Rio de Janeiro: Editora Universidade Estácio de Sá, 2014. 160 p.

VIEIRA, M.R. **Parâmetros de qualidade de água**. Agência Nacional das Águas. Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica. Disponível em: <http://capacitacao.ana.gov.br/Lists/Cursos_Anexos/Attachments/32/Par%C3%A2metros.pdf>. Acesso em: Fev. 2017.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. v.1. 243 p. 2 ed. Belo Horizonte: DESA/ UFMG, 1996.

ZANELLA, L. **Plantas ornamentais no pós-tratamento de efluentes sanitários: wetlands-construídos utilizando brita e bambu como suporte**. 2008. (Doutorado em Engenharia Civil na área de concentração de Saneamento e Ambiente) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo –Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2008.

ZHAO, F. et al. ***Purifying eutrophic river waters with integrated floating island systems***. Hangzhou: Elsevier, 2011.