

Universidade Federal da Paraíba

Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente

Área de Concentração: Tecnologias ambientais para o desenvolvimento sustentável

**BIORREMEDIAÇÃO PARA O MELHORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA
EM RIOS URBANOS EM JOÃO PESSOA – PB: EFEITOS NA ASSEMBLEIA
ÍCTICA**

Randolpho Sávio de Araújo Marinho

Prof^ª. Dr^ª. Maria Cristina Basílio Crispim da Silva

João Pessoa/PB
FEVEREIRO 2018



**BIORREMEDIAÇÃO PARA O MELHORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA
EM RIOS URBANOS EM JOÃO PESSOA – PB: EFEITOS NA ASSEMBLEIA
ÍCTICA**

Candidato: Randolpfo Sávio de Araújo Marinho

Orientador: Maria Cristina Crispim

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente-PRODEMA-UFPB/UEPB como requisito para o título de mestre.

FEVEREIRO 2018

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

M338b Marinho, Randolpho Savio de Araujo.

Biorremediação para o Melhoramento da Qualidade da Água em Rios Urbanos em João Pessoa-PB:Efeitos na Assembleia Íctica / Randolpho Savio de Araujo Marinho. - João Pessoa, 2018.

107 f.

Orientação: Maria Cristina Crispim.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCEN.

1. biofilme;saneamento básico;biorremediação. I. Crispim, Maria Cristina. II. Título.

UFPB/BC

RANDOLPHO SAVIO DE ARAÚJO MARINHO

**BIORREMEDIAÇÃO PARA O MELHORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA
EM RIOS URBANOS EM JOÃO PESSOA – PB: EFEITOS NA ASSEMBLEIA
ÍCTICA**

BANCA EXAMINADORA



Dr.^a. Maria Cristina Basílio Crispim da Silva - UFPB
(Orientadora)



Dr.^a. Maristela Oliveira de Andrade - UFPB
(Examinadora interna)



Dr.^a. Jane Emisa Torelli de Souza - UFPB
(Examinador externo)

“Ninguém pode voltar atrás e fazer um novo começo. Mas qualquer um pode recomeçar e fazer um novo fim”

Chico Xavier

AGRADECIMENTOS

- *Primeiramente a Deus por ter me dado força e saúde para realizar este trabalho, servindo como fonte renovadora e base espiritual nas minhas caminhadas.*
- *À minha família, em especial aos meus avós (Nair Dantas e Adeladio Dias - in memorian), por terem me apoiado e tido paciência e compreensão durante toda minha vida acadêmica.*
- *Á minha noiva Edilene Nascimento, por todo incentivo, apoio, compreensão e paciência, durante todo o meu trajeto no antes e durante o mestrado, por toda confiança no meu caráter e potencial profissional, e pelo imenso amor que tem me proporcionado até hoje.*
- *À professora, amiga e orientadora Dra. Maria Cristina Crispim, pela orientação e atenção que tem me proporcionado, pela calma, incentivo, respeito e principalmente pela competência e dedicação pelo que faz.*
- *À Jane Torelli por toda a orientação, apoio, atenção e paciência além da grande amizade e carinho que existe entre nós, e também pelas inúmeras palavras de incentivo, tanto profissional como pessoal que servirão muito para o meu sucesso.*
- *Ao meu nobre amigo e professor Gil Dutra, pelo apoio, incentivo, conselhos e contribuições que foram muito úteis para este trabalho.*
- *Ao Laboratório de Ecologia Aquática(LABEA), pela infra-estrutura disponibilizada.*
- *Ao meu grande amigo Gabriel Beltrão pela grande ajuda nas coletas e principalmente pela identificação das espécies de peixes.*
- *Á amiga Flavia Martins e o nosso técnico do LABEA Sergio, por toda a ajuda nas análises químicas da água, e pelos momentos de descontração.*

- *Aos professores da pós graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente(PRODEMA), pelos ensinamentos e experiências transmitidas e que com certeza se refletirão em toda a minha vida profissional.*
- *Aos motoristas que nos conduziram ao local das coletas: Seu Ezequiel ,e seu Ronaldo, pessoas de grande estima, que nos ajudaram na coleta dos peixes e da água, além da grande descontração que acontecia em nossas viagens.*
- *A todos da minha turma do Mestrado por todas as discussões em sala e aprendizados compartilhados, em especial Hyago Kesley, João Carlos, Marcos Leonardo, Gabriele Diniz, Cyntia Cleub, Raquel Cruz entre outros que levarei pra sempre em meu coração.*
- *A meus amigos de Laboratório de Ecologia Aquática (LABEA), Gloria Cornélio, Aline, Daniele Josina, Fabiana Marinho, Marcos Arvesari, Guilherme Prette, Larissa Régis, Arthur Florentino entre outros que me proporcionaram grandes momentos de descontração, e por todo apoio.*
- *A todos os amigos que fizeram parte do Laboratório de Ecologia Aquática(LABEA): Gabriela Marques, Aline Silva, entre outros que de qualquer forma me passaram muitos ensinamentos durante minha vida acadêmica.*
- *E por fim, agradeço a todas aquelas pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.*

OBRIGADO A TODOS!!!

Randolpho Sávio de Araújo Marinho

RESUMO

Com o aumento do crescimento populacional e da sua concentração em grandes centros urbanos, houve a necessidade de se definirem novas estratégias para remover os poluentes dos ecossistemas, no entanto, o uso de técnicas químicas de remoção daqueles nutrientes tem levado a diversos tipos de poluição ambiental. Desse modo, a biorremediação como um processo que oferece maior segurança e menor perturbação ao meio ambiente, tem sido crescentemente estudada, por ser uma ferramenta eficiente e de baixo custo. Para isso é necessário aplicar a biorremediação para o melhoramento da qualidade da água no rio do Cabelo, com ênfase para a ictiofauna, usando o Rio Bucatu como modelo/controle e como meta a atingir, no caso das espécies de peixes presentes, assim como de seus índices de comunidade, como índice de biodiversidade, índice de dominância e de equitabilidade. O presente trabalho utilizou a composição da ictiofauna do Rio do Cabelo e do Rio Mucatu, ambos da zona costeira paraibana, afim de avaliar a qualidade ambiental destes ambientes, com diferentes níveis de ocupação humana. As coletas foram realizadas durante os meses de abril, julho, setembro, e dezembro de 2016 e abril e maio de 2017 em 6 pontos no Rio do Cabelo (7°08'53 S e 34°50'33 W), no município de João Pessoa- PB, e 3 pontos no Rio Mucatu (7° 19'11,64 S e 34° 48' 01" W) no município do Conde-PB, sendo utilizadas redes de espera de malhas (15, 20 e 25 mm) e redes de arrasto. Ao retornar para realizar as primeiras análises foi constatado visualmente uma boa transparência na água, o que foi deduzido à primeira vista que o tratamento foi eficaz para a melhoria da qualidade da água, mas que era preciso análises mais detalhadas para confirmar estes resultados. Com relação as variáveis químicas foi constatado uma grande melhoria depois do tratamento com a biorremediação com relação aos grupos nitrogenados (Amônia, Nitrato e Nitrito) durante todo o período analisado. Foi verificado também que após o biotratamento o número de espécies de peixes do Rio do Cabelo, aumentou de 6 para 15 espécies, confirmando a eficiência do sistema de biorremediação. Conclui-se que o biotratamento com BioMac foi bastante eficiente na melhoria da qualidade de água no Rio do Cabelo, tornando este de muito melhor qualidade, inclusive com muito melhor qualidade que o Rio Bucatu pensado inicialmente como rio com qualidade de água a atingir com o biotratamento, no entanto a qualidade da água após o uso do BioMac superou todas as expectativas, tornando-se o rio muito melhor que o Rio Bucatu, em relação a nutrientes nitrogenados e fosfatados. A ictiofauna pode ser usada como indicadora de qualidade ambiental, principalmente em relação à biodiversidade presente, incluindo espécies indicadoras de qualidade ambiental, assim como os índices ecológicos

Palavras-chave: biofilme, macrófita, saneamento básico, tratamento de esgoto, biorremediação

ABSTRACT

With the increase of population growth and its concentration in large urban centers, it was necessary to define new strategies to remove pollutants from ecosystems, however, the use of chemical techniques to remove these nutrients has led to various types of environmental pollution. Thus, bioremediation as a process that offers greater safety and less disturbance to the environment, has been increasingly studied because it is an efficient tool and low cost. For this, it is necessary to apply the bioremediation for the improvement of water quality in the Rio do Pelo, with an emphasis on ichthyofauna, using the Bucatu River as a model / control and as a goal to be reached, in the case of present fish species, as well as community indexes, such as biodiversity index, index of dominance and equitability. The present work used the composition of the ichthyofauna of the Rio do Pelo and the Mucatu River, both of the coastal zone of Paraíba, in order to evaluate the environmental quality of these environments, with different levels of human occupation. The samples were collected during the months of April, July, September, and December of 2016 and April and May of 2017 in 6 points in Rio do Cabelo (7°08'53 S and 34°50'33 W), in the municipality of João Pessoa- PB, and 3 points in the Mucatu River (7° 19'11.64 S and 34° 48'01 "W) in the Conde-PB municipality, using mesh nets (15, 20 and 25 mm) and trawl nets. Upon returning to perform the first analyzes, a good transparency was observed in the water, which was deduced at first sight that the treatment was effective for the improvement of water quality, but that more detailed analyzes were required to confirm these results. Regarding the chemical variables, a great improvement was observed after the treatment with bioremediation in relation to the nitrogenated groups (Ammonia, Nitrate and Nitrite) throughout the analyzed period. It was also verified that after the biotreatment the number of fish species of the Hair River increased from 6 to 15 species, confirming the efficiency of the bioremediation system. It was concluded that BioMac biotreatment was quite efficient in improving the quality of water in the Rio do Pelo, making this one of a much better quality, even with a much better quality than the Rio Bucatu initially thought as river with water quality to be achieved with the However, the quality of the water after the use of BioMac surpassed all expectations, making the river much better than the Bucatu River, in relation to nitrogenous nutrients and phosphates. The ichthyofauna can be used as an indicator of environmental quality, mainly in relation to present biodiversity, including species that indicate environmental quality, as well as the ecological indexes

Key words: biofilm, macrophyte, basic sanitation, sewage treatment, bioremediation

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO I

- Figura 1.** Localização dos rios Cabelo (a norte) e Bucatu (a sul) com seus respectivos pontos de coleta.. 42
- Figura 2.** (A) Hidrografia do município de João Pessoa-PB com destaque para o Rio do Cabelo. (B) Localização da passagem do Rio do Cabelo pelos bairros do município de João Pessoa- PB.. 43
- Figura 3.** (A) Hidrografia do município do Conde-PB com destaque para o Rio Bucatu. (B) Localização da passagem do Rio Bucatu pelos loteamentos da Praia de Tabatinga, Conde-PB 44
- Figura 4.** Instalação das macrófitas na lagoa que recebe o esgoto dos presídios em Mangabeira(A); bem como no ponto P4 (B). 47
- Figura 5.** Instalação de cortinas de plástico nos P1 (A) no ponto P4 (B) e antes do P5 (C). Colocação de pedras no rio em locais rasos (P2) (D) 48
- Figura 6.** Cor da água do Rio do Cabelo no P4 quando foram colocadas as estruturas (A) e após 60 dias de tratamento (B). Diversidade de macrófitas após a instalação do biotratamento no P5(C). Porção do rio em que foram colocadas pedras, nas mesmas já é visível a presença de biofilme e algas (P2)(D). 49
- Figura 7.** Precipitação de chuvas nas cidades de João Pessoa- PB e Conde-PB (AES,2017) 50
- Figura 8.** Concentração de Fósforo Total na água do Rio do Cabelo, antes da biorremediação(A); depois da biorremediação(B) e Rio Bucatu(C). 52
- Figura 9.** Concentração de Fosfato na água do Rio do Cabelo, antes da biorremediação(A); depois da biorremediação(B) e Rio Bucatu(C). 54
- Figura 10.** Concentração de Amônia na água do Rio do Cabelo, antes da biorremediação(A); depois da biorremediação(B) e Rio Bucatu(C). 56
- Figura 11.** Concentração de Nitrito na água do Rio do Cabelo, antes da biorremediação(A); depois da biorremediação(B) e Rio Bucatu(C). 58
- Figura 12.** Concentração de Nitrato na água do Rio do Cabelo, antes da biorremediação(A); depois da biorremediação(B) e Rio Bucatu(C). 60
- Figura 13.** Resultados referentes à Temperatura antes e depois da biorremediação no Rio do Cabelo(A) e do Rio Bucatu(B). 62
- Figura 14.** Resultados referentes ao pH da água antes e depois da biorremediação no Rio do Cabelo(A) e do Rio Bucatu(B). 64
- Figura 15.** Resultados referentes ao Oxigênio Dissolvido na água antes e depois da biorremediação no Rio do Cabelo(A) e do Rio Bucatu(B). 65

CAPITULO II

Figura 1. Composição Ictiofaunística do Rio do cabelo antes e depois da biorremediação.	79
Figura 2. Composição Ictiofaunística do Rio do cabelo antes e depois da biorremediação.	79
Figura 3. Abundância relativa da Ictiofauna nos pontos de coleta do Rio do Cabelo, antes da biorremediação.	81
Figura 4. Abundância relativa da Ictiofauna nos pontos de coleta do Rio do Cabelo, depois da biorremediação.	81
Figura 5. Abundância relativa da Ictiofauna nos pontos de coleta do Rio Bucatu-Conde ,PB	82
Figura 6. Abundancia relativa da Ictiofauna durante os meses de coleta antes da biorremediação no rio do Cabelo, João Pessoa-PB.	85
Figura 7. Abundância relativa da Ictiofauna durante os meses de coleta depois da biorremediação no rio do Cabelo, João Pessoa-PB.	86
Figura 8. Abundância relativa da Ictiofauna nos pontos durante os meses de coleta do Rio Bucatu- Conde ,PB	86
Figura 9. Índices de diversidade de Shannon(H') e Equitabilidade (J') antes e depois da biorremediação no Rio do Cabelo(A); e do Rio Bucatu(B).	89
Figura 10. Similaridade de Jaccard entre a ictiofauna presente nos pontos de coleta dos rios do Cabelo-João Pessoa-PB e Bucatu-Conde,PB	93
Figura 11. Índice de Dominância de Simpson antes e depois do tratamento com biorremediação no Rio do Cabelo e no Rio Bucatu	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Lista de espécies de peixes do rio do cabelo antes e depois da biorremediação.	76
Tabela 2 : Lista De Espécies De Peixes Do Rio Bucatu	77
Tabela . 3. Índice de Indicação de espécies(Indval) dos rios do Cabelo antes e depois da biorremediação e Bucatu	96

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	13
1. INTRODUÇÃO GERAL	14
2 .REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1- Problemática Mundial-Água	15
2.2 Contaminação das águas	16
2.3 – Rios Urbanos	18
2.4- Sistemas de biotratamento	21
2.4.1- Biorremediação	22
2.4.2- Biorremediação passiva	23
2.4.3- Bioestimulação	24
2.4.4- Bioaugmentação	24
2.4.5- Wetlands	24
2.4.6- Biofilme	25
2.5 Gestão Ambiental de Recursos Hídricos	25
2.5.1- Saneamento Básico: controle de entrada de efluentes	28
3.OBJETIVO GERAL	30
3.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS	30
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
CAPITULO I	
1. INTRODUÇÃO	40
2. OBJETIVO GERAL	41
3.OBJETIVOS ESPECÍFICOS	41
4.MATERIAIS E MÉTODOS	42
4.1. Área de Estudo	42
4.1.1. Rio do Cabelo	42
4.1.2 Rio Bucatu	43
4.2.Período das coletas	44
4.3.Variáveis Físicas e Químicas	45
4.4.Sistemas de biotratamento com BioMaC	45
4.5.Implantação de macrófitas flutuantes	46
4.6.Instalação de estruturas de biofilme no Rio do Cabelo	47
5.RESULTADOS	48
5.1. Biorremediação para o melhoramento da qualidade da água	48

5.2. Análises das variáveis químicas e físicas	50
5.2.1. Fósforo Total	50
5.2.2. Fosfato	53
5.2.3. Amônia	55
5.2.4. Nitrito	57
5.2.5. Nitrato	59
5.3 Variáveis Físicas da Água	63
6. CONCLUSÕES	66
7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
CAPITULO II	
1.INTRODUÇÃO	71
2.OBJETIVO GERAL	72
2.1.OBJETIVOS ESPECÍFICOS	72
3.MATERIAIS E MÉTODOS	73
3.1- Composição da ictiofauna	73
3.2- Período das coletas	73
3.2.2 . Identificação Taxonômica	73
3.3.. Biodiversidade da Ictiofauna	74
3.3.1.Composição e Abundância relativa	74
3.3.2. Diversidade Ecológica	74
4. RESULTADOS	76
4.1 Composição da ictiofauna antes e após a biorremediação	76
4.2. Rio Bucatu	77
4.3- Diversidade Ecológica	88
4.4.Similaridade entre os dois ambientes	92
4.5. Índice de Dominância de Simpson	94
4.6. Espécies Bioindicadoras de Qualidade de Água	95
5. CONCLUSOES	97
6. CONCLUSÕES FINAIS	98
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	99
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100

APRESENTAÇÃO

Esta dissertação, é composta pela Introdução e Referencial Teórico, o restante é estruturado na forma de capítulos/artigos. Para além do Rio do Cabelo, objeto de pesquisa desta dissertação, foi analisada a qualidade de água e comunidade íctica do Rio Bucatu, que nasce a cerca de 3 Km da foz no Oceano Atlântico, perto do Resort Mussulo, município do Conde, em virtude de ser um rio costeiro com características semelhantes seja no seu curso, dimensões, clima e estar com condições menos impactantes que o Rio do Cabelo. A análise deste rio é extremamente importante, para ter-se conhecimento dos tipos de peixes que poderiam estar presentes no Rio do Cabelo e que por conta da poluição não estão mais. O Rio Bucatu, serviu como meta a ser alcançada para o Rio do Cabelo, no caso do projeto de biorremediação, em relação à sua comunidade íctica.

Os capítulos da dissertação, escritos em formato de artigo, dessa forma foram:

1º Capítulo: Avaliação da Qualidade da Água em dois rios com diferentes impactos antropogênicos e o efeito da biorremediação na recuperação do Rio do Cabelo, baseado na assembleia íctica, cujo principal objetivo foi monitorar as condições físicas e químicas da água de dois rios urbanos do Estado da Paraíba, a fim de trazer informações a respeito da qualidade ambiental destes ecossistemas, bem como, avaliar a eficácia da biorremediação para o melhoramento da qualidade da água do Rio do Cabelo antes e depois do biotratamento, comparando estes resultados com um rio menos impactado, o Rio Bucatu.

2º Capítulo: Utilização de índices ecológicos como ferramenta de Avaliação de qualidade da água em dois rios com diferentes graus de impacto, utilizando a ictiofauna como bioindicadora, cujo objetivo principal foi comparar a assembleia de peixes do Rio do Cabelo antes e após a inserção do sistema de biotratamento, de forma a demonstrar a eficácia desse tipo de tratamento, além de comparar estes resultados com um rio menos impactado, o Rio Bucatu.

Este projeto é parte integrante e complementar ao projeto de doutorado de Flávia Martins Franco de Oliveira do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, que aplicou a biorremediação no Rio do Cabelo e dará ênfase ao efeito do biotratamento no rio como um todo. Esta dissertação usou o Rio Bucatu como modelo/controle e como meta a atingir, no caso das espécies de peixes presentes, assim como de seus índices de comunidade, como índice de biodiversidade, índice de dominância e de equitabilidade, para averiguar a sua eficácia na indicação de qualidade de água.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A água é um recurso natural essencial à vida humana, proporcionando um papel preponderante de suporte à vida em diferentes ecossistemas, é um patrimônio da humanidade e diversas atividades inerentes ao desenvolvimento perpassam pelo uso dos recursos hídricos.

A água provavelmente é o único recurso natural que interliga todas as atividades humanas, que vão desde para o próprio consumo pela humanidade, desenvolvimento agrícola e industrial até os valores culturais e religiosos existentes na sociedade (VAL CABRAL, 2009).

Atualmente a maioria das bacias hidrográficas, bem como os grandes ecossistemas aquáticos urbanos veem tendo grande dificuldade quanto à manutenção da qualidade da água, devido principalmente à elevada contaminação dos mananciais advindos da ação antrópica.

De acordo com Tucci (2008), a urbanização acelerada tem produzido uma grande contaminação, gerada pelos efluentes das cidades com os esgotos domésticos, que na maioria das vezes são jogados diretamente nos rios, sem tratamento prévio, principalmente as águas cinzas, diminuindo assim a qualidade da água e deixando-a eutrofizada. A eutrofização de ecossistemas aquáticos é, cada vez mais, uma problemática no nosso planeta. Nesses processos existe um grande aumento de nutrientes, o que provoca a degradação de meios aquáticos (OLIVEIRA et al., 1999). Para além da falta de saneamento básico nas grandes cidades grande quantidade de poluentes são descartados pelas indústrias, o que acarreta no aumento dos nutrientes e de metais pesados na água (SILVA, 2002), assim como a presença de fertilizantes em efluentes agrícolas e agrotóxicos, ainda pouco pesquisados na maioria dos monitoramentos de qualidade de água.

É a eutrofização de rios que torna os açudes e lagos com águas verdes e os rios com excesso de plantas aquáticas.

Segundo Tundisi (1999), alterações na quantidade, distribuição e qualidade dos recursos hídricos ameaçam a sobrevivência humana e as demais espécies do planeta, estando o desenvolvimento econômico e social dos países fundamentados na disponibilidade de água de boa qualidade e na capacidade de sua conservação e proteção.

Com o aumento do crescimento populacional e da sua concentração em grandes centros urbanos, houve a necessidade de se definirem novas estratégias para remover os poluentes dos ecossistemas, no entanto, o uso de técnicas químicas de remoção daqueles nutrientes tem levado a diversos tipos de poluição ambiental (CARAPETO, 1999).

No Brasil, atualmente demonstra-se haver uma maior preocupação quanto ao meio ambiente, mais focado para os recursos hídricos, com vários mecanismos legais que visam

assegurar a proteção ambiental, mas infelizmente esses mecanismos por si só não são capazes de acabar com a degradação desenfreada dos recursos naturais (ABBAS, 2003), visto que prevenir não é mais a solução, porque que a maioria dos ecossistemas aquáticos já está eutrofizada, principalmente os rios que cortam centros urbanos e mesmo os limites impostos por resoluções (ex. CONAMA) não são respeitados.

Para a melhor proteção desses recursos naturais é necessário que o desenvolvimento seja de forma sustentável, e que o manejo seja feito com responsabilidade e consciência, preservando-os assim para as futuras gerações. Além do correto manejo, os resíduos gerados pelas atividades antropogênicas devem ser tratados e dispostos adequadamente.

Quando não se dá um tratamento adequado aos resíduos humanos, principalmente nos aglomerados urbanos, é necessário então reparar os danos ambientais, com rapidez e eficiência, de modo a amenizar as condições do ambiente, com o intuito de reunir técnicas eficientes e economicamente viáveis. Como esses processos de reparação de danos ao ambiente estão associados a longos períodos e altos custos é difícil a sua conciliação (ABBAS, 2003; SILVEIRA e SPAREMBERGER, 2004) e o que se vê na maioria das vezes são apenas ações de desassoreamento nos rios urbanos, o que por si só não resolve o problema.

Desse modo, a biorremediação como um processo que oferece maior segurança e menor perturbação ao meio ambiente, tem sido crescentemente estudada, por ser uma ferramenta eficiente e de baixo custo (ABBAS, 2003; SANTOS, et al., 2007).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1- Água no Planeta

Vive-se em um planeta que se encontra em mais de dois terços coberto por água, constituindo o recurso natural renovável mais abundante e ao mesmo tempo o mais precioso, porém, do total existente, apenas 1% encontra-se disponível para o consumo humano (REBOUÇAS, 2002).

A água é um recurso essencial para a humanidade e todas as comunidades biológicas existentes no planeta, além de ser na sua maioria, de grande importância para as atividades econômicas, como por exemplo, a indústria e agricultura, exercendo também, um papel fundamental na qualidade de vida das populações urbanas (SHUBO 2003). Entretanto, foi considerado por muitos, um recurso infinito de quase nenhum valor econômico e seu uso desordenado foi um dos principais motivos para a redução de sua oferta, em função

principalmente do crescimento populacional exacerbado e da redução da quantidade e qualidade dos mananciais (HESPANHOL e MIERZWA, 2000).

O crescimento populacional e a urbanização são elementos que contribuíram negativamente para a escassez da água, devido principalmente, ao incremento do consumo humano e industrial, bem como, da ampliação da área urbanizada, o qual exerce muita pressão sobre os mananciais dos rios (ROCHA, 2012). Por outro lado, o aumento da impermeabilização dos solos pelas áreas construídas facilita a escorrência superficial impedindo a infiltração e abastecimento de aquíferos.

Segundo Rebouças (1999), o aumento do consumo e os crescentes níveis de poluição, e conseqüentemente, a falta de gerenciamento dos recursos hídricos, contribuem para aumentar a escassez de água em vários lugares do mundo, principalmente nos países mais pobres, que já se encontram em situação de estresse hídrico.

Em nível mundial, não há propriamente uma escassez hídrica, mas na verdade existe uma má distribuição espacial e temporal, paralelamente há uma distribuição irregular da população humana, que faz com que algumas regiões sofram com a falta desse recurso. Segundo a UNESCO (2003), a disponibilidade global de água *versus* a população mundial mostra as desigualdades existentes entre os continentes, com destaque para a pressão exercida sobre o continente asiático, que abriga 60% da população mundial e dispõe apenas de 36% dos recursos hídricos do mundo.

Essa demanda e oferta dos recursos hídricos em países menos desenvolvidos é cada vez mais comprometida à medida em que as águas superficiais e as subterrâneas estão contaminadas com esgotos industriais e domésticos e efluentes agrícolas. De acordo com a Comissão Mundial da Água para o século XXI, mais de 50 % dos principais rios do mundo estão contaminados, pondo em risco a saúde humana e dos ecossistemas (IPS, 1999).

Segundo Bollmaan (2006), grande parte da poluição de corpos de água é consequência da ocupação do espaço pelo homem associado à urbanização, e conseqüentemente, ao aumento do lançamento de esgotos domésticos, *in natura* ou parcialmente tratados (visto que as Estações de Tratamento de Esgotos não aplicam tratamentos terciários). Além disso, grande parte desta poluição gerada em áreas urbanizadas tem origem no escoamento superficial das águas da chuva sobre áreas impermeáveis e em redes de drenagem, carregando materiais orgânicos e inorgânicos em suspensão ou solúveis aos mananciais, aumentando potencialmente a sua carga de poluentes.

2.2 Contaminação das águas

Nos últimos anos, o nível de poluição em ecossistemas aquáticos vem aumentando gradativamente como resultado da atividade humana sobre o meio ambiente (ARIAS, 2007). Tal fato tem colaborado para a redução da qualidade ambiental, bem como, para o

comprometimento da saúde dos seres vivos que habitam esses ecossistemas, assim como para a saúde humana (CAJARAVILLE, 2000).

A biota aquática está sendo continuamente exposta a um grande número de substâncias tóxicas lançadas em diversos ambientes aquáticos, oriundas de várias fontes de emissão, como a descarga de efluentes industriais, em processos de irrigação agrícola e esgotos domésticos, além de derrames acidentais de resíduos químicos (RASHED, 2001)

Estas fontes de emissão de contaminação, são na sua grande maioria lançados em rios e mares contribuindo para a propagação de uma ampla gama de agentes tóxicos como metais pesados, agrotóxicos, compostos orgânicos, entre outros, afetando assim a qualidade do ambiente para os organismos aquáticos ou até mesmo, para a saúde humana, por meio da ingestão dessas águas contaminadas (BRAGA, 2005).

Na maioria dos países em desenvolvimento, a maior parte das águas contaminadas, tanto pelos esgotos domésticos quanto pelos industriais, são lançadas sem nenhum tratamento, principalmente nos rios urbanos, que transportam grandes quantidades de matéria orgânica e poluentes e são os principais responsáveis pela eutrofização destes ambientes (ZANINI, 2009)

A eutrofização de ecossistemas aquáticos é, cada vez mais, uma problemática no nosso planeta. Nos processos de eutrofização existe um grande aumento de nutrientes, que provocam a degradação de meios aquáticos, sendo que o nitrogênio e o fósforo constam entre os principais (OLIVEIRA et al., 1999).

O nitrogênio e o fósforo presentes nestes ambientes aquáticos são de grande importância para a biota aquática, porém, permitindo a produção primária e secundária, mas quando descarregados em altas concentrações podem provocar o enriquecimento exagerado do meio, o qual é chamado de eutrofização, podendo levar a alterações físicas como o sabor, o odor, a turbidez, bem como a cor da água (SMITH e SCHINDLER, 2009), refletindo-se no crescimento sem controle dos produtores primários. Além disso, pode reduzir as concentrações do oxigênio dissolvido na água, e uma grande mortalidade de peixes e outros organismos aquáticos.

A eutrofização é reconhecida como um dos problemas mais importantes relacionados com a qualidade de água. É um dos impactos que mais preocupam, pois há uma grande ocorrência de florações de algas, principalmente as cianofíceas ou cianobactérias potencialmente tóxicas, que podem alterar a qualidade ambiental de ecossistemas aquáticos impactados por ação antropogênica, incluindo aqueles ambientes que são importantes para o abastecimento público (LAMPARELLI, 2004). A presença dessas toxinas é um caso grave, que pode causar a morte inclusive de seres humanos, atacando o fígado ou o sistema nervoso, como por exemplo, o acidente ocorrido em Caruaru-PE, onde foi noticiado a morte de 65

pacientes que faziam hemodiálise, devido à presença de toxinas, provenientes de águas contaminadas(SANCHEZ, 2012)

2.3 – Rios Urbanos

A água tem sido objeto de discussão de extrema importância no sustento dos grandes centros urbanos desde o início das civilizações, mostrando uma relação direta entre a estabilidade da população, seu desenvolvimento social, econômico e a qualidade e disponibilidade da água (BOF, 2014).

As maiores migrações humanas que levaram à formação das grandes civilizações da antiguidade tinham como destino áreas que eram naturalmente irrigadas e com fácil acesso à água, sendo está sempre relacionada com o desenvolvimento da sociedade nos mais diversos setores como: geração de energia, transporte, oferta de água potável, agricultura e recreação (JASPERS, 2002). Entretanto, durante a história, foram privilegiadas as intervenções em nome do crescimento e desenvolvimento das grandes cidades, impactando assim, negativamente o meio ambiente, principalmente os rios que cortavam essas cidades e que eram uma fonte de água para diversas atividades humanas (MEDEIROS , 2009).

Diante disso, a poluição dos rios vem-se agravando ao longo da história da humanidade, de acordo com o crescimento das atividades antropogênicas, verificando-se até hoje, que muitos dos resíduos líquidos são direcionados para os rios, a maioria sem tratamento adequado, principalmente as águas cinzas (águas de lavagem).

Pode-se ressaltar algumas passagens históricas, como aconteceu na cidade de Roma em 300 a.C, onde já se enfrentavam problemas com relação à poluição dos rios, prejudicando o abastecimento público. Em 1388, o parlamento inglês votou a primeira lei antipoluição do mundo, que dizia que não se deve lançar dejetos nos rios e nas ruas, e que estes deveriam ser lançados fora das cidades. Em uma das principais cidades da Europa no ano de 1600, em Paris, foi decretada uma lei de ordem pública, devido à situação sanitária da cidade (GARCIAS e AFONSO, 2013).

Na Alemanha situam-se grandes rios, como por exemplo, o Rio Isar, o qual sofre com casos de poluição difusa, vinda principalmente de práticas agrícolas. Porém, estes não são os únicos problemas que impactam os rios deste país, pode-se dizer que os que mais agravaram a situação destes ambientes, foram as canalizações oriundas de ações antrópicas, que alteraram as margens e os leitos dos rios, causando perda das suas funções ecológicas e da interação entre as águas dos lençóis freáticos que fluem ao longo destes ecossistemas (ARZET, 2010).

Segundo Hill (2010), o Rio Tâmis está situado ao sul da Inglaterra, e até hoje é a principal fonte de abastecimento para a cidade de Londres, porém, ao longo da história este rio e sua bacia hidrográfica sofreram vários episódios de impactos ambientais,

principalmente, devido ao fato do aumento da população desse país que dobrou de um milhão para dois milhões de habitantes entre 1800 e 1850. Entre as principais causas destes impactos está o lançamento de esgotos *in natura* nas águas, fato este que se agravou com a invenção da descarga dos vasos sanitários (GARCIAS e AFONSO, 2013). Esse rio foi dado como morto no século XIX e após planos de gestão ambiental visando a sua restauração, atualmente recuperou grande número de espécies de peixes antes desaparecidas, entre elas o salmão (OLIVEIRA, 2015)

O Rio Reno, na Alemanha, considerado o terceiro maior da Europa, convive também com impactos oriundos de atividades ao longo do seu trajeto, como por exemplo, trechos artificializados por canais para atender a navegação, que é uma das principais atividades que este rio oferece para a população, porém, estes contribuíram para a degradação e redução de habitats e biodiversidade da Bacia do Rio Reno (WEINGERTNER, 2010).

Outro rio importante da Europa, que também sofreu com os impactos ambientais por ação humana, foi o Rio Sena na França, este recebeu e ainda recebe grande pressão exercida através de 30% das atividades industriais que estão inseridas ao longo de sua bacia hidrográfica, tais como indústrias de papel, refino de petróleo, agroindústrias e indústrias químicas (CASTEROT, 2010).

O Rio Cheonggyecheon em Seul, na Coreia do Sul, é um dos casos mais interessantes, pois na tentativa de resolver os problemas de deslocamento urbano, o rio foi coberto por uma estrada, e ficou totalmente desprovido de luminosidade, degradando assim a qualidade da sua água, além disso, os dejetos de efluentes domésticos agravou ainda mais a situação deste ambiente (GARCIAS e AFONSO, 2013). Atualmente essa estrada foi removida para a restauração do rio e no local foi realizado um projeto de urbanização com calçadões e áreas para pedestres.

Estes problemas citados sobre rios urbanos, nas cidades que acabaram de ser mencionadas têm em sua grande maioria origem na indústria e nos resíduos domésticos, bem como, na agricultura e no escoamento pluvial. Além disso, também há a questão da mudança no curso dos rios causados pelas canalizações, mudando assim o seu regime hidrológico, causando inundações e assoreamento e aumentando a concentração de sedimentos (SIMSEK, 2012).

Outro impacto em rios urbanos conduzidos pelo homem é a transformação destes rios em vias fechadas ou canais, destruindo o sistema natural do ambiente e comprometendo a qualidade da água, além disso, transformam-se em destino final de lançamento de esgotos domésticos (TUCCI, 2003a).

O Brasil não é exceção em ter seus rios impactados pela ação antropogênica, o processo de ocupação urbana fez com que a maior parte fosse canalizada, ou feita como

depósito de dejetos e lixo (BRITTO & SILVA, 2006), principalmente os trechos que cortam áreas urbanas.

Como o Brasil apresenta uma imensa rede hidrográfica, destacando-se como o maior detentor de água doce do mundo, isso traz inúmeros benefícios e vantagens para a população, entretanto, apesar dessa riqueza existem vários problemas associados à distribuição destes recursos, como por exemplo, aqueles locais que sofrem com a seca e com a poluição hídrica (SILVA, 2014).

Um dos rios mais importantes do Estado de São Paulo, o Rio Tietê, era utilizado pela população nas décadas de 1910 a 1930 para a prática de esportes aquáticos, como a natação e a canoagem, inclusive era praticada também a pesca esportiva. Nos anos seguintes a ocupação desordenada da população e o lançamento de esgotos domésticos e industriais contribuíram para a degradação ambiental de sua bacia hidrográfica, agravando-se ainda mais com a construção de vias marginais, deixando a sua qualidade ambiental ainda mais comprometida (GARCIAS e AFONSO, 2013).

Tudo isso é resultado de uma enorme pressão da urbanização nas margens dos rios, o que resulta na redução das áreas naturais e da biodiversidade, paralelamente aos efeitos tóxicos da poluição hídrica e do solo, bem como resulta também, nas inundações e enchentes nas áreas urbanas localizadas sobre baixadas e planícies de inundação causando perda de propriedades e um grande sofrimento para a população que habita nas áreas ribeirinhas (COSTA 2011). Além disso, perdem-se os serviços ecossistêmicos realizados pelos rios, como fornecimento de alimento (pesca), depuração de poluentes dentro de determinados limites (disponibilidade de água para múltiplos usos) ecossistema (manutenção da biodiversidade).

Por esse motivo, a qualidade e quantidade de água doce disponível nos rios brasileiros foram sendo ao longo dos anos reduzidas, chegando à situação que é observada atualmente em muitos centros urbanos que passaram dos limites suportáveis para o seu uso (TÂNGARI et al., 2007).

Este problema é ainda mais agravado na região Nordeste do país, que caracteriza-se por apresentar um clima semiárido com longos períodos de seca e que o lançamento de efluentes domésticos não tratados em ecossistemas naturais originam graves problemas à qualidade química e biológica da água (ALVES et al., 2012). Além disso, o crescimento populacional e a escassez da água contribuem para que aumente cada vez mais esses problemas ambientais e também socioeconômicos (PEREZ, 2015).

A população dessa região principalmente no Estado da Paraíba, sofre com as consequências do clima, porém mesmo com este agravante, o homem utiliza de forma exacerbada os escassos recursos hídricos, contribuindo para a sua perda de qualidade, ampliando assim os problemas da região (MEDEIROS, 2016).

No Estado da Paraíba, também existem vários rios que sofrem com as pressões exercidas pela ação do homem, e pelo crescente processo de urbanização, a exemplo do Rio Paraíba, um dos mais importantes para o Estado, percorrendo vários municípios. Entretanto, ao longo de seu percurso a qualidade de suas águas vem regredindo em função da carga de efluentes sem tratamento, ficando ainda pior quando este chega ao seu destino final, os municípios de João Pessoa e Cabedelo (ALVES 2012; SILVA 2014).

A cidade de João Pessoa, conta com alguns ecossistemas aquáticos urbanos, muitos deles que recebem uma grande carga de resíduos não tratados, principalmente em bairros de periferia, como por exemplo, o Rio Jaguaribe, o Rio Cuiá, e o Rio do Cabelo que têm todo o seu percurso em área urbana. Além disso, o distrito industrial da cidade despeja também efluentes tóxicos na Bacia do Rio Gramame, outro ambiente importante do município.

Estes ecossistemas estão atualmente extremamente impactados em consequência da carga de materiais orgânicos, incluindo esgotos que são lançados nestes corpos aquáticos, principalmente pelos bairros que não contam com saneamento básico, ou pelas habitações que se localizam nas suas margens. É comum em diversos bairros da cidade ver águas de lavagem (águas cinzas) serem lançadas nas ruas, serem coletadas pelas redes pluviais e terminarem em corpos hídricos, enriquecendo-os com fósforo, usado nos sabões. O aumento de nutrientes em corpos aquáticos, principalmente do fósforo e do nitrogênio causa a eutrofização, que altera a qualidade de água, tornando-a imprópria para consumo e afetando os seus usos múltiplos, incluindo a sua biodiversidade (ESTEVES, 1998).

A bacia do Rio do Cabelo, é afetada pela demasiada pressão urbana de João Pessoa, a exemplo de tantas outras que se inserem nesta problemática, o referido rio corta um dos bairros mais populosos da capital, Mangabeira, onde nasce, submetendo-se a agressões constantes, principalmente, por estar totalmente localizada em perímetro urbano, o que tem provocado diversos impactos negativos tanto na qualidade da água quanto na biodiversidade que ali habita (FARIAS, 2006). Na área de nascente recebe todo o esgoto de dois presídios, o Sílvio Porto e Centro Sócio Educativo Edson Mota o que se reflete em perda de qualidade de água em todo o curso do rio, apesar da capacidade de auto-depuração, que permite uma melhora contínua na qualidade de água detectada ao longo do rio.

2.4- Revitalização ambiental

Existem várias maneiras de conseguir revitalizar os ambientes aquáticos que estão degradados, a fim de regenerar o mais próximo possível a biota natural através do manejo e de sistemas de tratamento e renaturalização, para isso é necessário conhecimento acerca da recuperação de rios urbanos impactados pela poluição e a consequente eutrofização, e também conhecer alguns conceitos, os quais referem-se a este tema, como a restauração, renaturalização, revitalização, reabilitação e remediação (BOF, 2014).

De acordo com Fisrweg (2001), a restauração ecológica de um rio, consiste na recuperação de suas condições ecossistêmicas, após alguma alteração natural ou por ação humana, que venha a desequilibrar a sua estrutura e impedir o seu reestabelecimento.

Binder (2001) ressaltou que a renaturalização consiste na recuperação de rios através do manejo, evitando usos antrópicos que possam prejudicar as suas funções, de modo que venha a restabelecer as condições naturais do ambiente. Já segundo Bof (2014) a revitalização consiste na preservação e recuperação dos rios através de ações sociais que possibilitem a melhoria da qualidade ambiental de determinado ecossistema aquático, além do uso sustentável de seus recursos naturais (BOF, 2014).

Outro conceito é a reabilitação, que é realizada através de ações que possibilitem parcialmente o retorno das condições biológicas e físicas de um rio às condições naturais (FINDLAY, 2006). Segundo este autor a remediação consiste na recuperação de um ambiente aquático, o qual apresenta-se altamente impactado em casos de estresse antropogênico, ocorrendo por meio de um ambiente modificado.

Para atingir as metas de desenvolvimento sustentável, é indispensável o manejo racional dos recursos naturais, o que exigirá o emprego de novas tecnologias. Entre as tecnologias que apresentam potencial para contribuir para o desenvolvimento sustentável, a biotecnologia tem muito a oferecer, especialmente nos campos da produção de alimentos, geração de energia, prevenção da poluição ambiental e biorremediação. (SCHENBERG, 2010)

2.4.1- Biorremediação

A biorremediação é um processo que ocorre através de micro-organismos para a remoção de poluentes tóxicos de algum ecossistema aquático, sendo bastante viável, pois possibilita a minimização dos impactos antropogênicos e a restauração da sua condição natural (CARNEIRO e GARIGLIO, 2010)

Para proteger ecossistemas aquáticos é preciso que o desenvolvimento das cidades seja de forma sustentável, para que o manejo dos recursos naturais ali existentes seja feito com responsabilidade e consciência, preservando-os assim para as gerações futuras, além disso, os resíduos produzidos por ações antropogênicas devem passar por tratamento adequado (CARNEIRO, 2010), visto que não adianta restaurar um ecossistema se as pressões humanas negativas continuarem. Assim, em paralelo com qualquer ação de recuperação, tem de ser realizado um trabalho de educação ambiental e de saneamento básico, para diminuir a quantidade de nutrientes que alcança o sistema aquático.

Dessa forma, é possível então reparar os danos ao ambiente, com rapidez se adequando a técnicas eficientes e economicamente viáveis, porém apesar de alguns autores alegarem que esta é uma tarefa difícil de ajustar, pois os processos de restauração ambiental,

estão associados a longos períodos de tempo e a altos custos (ABBAS, 2003; SILVEIRA e SPAREMBERGER, 2004), isso pode não ser verdade, quando se utiliza a biorremediação e a fitorremediação, visto que serão os próprios seres vivos a restaurarem o ambiente, a única ação humana necessária será contribuir para o aumento dessas comunidades naturais, já presentes nos rios ou no caso das macrófitas controlar o seu crescimento excessivo.

A biorremediação tem sido um dos processos que está em alta atualmente nas pesquisas, pois oferece como vantagem uma maior segurança e menos perturbação ambiental, além de ser eficiente e de baixo custo (SANTOS, 2007). É uma tecnologia na qual são utilizados micro-organismos que por sua vez removem contaminantes tóxicos ao meio ambiente seja terrestre ou aquático (PELCZAR, 1997), assim como o excesso de nutrientes. Estes organismos são encontrados em todos os ecossistemas do nosso planeta, os quais contribuem para a manutenção do equilíbrio ecológico entre os seres vivos e os parâmetros ambientais (TORTORA et al., 2005).

A biorremediação utiliza tanto os micro-organismos do próprio ambiente como também culturas geneticamente modificadas, especialmente adaptadas para uma determinada situação. As substâncias tóxicas são transformadas em atóxicas através do metabolismo microbiano (PELCZAR, 1997) e no caso de ambientes ricos em nutrientes, esses organismos absorvem e metabolizam-nos retirando-os do ambiente e diminuindo a eutrofização.

2.4.2- Biorremediação passiva

Esta técnica é relacionada a um processo de redução de algum contaminante na água, sem que haja algum acréscimo de nutrientes, ou adequação de qualquer parâmetro ambiental, passando os micro-organismos presentes no ambiente a utilizar o poluente orgânico como fonte de carbono, fazendo com que haja a gradativa redução de sua concentração (MENEGETTI, 2007). Isso é considerado a capacidade de autodepuração de um sistema ecológico.

Segundo Corseuil e Martins (1998 *apud* Mariano, 2006), a biorremediação natural não se trata apenas de uma alternativa para nenhuma ação de tratamento, mas sim de uma forma de amenizar os riscos para a saúde humana bem como para o meio ambiente.

Este tipo de biorremediação depende muito dos processos naturais que ocorrem no ambiente, podendo não ser muito viável, por ser um processo muito lento, o que exige, no entanto, um conjunto de outras técnicas que possam realizar-se por um longo período de tempo (JACQUES et al., 2006).

2.4.3- Bioestimulação

Na bioestimulação há introdução de nutrientes orgânicos e inorgânicos, o que faz com que aumente a atividade de microorganismos presentes no ambiente (JACQUES et al., 2006), tornando-os mais eficientes. Além de serem utilizadas populações de microorganismos autóctones os quais têm o objetivo de aumentar as taxas de biodegradação de compostos contaminantes (MARIANO, 2006).

Para este processo funcionar, diversos nutrientes devem estar presentes no ambiente, pois os microorganismos não irão depender do carbono como na biorremediação passiva, mas também do nitrogênio e do fósforo que são fatores limitantes para a degradação microbiana (BAPTISTA, 2003).

Para que a técnica de Bioestimulação possa ser utilizada, deve primeiramente verificar-se o local contaminado, a fim de analisar a população natural de microorganismos que são capazes de degradar determinado contaminante presente no ambiente (RAMASWAMI e LUTHY, 1997 *apud* MARIANO, 2006).

Segundo Gaylard (2005), a bioestimulação tem um aumento de 5 a 10 vezes nas taxas de degradação do poluente, porém ainda existem dúvidas sobre os efeitos a longo prazo, uma vez que essas taxas tendem a se equalizar com o passar do tempo, há medida que os microorganismos usam esses nutrientes nos seus processos metabólicos.

2.4.4- Bioaugmentação

A bioaugmentação consiste na inoculação de microrganismos externos (seeding) e constituem as técnicas mais utilizadas na biorremediação (recuperação de áreas degradadas pela ação do homem) (FERNANDES 2012). No entanto, a inserção de espécies exóticas pode trazer problemas de desequilíbrio ambiental, devendo ser usado em casos em que a biota nativa não seja eficiente no processo de biorremediação.

2.4.5- Wetlands artificiais

Este sistema é projetado artificialmente para a utilização de macrófitas aquáticas em substratos, como por exemplo, areia, solo ou cascalho, no qual ocorre o aumento de biofilme associado às raízes destas plantas onde se acumulam vários organismos, que através de processos físicos, químicos e biológicos, tratam as água residuárias (SOUZA, 2000), ou ricas em nutrientes (eutrofizadas).

De acordo com Marotta (2009) esse sistema de wetlands, com as macrófitas aquáticas, pode estimular a diminuição e prevenção no processo de eutrofização, promovendo a absorção e retenção de nutrientes como o fósforo e o nitrogênio.

A capacidade de remoção destes nutrientes por parte das plantas aquáticas é variável, considerando o fato de que a remoção destes nutrientes depende muito do tipo de macrófita

e dos mecanismos de cada wetland, bem como do biofilme que também é utilizado neste sistema (PEREZ, 2015)

As wetlands estão entre os ecossistemas artificiais mais produtivos do mundo em termos de produção primária e secundária, representando assim como áreas de alimentação, reprodução e crescimento de várias espécies de organismos aquáticos, de ambientes como rios, lagoas, matas, etc. Além disso podem realizar a filtração de contaminantes carregados pelas águas dos rios que estão em processo de eutrofização, bem como ajudam na regulação do volume de água na ocasião de grandes quantidades de chuvas (IBAMA, 2010). Além de remover a elevada carga de nutrientes de um ambiente eutrofizado, este sistema pode ajudar também na remoção de coliformes e substâncias inorgânicas como os metais pesados, além disso, os custos operativos e de manutenção são extremamente baixos (YAMAMOTO, 2012).

2.4.6- Biofilme

Esta comunidade era denominada de perifiton, mas em virtude desta nomenclatura dar mais ênfase à parte vegetal (*fiton*) passou a ser considerada biofilme, por atender esse nome ao maior número de tipo de organismos presentes. O biofilme possui uma forma gelatinosa que adere a um substrato sólido, geralmente em meio aquático, bem como é constituído por vários microorganismos como por exemplo algas, protozoários, microcrustáceos e rotíferos, o que faz com que o biofilme torne-se um sistema ecológico completo com produtores, consumidores e decompositores (ALISSON, 2003).

O biofilme pode ser utilizado em lagoas de estabilização ou de maturação com o intuito de aumentar a eficiência no tratamento de esgotos, o que contribui para a melhoria da qualidade da água nestes ambientes (BENTO, 2005).

Deste modo, o biofilme é um importante aliado na regulação da dinâmica dos nutrientes em vários ecossistemas aquáticos, pois ele tem uma grande capacidade de absorver, e melhorar a qualidade da água. Além disso, o biofilme pode atuar como produtor primário e serve como fonte de alimento na cadeia trófica, tendo a capacidade também de diminuir a carga orgânica de ambientes aquáticos poluídos.

2.5 Gestão Ambiental de Recursos Hídricos

Em meados dos anos 60, a Europa estava em reconstrução devido ao final da 2ª Grande Guerra que acontecera naquela região, a partir daí começaram a perceber que a forma de desenvolvimento e industrialização estava levando a situações de grande poluição das suas bacias hidrográficas, surgindo assim as primeiras medidas de proteção para as águas continentais, enfatizando-se a necessidade de recuperação dos ambientes impactados (MOREIRA, 2001).

Em todas as regiões do planeta, a qualidade da água doce está sendo impactada, a partir de lançamento de esgotos não tratados em seus rios, ficando inviável para o abastecimento público. Estes problemas agravam-se ainda mais em países tropicais, onde o alto custo para tratamento de águas poluídas tem compartilhado fundos com outras atividades (FALKENMARK, 1991), sendo sempre deixado esse investimento para o futuro.

As principais ameaças antropogênicas aos recursos hídricos destes países é a falta de saneamento, em que regiões de grande densidade populacional acabam sofrendo com o despejo de efluentes não tratados em rios que cortam as cidades (MEYBEK, 1989; AYACH et al., 2012).

A grande densidade populacional nos grandes centros urbanos do Brasil apresenta condições extremamente críticas com relação à sustentabilidade dos recursos hídricos devido ao excesso de efluentes domésticos, industriais e ao escoamento superficial, que contaminam os mananciais, associados a uma grande demanda de água. Por isso, com a redução da disponibilidade de água usada para abastecimento público o governo realiza frequentes racionamentos como já são observados nas cidades de Campina Grande-PB, Recife-PE, São Paulo-SP. No entanto, a racionalização e o reaproveitamento da água poderá permitir uma solução mais sustentável (TUCCI, 2000), assim como o tratamento das águas dos rios, se estes fossem restaurados suas águas teriam melhor qualidade e poderiam ser usados para os múltiplos usos.

Ainda, segundo Tucci (2000), o nordeste brasileiro é o que mais sofre com problemas relacionados com a água, pois apresenta condições hídricas que não são favoráveis, como por exemplo a evapotranspiração, o baixo índice de chuvas e baixo desenvolvimento econômico, comprometendo assim as condições de vida da população em áreas como o semiárido.

A falta de água em períodos mais secos, que ocorre em algumas regiões do nordeste tanto para a agricultura como para o abastecimento é na sua grande maioria fruto da falta de regularização e de programas de prevenção para a redução dos impactos relacionados com as secas (GALLOPIN, 1999).

Todo esse processo é agravado, pois os municípios não possuem capacidade econômica e institucional para resolver o problema dos impactos nos recursos hídricos. Cada um dos problemas citados é tratado de forma isolada, sem nenhum planejamento preventivo. Como consequência, são observados os prejuízos econômicos, forte degradação da qualidade ambiental, doenças de origem hídrica por falta de saneamento básico em algumas regiões mais pobres, perdas de moradias e bens (TUCCI, 2000).

Estes problemas indicam um agravamento no que se refere à área de gestão de recursos hídricos no país. A Agenda 21 enumerou algumas dificuldades, como por exemplo: i) inexistência de práticas efetivas de gestão de usos múltiplos e integrados dos recursos hídricos; ii) critérios diferenciados na implementação dos processos de gestão no país; iii)

base legal insuficiente para assegurar a gestão descentralizada; iv) inadequação dos meios disponíveis no poder público para implementar uma gestão eficiente; v) participação incipiente da sociedade na gestão, com excessiva dependência nas ações de governos; vi) recursos científico-tecnológicos insuficientes para a gestão (BRASIL, 2000).

A gestão dos recursos hídricos, concebida a partir da definição de regras de distribuição da água entre diferentes usos e entre diferentes usuários de um mesmo uso, pode ter distintos objetivos, algumas vezes contraditórios entre si. Neste sentido, a Agenda 21 Brasileira enumera cinco objetivos para a instituição de regras de distribuição da água: eficiência econômica; conservação ambiental; geração de benefícios; redistribuição de renda; e financiamento da gestão (BRASIL, 2000b).

Vale ressaltar que a adoção de instrumentos de gestão dos recursos hídricos tem como principais objetivos traduzir aspirações coletivas de racionalização do uso da água, de conservação e de preservação ambiental, além de produzir ações que induzam os usuários da água a modificarem um comportamento julgado inadequado em relação à utilização dos recursos hídricos (GALINDO, 2004).

Além de importantes instrumentos de política para o setor, a Lei nº 9.433/97 define a estrutura jurídico-administrativa do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH). O estabelecimento desse arcabouço institucional representa um aspecto central para a gestão de recursos hídricos, na medida em que prevê a criação dos Comitês de Bacias Hidrográficas (COBH). Os comitês se colocam como instâncias descentralizadas e participativas de discussão e deliberação, que contam com a participação dos diferentes setores da sociedade, atuando como fóruns de decisão no âmbito das Bacias Hidrográficas (NOGUEIRA, 2004).

A Lei 11.445/07 – Lei Federal do Saneamento Básico aborda o conjunto de serviços de abastecimento público de água potável; coleta, tratamento e disposição final adequada dos esgotos sanitários; drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, além da limpeza urbana e o manejo dos resíduos sólidos.

A limpeza urbana e o manejo de resíduos sólidos considerados na lei como serviços públicos são compostos pelas atividades de: coleta, transbordo e transporte dos resíduos; triagem para fins de reuso ou reciclagem; tratamento, incluindo compostagem, e disposição final dos resíduos. Refere-se também ao lixo originário da varrição, capina e poda de árvores em vias e logradouros públicos e outros serviços de limpeza pública urbana, relacionados no art. 3º da Lei.

A Lei 11.445/2007 institui como diretrizes para a prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos: o planejamento, a regulação e fiscalização, a prestação de serviços com regras, a exigência de contratos precedidos de estudo de viabilidade técnica e financeira, definição de regulamento por lei, definição de entidade de

regulação, e controle social assegurado. Inclui como princípios a universalidade e integralidade na prestação dos serviços, além da interação com outras áreas como recursos hídricos, saúde, meio ambiente e desenvolvimento urbano.

A inexistência de pessoal especializado e as debilidades na capacidade de gestão existentes no país fazem com que poucos municípios não contem com uma gestão adequada dos resíduos sólidos, que garanta a sustentabilidade dos serviços e a racionalidade da aplicação dos recursos técnicos, humanos e financeiros. Em função disso, buscando um salto na capacidade de gestão, a lei instituiu a prestação regionalizada dos serviços de saneamento básico, para possibilitar uma escala racional na gestão dos resíduos sólidos e equipes técnicas permanentes e capacitadas.

O Art. 11 da lei estabelece um conjunto de condições de validade dos contratos que tenham por objeto a prestação de serviços públicos de saneamento básico quais sejam: plano de saneamento básico (são aceitos planos específicos por serviço); estudo comprovando viabilidade técnica e econômico-financeira da prestação universal e integral dos serviços; normas de regulação e designação da entidade de regulação e de fiscalização; realização prévia de audiências e de consulta públicas; mecanismos de controle social nas atividades de planejamento, regulação e fiscalização e, as hipóteses de intervenção e de retomada dos serviços.

A Lei 11.445/2007 definiu ainda que a sustentabilidade econômica e financeira dos serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos urbanos seja assegurada, sempre que possível, mediante remuneração pela cobrança destes serviços, por meio de taxas ou tarifas e outros preços públicos, em conformidade com o regime de prestação do serviço ou de suas atividades.

2.5.1- Saneamento Básico: controle de entrada de efluentes

De acordo com a World Health Organization-WHO(2004), saneamento é o controle de componentes do meio físico humano, que exerce algum efeito nocivo ao bem estar físico, mental e social das pessoas.

A saúde da população bem como a sua qualidade de vida está ligada a um sistema de saneamento adequado e eficiente, o qual é mais compreendido pelos dados que se referem à saúde pública, e que refletem a maioria das doenças relacionadas com o uso de água de má qualidade e da ausência de esgotamento sanitário (CASTRO, 2010; LACERDA et al., 2011).

Segundo Souza (2015), o saneamento básico abrange os aspectos ambientais, econômicos e sociais de determinada região. Apesar desta relevância, nas leis brasileiras não é designado o serviço governamental que é responsável pela execução do serviço de saneamento. Ainda, segundo a autora citada, a legislação brasileira engloba desde o

enquadramento dos corpos hídricos até os padrões de lançamento de esgotos nos corpos hídricos, deixando implícitos deveres concorrentes e comuns aos municípios, estado e governo federal.

A gestão de serviços referente ao saneamento básico no país, desde a sua implantação, tem sido uma gestão com a participação de múltiplos institutos governamentais, incluindo neste sentido os poderes da União, estados e municípios, entretanto, faz-se necessário a junção dos esforços de todos os aspectos governamentais, para obter uma melhoria na prestação deste serviço (INSTITUTO, 2017).

Os problemas relacionados com o saneamento básico e a poluição em algumas regiões do nordeste brasileiro impõem ao governo a necessidade de trazer para a população soluções que estejam relacionadas com este problema, uma vez que a situação do saneamento no Brasil é extremamente precária (MELLO, 2005). Segundo o mesmo autor, existe também preocupação com a população de baixa renda, e o descuido dos governantes em relação a estas pessoas acaba por deixar aqueles com menos condições financeiras sem o saneamento básico adequado (AYACH LR, 2012).

. Por morarem em regiões de periferias das cidades, quase sempre não são atendidos pelas obras de infraestrutura de saneamento básico, principalmente a coleta de esgoto.

Esses problemas levam ao aumento da eutrofização em rios, por ação antropogênica e que poderiam ser controlados, se existisse naquelas regiões onde os ambientes estão mais impactados, uma melhoria no saneamento básico, e a implantação de sistemas de tratamento de esgoto, que fizessem um controle mais adequado do lançamento de nutrientes e das algas tóxicas (SOUZA, 2015).

Mesmo quando existe coleta e transporte de esgoto para uma estação de tratamento de esgoto, o sistema de funcionamento é precário e incompleto, não possuindo em geral tratamento terciário. Um sistema de saneamento eficiente, seria uma forma de controlar e diminuir a entrada de nutrientes nos ambientes aquáticos, o que supostamente iria atrasar o processo de eutrofização e a consequente floração de algas que são nocivas para a população (BRANDÃO, 2008).

Nem sempre um tratamento de esgoto é o sinônimo de grandes obras de infraestrutura, a permacultura traz exemplos de tratamento de esgoto local, de forma ecológica e sem produção de efluentes (PAES, 2014).

Baseado nas problemáticas citadas acima, esta dissertação pretende testar as seguintes hipóteses:

H1 – Partes do Rio do Cabelo estão impróprias para a sobrevivência de peixes

H2 – o sistema de tratamento por biorremediação é eficiente para melhorar a qualidade de água, do Rio do Cabelo

H3 – O Rio Bucatu representa uma condição ambiental pouco impactada, de pequenos rios costeiros

H4 – Índices ecológicos para assembleias ícticas podem ser usados como indicadores ambientais

Para isso a pesquisa foi baseada para alcançar os seguintes objetivos:

3. OBJETIVO GERAL

- ✓ Avaliar as variáveis físicas e químicas da água de dois rios urbanos do Estado da Paraíba com diferentes impactos antropogênicos e verificar os efeitos da biorremediação na restauração do Rio do Cabelo.

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Analisar a qualidade de água do Rio do Cabelo antes da implantação do sistema de biorremediação BIOMAC;
- ✓ Analisar a qualidade de água do Rio Bucatu, por ser um rio menos impactado e servir de referência para a restauração do Rio do Cabelo;
- ✓ Verificar a eficiência dos sistemas de biorremediação, no melhoramento da qualidade da água do Rio do Cabelo;
- ✓ Comparar os dois rios em relação à qualidade de água e comunidade íctica.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBAS, M. Z. M. **A biorremediação como ferramenta para a minimização de problemas ambientais**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, Escola de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2003.
- ALLISON, D. G. The biofilm matrix. Biofouling: **The Journal of Bioadhesion and Biofilm Research**. v. 19, n.2, p. 139-150, 2003.
- ALVES, R.I.S.; CARDOSO, O.O.; TONANI, K.A.A.; JULIAO, F.C.; TREVILATO, T.M.B.; MUÑOS, S.I.S. Water quality of the Ribeirão Preto Stream, a watercourse under anthropogenic influence in the southeast of Brazil. **Environ Monit**. 185:1151–1161. 2012.
- ARIAS, A.R.L. *et al*; Utilização de bioindicadores na avaliação de impacto e no monitoramento da contaminação de rios e correços por agrotóxicos.**Rev. Ciências e Saúde Coletiva**. v. 12. n 1. 61-72p. 2007
- ARZET K. O Rio Isar: Munique, Alemanha. Machado A.T.G.M., Lisboa A.H., Alves C.B.M., Lopes D.A., Goulart E.M.A., Lite F.A., Polignano M.V. (Org.) In: **Revitalização de rios no mundo: América, Europa e Ásia**. Belo Horizonte: Instituto Guaicuy, 2010
- AYACH LR, GUIMARÃES STL, CAPPI N, AYACH C. Saúde, saneamento e percepção de riscos ambientais urbanos. **Cadernos de Geografia**, v. 22, n.37, p.47-64, 2012.
- BAPTISTA, Sandro J. CAMMAROTA, Magali C.; FREIRE, Denise D. C. **Avaliação da bioestimulação em solos argilosos contaminados com petróleo**. UFRJ, Rio de Janeiro, 2003.
- BENTO, A. P; **Tratamento de esgoto doméstico em lagoas de estabilização com suportes para o desenvolvimento de perifiton – biofilme**. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina. 2005.
- BRANDÃO, E. T. P. **Cianobactérias e saúde pública no Brasil**. Dissertação. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, p.76, 2008.
- BOF, P. H. Recuperação de Rios Urbanos: **O caso do Arroio Dilúvio**. 2014. 93 f. Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul
- BOLLMAN, H.A.; MARQUES, D.M.L.M; Influência da densidade populacional nas relações entre matéria orgânica carbonácea, nitrogênio e fósforo em rios urbanos situados em áreas com baixa cobertura sanitária. **Rev.Eng. sanit. ambient**. Vol.11 - Nº 4 , 343-352p . 2006

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T.L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo: Prentice Hall, 2005.

BODENS F AND OLIVEIRA B. Fossa **Ecológica - Tanque de Evapotranspiração (TEVAP)**. Disponível em: http://mundogepec.blogspot.com.br/2009/07/fossa-ecologica-tanque-de_13.html Acesso em: 20 jul/2017

BOF, H. P. **Recuperação de Rios Urbanos: O caso do Arroio Diluvio**. Monografia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRFS. 94p. 2014

BINDER, W. **Rios e córregos. Preservar, conservar, renaturalizar**. Espaço das Águas: As Várzeas de Inundação na cidade de São Paulo, 2001

CARNEIRO, D.A.; GANGLIO, L.P; A Biorremediação como ferramenta para a descontaminação de ambientes terrestres e aquáticos. **Rev. Tecer**.v. 3, n. 4.- Belo Horizonte-2010

CAJARAVILLE MP, BEBIANNO JM, BLASCO J, PORTE C, SARASQUETE C, VIARENGO A. The use of biomarkers to assess the impact of pollution in coastal environments of the Iberian Peninsula: a practical approach. **Sci Total Environ** 2000; 247:295-311

CAPARETO C. Poluição das águas. Causas e efeitos. *Universidade Aberta–Lisboa*.(1999).

CASTEROT, B. Rio Sena: Paris, França. In: MACHADO, A.T.G.M. **Revitalização de rios no mundo**. Belo Horizonte: Instituto Guaicury, 2010.

CASTELLANO, M.; BARBI, F.; Avanços na Gestão Compartilhada dos Recursos Hídricos nas Bacias dos Rios Piracicaba, Capivarí e Jundiá. **Rev. São Paulo em Expectativa**. v. 20, n.2. p.46-58. 2006

CASTRO, C. M. 2010. **Águas do Rio de Janeiro: Da Metrópole com Riscos à Metrópole dos Riscos**. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Geografia. PPGG/UFRJ.

CAVALCANTE, A.A. & CUNHA, S.B.da. Morfodinâmica fluvial em áreas semiáridas: discutindo o vale do Rio Jaguaribe, CE, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, vol. 13, n.1, jan-mar, 2012

CHARMAN, K. “A Sewer Becomes a Water Park.” **Yes! Magazine**. Winter 2004: Whose Water? Disponível em: <<http://www.yesmagazine.org>> Acesso em: 13/07/2017

CRISTO, S.S.V. 2002. **Análise de susceptibilidade a riscos naturais relacionados à enchentes e deslizamentos do setor leste da Bacia Hidrográfica do Rio Itacorubi**,

- Florianópolis, Santa Catarina.** Dissertação de Mestrado, Departamento de Geociências do Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina. 211pp.
- CHERNICHARO, C. A. L.; Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: reatores anaeróbios. **Belo Horizonte**, v. 5, 1º Ed.: SEGRAC, 1997, 243p.
- COSTA, T.C.F. Degradação ambiental da bacia hidrográfica do Rio Cabelo-PB. R **Revista Brasileira de Informações Científicas**. V.2 (.2):73-77. 2011
- COSTA, C.R. **Parques Fluviais na Revitalização de Rios e Corregos Urbanos.** Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande. Rio Grande-RS. 109p. 2011
- CORRELL, D. L. The role of phosphorus in the eutrophication of receiving waters: A review. **Journal Environmental Quality**, Stanford, v. 27(2): 261-266, Mar./abr. 1998.
- COSMAN, N. J. **Transporte de nutrientes e bacterias por escoamento superficial devido a aplicação de água residuária da suinocultura no solo.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Parana, Cascável, 2010.
- DO VALE, B. M.; **Avaliação da eficiência da remoção de matéria orgânica e microbiológica de três sistemas de lagoas de estabilização em série na Grande Natal-RN: Beira Rio, Jardim Lola I e Jardim Lola II.** Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Norte-UFRN. 94 p . 2007.
- ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia.** 2ª ed., Interciência, Rio de Janeiro, 1998.
- FALKENMARK M, ALLARD B. Water Quality and disturbances of natural freshwaters. In: Hutzinger O, editor. **The handbook of environmental chemistry. Part A - Watpollution.** Berlin: Ed. Springer Verlag; 1991. v. 5. p. 46-78.
- FARIAS, M.S.S. **Monitoramento da qualidade da agua na bacia hidrografica do Rio do Cabelo.** Campina Grande, 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) UFCG- Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, 2006.178p
- FINDLAY, S. J.; TAYLOR, M. P. **Why Rehabilitate Urban River Systems?** Area, Sydney, Australia, 2006.
- FISRWG. **Stream Corridor Restoration: Principles,Processes, and Practices.** Federal Interagency Stream Restoration Working Group. 2001. Disponível em: <http://www.usda.gov>. Acesso em: 05/07/2017
- GALLOPIN, G e RIJSBERMAN, F. (1999) **Second Generation of 3 Global Level Scenarios: Business- as-Usual (BAU), Technology, Economy and the Private Sector (S1), and Values and Lifestyles (S2”**, Draft version of 23 july 1999 – World Comission on Water for the 21st Century – World Water Vision

- GALBIATI, A. F. **Tratamento domiciliar de águas negras através de tanque de evapotranspiração**. 2009. 38 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Centro de Ciências Exatas e Tecnologia. Campo Grande, 2009.
- GARCIAS, C. M.; AFONSO, J. A. C. Revitalização de rios urbanos. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 1(1):. 131-144, 2013.
- GODOY, O. A. **Avaliação da presença de cianobactérias em efluentes em sistema de tratamento de esgotos sanitários por lagoas de estabilização associadas a tratamento físico-químico**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária). Universidade de São Paulo, 2007.
- HILL R. O Rio Tâmis: Londres, Inglaterra. Machado A.T.G.M., Lisboa A.H., Alves C.B.M., Lopes D.A., Goulart E.M.A., Lite F.A. and Polignano M.V. (Org.) In: **Revitalização de rios no mundo: América, Europa e Ásia**. Belo Horizonte: Instituto Guaicuy, 2010.
- HESPANHOL, I. & MIERZWA, J. C., 2000. Programa para o gerenciamento de águas e efluentes nas indústrias visando o uso racional e o reuso. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 4(1/2):11 - 15.
- INSTITUTO TRATA BRASIL. **Ranking do Saneamento - As 100 maiores cidades do Brasil (SNIS 2012)**. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2014. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/datafiles/estudos/ranking/tabela-100-cidades2014.pdf>>. Acesso em: 20/07/2017.
- INTER-PRESS SERVICE (IPS). **Most rivers in the world are polluted**. (Washington, D.C.). Inter-Press Service wire service. 1999.
- IRRIGART – Engenharia e Consultoria em Recursos Hídricos. **Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí: a situação dos recursos hídricos 2002-2003**. Piracicaba: FEHIDRO/PCJ/ CBH-PCJ, 2005.
- JACQUES, R. J. S. **Biorremediação de solos contaminados com hidrocarbonetos aromáticos policíclicos**. São Gabriel: UNIPAMPA, 2006.
- JASPERS, F. G. W. Institutional Arrangements for Integrated River Basin Management. **Water Policy**, Delft, December 2002. 77-90.
- KATO, M. T. et al. Configurações de reatores anaeróbios. In: CAMPOS, J. R. (Coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 464 p. (Projeto PROSAB).

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento.** Tese (Doutorado em Ciências), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LANNA, A. E. Elementos de Estatística e Probabilidades. In: **Hidrologia: ciência e aplicação.** Org. Tucci, C. E. M. 3ª. Ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS / ABRH, 2002.

LANDERGRABER, G. & MUELLEGGER, E. Ecological Sanitation—a way to solve global sanitation problems?. **Environment International**, v. 31(3): 433-444.. 2005

MARIANO, A. P.. **Avaliação do potencial de biorremediação de solos e de águas subterrâneas contaminados com óleo diesel.**Dissertação. Rio Claro: Universidade Estadual Paulista,93p. São Paulo, 2006.

MAROTTA, H.; BENTO, L.; ESTEVES, F.A.; PRAST, A.E. Whole Ecosystem Evidence of Eutrophication Enhancement by Wetland Dredging in a Shallow Tropical. **Estuaries and Coasts**. 32:654-660. 2009

MEDEIROS,S.D.F; **Estudo de Caso sobre os Impactos Socioambientais no Trecho Urbano do Rio da Catingueira,Paraíba.** I Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido. 10p. 2016

MEDEIROS, I.H.;JUNIOR, A.P.M; Resignificação de Rios Urbanos em Grandes Metrópoles: Limites entre o ideal e o Possível. In: XIII SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA APLICADA, 2009, Viçosa. **Anais...**Viçosa: UFV, 2009.

MENEGHETTI, Liliane Rebecchi Ribeiro – **Biorremediação na descontaminação de solo residual de basalto contaminado com óleo diesel e biodiesel.** Passo Fundo: UPF, 2007

MOREIRA, M.M.M.A. (2001). A Política Nacional de Recursos Hídricos: avanços recentes e novos desafios. In: FELICIDADE, N.; MARTINS, R.C.; LEME, A.A. (orgs.) **Uso e gestão dos recursos hídricos no Brasil.** São Carlos, SP, Rima, p.69-76

MEYBEK M, HELMER R. The quality of rivers: from pristine stage to global pollution. **Paleogeogr. Paleoclimatol Paleoecol** 1989;75:283-309.

PAES,W.M; CRISPIM, M.C; FURTADO,D.G.; Uso de Tecnologias Ecológicas de Saneamento Básico para Solução de Conflitos Socioambientais. **Rev. Gaia Scientia**. Vol. 8(1): p 226-247. 2014

PELCZAR, Jr., Joseph Michael; CHAN, E.C.S; KRIEG, Noel R.- **Microbiologia: conceitos e aplicações** – Volume 2, 2ª.ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil. 1997.

PEREZ, M. J.; **Biofilme e Macrófitas como Ferramenta de Biorremediação em Ecossistemas Aquáticos e Tratamento de Esgotos.** Dissertação. Programa de Pós-graduação

em Desenvolvimento e Meio Ambiente - UFPB-Universidade Federal da Paraíba. 164p. João Pessoa –PB.2015

RAMADAN, H. & PONCE, V. M. **Design and Performance of Waste Stabilization Ponds**, 2003. Acessível em: <http://stabilizationponds.sdsu.edu/>. Acesso em 20/07/2017.

RASHED MN. Monitoring of environmental heavy metals in fish from Nasser Lake, **Environ Int**; 27(1): 27-33. 2001

REBOUÇAS, A. C. Água Doce no Mundo e no Brasil, In: REBOUÇAS, A. C., BRAGA, B., TUNDISI, J. G., (Org.), **Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação**, São Paulo – SP, Editora Escrituras. 1999.

ROCHA, G. M. A cidade de Altamira e o complexo hidrelétrico de Belo Monte na Amazônia. In: SILVA, Luiz de Jesus Dias da.; PONTE, Juliano Pamplona Ximenes (Org.). **Urbanização e ambiente: Experiências de Pesquisas na Amazônia Oriental**. Belém: Pakatatu, 2012. v. 1:123-140

SANTOS, A.G. Análise das perdas de água e solo em diferentes coberturas superficiais no semi-árido da Paraíba. 2007.

SANTOS, R.M; RIZZO, Andréia C. L; SOBRAL, Luiz G.S. **Remediação de solo contaminado por petróleo em biopilhas – escala piloto**. Campinas: Centro de tecnologia mineral CETEM, 2007.

SILVA, F.A. **Degradação do Rio Paraíba: um estudo de caso de extração irregular de areia no seu leito no Vale do Paraíba**. Monografia. Universidade Estadual da Paraíba-UEPB. 32p. Itabaiana-PB.2014

SILVA, L. M. T. Características da Urbanização na Paraíba. João Pessoa: **Revista Cadernos do LOGEPA**,. Vol 3. 1-15p 2004

SILVEIRA, A.C; SPAREMBERGER, R. F. **A relação homem e meio ambiente e a reparação do dano ambiental: reflexões sobre a crise ambiental e a teoria do risco na sociedade**. Dissertação de Mestrado em Direito Ambiental, da Universidade de Caxias do Sul – UCS, 2004.

SHUBO, T.; **Sustentabilidade do Abastecimento e da Qualidade da Água Potável Urbana**. Dissertação. Escola Nacional de Saúde Pública da Fundação Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro. 126 p. 2003

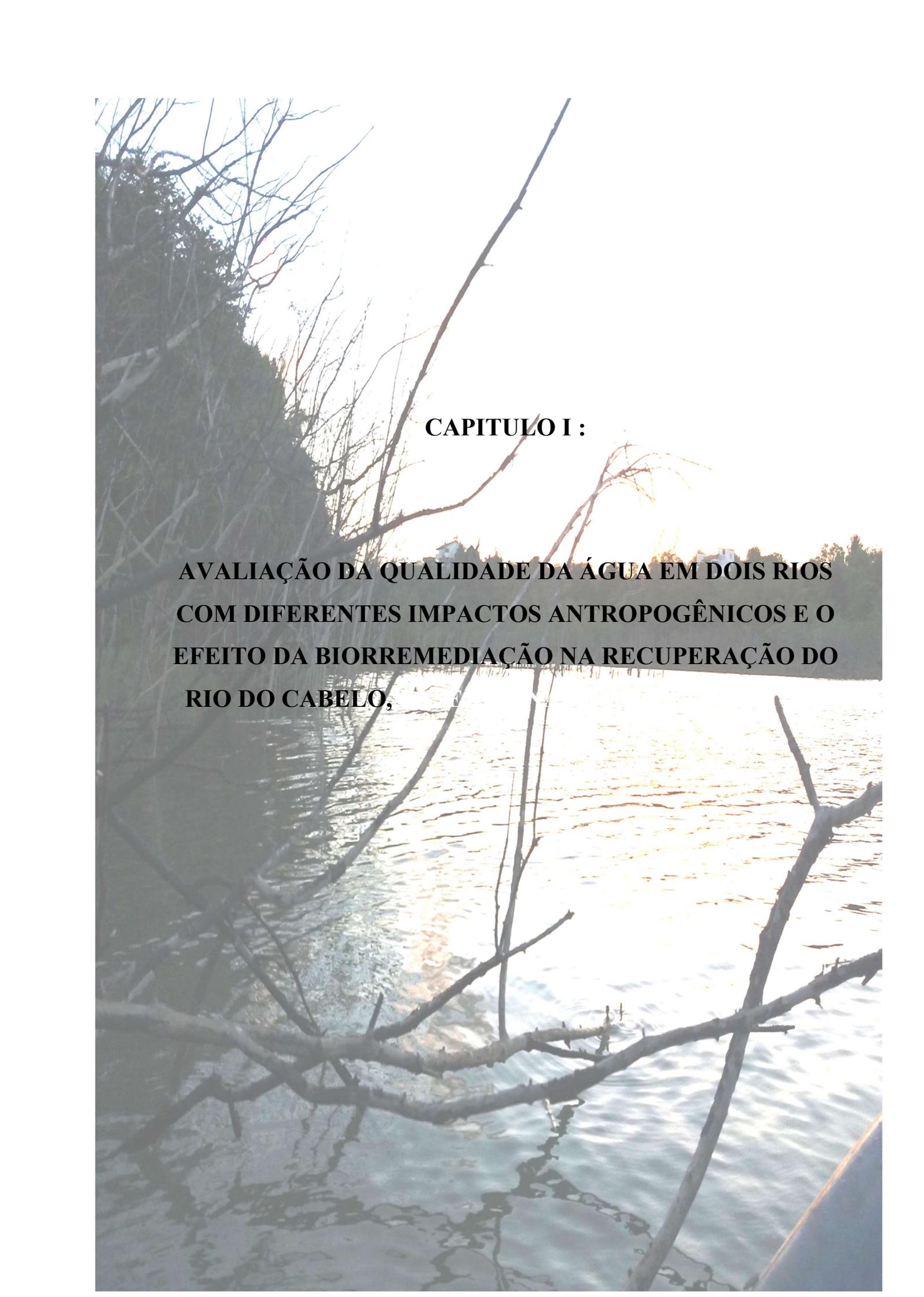
SOUZA, J.T. Pós Tratamento de Efluente de reator UASB Utilizando Sistemas “Wetlands” Construídos. **Rev. Bras. De Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.4(1):87-91. Campina Grande-PB. 2000

- SOUZA, C. E. **Avaliação de Sistemas Biorremediadores em Efluentes da Lagoa Facultativa da Estação de Tratamentos de esgotos em Mangabeira, Joao Pessoa – PB.** Dissertação. Universidade Federal da Paraíba-UFPB. 74p. João Pessoa-PB. 2015
- TÂNGARI, V. **Águas Urbanas: uma contribuição para a regeneração ambiental como campo disciplinar integrado.** Dissertação. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, 95p . 2007.
- TUCCI, E. M. Águas urbanas. **Estud. av.** [online]., vol.22(63):97-112. 2008
- TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. In: TUCCI, C. E. M. & BERTONI, J. C. (org.). **Inundações urbanas da América do Sul.** Editora da Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH. 2003
- TUCCI, C.E.M; HESPANHOL, I.; NETTO, O.M.C; Cenários da Gestão da Água no Brasil: Uma Contribuição Para a “ Visão Mundial da Água”. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos.** V 5. (3). 31-43p. 2000
- TUNDISI, J.G. **Limnologia do século XXI: perspectivas e desafios.** São Carlos: Suprema Gráfica e Editora, IIE, 1999. 24 p
- TUNDISI, J. G. Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos. **Revista USP,** São Paulo, v. 70:24-35. 2006.
- SANTOS, L.R.A. **Caracterização dos efluentes gerados em cabines de pintura de indústria moveleira.**Dissertação. 102p . Universidade Federal de Ouro Preto-UFOP. Minas Gerais.2008
- SMITH, V. H. & SCHINDLER, D. W. Eutrophication science: where do we go from here? **Trends in Ecology and Evolution** 24: 201-207. 2009
- SIMSEK, G. Urban River Rehabilitation as an Integrative Part of Sustainable Urban Water Systems. **48th ISOCARP Congress,** Turkey, 2012
- UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. **Water for people, water for life.** Executive Summary of the UN World Water Development Report. França, UNESCOWWAP, 2003
- VON SPERLING, M. **Lagoas de estabilização.** 2. ed. rev. e atual. Belo Horizonte: UFMG/DESA, 2002.
- ZANINI, H. L. H. T. **Caracterização limnológica e microbiológica do córrego rico que abastece Jaboticabal (SP).** Jaboticabal, 75 f. 2009. Tese (doutorado em Microbiologia Agropecuária). Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, São Paulo.

YAMAMOTO, G.R.C; CANALI, N.E.; Importância das Wetlands Para a Qualidade das Aguas na Região Metropolitana de Curitiba- PR. **Rev. Geografar**. V. 7(1): 161-189. 2012

WEINGERTNER P. Rio Reno, Suíça, França, Alemanha e Holanda. In: MACHADO, A.T.G.M. **Revitalização de rios no mundo**. Belo Horizonte: Instituto Guaicury, 2010. p. 277-290.

WHO-WORLD HEALTH ORGANIZATION **Guidelines for drinking water quality**, 3.ed.Geneva: who 2004



CAPITULO I:

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM DOIS RIOS
COM DIFERENTES IMPACTOS ANTROPOGÊNICOS E O
EFEITO DA BIORREMEDIAÇÃO NA RECUPERAÇÃO DO
RIO DO CABELO,**

1 . INTRODUÇÃO

A água ocupa um lugar específico entre os recursos naturais. É abundante no planeta, embora disponível em diferentes quantidades, em diferentes lugares. Possui papel fundamental no ambiente e na vida humana, e nada a substitui, pois sem ela a vida não pode existir.

Nos últimos anos, os ecossistemas aquáticos veem sendo alterados em vários níveis como resultado negativo de ações humanas como mineração, canalização, lançamento de efluentes, esgotos domésticos, atividades agrícolas, etc. Os rios em geral refletem tudo o que acontece nas suas áreas de entorno, considerando-se o uso e ocupação do solo. Assim, suas características ambientais, especialmente a biota aquática, fornecem informações sobre os impactos das ações antrópicas (CALLISTO, MORETTI e GOULART, 2001).

Os principais processos degradadores observados em função das atividades antrópicas nestes ambientes são o assoreamento e homogeneização do leito de rios e córregos, redução da diversidade de habitats e microhabitats e, principalmente, a eutrofização artificial, que é o aumento excessivo de nutrientes como o fósforo e o nitrogênio através do lançamento de esgotos (GOULART e CALISTO, 2003), para além de contaminação química por efluentes e agrotóxicos.

A contaminação das águas por efluentes domésticos, industriais e agrícolas é uma das principais causas para a redução na qualidade da água, aumentando ainda mais os impactos ambientais em rios, principalmente urbanos. Dessa forma, a avaliação e o monitoramento são fundamentais para acompanhar o comportamento dos parâmetros físicos e químicos, além de fornecer informações a fim de avaliar as condições de um ambiente aquático, contribuindo para a tomada de decisões no gerenciamento dos recursos hídricos.

O monitoramento das variáveis físicas e químicas traz algumas informações que dizem respeito a diversos impactos ambientais em ecossistemas aquáticos, como por exemplo, a imediata identificação de alterações dos parâmetros físicos e químicos da água, fornecendo uma análise precisa de como estão as condições ambientais destes ambientes (WHITFIELD, 2001).

Por outro lado, as comunidades biológicas de um ecossistema aquático, refletem a integridade física e química de um referido ambiente, informando assim os efeitos dos diferentes impactos existentes, mas ao longo do tempo. Estas comunidades biológicas são formadas por inúmeros organismos que são adaptados a determinadas condições ambientais,

sendo, desta forma importante, o monitoramento biológico para avaliação das modificações ambientais de determinado ambiente (ALBA-TERCEDOR, 1996; BARBOUR et al., 1999).

Atualmente, a microbacia do Rio do Cabelo que está inserida na região metropolitana de João Pessoa-PB, vem apresentando ao longo dos anos, um intenso processo de urbanização, trazendo em todo o seu curso impactos ambientais que afetam todo o ecossistema. Estes impactos provocam uma grave diminuição na qualidade da água, causada pelo aumento de poluentes advindos do lançamento de esgotos, comprometendo assim toda a biota aquática existente no referido rio, levando prejuízo às comunidades ribeirinhas. Por outro lado, o Rio Bucatu localizado no município do Conde-PB, encontra-se no momento iniciando um processo de crescimento imobiliário, o qual promove alterações na área, como terraplanagem, queimadas, corte e alterações principalmente no manguezal, provocando assim o estresse hídrico, apesar deste ambiente ser mais conservado em relação a outros rios urbanos mais impactados (LIMA, 2012), em virtude de grande parte dessas residências ainda ser de veraneio.

Diante deste contexto, pode-se dizer que o conhecimento das condições ambientais da qualidade da água do Rio do Cabelo, permitirá identificar as características físicas, químicas e biológicas da água, antes e após a inserção de biotratamento com biofilme e macrófitas (BioMac) e usar o Rio Bucatu como modelo a alcançar na qualidade de água. Dessa forma, os objetivos deste capítulo foram:

2. OBJETIVO GERAL

- ✓ Avaliar as variáveis físicas e químicas da água de dois rios urbanos do Estado da Paraíba com diferentes impactos antropogênicos e verificar os efeitos da biorremediação na restauração do Rio do Cabelo.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Analisar a qualidade de água do Rio do Cabelo antes da implantação do sistema de biorremediação BIOMAC.
- ✓ Verificar a eficiência dos sistemas de biorremediação para o melhoramento da qualidade da água do Rio do Cabelo.
- ✓ Comparar o Rio do Cabelo antes e após o biotratamento com o Rio Bucatu, usado como referência

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Área de Estudo

4.1.1. Rio do Cabelo

A bacia hidrográfica do Rio do Cabelo está localizada no município de João Pessoa no Estado da Paraíba, situado entre as coordenadas 7° 08'53'' e 7° 11'02''S e 34°47'26'' e 34°50'33''W a uma altitude de 31,15m (Figura 1).

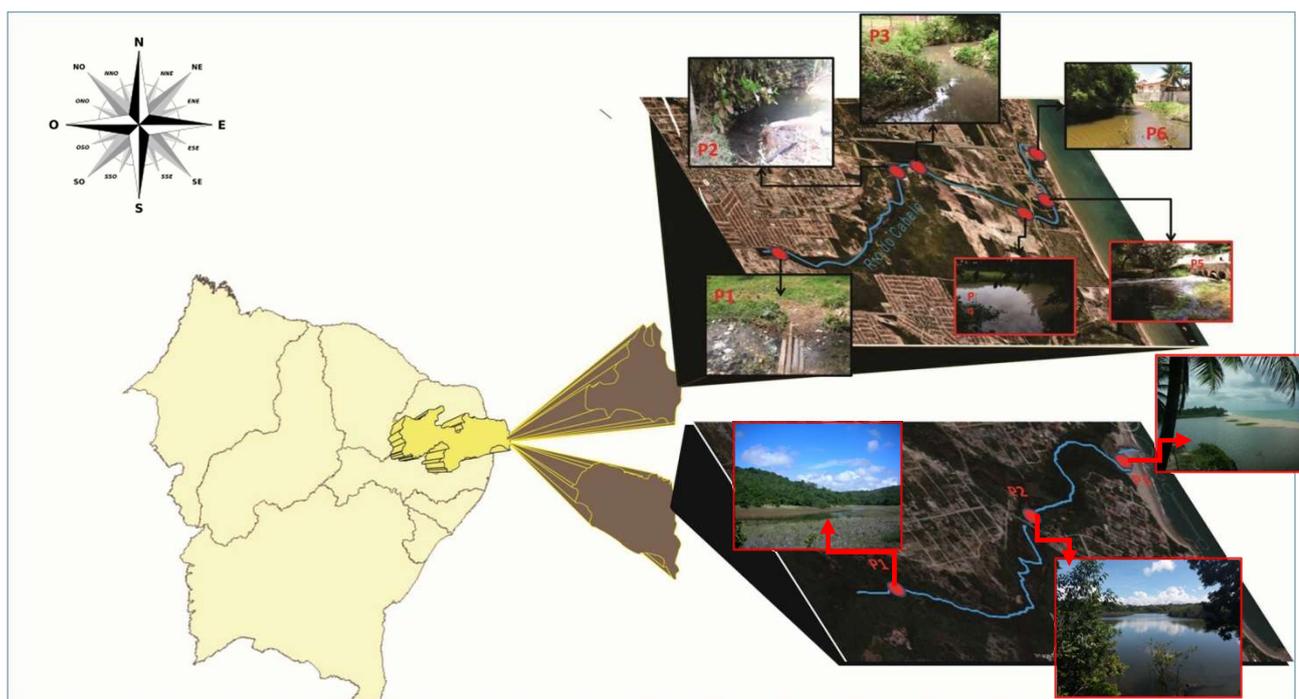


Figura 1. Localização dos rios Cabelo (a norte) e Bucatu (a sul) com seus respectivos pontos de coleta.

A área do Rio do Cabelo faz limite ao Sul com a bacia do Rio Aratú, ao norte com a Ponta do Seixas; a leste com o Oceano Atlântico, alcançando no alto do seu curso os bairros de Mangabeira, Cidade Verde e Conjunto Mariz, apresentando uma área de drenagem de aproximadamente 9,78km² (SASSI, 1997) (Figura 2.A)

Estende-se na direção oeste- leste do bairro de Mangabeira até à sua foz na Praia da Penha (Figura 2.B), separando as praias da Penha e Seixas.



Figura 2. (A) Hidrografia do município de João Pessoa-PB com destaque para o Rio do Cabelo. (B) Localização da passagem do Rio do Cabelo pelos bairros do município de João Pessoa- PB.

Os principais usos que o rio oferece são recreação, dessedentação animal, irrigação, usos domésticos e diluição das cargas de efluentes domésticos e industriais, dentre estes usos, a descarga de efluentes de esgotos tem provocado muitos impactos negativos no ambiente (FARIAS, 2006 e FARIAS et al., 2007). A área principal das nascentes do Rio do Cabelo recebe esgotos da Penitenciária Desembargador Silvio Porto e do Centro Socioeducativo Edson Mota., enquanto que um riacho que deságua no Rio do Cabelo, aproximadamente na sua porção média, também recebe esgotos de condomínios privados localizados no bairro Portal do Sol.

4.1.2 Rio Bucatu

A microbacia do Rio Bucatu tem aproximadamente 856,2 ha, está localizada no litoral sul da Paraíba, a 17 km da capital paraibana, João Pessoa, entre as coordenadas 7° 19' 11,64" S e 34° 49' 26,87" W, e 7° 18' 32,70" S e 34° 48' 01" W, no município do Conde- PB (Figura 3A).

O município do Conde, limita-se com João Pessoa ao norte, com Alhandra e Pitimbu ao sul, Santa Rita e Alhandra a oeste, e com o Oceano Atlântico a leste. As altitudes variam de 0 a 112m e sua área é de 172,35 km. Como áreas urbanizadas apresenta, além da sede municipal, o distrito de Jacumã, na zona costeira do município. Além também de possuir na zona rural, assentamentos regularizados pelo INCRA e INTERPA (Figura 3.A)



Figura 3. (A) Hidrografia do município do Conde-PB com destaque para o Rio Bucatu. (B) Localização da passagem do Rio Bucatu pelos loteamentos da Praia de Tabatinga, Conde-PB

A Bacia do Rio Bucatu, vem passando por um processo de ocupação, fruto das pressões ocasionadas pelas populações humanas que agem direta e indiretamente sobre a sua bacia. A beleza cênica das praias próximas ao rio e a facilitação do acesso a tais praias, promovida pela existência de uma rodovia estadual que liga a região à capital do estado, favoreceram o crescimento do setor imobiliário, que transcendeu os espaços costeiros, adentrando cada vez mais rumo ao interior do continente (Figura 3.B).

O Rio Bucatu está inserido, em uma área de proteção ambiental, e apesar de estar rodeado por áreas de habitações, muitas dessas casas são de veraneio e isso diminui os impactos a este rio, tendo sido por isso selecionado para ser usado como modelo a alcançar, na restauração do Rio do Cabelo.

4.2.Período das coletas

As coletas foram realizadas durante os meses de abril e setembro de 2016 (antes da biorremediação com BioMac) e novembro, dezembro e janeiro de 2017 (depois da biorremediação com BioMac) em 6 pontos no Rio do Cabelo, no município de João Pessoa-PB, e 3 pontos no Rio Bucatu no município do Conde-PB. Após as coletas, os materiais foram etiquetados, acondicionados e transportados para o Laboratório de Ecologia Aquática (LABEA) do DSE/CCEN/UFPB para posteriores análises.

4.3. Variáveis Físicas e Químicas

Os parâmetros físicos e químicos da água foram analisados seguindo os padrões estabelecidos em APHA por Clesceri *et al* (1998), utilizando os equipamentos adequados para cada análise, de acordo com a tabela abaixo:

VARIÁVEIS FÍSICAS E QUÍMICAS	METODOLOGIA
Amônia	Método do fenol (CLESCERI <i>et al.</i> , 1998)
Nitrito	Método colorimétrico (CLESCERI <i>et al.</i> , 1998)
Nitrato	Método da coluna de cádmio (CLESCERI <i>et al.</i> , 1998)
Fosfato	Método do ácido ascórbico (CLESCERI <i>et al.</i> , 1998)
Fósforo Total	Metodo da Digestão do Persulfato
pH (Potencial Hidrogeniônico)	Sonda
OD (Oxigênio Dissolvido)	Sonda

4.4. Sistemas de biotratamento com BioMac

A proposta de uso do biofilme como biorremediador é em consequência do biofilme poder ser responsável por até cerca de 90% da produção primária em um ambiente aquático (WETZEL, 1990). Isso mostra a capacidade que esta comunidade tem de retirar nutrientes da água. Por ser composta por uma comunidade, ao contrário das macrófitas, que são apenas plantas (embora também desenvolvam biofilme nas superfícies afundadas), com uma maior quantidade de biofilme o efeito será mais benéfico. Isso foi constatado por Crispim *et al.* (2009), que em trabalho experimental comparando a eficiência da macrófita *Eichhornia crassipes* e o biofilme, verificaram que apesar da macrófita retirar nutrientes, o biofilme foi mais eficiente, principalmente na remoção de fósforo. Por outro lado, enquanto que as macrófitas podem criar problemas ambientais pelo seu crescimento sem controle, o biofilme é alimento de muitas espécies de peixes, que ao predarem-no, liberam novos espaços para nova colonização, mantendo o crescimento sempre em fase exponencial, com maior eficiência na remoção de nutrientes e evitando a sua decomposição com a consequente liberação de nutrientes na água novamente como ocorre com as macrófitas.. Outra diferença fundamental entre o uso de biofilme e macrófitas é que o primeiro aumenta a oxigenação do meio aquático, enquanto o segundo a diminui.

Esta pesquisa está usando pela primeira vez no ambiente a metodologia proposta por Crispim *et al.* (2009), que utilizaram com sucesso os substratos para biofilme, em ambiente de mesocosmos (caixas de água). BioMac significa Biofilme e Macrófitas.

Por outro lado, a falta de saneamento básico em residências ribeirinhas, em bairros mais pobres, leva a que muitos esgotos sejam lançados *in natura* principalmente as águas cinzas nos sistemas aquáticos, assim este projeto visa também instalar fossas ecológicas (tanques de evapotranspiração) e círculo de bananeiras nessas residências, para diminuir o aporte de nutrientes no rio e diminuir o processo de eutrofização. A poluição difusa é assim chamada por não ter uma origem determinada, o solo é contaminado de forma esparsa e quando chove esses materiais são direcionados para os ambientes aquáticos. É originada da agricultura, pecuária, urbanização e transporte hidroviário. Segundo Novotny (1999), a poluição difusa é responsável por maior quantidade de lançamento de nitrogênio e fósforo para os ecossistemas aquáticos que a poluição pontual.

As fossas ecológicas, usam comunidades naturais (decompositores) para a decomposição anaeróbia dos resíduos orgânicos, que serão transformados em nutrientes, que serão absorvidos por plantas, que liberam a água por evapotranspiração, evitando que as fossas encham, dando-lhes uma grande durabilidade. Assim, resíduos orgânicos altamente poluentes e indutores da eutrofização nos ambientes aquáticos, serão nutrientes para o crescimento de plantas, que poderão ser hortifrutigranjeiras e liberarão a água pura para a atmosfera.

A construção das fossas está ainda em andamento, e será apenas avaliado no projeto maior de doutorado, que tem mais um ano de análise, neste trabalho será apenas avaliado o efeito do biotratamento BioMac diretamente no leito do rio.

4.5. Implantação de macrófitas flutuantes

Foi selecionado um ponto a montante do ponto P1 para onde foram trazidas macrófitas flutuantes (de jusante do mesmo rio) para auxiliar no processo de autodepuração da água na lagoa que recebe os esgotos da Penitenciária Desembargador Silvio Porto e do Centro Socioeducativo Edson Mota. As macrófitas utilizadas foram *Eichornnia crassipes*, *Pistia* sp. e *Salvinia* sp. Apenas a primeira sobreviveu às condições ambientais da lagoa. Para além do P1 foram colocadas macrófitas no P4, de forma controlada, para evitar o crescimento excessivo, o que traria problemas ambientais.(Figura 4A e B). Aqui não foram introduzidas nenhuma espécie, porque já se encontravam presentes, foram apenas colocados flutuadores para delimitar a presença das macrófitas na região central da passagem de água no rio.



Figura 4. Instalação das macrófitas na lagoa que recebe o esgoto dos presídios em Mangabeira(A); bem como no ponto P4 (B).

4.6.Instalação de estruturas de biofilme no Rio do Cabelo

Também para este caso foram selecionados 3 pontos ao longo do Rio do Cabelo, onde foram montadas em estruturas de pvc e amarradas, 5 cortinas de plástico para a fixação do biofilme.

No ponto P2 e P3, que fica perto de duas pontes, como o rio era muito raso, foram inseridas pedras e restos de construção das pontes, como tijolos, restos de cimento, para servirem de substrato para o biofilme, em substituição aos plásticos. O aumento da correnteza, promovido pelo movimento de água em torno dos obstáculos (pedras), favorecerá a oxigenação da água, facilitando o processo de remediação, ao mesmo tempo em que aumentando a complexidade do fundo do rio, aumentará o habitat para peixes e outros animais, como macroinvertebrados, tornando o rio mais equilibrado (Figura 5)



Figura 5. Instalação de cortinas de plástico nos P1 (A) no ponto P4 (B) e antes do P5 (C). Colocação de pedras no rio em locais rasos (P2) (D)

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Biorremediação para o melhoramento da qualidade da água

Na perspectiva de ajudar a comunidade dos ribeirinhos do Rio do Cabelo para a melhoria das condições de esgotamento sanitário, de maneira simples, eficaz e de baixo custo, propôs-se o desenvolvimento de Tecnologias Socioambientais de saneamento, para o tratamento e aproveitamento dos efluentes locais, na produção de alimentos e paisagismo, com a construção de fossas ecológicas no ponto P3 , como descrito em Paes (2013), bem como a instalação de estruturas para fixação de biofilme nos pontos P1, P4 e P5.

Ao retornar para realizar as primeiras análises foi constatado visualmente uma boa transparência na água, o que foi deduzido à primeira vista que o tratamento foi eficaz para a melhoria da qualidade da água, mas que era preciso análises mais detalhadas para confirmar estes resultados. (Figura 6)



Figura 6. Coloração da água do Rio do Cabelo no P5 quando foram colocadas as estruturas (A) e após 60 dias de tratamento (B). Diversidade de macrófitas após a instalação do biotratamento no P5(C). Porção do rio em que foram colocadas pedras, nas mesmas já é visível a presença de biofilme e algas (P2)(D).

Na cidade de João Pessoa –PB, onde se localiza o Rio do Cabelo, os meses de chuva foram de jan/16 a jul/16, e os meses de estiagem foram de ago/16 a nov/16. Já no município do Conde-PB onde está localizado o Rio Bucatu os meses de chuva foram de jan/16 a jul/16 e de dez/16 a mai/17. Os meses de ago/16 a nov/16 foram referentes aos meses de estiagem (Figura 7).

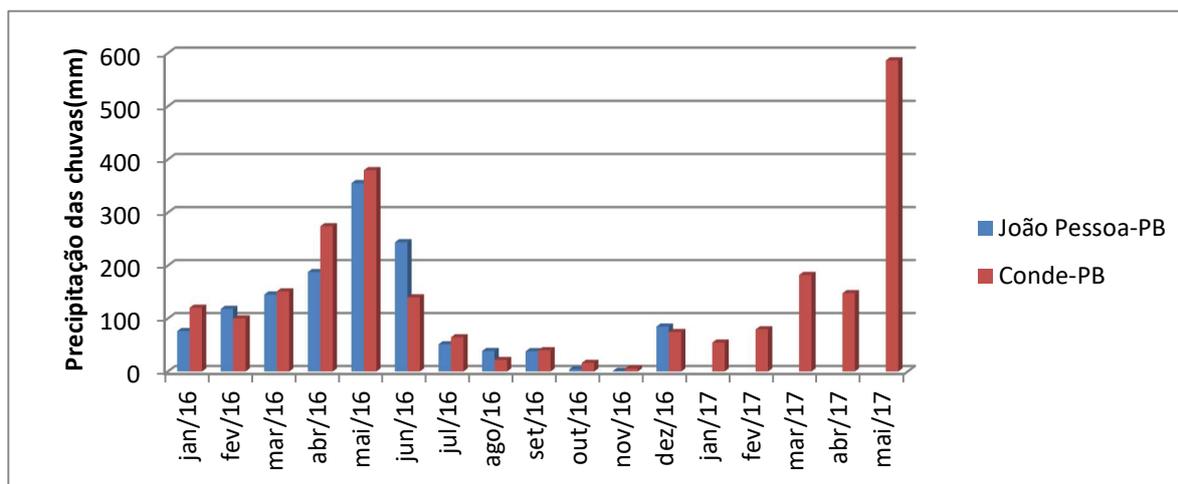


Figura 7. Precipitação de chuvas nas cidades de João Pessoa- PB e Conde-PB (AESA,2017)

5.2. VARIÁVEIS QUÍMICAS E FÍSICAS

5.2.1. Fósforo Total

O fósforo é um elemento indispensável para o crescimento das algas, porém em grandes quantidades pode provocar eutrofização em um ambiente aquático. É também elemento essencial para o crescimento das bactérias responsáveis pela estabilização da matéria orgânica. Pode ser encontrado na água em forma de ortofosfatos (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , $H_2PO_4^{1-}$), polifosfato e fósforo orgânico (MACÊDO, 2007). As principais fontes de fósforo são a dissolução de compostos do solo, decomposição de matéria orgânica, esgotos domésticos e industriais, fertilizantes, detergentes e excrementos de animais (MOTA, 2010).

Algumas substâncias podem apresentar riscos à saúde humana e alterar as características de um ambiente aquático, devido às concentrações em excesso e dentre essas substâncias está o fósforo que é normalmente um dos nutrientes limitantes do processo de eutrofização, de forma que se considera que o nível de fósforo de até $0,02 \text{ mg L}^{-1}$ evita o desenvolvimento de algas; mas, concentrações menores que $0,003 \text{ mg L}^{-1}$ são ambientes deficientes em fósforo. Logo, o fósforo desempenha importante papel no processo de eutrofização e concentração em excesso pode levar a uma alta produção de fitoplâncton na água (SILVA, 2012), com risco de dominância de cianobactérias potencialmente tóxicas.

Em relação a este parâmetro o Rio do Cabelo apresentou valores mais elevados em relação ao Rio Bucatu. Os valores de Fósforo Total variaram entre 2.387 e $116 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ e no Rio Bucatu variaram entre $409,86$ e $46, \mu\text{g.L}^{-1}$. No entanto, após a instalação do BioMac, as

concentrações de fósforo total foram mais reduzidas variando entre 2.177 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e 16 $\mu\text{g.L}^{-1}$, sendo os valores mais elevados no P1, onde recebe os esgotos dos dois prédios.

No Rio do Cabelo os valores deste parâmetro foram maiores no ponto P1 nos meses de abr/16(1683 $\mu\text{g.L}^{-1}$) e jul/16 (2387 $\mu\text{g.L}^{-1}$) correspondente ao período chuvoso, confirmando assim a alta pressão antrópica existente neste local devido ao lançamento de poluição difusa e que com as chuvas estes poluentes são ainda mais carregados para o rio (Figura 8A).

Resultados semelhantes foram obtidos por Vasco (2011), com relação aos níveis de fósforo total em um dos pontos de coleta do Rio Poxim-SE, em que o autor ressalta que as maiores concentrações ocorreram durante o período chuvoso (523 mg.L^{-1}), sendo relacionado ao deflúvio superficial neste ambiente, bem como com atividades agrícolas neste ponto. No entanto, no Rio Poxim as concentrações de fósforo total foram cerca de 4x inferiores às do Rio do Cabelo, demonstrando o grau mais severo de poluição em relação a este último.

Com relação aos valores desta variável antes da biorremediação foram maiores no ponto P1 nos meses de abr/16 (1.683 $\mu\text{g.L}^{-1}$) e jul/16 (2.387 $\mu\text{g.L}^{-1}$) correspondente ao período chuvoso, confirmando assim a alta pressão antrópica existente neste local devido ao lançamento de esgotos advindos do prédio existente próximo à sua nascente, e que com as chuvas estes poluentes são ainda mais carregados para o rio. Porém, após a instalação do biotratamento as concentrações de fósforo total em todos os pontos analisados, com exceção do P1, que ainda apresentou concentrações máximas de 2700 $\mu\text{g.L}^{-1}$, diminuíram drasticamente, apresentando valores bem menos elevados que antes do biotratamento, principalmente em novembro e dezembro de 2017(Figura 8B).

Entretanto, no Rio Bucatu apesar dos baixos valores de fósforo no ambiente, o ponto P1, foi o que apresentou valores mais elevados nos meses de abr/16 (250,53 $\mu\text{g.L}^{-1}$) e jul/16 (409,86 $\mu\text{g.L}^{-1}$) mas verificou-se uma grande diminuição nos outros pontos. Estes dados são justificados pela presença de grande quantidade de macrófitas, que provoca uma alta taxa de decomposição neste ponto onde se localiza a nascente deste rio (Figura 8C).

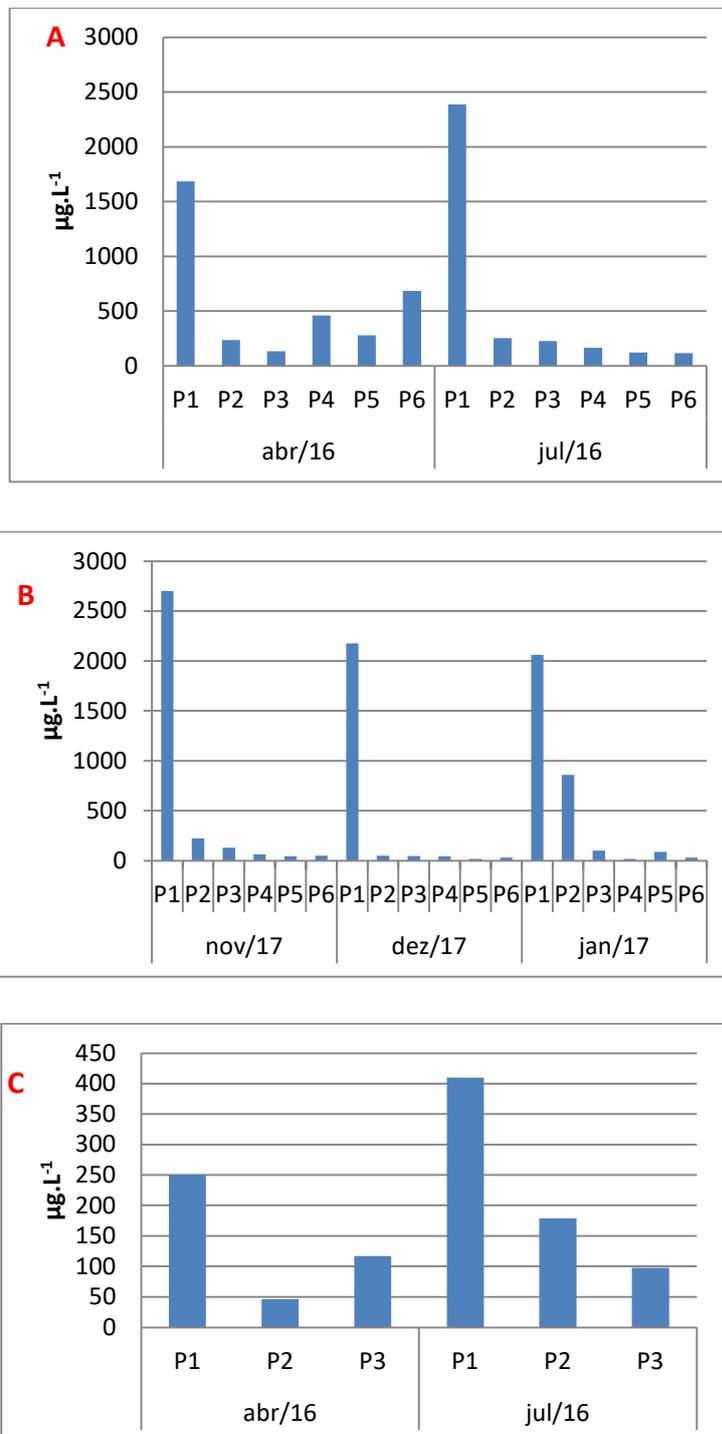


Figura 8. Concentração de Fósforo Total na água do Rio do Cabelo, antes da biorremediação(A); depois da biorremediação(B) e Rio Bucatu(C).

O escoamento da água superficial do solo durante grandes eventos de chuva é a principal fonte difusa de poluição em grandes mananciais. Alguns autores indicam que sedimentos oriundos de áreas de lavoura são um dos fatores que fazem elevar os níveis de fósforo total na água dependendo da qualidade dessas fontes e do grau de intervenção antrópica (MCDOWELL, 2001). No entanto, no Rio do Cabelo não tem agricultura, por ser uma área residencial e no Rio Bucatu a área de nascente é arrodada de vegetação, o que revela que no primeiro rio são os esgotos do presídio a principal fonte de fósforo, enquanto no segundo rio, é a grande quantidade de vegetação aquática presente que incorpora fósforo

na água, pela sua decomposição, o que torna os pontos mais a montante mais ricos em fósforo total.

5.2.2. FOSFATO

Os níveis de fosfato no Rio do Cabelo, antes da instalação do BioMac variaram entre 1.424,33 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e 103,5 $\mu\text{g.L}^{-1}$, depois da biorremediação variaram entre 0,0 e 2,65 $\mu\text{g.L}^{-1}$, enquanto que no Rio Bucatu as concentrações variaram entre 165,73 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e 6,6 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (Figura 9A).

No Rio do Cabelo apenas no ponto P1, antes da restauração, a concentração de fosfato ficou acima de 1000 $\mu\text{g.L}^{-1}$, devido à grande descarga de efluentes domésticos dos presídios em sua área de nascente. A partir daí verifica-se um decréscimo nessas concentrações devido à capacidade de autodepuração do rio, mas entre o P4 e o P5 verifica-se um aumento nos teores de fosfato. Nesse ponto, o rio recebe efluentes sem tratamento oriundos da Vila dos Pescadores da Penha, e apresenta uma área rica em macrófitas, que podem também estar introduzindo fosfato no ambiente, pela sua decomposição.

Os dados obtidos neste trabalho são semelhantes aos encontrados por Gorayeb (2011), no Rio Caeté, município de Bragança-PA, em que o mesmo autor ressaltou que os níveis de fosfato aumentam na medida em que o rio passa pelo centro urbano do município, devido principalmente ao aporte de esgotos.

Entretanto essas concentrações tiveram valores relativamente baixos depois do biotratamento, não passando de 10 $\mu\text{g.L}^{-1}$, com exceção do ponto P1 que teve concentração igual a 264,57 $\mu\text{g.L}^{-1}$, devido à descarga de efluentes contaminados provindos dos presídios próximo à sua nascente.(Figura 9B). A presença de macrófitas na lagoa de recepção de esgoto aumentou a absorção de fosfato pelas plantas.

No Rio Bucatu, em todos os pontos as concentrações de fosfato foram abaixo de 100 $\mu\text{g.L}^{-1}$, com exceção do ponto P1 no mês de abr/16 (165,73 $\mu\text{g.L}^{-1}$), devido à grande quantidade de macrófitas existente em sua nascente associado à matéria orgânica particulada, que sofrerá decomposição, carregada pelo aumento da precipitação verificada nesse mês (Figura 9C).

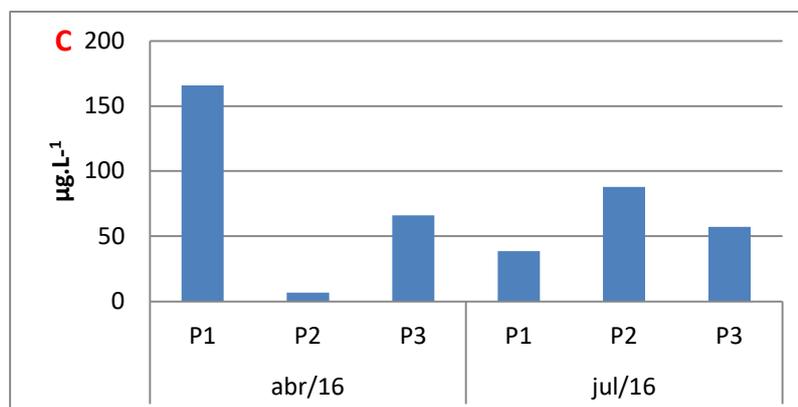
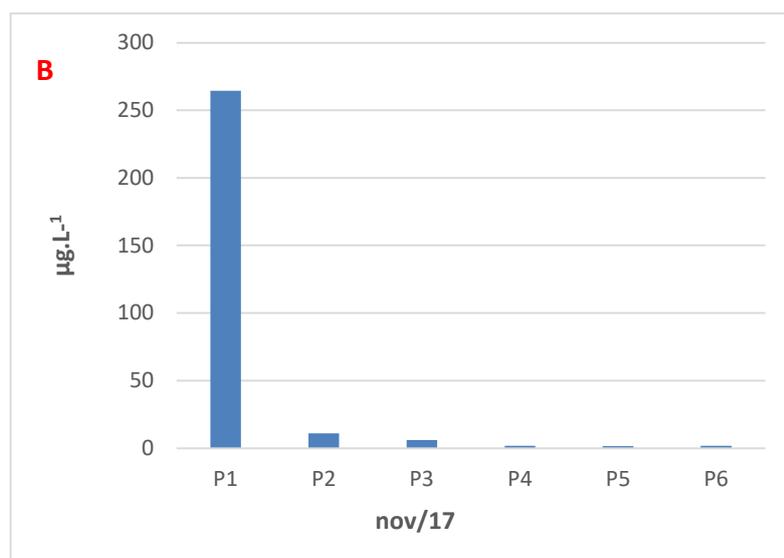
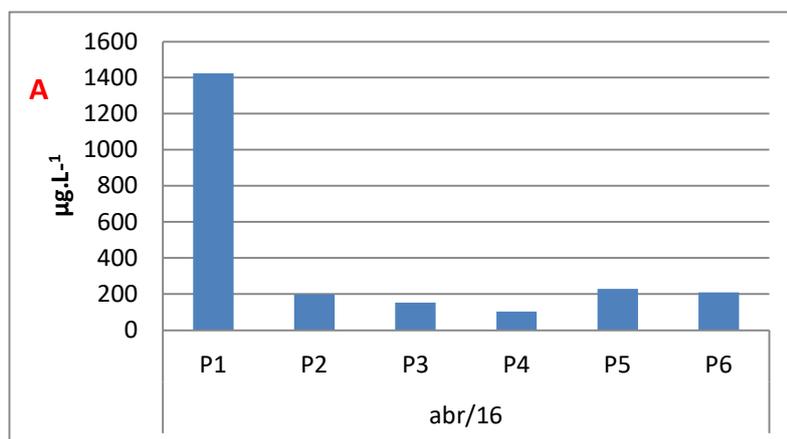


Figura 9. Concentração de Fosfato na água do Rio do Cabelo, antes da biorremediação(A); depois da biorremediação(B) e Rio Bucatu(C).

A presença de macrófitas na lagoa que recebe os efluentes de esgoto dos presídios, apresentou um efeito visível, diminuindo os nutrientes presentes na lagoa. O mesmo foi verificado no trabalho de Sousa (2015), em que em experimento realizado com água de lagoa facultativa em Estação de Tratamento de esgoto, a macrófita *Eichornnia crassipes* foi eficiente na remoção de nutrientes. Nesse mesmo experimento, Sousa verificou o aumento da transparência da água nos tratamentos com biofilme, o mesmo ocorrido nos pontos a jusante do P1, em que aumentou bastante a transparência da água, demonstrando a eficácia do

biotratamento BioMac, o que é o reflexo de diminuição do fósforo, que é um composto indutor do crescimento de algas e outras plantas.

Comparando as concentrações de fosfato após a restauração do Rio do Cabelo com o Rio Bucatu, verifica-se que no Rio do Cabelo há muito menos fosfato que no Rio Bucatu, apesar de anteriormente ao biotratamento apresentar valores mais elevados. Isso demonstra que o rio que poderia ser considerado como meta a alcançar em relação à qualidade de água apresentou 60 vezes mais concentração de fosfato que o Rio do Cabelo restaurado, demonstrando a eficiência do biotratamento BioMac ao mesmo tempo em que demonstra que o Rio Bucatu poderia ainda apresentar melhor qualidade.

5.2.3. AMÔNIA

A amônia é uma substância liberada pela atividade ou metabolismo dos organismos presentes na água. Desde a degradação da matéria orgânica pelas bactérias até às atividades fisiológicas dos peixes contribuem para o acúmulo de amônia na água. O excesso deste composto pode acarretar em toxidez para os organismos, causando mortalidade (LEONARDO 2008).

No Rio do Cabelo, os valores referentes à amônia variaram de $2.451 \mu\text{g.L}^{-1}$ a $5.324,34 \mu\text{g.L}^{-1}$, mas após a instalação do biotratamento as concentrações diminuíram e variaram de $280 \mu\text{g.L}^{-1}$ no ponto P6 a $3.300 \mu\text{g.L}^{-1}$ no ponto P1 (Figura 10.A e B) enquanto no Rio Bucatu essas concentrações variaram de $43,8 \mu\text{g.L}^{-1}$ a $305 \mu\text{g.L}^{-1}$ (Figura 10.C). A maior quantidade de amônia no P1, está relacionada com a entrada de esgoto sem tratamento, visto que esta representa poluição recente, no entanto, o pequeno aumento no P3, é o resultado da entrada do Rio do Cabelo no resquício de Mata Atlântica, que apresenta muita matéria orgânica que acaba sendo incorporada no rio, sofrendo decomposição e com isso liberando também amônia. Além disso, neste ponto à entrada de um riacho que traz também esgoto de condomínios fechados no Portal do Sol, contribuindo com o aumento de amônia neste ponto. A menor quantidade de amônia no Rio Bucatu demonstra que este tem muito menos matéria orgânica a ser decomposta que o Rio do Cabelo. No entanto, após a instalação do BioMac verificou-se que as macrófitas, junto com as estruturas para fixação de biofilme, presentes na lagoa que recebe os esgotos dos presídios auxiliaram na diminuição de amônia, que se refletiu logo no P1, localizado a cerca de 50 m dessa lagoa, tornando as concentrações de amônia inferiores ao registrado no Rio Bucatu.

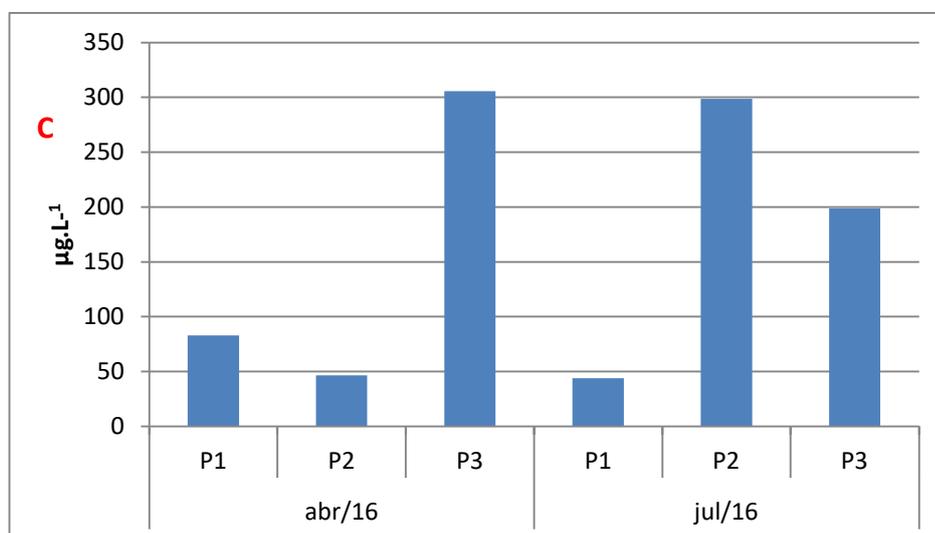
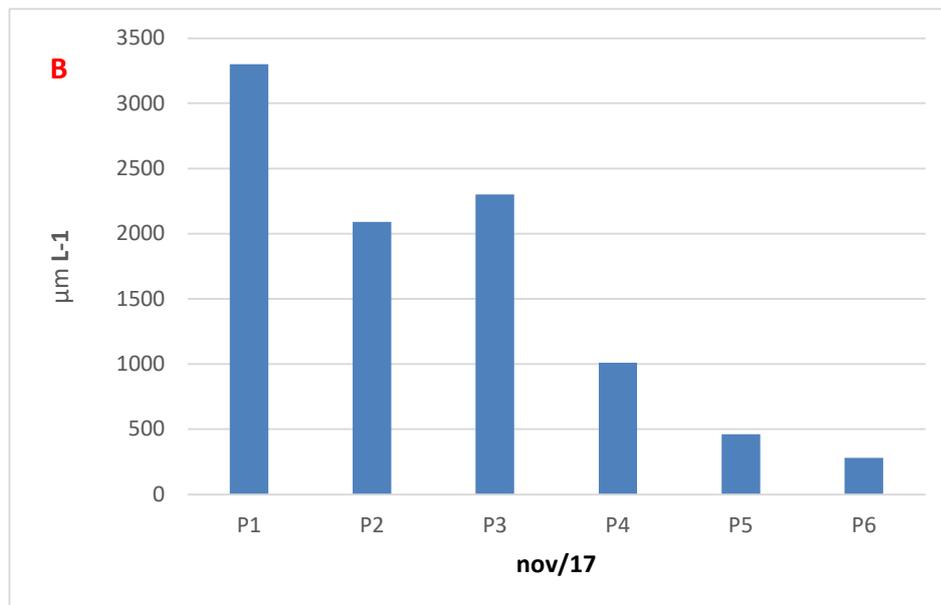
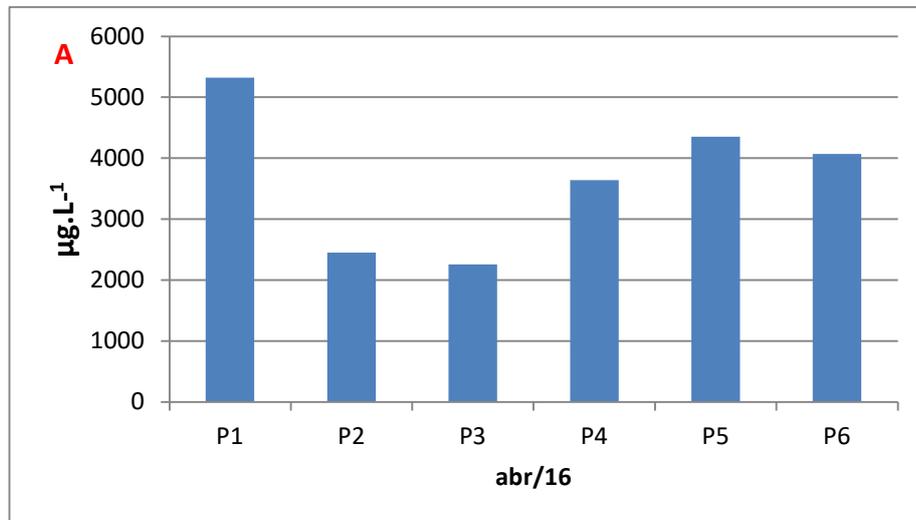


Figura 10. Concentração de Amônia na água do Rio do Cabelo, antes da biorremediação(A); depois da biorremediação(B) e Rio Bucatu(C).

Os resultados referentes aos valores obtidos da amônia do Rio do Cabelo depois da biorremediação são semelhantes aos encontrados por Carvalho (2011) no Rio Meia Ponte no perímetro urbano do município de Goiânia-GO, onde foram encontradas concentrações elevadas destas variáveis nitrogenadas ($1.839 \mu\text{g.L}^{-1}$). Isto mais uma vez demonstra o quanto o Rio do Cabelo estava poluído, com valores de nutrientes superiores a outros registrados também em outros rios urbanos. Segundo o mesmo autor, estes parâmetros estão relacionados com a composição proteica de matéria orgânica, que quando decomposta aumenta as concentrações de amônia e conseqüentemente com os processos de nitrificação aumentam os níveis de nitrato e nitrito. Logo devem ser comuns em rios urbanos, que recebem uma grande carga de esgotos *in natura*.

Menores concentrações de amônia foram verificadas também em experimentos realizados por Souza (2015) em tratamentos com biofilme e macrófita, apresentando valores iguais a $0,03 \text{ mg.L}^{-1}$. Em sistemas de cultivo de peixes, níveis de amônia entre $0,70$ e $2,40 \text{ mg.L}^{-1}$ podem ser letais, quando expostos por curto período. Contudo, a exposição contínua a concentrações acima de $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$ pode causar intensa irritação e inflamação nas brânquias dos animais.

5.2.4. NITRITO

A presença dos constituintes da série nitrogenada nitrito e amônia, geralmente aponta poluições recentes, com proximidade da fonte contaminadora, já que esses constituintes tendem a se oxidar para nitrato (PINTO, 2006).

As concentrações de nitrito antes da biorremediação foram mais elevadas no Rio do Cabelo, obtendo uma variação no mês de abr/16 entre $57,05 \mu\text{g.L}^{-1}$ no ponto P2 e $4,81 \mu\text{g.L}^{-1}$ no ponto P5 (Figura 11.A). Entretanto, depois da instalação do sistema de biotratamento estes valores reduziram, não passando de $0,25 \mu\text{g.L}^{-1}$. Os valores mais altos foram registrados nos pontos P2 e P3 ($0,24$ e $0,25 \mu\text{g.L}^{-1}$, respectivamente) (Figura 11. B).

No Rio Bucatu, que seria usado como controle, os níveis de nitrito não passaram de $50 \mu\text{g.L}^{-1}$ nos dois meses analisados em todos os pontos amostrados (Figura 11.C). Para que o processo de nitrificação ocorra, é necessário a presença de oxigênio dissolvido no ambiente. Na ausência deste gás, o nitrogênio permanece parcialmente na forma de nitrito, que é um composto tóxico. Os menores valores de nitrito no Rio Bucatu, que não passaram de $5 \mu\text{g.L}^{-1}$, estão associados, inicialmente a menores concentrações de amônia e em seguida a maiores concentrações de oxigênio o que permite a transformação da amônia até nitrato.

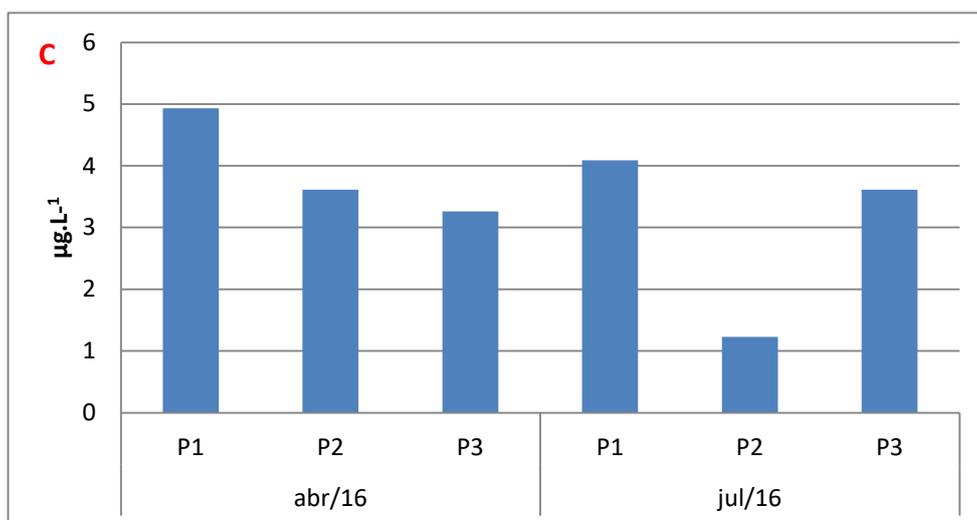
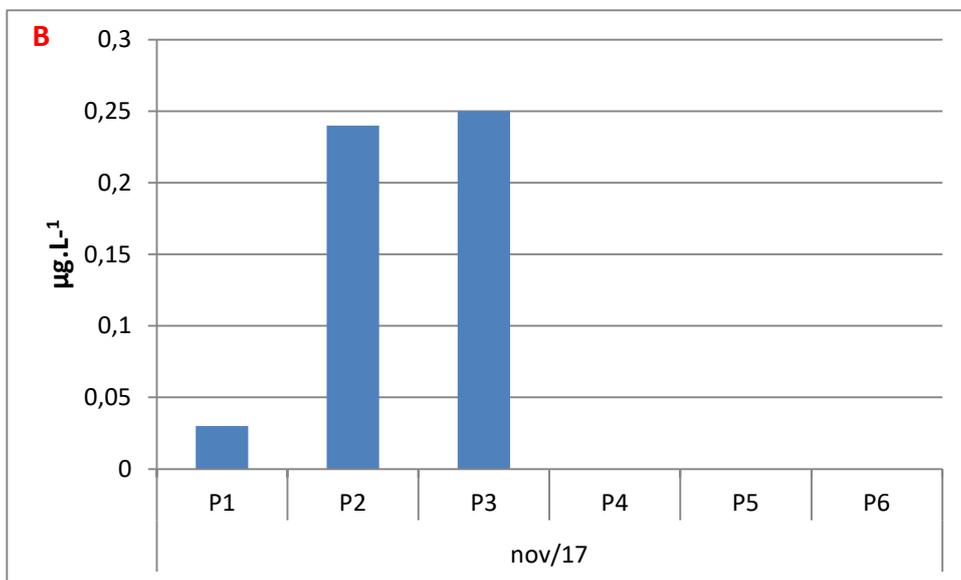
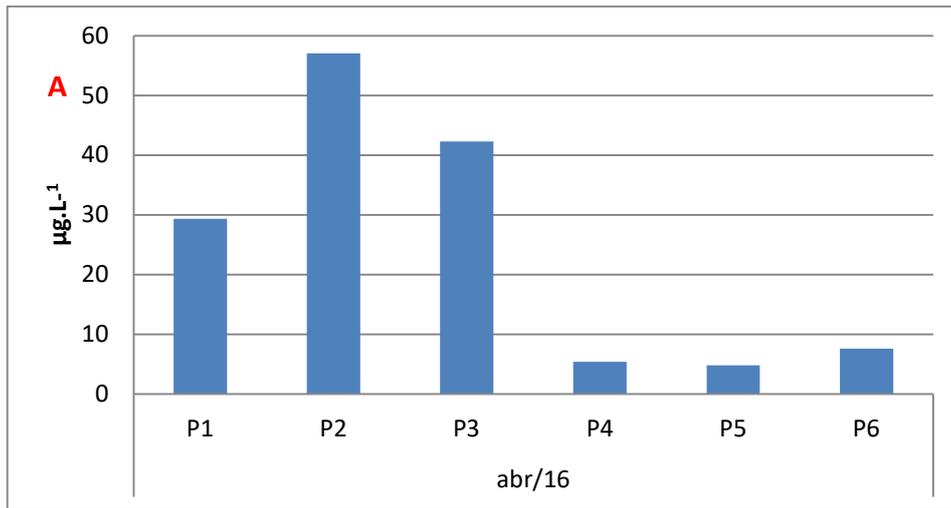


Figura 11. Concentração de Nitrito na água do Rio do Cabelo, antes da biorremediação(A); depois da biorremediação(B) e Rio Bucatu(C).

5.2.5. NITRATO

O nitrogênio é um elemento indispensável para o crescimento das algas, porém em grandes quantidades pode causar eutrofização de lagos e represas ou até mesmo em rios (MACEDO, 2007), principalmente quando na forma de nitrato porque é a forma absorvível pelas algas e plantas.

Carvalho (2011) afirmou que o nitrato na água pode provocar uma doença ao ser humano, conhecida como metemoglobinemia, e que as causas do aumento desse nutriente na água são o lançamento de esgotos domésticos e industriais, fertilizantes, excrementos de animais entre outros.

Em relação ao nitrato antes da biorremediação, os valores variaram entre $2,75 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $593,33 \mu\text{g.L}^{-1}$ no Rio do Cabelo, enquanto que no mês de nov/17, que se refere a depois do biotratamento, os valores de concentração de nitrato variaram de $0,08 \mu\text{g.L}^{-1}$ a $2,96 \mu\text{g.L}^{-1}$ (Figura 12 A e B). A maior concentração de oxigênio pode favorecer a nitrificação até nitrato. Já no Rio Bucatu variou entre $31 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $881 \mu\text{g.L}^{-1}$ (Figura 12 C).

Os resultados referentes ao Rio do Cabelo antes da biorremediação, demonstram que os valores mais altos de nitrato ocorreram no ponto P2 no mês de abr/16 ($593,33 \mu\text{g.L}^{-1}$). Em abril foi quando as chuvas aumentaram de intensidade, o que carregou muita matéria orgânica das áreas de drenagem para o corpo hídrico. As concentrações de nitrato foram mais elevadas no P2 porque o nitrato já é uma transformação da amônia, pelo processo de nitrificação, para isso é necessário que haja oxigênio na água. Como no P1 as concentrações de oxigênio são muito baixas, a nitrificação ocorre mais no P2, onde há mais oxigênio, além disso, o rio é um sistema que flui, logo as dinâmicas químicas vão ocorrendo ao longo do seu percurso, a maior poluição por amônia no P1 reverte em nitrato no P2.

Borsatto et al. (2010), ao analisarem a água dos rios Tocantins e Cacao, no município de Imperatriz-MA, encontraram níveis mais altos de nitrato, devido ao grande uso de fertilizantes utilizados em regiões próximas ao leito destes rios. Os fertilizantes também são grandes contribuintes de nitrogênio para os rios. Neste caso, como o Rio do Cabelo não tem agricultura, os esgotos do presídio são a principal contribuição de nitrogênio, sendo na forma de amônia, que ao sofrer nitrificação chega a nitrato.

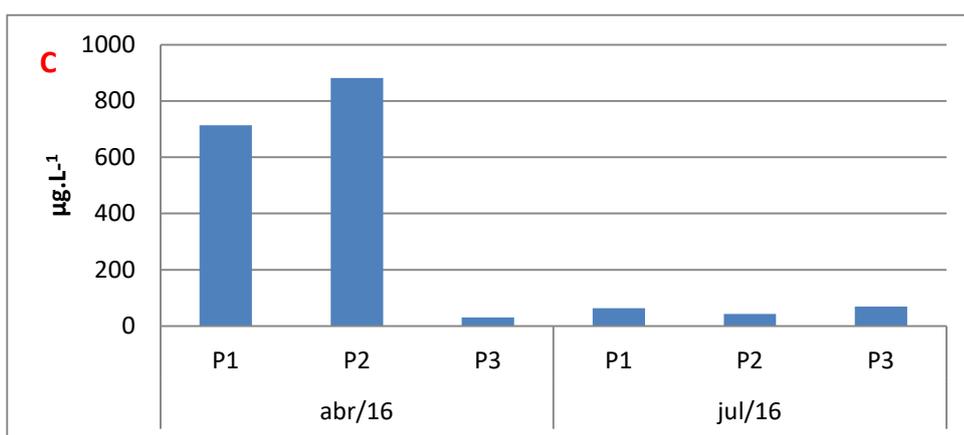
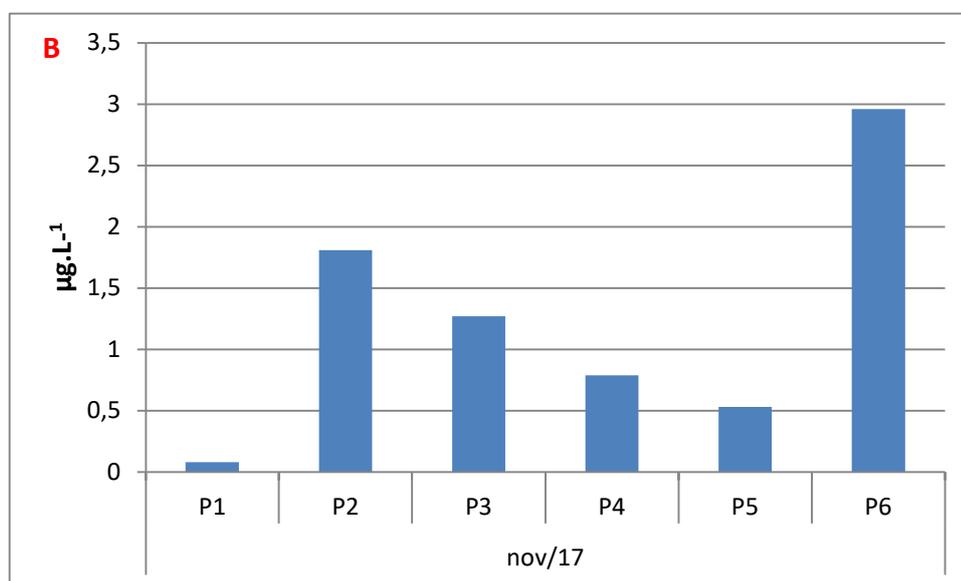
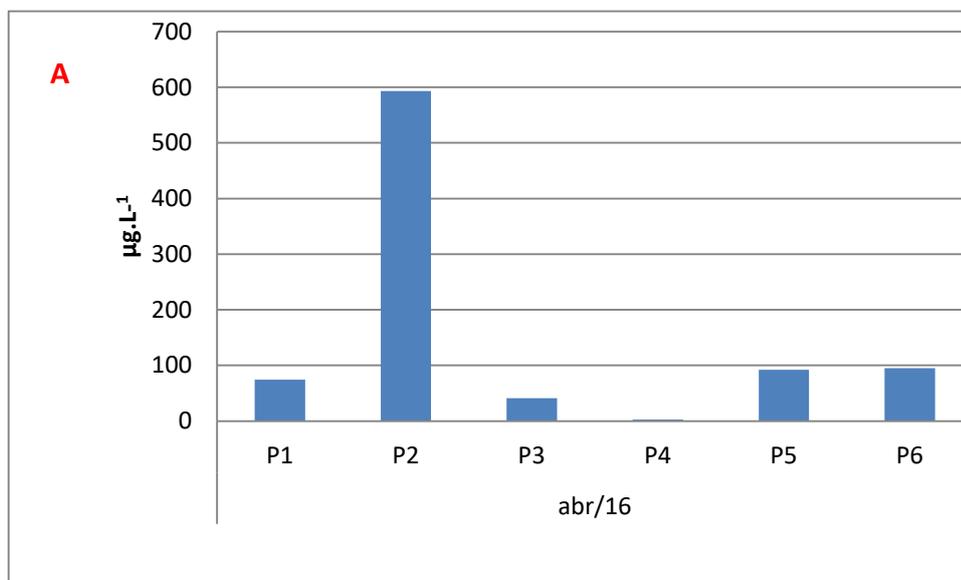


Figura 12. Concentração de Nitrato na água do Rio do Cabelo, antes da biorremediação(A); depois da biorremediação(B) e Rio Bucatu(C).

No Rio Bucatu, os valores mais altos no mês de abr/16 nos pontos P1 e P2(713,83 e 881 $\mu\text{g.L}^{-1}$, respectivamente) são justificados pelo mesmo motivo do Rio do Cabelo, relação com o início da chuva mais intensa, e a amônia do P1 é levada para o P2, onde ocorrem os processos de nitrificação, transformando-a em nitrito e nitrato, o que fica mais parecido com os dados obtidos no Rio do Cabelo depois do biotratamento (Figura 12C)., no entanto, as concentrações de nitrato no Rio Bucatu foram 297 vezes superiores às do Rio do Cabelo após a instalação do BioMac.

Em relação às concentrações de oxigênio na água do Rio do Cabelo, verificou-se que as menores foram encontradas na região da nascente, que corresponde ao ponto P1, com 1,2 mg.L^{-1} no mês de abr/16 e o mais elevado foi de 6,24 mg.L^{-1} na foz, que corresponde ao ponto P6, no mês de nov/16 (Figura 13A). No P1 foram sempre registrados os menores valores, em virtude da presença de esgoto, que aumenta a taxa de decomposição e do aumento dos decompositores, que muitos são aeróbios e consomem muito oxigênio.

Os valores de oxigênio dissolvido foram mais elevados após a biorremediação, isso foi devido ao aumento da atividade fotossintética tanto do fitoplâncton quanto do perifiton encontrados no biofilme, pois as duas comunidades atuam diretamente na produção de oxigênio. Por outro lado, Souza (2015) verificou que o aumento na oxigenação verificado no seu experimento usando biofilme, foi devido ao efeito direto da presença do mesmo. Com o biotratamento na lagoa que recebe o esgoto dos presídios há menos material particulado que passa para os outros pontos do rio, diminuindo assim a decomposição, logo há menor demanda de oxigênio por parte dos decompositores ao longo do rio, tornando este gás mais disponível. No entanto, os valores registrados ainda podem ser considerados baixos.

Na pesquisa verificou-se que apesar do P1 ainda apresentar baixa oxigenação, em geral nos outros pontos do rio o oxigênio aumentou as suas concentrações, principalmente nos P4 e P5.

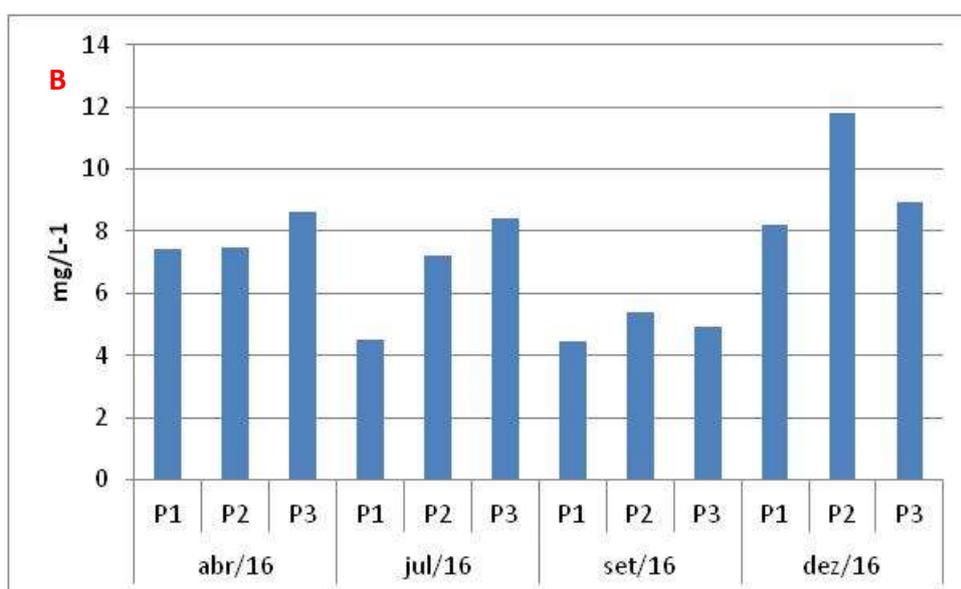
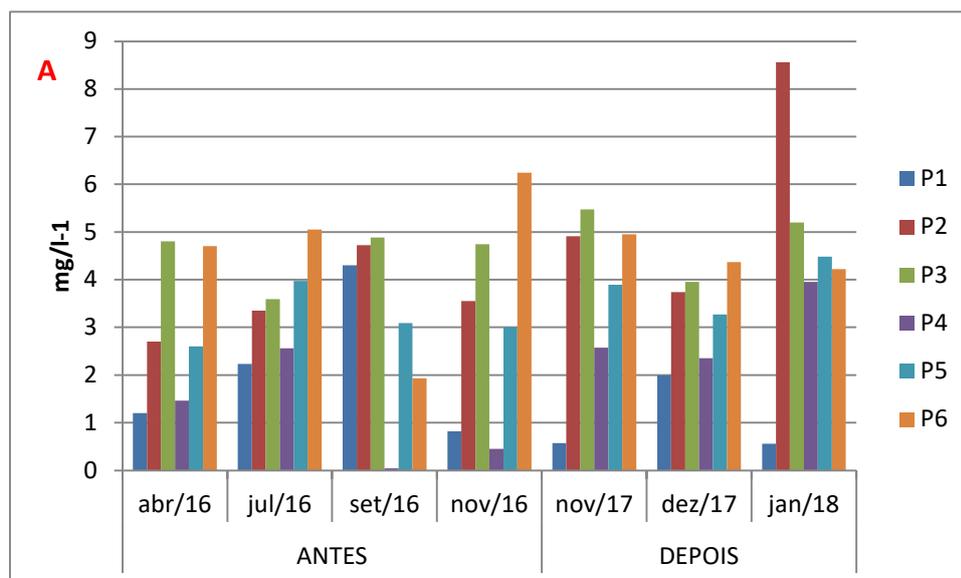


Figura 13. Resultados referentes ao Oxigênio Dissolvido na água antes e depois da biorremediação no Rio do Cabelo(A) e do Rio Bucatu(B).

No Rio Bucatu, as concentrações de oxigênio dissolvido mantiveram-se em todo o período analisado em boas condições em relação ao Rio do Cabelo, variando entre 4,46 e 11,8 (Figura 15B). As menores concentrações de oxigênio estiveram presentes no P1, a grande quantidade de macrófitas presentes nesse local, produzem biomassa para decomposição, aumentando as bactérias decompositoras e conseqüentemente o consumo de oxigênio. Por outro lado, essas macrófitas são emergentes e o oxigênio produzido por elas vai para a atmosfera e não para a água.

5.3 Variáveis Físicas da Água

De acordo com as análises físicas da água, pode-se dizer que houve diferenças entre antes e depois do tratamento com a biorremediação no Rio do Cabelo, bem como com o Rio Bucatu, principalmente no pH e na Temperatura

Com relação à temperatura da água durante os meses analisados em todos os pontos no Rio do Cabelo as temperaturas foram sempre registradas acima de 25 C°, porém a mais alta foi de 33°C antes e depois da biorremediação. No mês de jul/16 (período de estiagem) no ponto P2, e a mais baixa foi de 27,4C° no mesmo mês (Figura 14A), não se verificando grandes alterações neste parâmetro ao longo do ano, característico de regiões tropicais. No entanto este parâmetro depende grandemente da temperatura do ar.

No Rio Bucatu A temperatura variou entre 25 C° no mês de abr/16 (período chuvoso) no ponto P1 e 29,1 C° no mês de jul/16 (período seco), revelando-se um rio com águas menos quentes que o Rio do Cabelo. Talvez por ser uma área com mata ciliar maior, esteja sujeito a temperaturas do ar menos elevadas.(Figura 14B).

Altas variações de temperatura nas águas de rios podem causar efeitos danosos aos organismos aquáticos, causando impactos em seu crescimento bem como na sua reprodução uma vez que pode diminuir a atividade biológica, e proliferar microorganismos e algas nocivas nestes ambientes (CORREIA, 2015). Neste caso isso não se verificou, visto o rio ser em um ambiente tropical, e as temperaturas serem muito semelhantes ao longo do tempo.

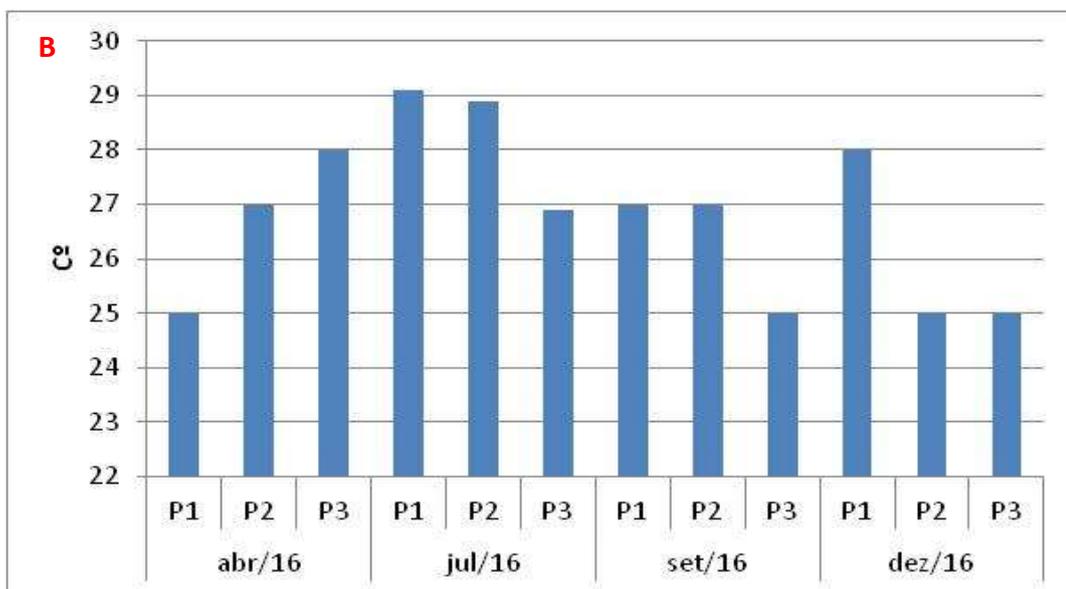
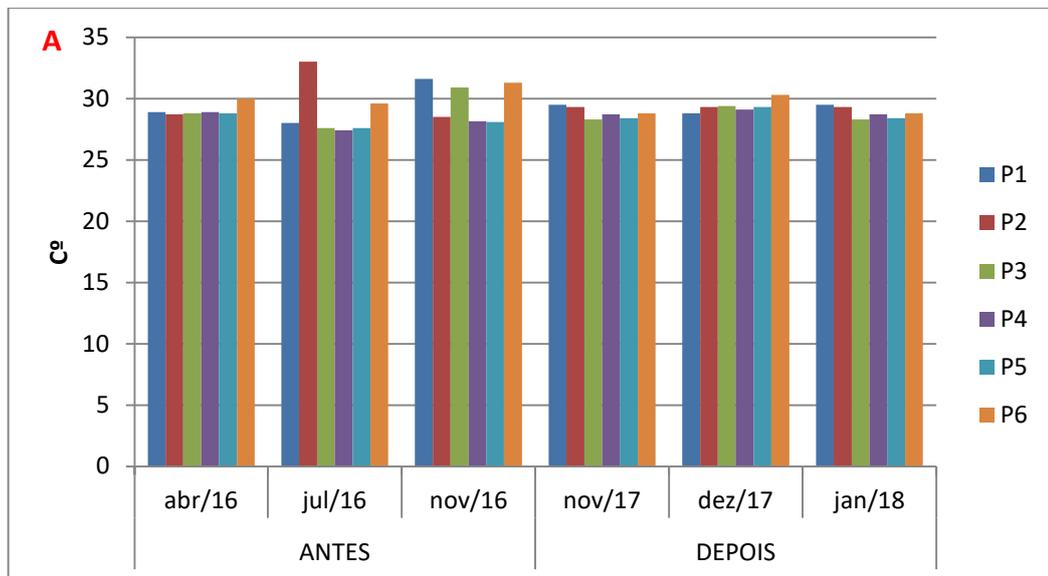


Figura 14. Resultados referentes à Temperatura antes e depois da biorremediação no Rio do Cabelo(A) e do Rio Bucatu(B).

O pH da água no Rio do Cabelo antes da biorremediação sofreu alterações durante o período analisado, bem como no decorrer do seu percurso. No mês de abr/16 foram registrados valores de pH acima de 7,0 em todos os pontos, com mínima de 7,1 no ponto P6, o que se considera que neste período a água estava mais alcalina. Porém no mês de jul/16 foi observado nos pontos P1 e P2 valores mais altos de pH (8,2 e 7,9) e o restante dos pontos foram abaixo de 7,0 (Figura 15A). No mês de set/16 obtiveram-se valores desta variável abaixo de 7,0 em todos os pontos de coleta, e o valor mais baixo foi de 5,59 no ponto P6, apresentando assim características mais ácidas da água neste período.

Antes do ponto P6, no ponto P5 há uma grande quantidade de macrófitas, o que faz diminuir o pH, Sousa (2015) em experimento usando macrófitas em água de lagoa facultativa em Estação de Tratamento de Esgotos também verificou que no tratamento com macrófitas

o pH alcançou valores de 4,5. Assim, com o banco de macrófitas ocupando toda a superfície da água antes do P5, é possível que o pH tenha-se mantido baixo até o P6.

No Rio Bucatu o pH da água em todo o período analisado apresentou valores acima de 7,0, mostrando águas com características entre neutras e alcalinas. Com exceção do mês de jul/16, quando os valores de pH variaram entre 6,36 e 6,5.(Figura 15B) É comum em períodos chuvosos diminuir o pH por conta do material orgânico que é incorporado pelo rio sofrer decomposição, o que libera CO₂, baixando o pH.

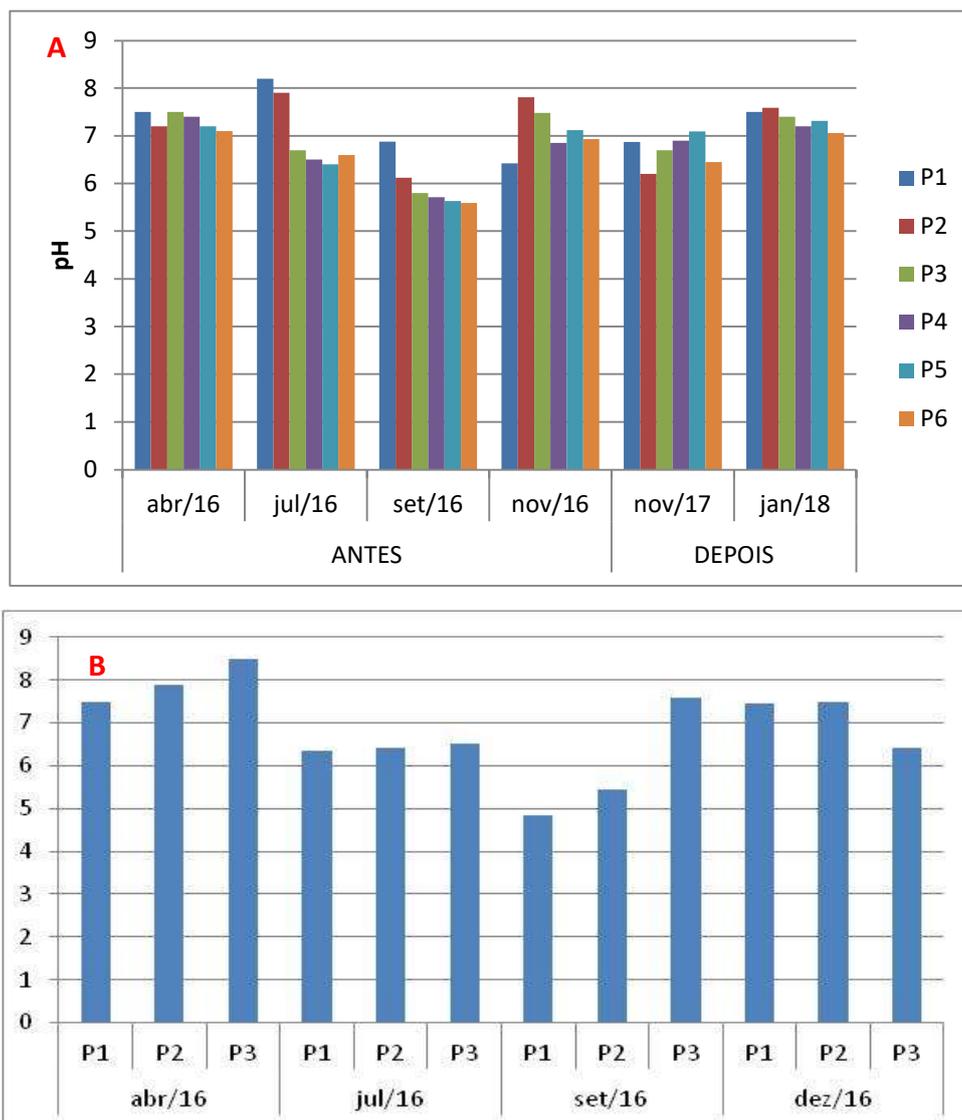


Figura 15. Resultados referentes ao pH da água antes e depois da biorremediação no Rio do Cabelo(A) e do Rio Bucatu(B).

Depois da instalação do biofilme, o pH da água melhorou havendo uma variação entre 6,2 e 7,59. Vale salientar que o mês de jan/18 foi constatado pH acima de 7,0 mais próximo ao valor neutro em todos os pontos, quando foi constatado para o ponto P2 um valor de 7,59 revelando menor instabilidade deste parâmetro ao longo do rio (Figura 15B)

Geralmente os ambientes lóticos brasileiros apresentam pH próximo da neutralidade, o que foi verificado em trabalhos realizados no Rio Forqueta/RS por Strohschoen (2009) onde o pH da água nos pontos de coleta variou de 6,4 a 7,8 Também foram encontrados resultados semelhantes por Silva (2013) no Rio do Carmo no Rio Grande do Norte, onde o pH variou de 6,59 a 7.33.

De acordo com os resultados obtidos referentes à qualidade da água nos dois rios em estudo pode-se dizer que foram obtidas diferenças entre antes e depois da instalação do BioMac, bem como com o Rio Bucatu. O Rio do Cabelo apresentou valores mais elevados em suas variáveis químicas em relação ao Rio Bucatu, confirmando assim que o Rio do Cabelo sofre com maiores impactos ambientais devido à ação antrópica existente durante todo o seu curso. No Rio Bucatu os valores da maioria das variáveis químicas da água, com exceção do oxigênio foram menos elevadas em relação ao Rio do Cabelo antes da instalação do sistema BioMac. Da mesma forma, verificou-se diminuição nas concentrações de nutrientes após a instalação do biotratamento com BioMac tornando o Rio do Cabelo inclusive melhor que o Rio Bucatu.

6. CONCLUSÕES

- ✓ Conclui-se que o sistema de biotratamento instalado no Rio do Cabelo favoreceu o melhoramento da qualidade da água, com relação aos parâmetros ambientais como o Oxigênio Dissolvido e pH, bem como para com todos os nutrientes, contribuindo assim para uma melhor transparência na água, sendo aceite a H2.
- ✓ De acordo com os resultados obtidos das variáveis químicas e físicas da água, o Rio do Cabelo, antes do biotratamento era mais eutrofizado do que o Rio Bucatu, devido ao intenso lançamento de esgotos no primeiro ambiente, justificando-se a escolha deste último inicialmente como meta a atingir, visto que apresentou muito melhor qualidade de água. O biotratamento com BioMac foi bastante eficiente na melhoria da qualidade de água no Rio do Cabelo, tornando este de muito melhor qualidade, inclusive com melhor qualidade em relação a algumas variáveis que o Rio Bucatu, pensado inicialmente como rio com qualidade de água a atingir com o biotratamento, como rio referência, no entanto, a qualidade da água após o uso do BioMac superou todas as expectativas, tornando-se o rio melhor que o Rio Bucatu, em relação a nutrientes nitrogenados e fosfatados.
- ✓ A Hipótese 3 foi parcialmente aceite, visto que apesar do Rio Bucatu apresentar uma qualidade de água superior à do Rio do Cabelo, no entanto, após o biotratamento com BioMac viu-se que é possível ter melhor qualidade de água que o Rio Bucatu.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBA-TERCEDOR J. **Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos.** IV SIAGA, Almeria, vol. II: 203-213. 1996.

ABBAS, M. Z. M.. **A biorremediação como ferramenta para a minimização de problemas ambientais.** Piracicaba: Universidade de São Paulo, Escola de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2003

ALVES, A. ; MOURA, F.E.; CRUZ, C.L.; DESTEFANI, V. Impactos Ambientais no Ribeirão Suruquá Trecho Entre o Município de Paranavai e Tamboara(PR). Resumo Expandido. **Anais da XXII Semana de Geografia da FAFIPA.** 18-23 p. Universidade Estadual do Paraná.UNESPAR- PR 2013

BARBOUR, M.T.; GERRITSEN, J.; SNYDER, B.D. e STRIBLING, J.B. **Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish,** 2^a ed. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, D.C. 1999

BORSATTO, J. C. L.; BORSATTO, M. V.; ORLANDO, J. F. F.; SILVA, M. F.; SILVA, D. G. K. C. Análise da qualidade da água nos Rios Tocantins e Cacau no trecho da construção da Ponte da Amizade. **Engenharia Ambiental,** v. 7(2): 163-177, 2010.

CALLISTO, M.; MORETTI, M. & GOULART, M. Macroinvertebrados Bentônicos como Ferramentas para Avaliar a Saúde de Riachos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos.** Volume 6 (10; 71-82. 2001,.

CARVALHO,L.C; SIQUEIRA, E. Q.; Qualidade da água do rio meia ponte no perímetro urbano do município de goiânia-goiás. **Reec-revista eletronica de engenharia civil,** Goiania-go, v. 1(2): 19-33, jul. 2011

CLESCERI, L.S.; GREENBERG, A.E.; EATON, A.D. **Standard Methods for the examination of water and wastewater.** American Public Health Association, APHA 20th.ed., Washington.1998.

CRISPIM, M.C.; VIEIRA, A.C.B.; COELHO, S.F.M. & MEDEIROS, A.M.A. Nutrient uptake efficiency by macrophyte and biofilm: practical strategies for small-scale fish farming. **Acta Limnologica Brasiliensia.** 21(4):387-391(2009).

CORREIA, L. J. H. . Monitoramento da qualidade físico-química da água do estuário do Rio Paraíba – Cabedelo, PB. **Revista Principia.,** v27: 1-8, João Pessoa- PB. 2015.

FOLZ, R. R. (Org.). **Saneamento Ambiental, Sustentabilidade e Permacultura em Assentamentos Rurais – SAMSPAR. Programa de Pesquisa em Saúde e Saneamento – Relatório Final.** Departamento de Engenharia de Saúde Pública. São Carlos: Ministério da Saúde Fundação Nacional De Saúde, 221 p. 2011

GUARIDO, P. C. P. **Degradação ambiental e presença de espécies de peixes não nativas em pequenos igarapés de terra firme de Manaus, Amazonas.** Dissertação (Mestrado) --- INPA, Manaus, 57p .2014.

GRANADO, D. C. **Variações nictemerais e sazonais na estrutura da comunidade fitoplanctônica num sistema de lagoas de estabilização (Novo Horizonte, SP).** Dissertação. Universidade de São Carlos. 140p. 2004

GOULART, M. & CALLISTO, M. Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. **Revista da FAPAM**, ano 2, n 1. 2003.

LIMA, A. M. & SANTOS, F. F. Análise das propriedades físico-químicas e de metais potencialmente tóxicos na água do Rio Claro, próximo à cidade de Jataí – GO. **Ciências Exatas e Naturais**, v. 14(2): 239-255, 2012

McDOWELL, R. W.; SHARPLEY, A. N.; CONDRN, L. M. Processes controlling soil phosphorus release to runoff and implications for agricultural management. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 59: 269-284. 2001.

MACÊDO, J. A.B. **Águas & Águas**. Belo Horizonte: CRQ-MG. 2007. 3 ed. 1043 p.

MACÊDO, J. A. B. **Métodos laboratoriais de análises físico-químicas e microbiológicas**. 2. ed. Belo Horizonte: CRQ/MG, 2003. 601p.

MENDONÇA, B.C.S. **Variabilidade dos processos de autodepuração biológica do Rio Meia Ponte, Goiás, Brasil**. Goiânia. Dissertação (Mestrado) – PPGEMA - Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás. 93 p. 2007.

MOTA, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. Rio de Janeiro: ABES. 4 ed. 388 p. , 2010

MORAES VR. et al. 2013. Caracterização dos modelos de esgotamento sanitário na comunidade São Gonçalo Beira Rio, Cuiabá, MT. **Revista Biodiversidade** 12(1): 60-73

NOVOTNY, W. Diffuse pollution from agriculture - a worldwide outlook. **Water Science and Technology**. Vol. 39 (3): 1–13. 1999

PÉREZ, M. J.; **Biofilme e Macrófitas como Ferramenta de Biorremediação em Ecossistemas Aquáticos e Tratamento de Esgotos**. Dissertação. UFPB-Universidade Federal da Paraíba. 164p. João Pessoa –PB.2015

RONCON, T. J.; BIDÓIA, E. D.; SANTOS, V.; GUERRA, N. M. M.; OTENIO, M. H. Caracterização da biota de protozoários e sua função depurativa na Lagoa de Estabilização da Estação de Tratamento de Esgoto de Bandeirantes, Paraná. **Salusvita**, v. 26(1): 89-98, 2007

PINTO, B.C.T.; ARAÚJO, F.F.G. Assessing of Biotic Integrity of the Fish Community in a Heavily Impacted Segment of a Tropical River in Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, 50(3): 489-502. 2007.

SANTOS, E. S. **Modelagem hidrodinâmica e qualidade da água na foz do Rio Araguari -AP**. Dissertação de Mestrado em Biodiversidade Tropical PPGBio/Universidade Federal do Amapá. 108p.2012.

SILVA A. G.; SOUZA L. D. Efeitos Antrópicos e Sazonais na qualidade da água do Rio do Carmo. **Revista HOLOS**, v. 5: 131p. 2013.

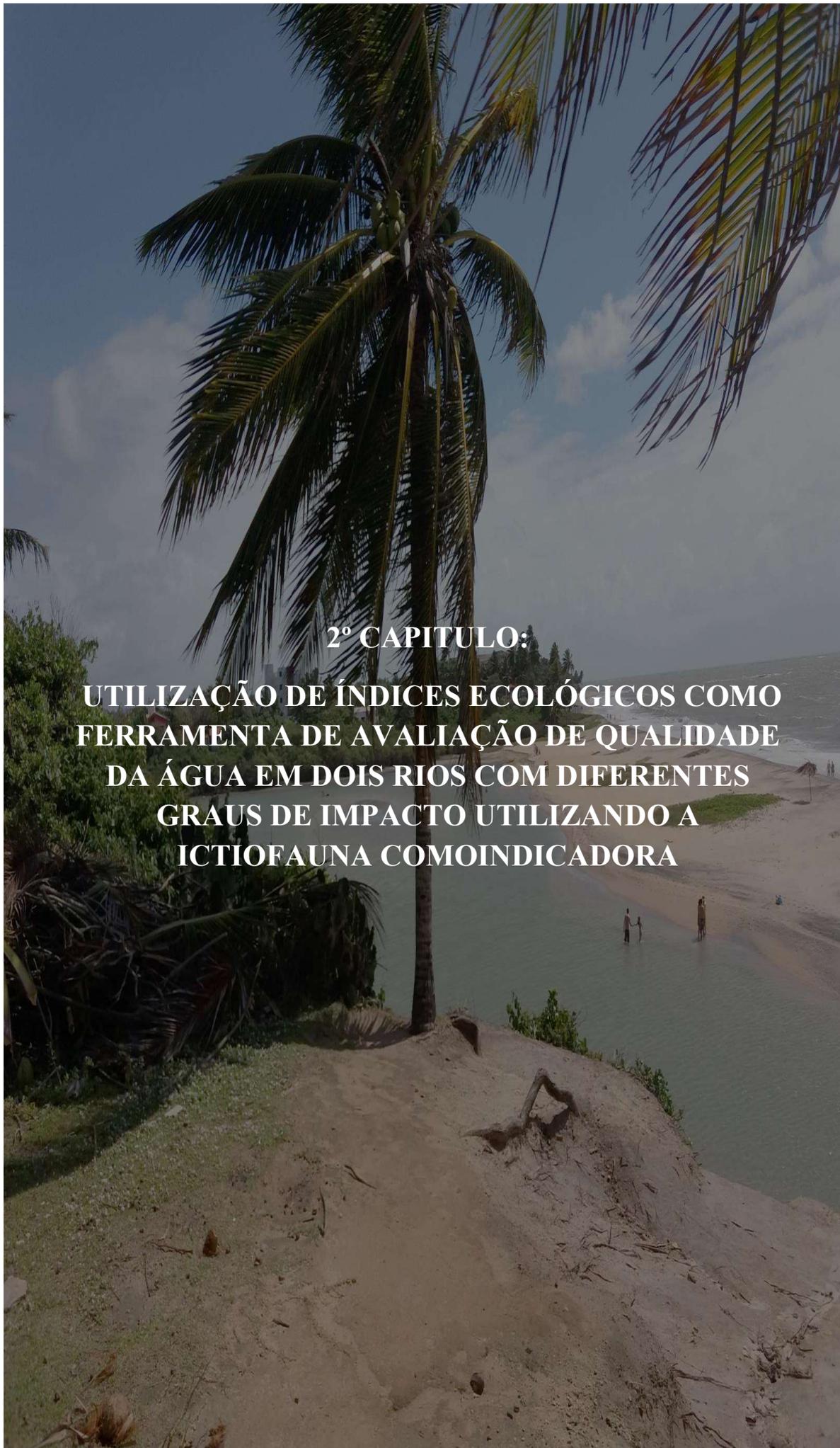
SILVEIRA, A.C; SPAREMBERGER, R. F. **A relação homem e meio ambiente e a reparação do dano ambiental: reflexões sobre a crise ambiental e a teoria do risco na sociedade**.Dissertação. Caxias do Sul: Universidade de Caxias do Sul UCS, 2004.

SOUZA, C. E. **Avaliação de Sistemas Biorremediadores em Efluentes da Lagoa Facultativa da Estação de Tratamentos de Esgotos em Mangabeira, Joao Pessoa – PB.** Dissertação. Universidade Federal da Paraíba-UFPB. 74p. João Pessoa-PB.2014

WHITFIELD, J. V. US Environmental Protection Agency (USEPA). 1996. Proposed guidelines for ecological risk assessment: Notice. FRL-5605-9. Federal Register, 61, 47552-47631. 2001

WETZEL, RG. And-water interfaces: metabolic and limnological regulators – Edgardo Baldi Memorial Lecture. **Verh. Internat. Verein Limnology**. 24:6-24. 1990

VASCO, A. N.; BRITTO, F. B.; PEREIRA, A. P. S.; MÉLLO JÚNIOR, A. V. M.; GARCIA, C. A. B.; NOGUEIRA, L. C. Avaliação espacial e temporal da qualidade da água na sub-bacia do Rio Poxim, Sergipe, Brasil. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 6(1): 118-130, 2011



**2º CAPITULO:
UTILIZAÇÃO DE ÍNDICES ECOLÓGICOS COMO
FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO DE QUALIDADE
DA ÁGUA EM DOIS RIOS COM DIFERENTES
GRAUS DE IMPACTO UTILIZANDO A
ICTIOFAUNA COMOINDICADORA**

1. INTRODUÇÃO

O crescimento exacerbado dos grandes centros urbanos nos últimos anos, tem sido responsável pela elevada pressão das atividades antropogênicas sobre os ecossistemas aquáticos.

Em todo o mundo, não existe um ecossistema que não tenha tido influência direta ou indireta pela ação humana, através da contaminação dos ambientes aquáticos, desmatamentos, contaminação de águas subterrâneas e introdução de espécies exóticas, resultando assim na diminuição dos habitats e da biota aquática (GOULART e CALLISTO 2003).

A água tem sido considerada, durante muito tempo, como um bem infinito, entretanto este conceito já não pode ser mais aceito, pois o desenvolvimento industrial, o crescimento populacional, a expansão agrícola e as atividades antropogênicas reduziram sua disponibilidade e qualidade (LIRA e CANDIDO, 2013). O desenvolvimento industrial e o crescimento dos grandes centros urbanos também contribuíram para a perda da qualidade da água, devido ao lançamento de poluentes, incluindo esgotos não tratados, nos rios e nos mananciais. Devido à falta de tratamento adequado dos resíduos domésticos e industriais, estes são lançados diretamente nos ambientes aquáticos levando ao aumento da concentração de poluentes (FRANCHINI, 2017).

A presença destes poluentes nos rios, pode levar à perda da biodiversidade existente nestes ambientes, devido à ineficiência desses ecossistemas em manter seus processos autodepurativos, ocasionando na perda da qualidade da água e conseqüentemente levando riscos à saúde pública (MARQUES, 2007).

Os rios urbanos estão altamente propensos à redução da sua biodiversidade devido a mudanças induzidas pelo crescimento populacional, acarretando na substituição de espécies nativas por espécies mais tolerantes a um ambiente estressado, ou induzindo à perda de espécies com papéis funcionais exclusivos (CUNICO et al., 2006).

A ictiofauna por sua vez, proporciona uma ampla visão integrada das condições ambientais em que se encontram os ecossistemas aquáticos, além de ser uma boa indicadora de qualidade ambiental e dos efeitos a longo prazo (CASSATI, 2011). Segundo Freitas (2009), os peixes geralmente são componentes comuns em todos os ecossistemas aquáticos, sendo considerados bons indicadores da qualidade ambiental, uma vez que podem refletir os impactos negativos no ambiente, devido às suas características de mobilidade, estilo de vida e pela sua posição na cadeia alimentar.

Os efluentes domésticos que são lançados na água de um rio, levam à diminuição do oxigênio e ao aumento excessivo de nutrientes que pode levar à morte determinadas espécies e beneficiar outras que são mais resistentes (FERREIRA e PETRERE, 2007). Entretanto, em ambientes aquáticos não impactados a abundância de espécies é na sua maioria uniforme, situação está favorecida pela heterogeneidade do ambiente aquático. SÚAREZ e PETRERE JÚNIOR, 2006)

A região que abrange a microbacia do Rio do Cabelo, apresenta-se atualmente gravemente impactada por interferências antropogênicas diversas, em que as fontes de poluição são distintas, como lançamento de esgotos, bem como de efluentes industriais lançados na calha do rio, após tratamento preliminar em fossas sépticas, e também de efluentes domésticos (FARIAS, 2006) e apresenta metais pesados na água (FARIAS et al., 2007). Por outro lado, o Rio Bucatu no município do Conde-PB, apresenta-se mais conservado, apesar da crescente urbanização na área em que se encontra.

Por este motivo, é necessário avaliar estes dois rios estruturalmente semelhantes, ambos da zona costeira paraibana, baseando-se na ictiofauna, a fim de avaliar a qualidade ambiental destes ambientes, focando na ictiofauna, sabendo que estes dois rios possuem diferentes níveis de ocupação humana, de forma a entender melhor os impactos humanos causados nos ambientes fluviais e avaliar o efeito da restauração do Rio do Cabelo, pelo método de biorremediação BioMac, desenvolvido pela equipe de pesquisa do Laboratório de Ecologia Aquática/CCEN da Universidade Federal da Paraíba, sobre a assembleia de peixes. Sendo assim a avaliação compreende a ictiofauna do Rio do Cabelo antes e após o biotratamento e o Rio Bucatu.

2. OBJETIVO GERAL

- Avaliar o Rio do Cabelo antes e após a sua restauração, comparando com o Rio Bucatu, menos poluído, usando a ictiofauna como indicadora de qualidade de água.

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar a composição ictiofaunística dos rios Cabelo e Bucatu;
- Avaliar índices ecológicos da ictiofauna nos dois ambientes e relacionar com a qualidade de água;
- Detectar quais as espécies bioindicadoras revelam características ecológicas quanto às condições da qualidade da água dos dois rios.
- Avaliar a eficácia da assembleia de peixes como indicadora em restauração de rios

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - Área de Estudo

A área de estudo está descrita no capítulo 1 entre as páginas 42 e 43.

3.2- Composição da ictiofauna

3.2.1- Período das coletas

As coletas foram realizadas durante os meses de abril, julho, setembro, e novembro de 2016 antes da biorremediação em 5 pontos do Rio do Cabelo no município de João Pessoa-PB e setembro de 2017 e janeiro de 2018, correspondente à depois da biorremediação. No Rio Bucatu as coletas foram realizadas durante os meses de abril, julho e setembro de 2016 e abril, junho e setembro de 2017, em 2 pontos.

Para a captura dos indivíduos foram utilizadas redes de espera (malhas de 15, 20, 25 e 35 mm) e redes de arrasto no Rio Bucatu e rede de arrasto no Rio do Cabelo.

Após as coletas, os exemplares foram etiquetados, acondicionados em sacos plásticos com gelo, em caixa térmica, e transportados para o Laboratório de Ecologia Aquática (LABEA) do DSE/CCEN/UFPB onde foram identificados.

Alguns exemplares foram identificados e tombados junto à Coleção Ictiológica da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), os quais receberam as seguintes numerações 11494 11495, 11496 ,11497, 11498, 11499, 11500, 11501, 11502, 11503, 11504, 11505, 11506, 11507, 11508, 11509, 115110, 115111, 115112, 115113, 115114, 115116, 115117, 115118, 115119, 115120, 115121, 115122, 115123 e 115124.

No Rio do Cabelo não foi realizada coleta no P1, em virtude de não haver peixes presentes, devido às baixas concentrações de oxigênio, no Rio Bucatu não foram realizadas coletas no P1, devido a este local estar completamente tomado por macrófitas (junco) e com isso impossibilitar a coleta de peixes.

3.2.2 . Identificação Taxonômica

No LABEA os espécimes foram triados e posteriormente fixados em formol a 10% e logo após, conservados em álcool a 75%. Os indivíduos foram identificados utilizando chaves de identificação taxonômica, seguindo bibliografia especializada (MENEZES, 1978,1980; MENEZES; FIGUEIREDO, 1980; FIGUEIREDO; BRITISKI et al., 1984; VARI, 1991; PLOEG, 1991; GOMES-FILHO, 1999).

3.3.. Biodiversidade da Ictiofauna

3.3.1.Composição e Abundância relativa das espécies

A análise da composição da ictiofauna foi realizada através da identificação taxonômica de todas as espécies dos dois rios e foi determinada a abundância relativa (%) dos indivíduos coletados em cada ponto de coleta.

3.3.2. Diversidade Ecológica

A diversidade ictiológica dos indivíduos foi realizada através da aplicação dos índices de Shannon(H'), Equitabilidade (J') e Riqueza($Chao$).

O índice de Shannon(H'), está diretamente relacionado com a estabilidade da comunidade, bem como com o grau de alteração dos ecossistemas. Segundo Pinto-Coelho (2000), este índice está relacionado com dois fatores básicos: o número e a equitatividade de espécies, assumindo que todos os indivíduos são amostrados aleatoriamente, e que todas as espécies estão representadas na amostra.

O índice de Shannon é representado de acordo com a equação abaixo:

$$H' = - \sum (n/N) \log (n/N)$$

Em que:

n = nº de indivíduos de cada espécie;

N = nº total de indivíduos.

Assim sendo, segundo PINTO-COELHO (2000):

- quando $H' > 3,0$: a diversidade é considerada alta;
- entre 3,0 e 2,0: representa uma diversidade média;
- entre 2,0 e 1,0: diversidade baixa
- $< 1,0$, a diversidade é muito baixa.

A equitabilidade ou uniformidade entre as espécies foi calculada usando-se o índice de equitabilidade de Pielou.

Este índice determina uma relação com a diversidade e demonstra a riqueza específica através da distribuição entre os indivíduos. Este índice pode variar entre 0 e 1, em que quanto mais próximo de 1, maior será a uniformidade da abundância dos indivíduos entre as espécies de um ecossistema (PINTO-COELHO,2000), sendo determinado de acordo com a equação

abaixo:

$$J = H' / \ln(S)$$

Em que,

S= n° de espécies por coleta;

H'= Índice de Shannon.

A fim de verificar a dominância de espécies nas estações de amostragem, o índice de dominância (*D*) para cada estação de amostragem foi calculado, utilizando-se a equação de Simpson:

$$D = \sum (p_i)^2$$

[2]

em que :

p_i é a proporção de indivíduos da espécie *i* em relação ao número total de indivíduos da amostra.

Este índice atribui um peso maior às espécies abundantes. Para determinar quais espécies são capazes de ser bioindicadoras dos locais amostrados, foi utilizado o Valor Indicador Individual (Indval) determinado por Dufrêne e Legendre (1997) e foi aplicado utilizando-se o software R. Esta análise emite um valor de 0 a 100%, em que zero equivale a não-indicação da espécie como indicadora para determinado ambiente e 100 indica que a ocorrência de determinada espécie é característica do ambiente. Como este índice apenas diz se a espécie é indicadora mas não especifica em relação a que qualidade ambiental, buscou-se na literatura referências para isso.

Para analisar a similaridade entre os pontos nos dois ambientes estudados foi utilizado o índice de similaridade de Jaccard. Este índice indica a proporção de espécies compartilhadas entre as amostras em relação ao total de espécies, a fim de comparar a semelhança e a diversidade entre os pontos coletados (MAGURRAN, 2004)

$$J = \frac{S_{com}}{s_1 + s_2 - S_{com}} \quad \text{OU} \quad J = \frac{S_{com}}{S}$$

Em que:

S_{com} = número de espécies em comum nas amostras;

s₁ e **s₂** = número total de espécies em cada amostra;

S = total de espécies no conjunto de amostras

Todos estes índices foram calculados através do Software R para os índices de Shannon, Equitabilidade e Similaridade. Para o cálculo do índice de Dominância utilizou-se o software Dives v 4.2. Por fim para o cálculo do Inval (Indicação de espécies foi utilizado o software Pcord v.4.

4. RESULTADOS

4.1 Composição da ictiofauna antes e após a biorremediação

Foi coletado um total de 2.238 indivíduos no Rio do Cabelo em todo o período antes e depois do biotratamento, posteriormente foram identificados e categorizados taxonomicamente. Os organismos capturados estiveram representados por 6 Ordens, 10 Famílias e 15 Espécies, conforme relação da composição na Tabela 1:

Tabela 1. Lista de espécies de peixes do Rio do Cabelo antes e depois da biorremediação

ANTES	DEPOIS
ORDEM ATHERINIFORMES FAMILIA Atherinopsidae <i>Atheinella brasiliensis</i> (Quoy e Gaimard, 1825)	ORDEM ATHERINIFORMES FAMILIA Atherinopsidae <i>Atheinella brasiliensis</i> (Quoy e Gaimard, 1825)
ORDEM CHARACIFORMES FAMILIA Characidae <i>Astyanax bimaculatus</i> (Linnaeus, 1758)	ORDEM CHARACIFORMES FAMILIA Characidae <i>Astyanax bimaculatus</i> (Linnaeus, 1758)
ORDEM CIPRINODONTIFORMES FAMILIA Poecilidae <i>Poecilia reticulata</i> (Peters,1860) <i>Poecilia vivipara</i> (Bloch & Schneider, 1801)	ORDEM CIPRINODONTIFORMES FAMILIA Poecilidae <i>Poecilia reticulata</i> (Peters,1860) <i>Poecilia vivipara</i> (Bloch & Schneider, 1801)
ORDEM MUGILIFORMES FAMILIA Mugilidae <i>Mugil liza</i> (Valenciennes, 1836)	ORDEM MUGILIFORMES FAMILIA Mugilidae <i>Mugil liza</i> (Valenciennes, 1836)
FAMILIA CICHLIDAE <i>Oreochromis niloticus</i> (Linnaeus, 1978)	ORDEM PERCIFORMES FAMILIA Gobidae <i>Batogobius soporator</i> <i>Gobionellus boleosoma</i> (Jordan & Gilbert, 1882)

	FAMILIA CENTROPOMIDAE <i>Centropomus undecimalis</i> (Bloch, 1792)
	FAMILIA ELEOTRIDAE <i>Eleotris pisonis</i> <i>Dormitator maculatus</i> (Bloch, 1790)
	FAMILIA GERREIDAE <i>Encinostomus melanopterus</i> (Bleeker, 1863)
	FAMILIA CICHLIDAE <i>Geophagus brasiliensis</i> (Quoy & Gaimard, 1824) <i>Oreochromis niloticus</i> (Linnaeus, 1758)
	ORDEM SYNGNATHIFORMES FAMILIA Syngnathidae <i>Microphis brachyurus</i>

4.2. Rio Bucatu

Foram coletados um total de 274 indivíduos no Rio Bucatu em todo o período analisado, sendo identificados categorias taxonômicas representadas por 7 Ordens, 14 Famílias e 15 espécies, conforme relação da composição abaixo:

Tabela 2 : Lista de espécies de peixes do Rio Bucatu

ORDEM ATHERINIFORMES FAMILIA Atherinopsidae <i>Atheinella brasiliensis</i> (Quoy e Gaimard, 1825)
ORDEM CIPRINODONTIFORMES FAMILIA Poeciliidae <i>Poecilia vivipara</i> (Bloch & Schneider, 1801)
ORDEM CLUPEIFORMES FAMILIA CLUPEIDAE <i>Harengula clupeola</i> (Cuvier, 1829) FAMILIA ENGRAULIDAE <i>Lycengraulis grossidens</i> (Spix & Agassiz, 1829)
ORDEM MUGILIFORMES FAMILIA Mugilidae <i>Mugil liza</i> (Valenciennes, 1836)

<p>ORDEM PERCIFORMES</p> <p>FAMILIA Gobidae</p> <p><i>Ctenobius shufeldti</i> (Jordan & Eigenmann, 1887)</p> <p><i>Batogobius soporator</i> (Valenciennes, 1837)</p> <p>FAMILIA CENTROPOMIDAE</p> <p><i>Centropomus undecimalis</i> (Bloch, 1792)</p> <p>FAMILIA POMATOMIDAE</p> <p><i>Pomatomus saltatrix</i> (Linnaeus, 1766)</p> <p>FAMILIA GERREIDAE</p> <p><i>Encinostomus melanopterus</i> (Bleeker, 1863)</p> <p>FAMILIA SCOMBRIDAE</p> <p><i>Scomberomorus regallis</i> (Bloch, 1793)</p> <p>FAMILIA LUTJANIDAE</p> <p><i>Lutjanus sp.</i>((Cuvier, 1828)</p> <p>FAMILIA SPHYRAENIDAE</p> <p><i>Sphyraena barracuda</i>(Edwards, 1771)</p>
<p>ORDEM PLEURONECTIFORMES</p> <p>FAMILIA ACHIRIDAE</p> <p><i>Trinectes inscriptus</i> (Gosse, 1851)</p>
<p>ORDEM SILURIFORMES</p> <p>FAMILIA ARIIDAE</p> <p><i>Genidens genidens</i>(G. Cuvier, 1829)</p>

Os resultados obtidos durante todo o período antes e depois do tratamento apresentaram diferenças com relação à composição específica da ictiofauna do Rio do Cabelo.

De acordo com a figura 1, pode ser constatado que apesar da dominância das espécies da Família Poecilidae antes e depois da biorremediação, foram coletados mais 9 espécies depois do tratamento, o que pode ser devido à melhor qualidade da água no período analisado. A maior parte das espécies que surgiram foram registradas no P6 e P5, o que leva a interpretar como espécies que frequentam o ambiente marinho e por encontrarem o estuário do Rio do Cabelo com melhor qualidade, adentraram-no para alimentação ou reprodução.

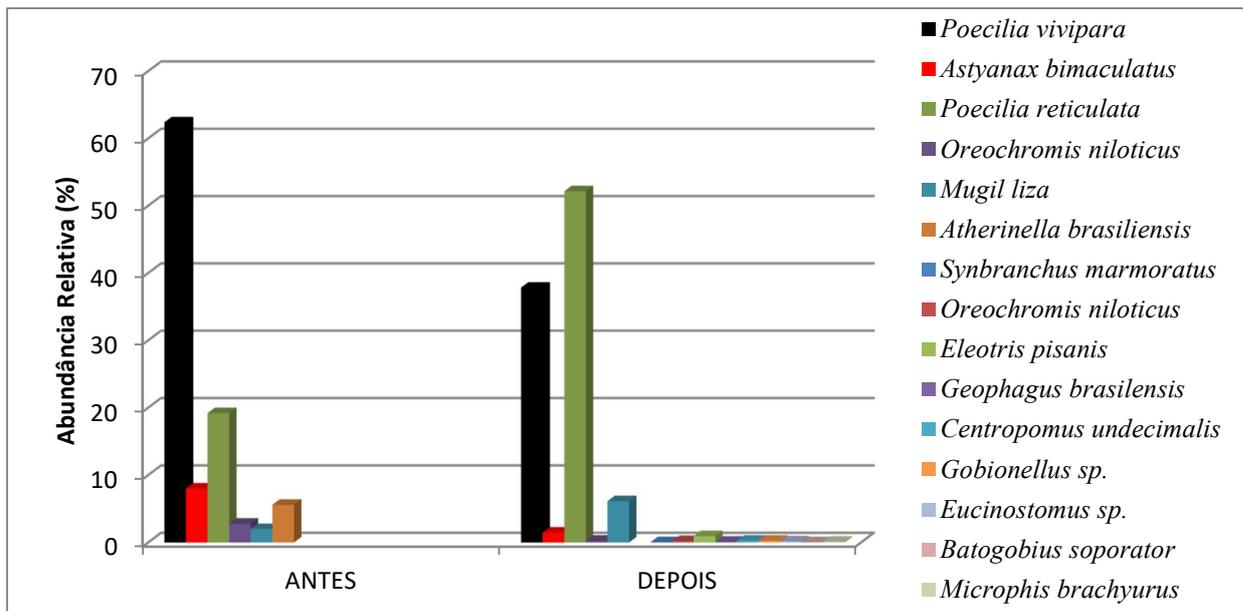


Figura 1. Composição Ictiofaunística do Rio do Cabelo antes e depois da biorremediação.

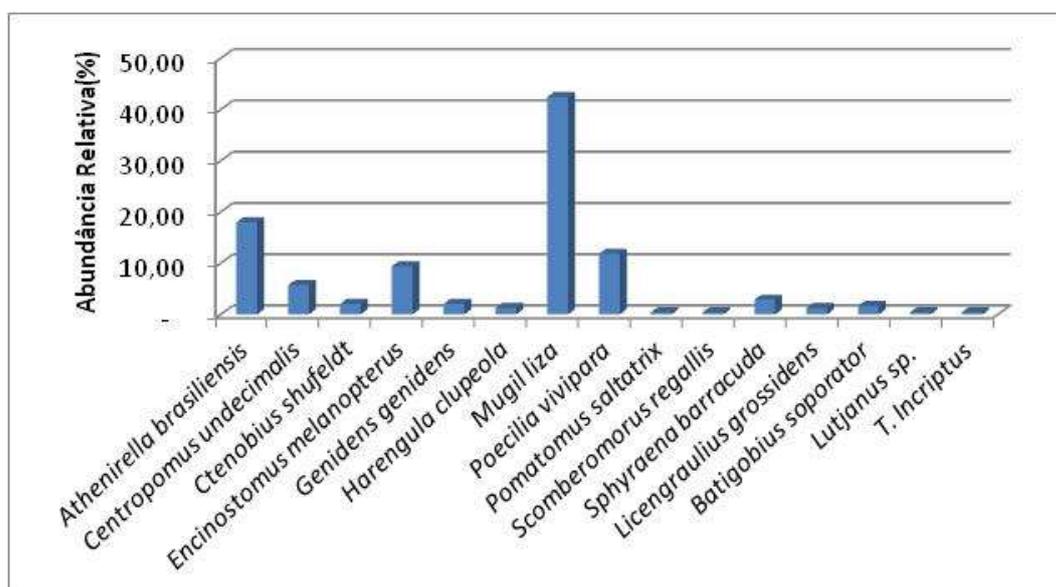


Figura 2. Composição Ictiofaunística do Rio do Cabelo antes e depois da biorremediação.

Apesar da predominância das espécies *P.vivipara* e *P. reticulata* no Rio do Cabelo, foi constatado o aumento na diversidade de espécies ao longo do curso do rio na medida em que o oxigênio dissolvido aumenta e as condições gerais do ambiente melhoram, principalmente a partir do ponto P5 que foi um dos locais escolhidos para a instalação do biofilme, e no ponto P3, após a saída do resquício de Mata Atlântica.

Constatou-se durante todo o período analisado, foi verificado no Rio Bucatu uma presença representativa de *Mugil ilza* (42,83%) e *Atherinella brasiliensis* (17,96%) (Figura 2). Foi constatado também que a Ordem Perciformes foi a mais representativa com relação à abundância de espécies, sendo que a espécie mais abundante da ordem foi *Eucinostomus melanopterus* (9,39 %). Entretanto quando é comparada a composição do Rio Bucatu com os resultados obtidos da ictiofauna depois do biotratamento no Rio do Cabelo, pode-se constatar uma maior abundância de espécies, ambos os rios com 15 taxa, porém com espécies diferentes.

Resultados semelhantes foram encontrados por Araújo(2017) no Rio Japarutuba, estado de Sergipe, em que a Família Mugilidae (*Mugil liza*) foi a segunda mais representativa nas coletas, e a mais abundante foi a Família Aridae.

A composição da comunidade ictiofaunística no Rio Bucatu segue um padrão geral encontrado nos estuários brasileiros, com a predominância de espécies da Ordem Perciformes, isto deve-se principalmente ao fato de que estes são tolerantes a variações de salinidade e por ter uma grande capacidade de explorar habitats, o que também foi observado para o Rio do Cabelo foi observado 5 Famílias da Ordem Perciformes. (CAMARGO e ISAAC, 2004; ARAÚJO, 2017).

De acordo com a Figura 3 foi verificado que não houve alterações com relação à dominância entre as espécies coletadas antes do biotratamento, neste caso houve uma dominância maior de espécies da Família Poeciliidae em todos os pontos de coleta do Rio do Cabelo com exceção do P6, que por ser já na foz, apresenta uma salinidade não adequada a esta espécie.

Depois da biorremediação, na medida em que a qualidade da água melhorou, o número de espécies ao longo do Rio do Cabelo aumentou, conforme mostrado na figura 4 apesar de ainda permanecer a predominância de *Poecilia vivipara* e *Poecilia reticulata* em todos os pontos amostrados.

Foi constatado a presença de duas espécies piscívoras (*Eleotris pisonis* e *Dormitator maculatus*) no ponto P5 do Rio do Cabelo depois do biotratamento que pode estar fazendo o controle da população de espécies da Família Poeciliidae. Em trabalhos realizados no Rio Jucu-ES por Perrone(1991), é confirmado que a espécie *Eleotris pisonis* tem preferência alimentar por *Poeciia vivipara* e *Poecilia reticulata*.

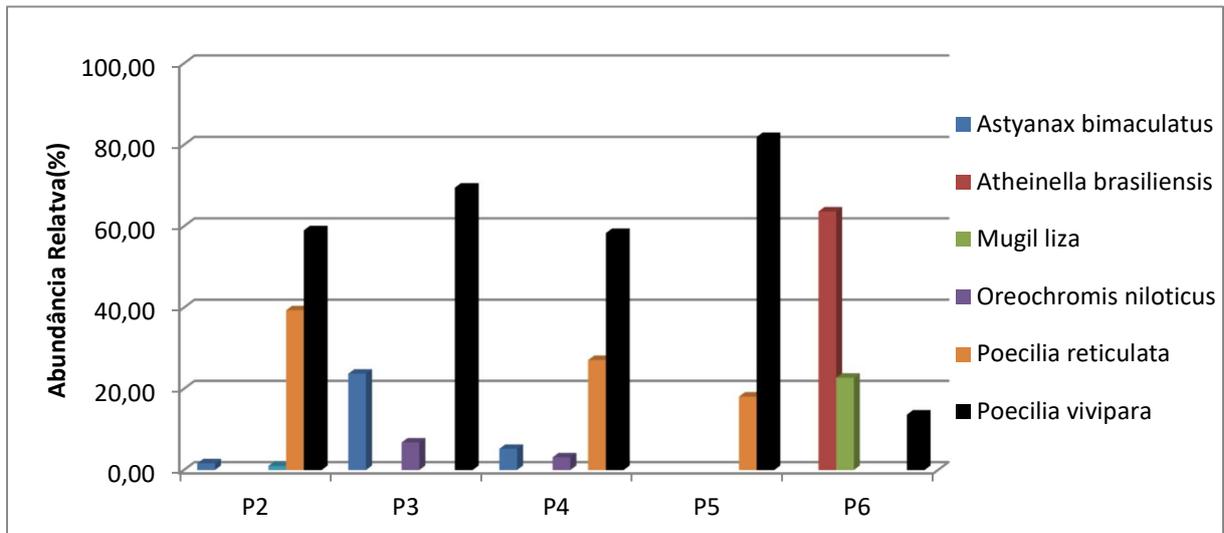


Figura 3. Abundância relativa da Ictiofauna por pontos de coleta do Rio do Cabelo, antes da biorremediação.

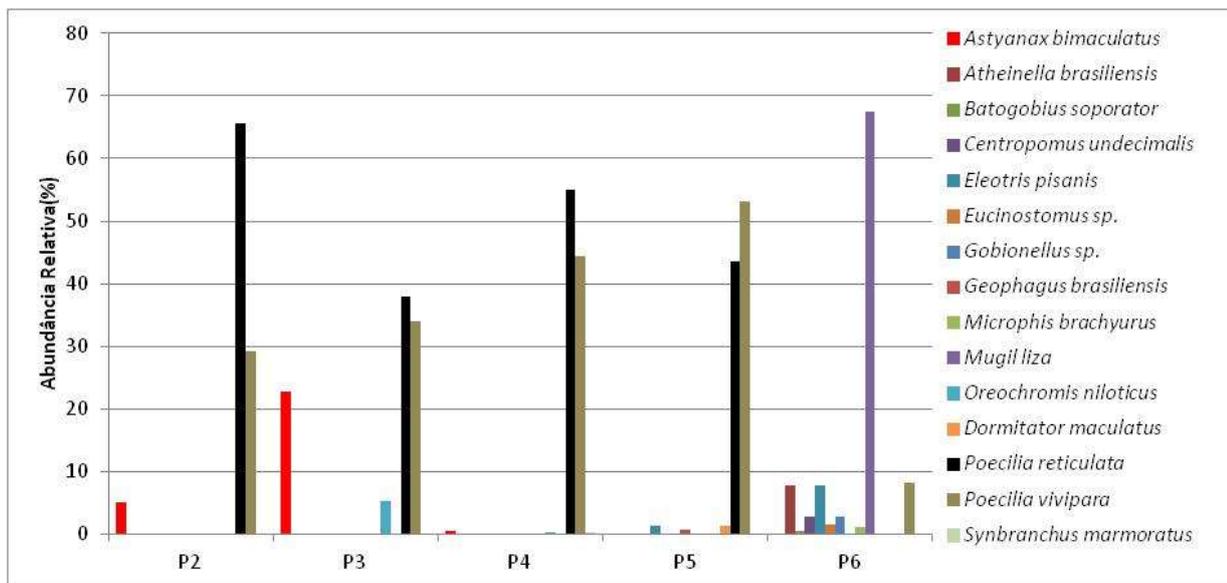


Figura 4. Abundância relativa da Ictiofauna por pontos de coleta do Rio do Cabelo, depois da biorremediação.

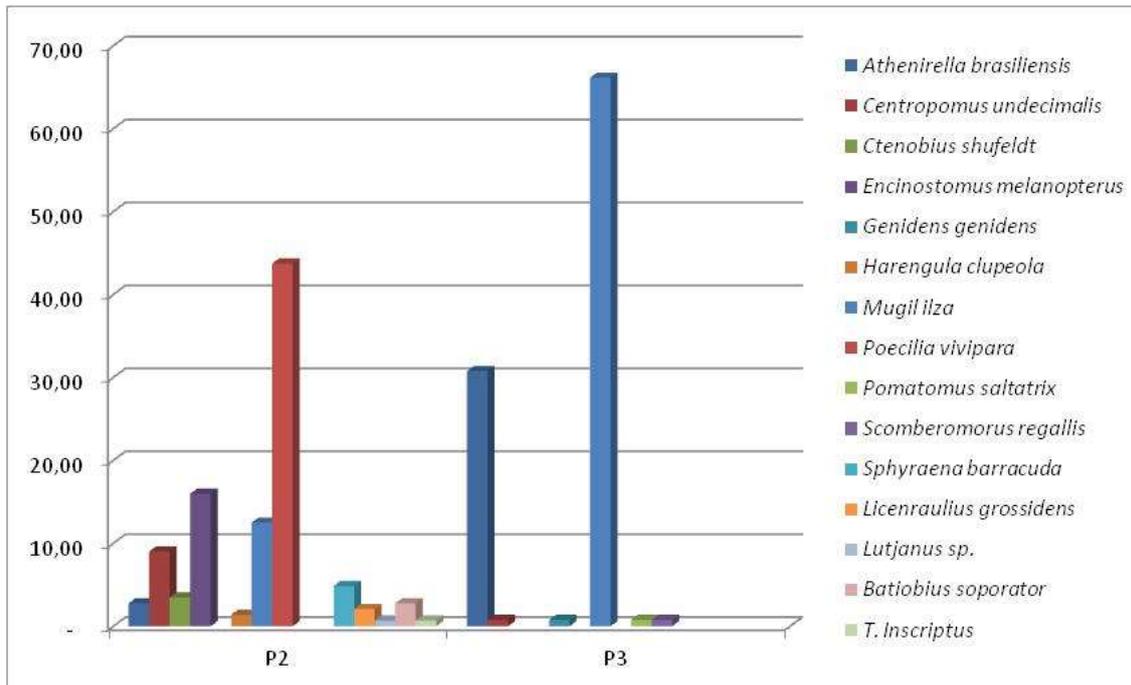


Figura 5. Abundância relativa da Ictiofauna nos pontos de coleta do Rio Bucatu- Conde ,PB

Com relação ao ponto P6 que corresponde ao estuário do Rio do Cabelo, foram verificadas abundâncias diferentes em períodos distintos, porém com apenas duas espécies mais abundantes (*Mugil ilza* e *Atheinella brasiliensis*). Observou-se que no mês de abr/16 (período chuvoso) em que a temperatura foi de 30°C houve a predominância de indivíduos jovens de *Mugil ilza* e no mês de nov/16 (período de estiagem) com temperatura de 31,3°C, houve co-dominância com indivíduos jovens de *A. brasiliensis*.

Alguns autores como Godefroid et al. (1997), Rocha et al., (2002); Godefroid et al. (2004) e Spach et al. (2004), têm explicado na literatura, que durante períodos mais quentes pode ocorrer uma intensificação no número de indivíduos jovens em ambientes mais rasos, provenientes da época reprodutiva.

No ponto P6, encontrou-se uma maior variedade de espécies tipicamente estuarinas que estão associadas com a salinidade deste ambiente, e também devido a ser um local de reprodução de várias espécies marinhas, bem como um ambiente com grande disponibilidade de alimentos. A biodiversidade neste ponto passou de 3 espécies para 8. Isso revela que a melhoria na qualidade de água do Rio do Cabelo, após o biotratamento com o sistema BioMac, permitiu que novas espécies marinhas adentrassem o estuário para alimentação ou reprodução e criação de larvas e jovens, que são os principais

movimentos migratórios realizados por peixes marinhos para os estuários (DAY Jr. et al., 1989; BLABER, 2000). Isso reflete-se no aumento da biodiversidade marinha, visto permitir a reprodução de novas espécies no estuário do Rio do Cabelo, o que antes não se verificava, estando presentes apenas 3 espécies. Dessa forma, não apenas a biodiversidade íctica dulcícola é beneficiada pela restauração do rio, como também a ictiofauna marinha.

Com relação aos pontos de coleta do Rio Bucatu, o que teve uma maior abundância de espécies foi o ponto P2, com a ocorrência de 7 espécies, e dentre estas a espécie *P. vivipara* foi a mais representativa também, com 43,95%, seguido de *Encinostomus melanopterus* com 15,97%, ambas as espécies foram encontradas no Rio do Cabelo, porém a espécie *P. vivipara* no Rio Bucatu, pode estar associada a águas mais rasas, encontradas neste ponto. Já no ponto P3 as espécies mais abundantes foram *M. ilza* (66,15%) e *A. brasiliensis* (30,77%), também abundantes no ponto P6 do Rio do Cabelo (Figura 6).

O fato de ocorrer uma maior abundância específica no P2, é provavelmente pelo fato de que algumas espécies serem exploradoras de habitats, e por invadirem as regiões mais internas do rio para se alimentarem quando na maré cheia, corroborando com Araújo (2017) que encontrou espécies da Família Engraulidae, Portunidae e Centropomidae no Rio Japarutuba, estado de Sergipe, com maior ocorrência na maré enchente.

No ponto P3, a presença de *A. brasiliensis* e *M. liza* deve-se ao fato de que estas espécies são mais abundantes em ambientes mais rasos, onde os juvenis provenientes da reprodução das mesmas são mais registrados.

No presente trabalho, antes da biorremediação as alterações na qualidade da água do Rio do Cabelo, estava relacionada com a ação humana através de lançamentos de esgotos e outros contaminantes, nitrogênio que eleva as taxas de decomposição, aumentando as bactérias decompositoras, que são aeróbias e conseqüentemente com a redução do oxigênio na água, fato este encontrado no ponto 2 onde foram coletados indivíduos de uma única espécie (*P. vivipara*) no mês de abr/16, quando as concentrações de oxigênio foram de 2,7 e no mês de jul/16 (*P. reticulata*), quando as concentrações de oxigênio foram de 3,4, o que comprova que estas espécies são mais tolerantes à baixa concentração de oxigênio (Figura 6).

A espécie *P. reticulata*, em ambientes naturais pode indicar distúrbios ambientais negativos no ambiente, já que esta espécie possui adaptações ecológicas que possibilitam um grande sucesso na sua colonização, além disso por ela ter sido

introduzida, estes peixes competem pelos mesmos recursos alimentares com as nativas desta região (SOUZA,2013). Foram verificados em outros trabalhos como o de Guarido (2014) em pequenos igarapés de Manaus-AM, que a presença de espécies introduzidas como *P. reticulata* contribui negativamente na distribuição de espécies nativas, ou seja, à medida que se perde a qualidade ambiental, ocorre a redução de espécies nativas e sensíveis à má qualidade da água, e conseqüentemente aumentam as espécies resistentes.

Outros trabalhos como por exemplo de Daga et al. (2012) realizados na cidade de Toledo (Paraná) em riachos urbanos de cabeceira, verificaram a presença de espécies mais resistentes à qualidade ambiental da água e introduzidas em locais mais urbanizados (*Oreochromis niloticus*, *P. reticulata*, *Tilapia rendalli* e *Xiphophorus helleri*) em que foi verificado uma relação entre a variação ambiental e a composição e estrutura das assembleias de peixes.

Apesar da predominância das espécies *P. vivipara* e *P. reticulata* no Rio do Cabelo, também foram constatadas a presença de outras espécies ao longo do curso do rio. Foram encontrados indivíduos da espécie *A. bimaculatus* no ponto P3 no mês de jul/16 e set/16 onde as concentrações de oxigênio foram de 3,6 e 4,9 bem como nos pontos P2, P3 e P4 em nov/16, com oxigênio variando de 3,6 a 4,7. Além desta espécie, foi observada a presença de outra espécie introduzida *O. niloticus* nos pontos P3 e P4 em set/16.

Apesar destas espécies ainda serem as mais abundantes no Rio do Cabelo, verifica-se que o ambiente encontra-se em busca de um novo equilíbrio, e que o período de 5 meses, ainda possa ser pequeno para a estabilização da assembleia de peixes no rio, e que possa haver ainda um estado de novo equilíbrio há medida em que novas espécies possam surgir, que possam controlar o crescimento excessivo das espécies *P. reticulata* e *P. vivipora*. Em trabalhos em áreas recuperadas, o equilíbrio entre espécies de presas só foi restaurado, após a instalação das espécies predadoras. No caso do Rio do Cabelo, duas espécies piscívoras já estão presentes, e poderão fomentar o equilíbrio em menos tempo.

A presença de outras espécies observadas nestes pontos, principalmente nos pontos P3 e P4, é devido à uma leve melhoria da qualidade da água, ao passar por dentro de uma reserva de mata atlântica entre os P2 e P3, e ao passar pela mata ciliar no decorrer do percurso do rio, funcionando como um filtro e absorvendo aqueles nutrientes contaminantes, favorecendo assim o aumento do oxigênio na água. Valendo salientar que

pontos P2 e P3 ainda recebe uma parcela de esgotos, e ainda assim observou-se a presença de outras espécies.

A mata ciliar que margeia um curso de água funciona como um filtro natural que retém poluentes e sedimentos, de modo que favorece o melhoramento da qualidade da água daquele determinado ambiente. Além disso, a preservação desta mata, é bastante importante para o aumento da infiltração das águas vindas das chuvas para o abastecimento das águas subterrâneas (ALVES,2013).

Com relação ao ponto P6 que corresponde ao estuário do Rio do Cabelo, foram verificadas abundâncias diferentes em períodos distintos, porém com apenas duas espécies mais abundantes (*M. ilza* e *A. brasiliensis*). Observou-se que no mês de abr/16 (período chuvoso) quando a temperatura foi de 30°C houve a predominância de indivíduos jovens de *M. ilza* e no mês de nov/16 (período de estiagem) com temperatura de 31,3°C, houve a predominância também de indivíduos jovens de *A. brasiliensis* (Figura 5), o que pode ter estado associado a períodos reprodutivos dessas espécies.

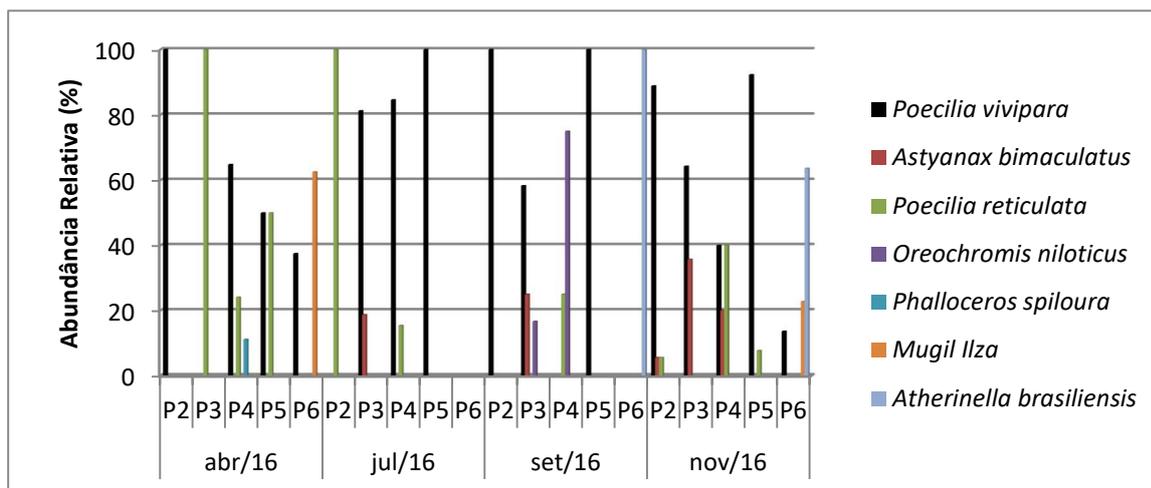


Figura 6. Abundância relativa da Ictiofauna durante os meses de coleta antes da biorremediação no Rio do Cabelo, João Pessoa-PB.

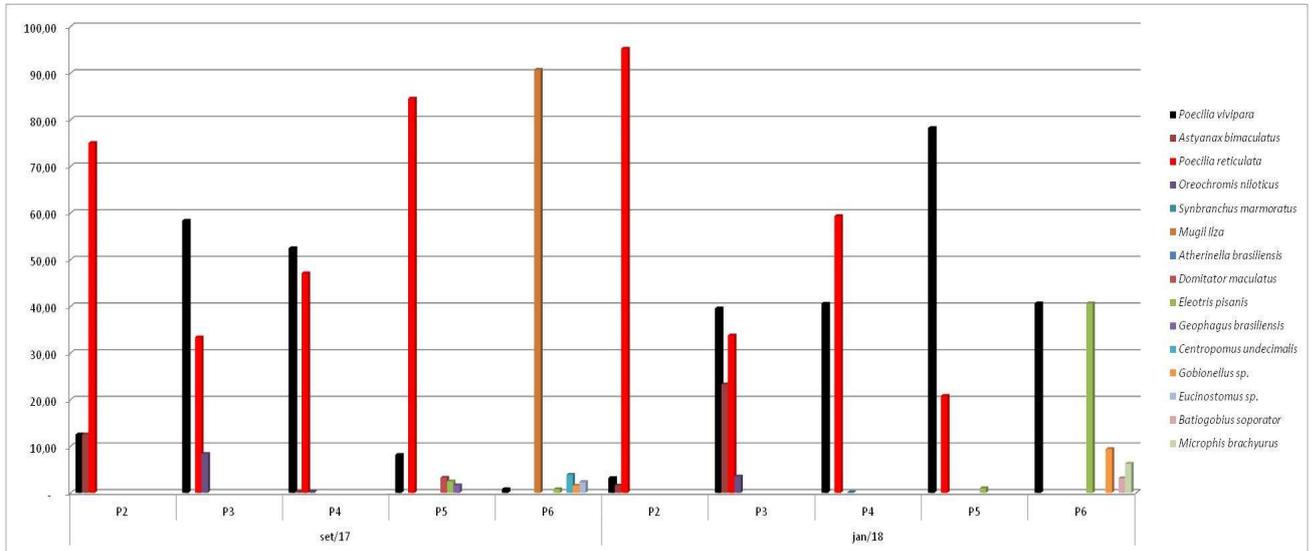


Figura 7. Abundância relativa da Ictiofauna durante os meses de coleta depois da biorremediação no Rio do Cabelo, João Pessoa-PB.

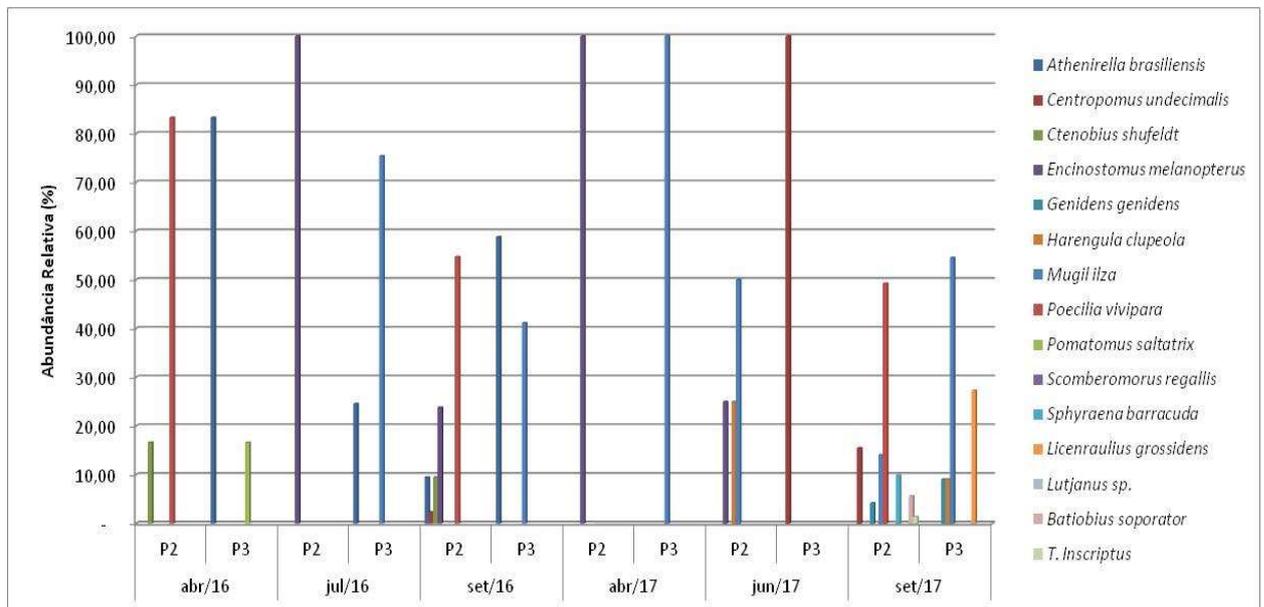


Figura 8. Abundância relativa da Ictiofauna nos pontos durante os meses de coleta do Rio Bucatu-Conde, PB

Depois da biorremediação pode-se dizer que houve uma maior abundância nos pontos P5 e P6 em todos os meses analisados, provavelmente devido à eficiência do biotratamento, o que proporcionou o aumento da oxigenação da água nestes pontos (Figura 7).

De acordo com a Figura 8 foi verificado que houve alterações com relação à dominância entre as espécies coletadas no Rio Bucatu, neste caso houve uma sucessão de dominância entre as espécies coletadas no período de chuva (abr/16 e abr/17) no ponto P2. No mês de abr/16 a dominância do ponto P2, foi da espécie *P. vivipara* (83,33%), enquanto que no mês de abr/17 no mesmo ponto, só foram encontrados indivíduos de uma mesma espécie que foi *E. melanopterus*.

No mês de jun/17, também referente à estação chuvosa, foi constatada outra espécie que dominou durante este período, que foi *Mugil ilza*. Foi verificado também que esta variedade de espécies durante estes meses citados, pode estar relacionada com a época reprodutiva desta espécie, visto que o estuário é o local reprodutivo de muitas espécies marinhas.

Verificou-se também uma maior abundância de espécies no mês de set/16 que é referente ao período de estiagem, porém o rio também estava inundado, devido ao fechamento da barra do estuário, o que confirma que pode ter tido a presença de um maior número de espécies que sobe o rio para se reproduzir e acaba ficando preso neste ambiente.

Neste mesmo mês de set/16, houve dominância de *P. vivipara* (54,76%), seguida de *E. melanopterus* (23,80%) no ponto P2, apesar de neste ponto terem sido coletados 5 espécies no total. No mês de jul/16 foram coletados apenas indivíduos de *E. melanopterus*, confirmando mais uma sucessão específica neste ponto (Figura 6).

O mês de set/17, foi o mês que mais teve ocorrência de espécies com predominância de *P. vivipara* no ponto P2 e *M. ilza* no ponto P3, acontecendo o mesmo no período de estiagem no Rio do Cabelo, onde foi verificada a dominância da espécie *P. vivipara* no mês de setembro de 2016, antes do biotratamento.

As várias sucessões na dominância existentes neste ponto, durante os períodos de estiagem e chuvoso, pode ser explicado também pelo período reprodutivo de cada espécie, visto que só foram coletados alevinos. Por outro lado, mudanças na qualidade de água poderão favorecer ou não a reprodução destas espécies, refletindo-se no número de indivíduos coletados.

Os rios nos estuários apresentam manguezais, que são ambientes propícios para

alimentação e reprodução de peixes. Os peixes encontram no manguezal em busca de disponibilidade de alimentos e refúgio através da complexidade estrutural da área e a relativa turbidez da água, que diminui a eficiência de predadores visuais (ALVES, 2013). Segundo Crook e Robertson (1999), geralmente quanto mais complexas forem as estruturas de um habitat, maior será a diversidade e abundância de espécies.

No ponto P3, foi verificado que a espécie *M. ilza* predominou durante o período de chuva (abr/17 e jun/17) com temperaturas que variaram entre 25 e 29,7°C apesar de haver também uma considerável presença desta espécie no período de estiagem (jul/16 e set/16 e set/17), com temperaturas que variaram entre 25,0 e 26,9°C. Entretanto, foi constatado também neste mesmo ponto no ano anterior, no mês de abr/16 (T=28°C), dominância de *A. brasiliensis* (83,33%), bem como no mês de set/16 (T=25°C) quando esta mesma espécie obteve abundância de 58,82%.

A. brasiliensis possui uma larga distribuição podendo ser encontrada em ambientes marinhos e estuarinos (FROESE e PAULY, 2017). Oliveira (1976) e Irving et al. (1988) registraram a ocorrência da espécie em estuários do Ceará nos rios Jaguaribe e Pacoti, respectivamente; Soares (1988) no litoral do Rio Grande do Norte; Rosa (1980) e Rosa et al. (1997) na costa da Paraíba; Eskinazi (1972), Vasconcelos Filho et al. (1994), Almeida et. al. (1998) e Vasconcelos Filho e Oliveira (2000) no Canal de Santa Cruz, litoral norte de Pernambuco; Koike e Guedes (1981) em arrecifes ao longa da costa pernambucana; Marques (1978) e Costa (1980) no complexo estuarino de Mundaú-Manguaba, em Alagoas; e Lopes et al. (1998) na Bahia, demonstrando a sua presença comum em estuários.

4.3- Diversidade Ecológica

Apesar do uso de índices de diversidade ser pouco utilizado em pesquisas com ictiofauna, pode ser um instrumento importante para o entendimento das assembleias de peixes. Quanto mais semelhantes forem as distribuições de espécies no ambiente, maiores serão os índices de equitabilidade e de diversidade. De acordo com a Figura 7A, os índices de diversidade referentes à ictiofauna do Rio do Cabelo antes e depois do tratamento apresentaram variações com relação aos períodos de chuva e de estiagem.

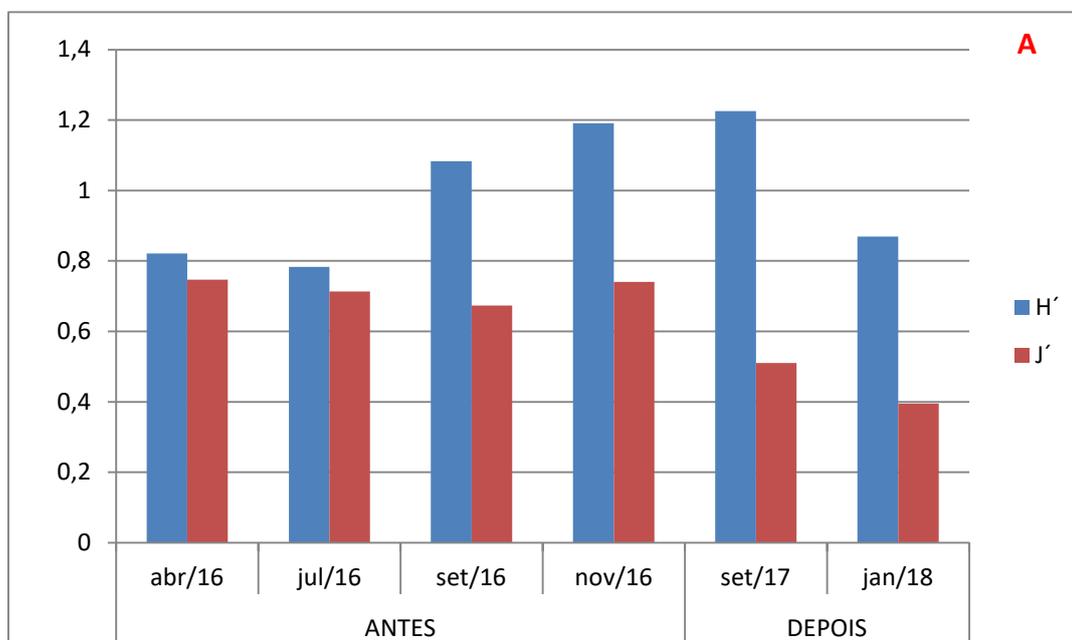
Foi verificado que durante o período de chuva, antes da biorremediação referente aos meses de abr/16 e jul/16, o índice de diversidade de Shannon apresentou valores mais baixos ($H' = 0,82$; $H' = 0,78$ respectivamente), provavelmente devido ao pequeno número

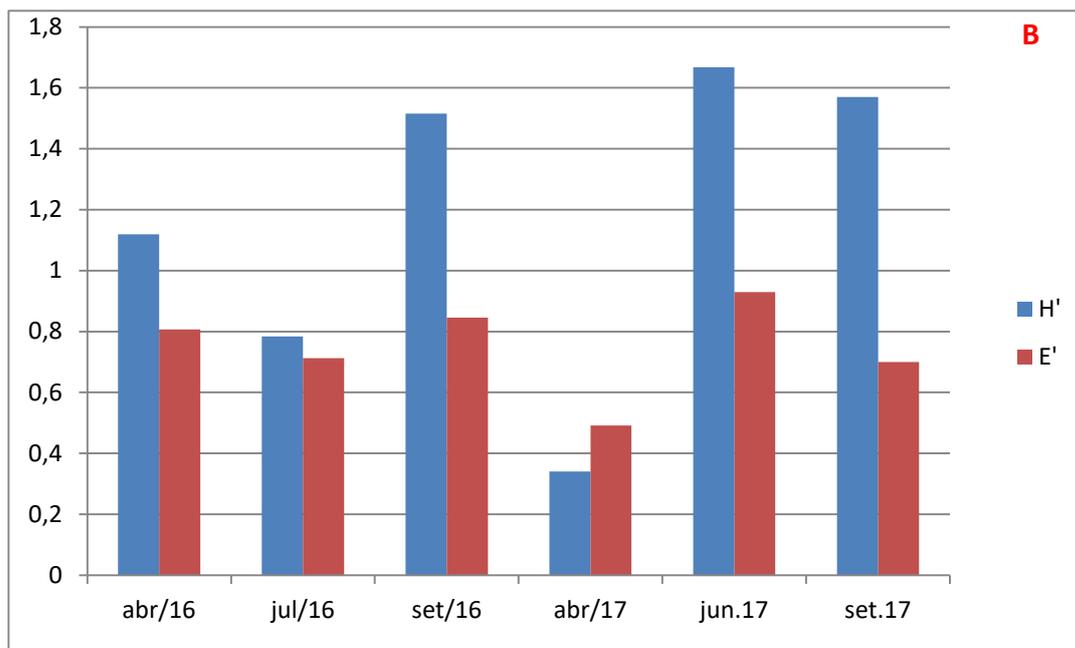
de espécies que ocorreu. No período de estiagem aumentou um pouco o índice de diversidade relacionado com a equitabilidade.

Logo após a biorremediação (set/2017) verificou-se um aumento no índice de biodiversidade, mas que baixou em janeiro de 2018 (Fig.9A.) Isso pode ser o resultado de novos arranjos na assembleia de peixes, que podem necessitar de mais tempo para alcançar um novo equilíbrio, e ainda o reflexo da dominância das espécies *P.reticulata* e *P.vivipara*, que ainda dominaram a assembleia de peixes. É possível que com a instalação de predadores, se alcance um novo equilíbrio, com o controle de espécies de presas. Além disso, o aumento do índice de diversidade em set/16 e diminuição do mesmo em jan/18, podendo ser devido a diferenças entre períodos reprodutivos de peixes, adicionando mais indivíduos e espécies em determinados períodos do ano.

O Rio Bucatu apresentou índices de diversidade e de equitabilidade mais elevados que no Rio do Cabelo, mesmo pós o biotratamento, o que demonstra que o primeiro rio apresenta maior equilíbrio na sua assembleia íctica.

Figura 9. Índices de diversidade de Shannon(H') e Equitabilidade (J') antes e depois da biorremediação no Rio do Cabelo(A); e do Rio Bucatu(B).





Com relação ao índice de Equitabilidade, antes do biotratamento foi constatado que neste mesmo período os valores foram de $J=0,75$ e $J=0,71$, respectivamente. Apesar da dominância das espécies *P.vivipara* e *P. reticulata*, o índice de equitabilidade pode ser interpretado para este período como uma tendência à uniformidade. Já nos meses de set/16 e nov/16 que correspondem ao período de estiagem, os índices de diversidade de Shannon tiveram valores mais elevados ($H'=1,08$; $H'=1,19$) respectivamente, apesar de ainda ser considerado baixo. Este fato foi devido à presença de um maior número de espécies.

Entretanto nos meses referentes a depois do biotratamento, foi verificado um aumento significativo no número de espécies no mês de set/17, o que contribuiu para o aumento do índice de biodiversidade ($H'=1,22$), e uma assembleia mais heterogênea de acordo com o índice de equitabilidade nos meses de set/17 e jan/18 ($J'=0,51$; $J=0,39$). Isso pode ser o resultado de uma tentativa de um novo ponto de equilíbrio.

Os valores dos índices de diversidade para a ictiofauna do Rio Bucatu, foram mais elevados em relação ao Rio do Cabelo, provavelmente por se tratar de um ambiente mais preservado e com uma boa qualidade ambiental e por ter mais tempo com essas condições. Maiores valores do índice de diversidade revelam uma biota mais equilibrada, o que foi possível registrar na assembleia de peixes, o que demonstra a utilidade desta assembleia na avaliação de ambientes impactados ou não (Figura 9B). Os maiores valores do índice de diversidade de Shannon foram registrados tanto no período de estiagem de 2016,

referente ao mês de setembro ($H' = 1,52$), como no mês de chuva, junho de 2017 ($H' = 1,67$) Em abril de 2017 (período chuvoso) foram registrados os mais baixos valores tanto de índice de diversidade como de equitabilidade.

Resultados semelhantes aos encontrados neste trabalho, foram registrados no Rio Gramame-PB, que no período de chuva, os índices de diversidade de Shannon foram menores de $H'=1,307$ e $H'=1,538$, a jusante e a montante do reservatório do Rio Gramame (SOUZA, 2013).

Segundo Teixeira (2005), um maior número de espécies de peixes pode ser encontrado em períodos de chuva, devido ao grande aporte de matéria orgânica e sedimentos originados do lixiviamento do solo pelas enxurradas, favorecendo assim a maior oferta de alimentos, o que pode também estar associado não somente com a pluviosidade, mas também quando o estuário está fechado e inundando as áreas marginais, aumentando assim o número de microhabitats.

Teixeira (2005), registrou no Rio Paraíba do Sul, índices de diversidade de Shannon maiores no período chuvoso. Outros trabalhos como os de Melo (2007) ressaltaram que os índices de Shannon foram mais elevados no período de chuva, no Rio das Mortes, Mato Grosso-MT.

Em um trabalho realizado em locais impactados do Rio Paraíba do Sul por Teixeira (2004) verificou-se uma maior abundância de uma única espécie que foi a *Tilapia rendalli*, o que contribuiu para a diminuição dos valores de equitabilidade, principalmente no período das chuvas.

Os mais baixos valores de diversidade de Shannon da ictiofauna do Rio Bucatu, foram registrados no mês de jul/16 ($H'=0,78$) e abr/17 ($H'=0,34$) devido ao baixo número de espécies coletadas, apresentando maior dominância de uma única espécie, fazendo o índice de diversidade de Shannon cair. Este fato acontece quando o estuário deste rio está fechado impedindo a entrada de outras espécies para se reproduzir ou se alimentar.

Com relação ao índice de equitabilidade, os resultados mostraram que os valores foram mais baixos nos meses de jul/16 ($E'=0,71$) e abr/17 ($E'=0,49$), devido à presença significativa da espécie *M. liza*, indicando que a assembleia de peixes nestes meses se apresentou menos homogênea. Nos demais meses, foram registrados valores de equitabilidade, mais elevados, devido à presença de várias espécies principalmente nos meses de set/16 e jun/17, mostrando assim, de acordo com os resultados analisados, que a assembleia de peixes encontrava-se mais diversificada e heterogênea, quando o estuário estava fechado.

4.4. Similaridade entre os dois ambientes

Os índices de similaridade revelam aspectos interessantes no que diz respeito às variâncias (semelhanças ou diferenças) que ocorrem na ictiofauna, tanto espacialmente como temporalmente, no mesmo biótopo ou entre biótopos diferentes. Porém, a fragilidade destas análises ocorre em função de numerosos fatores que interferem nas comunidades tais como migrações ou piracemas, variação nictemeral ou temporal, ou ainda de aparelhos de captura e metodologias utilizadas, bem como da atividade humana sobre o ambiente (VIEIRA, 2000; LEMES e GARUTTI, 2002;).

De acordo com a Figura 10, a similaridade mostrou que houve diferenças com relação à composição e à abundância das duas assembleias da ictiofauna, tendo sido constatada a presença de três grupos distintos.

No primeiro grupo, que é o maior, estão incluídos a maioria dos pontos de coleta do Rio do Cabelo, os que foram mais semelhantes foram os pontos RCD4, RCD5, RCD2 e RCD3 por terem sido encontrados um maior número de espécies, apesar de ter havido uma predominância da espécie *P. vivipara* nestes locais. Neste mesmo grupo teve a presença do ponto RB2 referente ao Rio Bucatu, que teve um valor mais alto de similaridade. O ponto RB2 esteve associado aos pontos ripários do Rio do Cabelo, pela presença de espécies características de ambientes dulcícolas, mas apresentou maior distância destes outros, revelando que a qualidade ambiental deve ser diferente.

O Segundo grupo foi formado pela ictiofauna semelhante nos pontos antes da biorremediação, onde os mais semelhantes foram RCA3, RCA4, RCA2 e RCA5.

O Terceiro grupo foi formado pelos pontos que se referem aos estuários dos dois rios, RCA6, RCD6 e RB3 em que as espécies *M. liza* e *A. brasiliensis* contribuíram em sua grande maioria para que houvesse tal semelhança entre as duas comunidades ictiofaunísticas, porém o valor de similaridade entre estes e os demais pontos foi mais elevado mostrando maior semelhança.

O fato do índice de similaridade separar as características da ictiofauna antes e depois da biorremediação, revela que o biotratamento induziu alterações nessa assembleia grandes o suficiente para serem detectadas nesta análise.

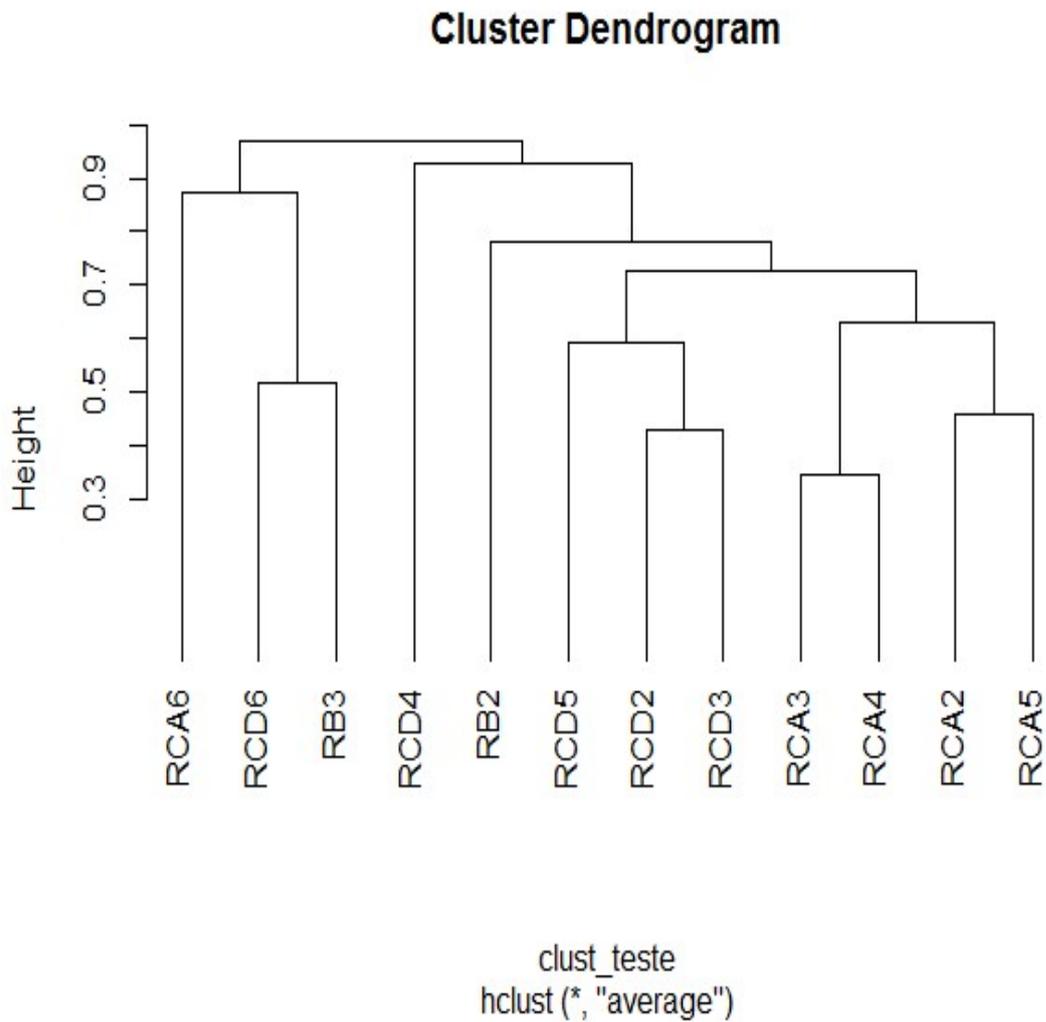


Figura 10. Similaridade de Jaccard entre a ictiofauna presente nos pontos de coleta dos rios do Cabelo-João Pessoa-PB e Bucatu-Conde,PB; RCA (Rio do Cabelo Antes); RCB (Rio do Cabelo Depois) e RB (Rio Bucatu)

Existem diferenças entre a ictiofauna dos dois rios estudados, entretanto as semelhanças são maiores naqueles pontos em que ocorre a presença de espécies constantes, principalmente no Rio do Cabelo.

Resultados semelhantes foram encontrados por Santos (2002) em duas planícies de maré na baía de Paranaguá-PR, em que a diferença entre as ictiofaunas esteve relacionada com a ocorrência de espécies raras e esporádicas, além da ocorrência de diferentes quantidades de espécies comuns aos dois ambientes, o que contribuiu para a significativa similaridade.

4.5. Índice de Dominância de Simpson

De acordo com a figura 11, foi verificado que o índice de dominância entre as espécies de peixes do Rio do Cabelo antes da biorremediação foi de $D=0,43$ foi um pouco maior com relação a depois do tratamento que foi de $D=0,41$ e que no Rio Bucatu foi ainda menor, o que revela maior equilíbrio na ictiofauna.

Estes resultados comprovam que apesar da maior diversidade encontrada após a instalação do biotratamento, as espécies *P.vivipara* e *P. reticulata* que tiveram uma presença significativa também em outros pontos ao longo do percurso do rio, contribuíram para um médio índice de dominância neste ambiente nos dois levantamentos. É possível que esta situação se modifique ao longo do tempo, caso haja e instalação de espécies piscívoras na assembleia, os quais já foram registradas através das espécies *E.pisonis* e *D. maculatus*, ambas piscívoras que poderão controlar melhor estas espécies, diminuindo a sua dominância e permitindo a instalação de outras espécies de presas.

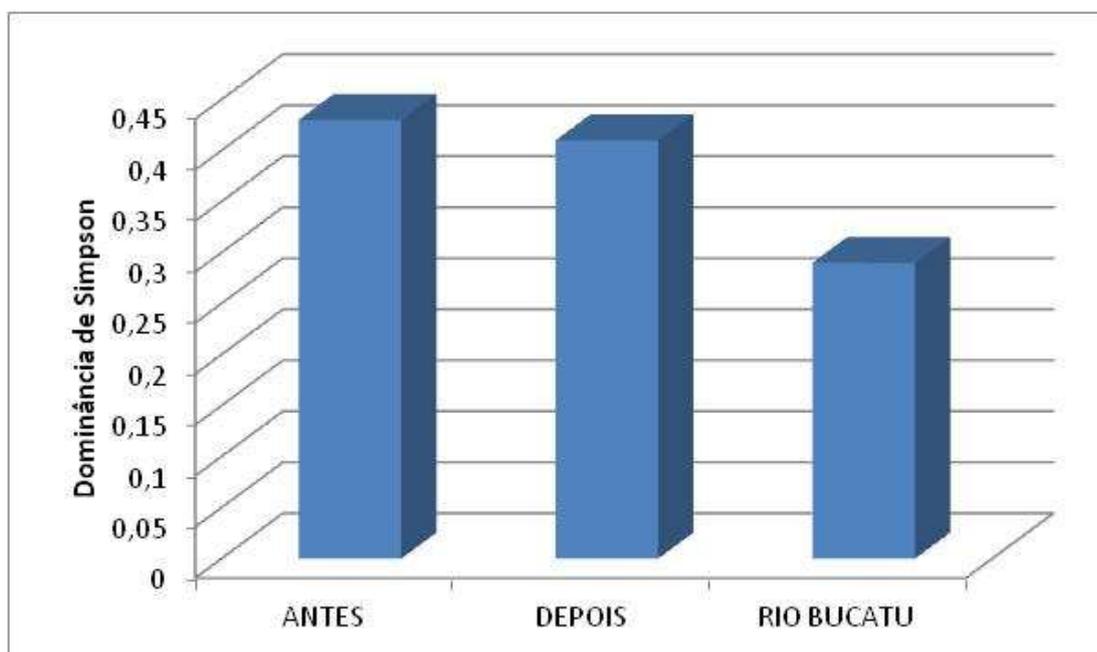


Figura 11. Índice de Dominância de Simpson antes e depois do tratamento com biorremediação no Rio do Cabelo e no Rio Bucatu

4.6. Espécies Bioindicadoras de Qualidade de Água

Em se tratando de ambientes aquáticos, os peixes são excelentes bioindicadores de qualidade de água, por serem sensíveis a diversos distúrbios que ocorrem em um determinado ecossistema, além disso, são sensíveis às mudanças físicas e químicas da água, podendo assim fornecer uma maior quantidade de informações no que diz respeito à qualidade ambiental (SOUZA, 2013).

Na tabela 3 estão apresentados os valores das espécies indicadoras (Indval), o percentual apresentado, sendo superior a 50% demonstra que a espécie é boa indicadora.

Para o Rio do Cabelo, já com espécies que apareceram após a biorremediação, foram constatadas três espécies que são mais resistentes à má qualidade da água, que nesse caso foram a *P. reticulata* (93%) e *P. vivipara* (96%) e *A. bimaculatus* (75%). Porém observou-se uma grande variedade também de espécies indicadoras, de diversos habitats que estão inseridos ao longo do Rio do Cabelo.

Quanto maior for o número de espécies indicadoras em determinado ambiente, maior será a tendência desse ambiente a ser um ecossistema com habitats e microhabitats mais estáveis, podendo dessa forma sustentar uma maior riqueza específica (CARVALHO, 2015).

Apesar da grande variedade de espécies indicadoras, as espécies *P. reticulata* e *P. vivipara* ainda aparecem como sendo indicadoras de ambientes degradados, devido ao fato destas serem resistentes a baixas concentrações de oxigênio dissolvido na água, o que pode estar relacionado com o grande número de indivíduos coletados no ponto P4, onde foi obtido uma menor concentração de oxigênio dissolvido na água.

Apesar das alterações neste ambiente, causados pela inserção de esgotos *in natura*, as espécies nativas ainda têm encontrado habitats para a sua sobrevivência. Por outro lado, a abundância de espécies exóticas como *P. reticulata* pode ser um sinal de que elas estejam competindo pela exploração do ambiente e seus recursos

Assim, a comunidade íctica é considerada excelente bioindicadora de qualidade de água por ser sensível a distúrbios em um ecossistema, como mudanças físicas e químicas da água, fornecendo grande quantidade de informações no que diz respeito à qualidade ambiental (SOUZA, 2013) e nesta pesquisa isso foi corroborado.

Com relação ao Rio Bucatu que está sendo usado como controle, pode-se observar também uma variedade de espécies indicadoras como *A. brasiliensis*, *M. ilza*, *E. melanopterus*, *Centropomus undecimalis* e *P. vivipara*, se assemelhando com a variedade

de espécies bioindicadoras do Rio do Cabelo após a biorremediação, sendo assim pode-se dizer que o sistema de biotratamento foi eficaz para o aparecimento de novas espécies que não apareciam antes do experimento, algumas com o potencial de bioindicação ambiental. Dessa forma, verifica-se que o índice de indicação de espécies pode também ser uma ferramenta de qualidade ambiental.

Tabela . 3. Índice de Indicação de espécies(Indval) dos rios do Cabelo antes e depois da biorremediação e Bucatu

Espécies	Rio do Cabelo(ANTES)	Rio do Cabelo(DEPOIS)	Rio Bucatu	Características Ecológicas	Referência
<i>Athenirella brasiliensis</i>	0	100	100	Abundante em estuários conservados	Santos (2012)
<i>Astyanax bimaculatus</i>	28	75	16	Resistente a baixos níveis de oxigênio	Fisch (2016)
<i>Batigobius soporator</i>	0	100	0	Espécie de águas rasas, detritívora.	Vieira 2007
<i>Eucinostomus melanopterus</i>	0	6	100	Abundante em estuários conservados	Fisch(2016)
<i>Eleotris pisonis</i>	0	100	0	Associado a mata ciliar, galhos, etc	Santos (2012)
<i>Mugil liza</i>	0	100	100	Abundante em estuários conservados	Silva(2013)
<i>Oreochromis niloticus</i>	19	50	9	Resistente a baixos níveis de oxigênio	Fisch(2016)
<i>Dormitator maculatus</i>	0	25	0	Espécie de águas rasas	Souza(2013)
<i>Poecilia reticulata</i>	100	96	0	Resistente a baixos níveis de oxigênio	Souza(2013)
<i>Poecilia vivipara</i>	99	93	50	Resistente a baixos níveis de oxigênio	Souza(2013)
<i>Gobionellus sp.</i>	0	100	0	Espécie de águas rasas, detritívora.	Fisch (2016)
<i>Centropomus undecimalis</i>	0	100	100	Período reprodutivo em estuários	Fisch (2016)
<i>Geophagus brasiliensis</i>	0	23	0	Resistente a baixos níveis de oxigênio	Fisch (2016)
<i>Synbranchus marmoratus</i>	0	25	0	Espécie de águas rasas	Vieira 2007
<i>Microphis brachyurus</i>	0	100	0	Período reprodutivo em estuários	Fisch(2016)
<i>Ctenobius shufeldt</i>	0	0	20	Espécie de águas rasas	Vieira 2007
<i>Genidens</i>	0	0	25	Espécie de águas rasas, detritívora.	Fisch (2016)

<i>Harengula chupeola</i>	0	0	10	Período reprodutivo em estuários	Fisch(2016)
<i>Pomatomus saltatrix</i>	0	0	20	Período reprodutivo em estuários	Fisch(2016)
<i>Scomberomorus regallis</i>	0		20	Período reprodutivo em estuários	Fisch(2016)
<i>Sphyraena barracuda</i>	0	0	30	Período reprodutivo em estuários	Fisch(2016)
<i>Licenraulus grossidens</i>	0	0	10	Abundante em estuários conservados	Silva(2013)
<i>Lutjanus sp.</i>	0	0	10	Abundante em estuários conservados	Silva(2013)
<i>Batiobius soporator</i>	0	0	10	Espécie de águas rasas	Souza(2013)
<i>T. Inscriptus</i>	0	0	10	Espécie de águas rasas	Souza(2013)

5. CONCLUSOES

- ✓ Conclui-se que a diversidade de espécies da ictiofauna do Rio do Cabelo aumentou consideravelmente à medida que as condições ambientais foram melhorando, principalmente nos pontos onde estava instalado o biofilme e no ponto do estuário.
- ✓ Com relação à similaridade entre os dois ambientes, pode-se dizer que a dominância da espécie *Poecilia vivipara* e *Poecilia reticulata* na ictiofauna do Rio do Cabelo, contribuiu significativamente para a similaridade entre os pontos deste ambiente, o que pode estar relacionado com a tolerância desta espécie a ambientes degradados pela poluição, sendo consideradas assim espécies boas indicadoras de poluição.
- ✓ Conclui-se também que após o tratamento com a biorremediação, a composição ictiofaunística em alguns pontos do Rio do Cabelo se assemelhou com a do Rio Bucatu, o qual foi tomado como controle por ser mais conservado.
- ✓ Conclui-se ainda que ferramentas como os índices ecológicos podem ser usados para auxiliar na avaliação de qualidade de água em rios, e neste comparativo o Rio Bucatu demonstrou ser adequado como meta a atingir.
- ✓ A hipótese 1 foi aceite, o Rio do Cabelo apresenta porções em que não tem espécies ou só apresenta espécies resistentes à poluição.

- ✓ A hipótese 4 foi aceita, índices ecológicos da assembleia íctica podem também ser indicadores de qualidade ambiental.

6. CONCLUSÕES FINAIS

- ✓ O biotratamento BioMac demonstrou ser uma forma de baixo custo e eficiente de restauração de rios, inclusive de rios urbanos, impactados por esgotos domésticos;
- ✓ O Rio Bucatu apesar de apresentar melhor qualidade de água que o rio do Cabelo antes do biotratamento, após a restauração ainda apresentou qualidade ambiental inferior ao Rio do Cabelo restaurado, demonstrando que novos modelos de rios conservados devem ser estudados.
- ✓ O Rio Bucatu apresentou-se mais adequado como ambiente “meta a atingir” em relação à assembleia de peixes que na qualidade de água, é possível que a reentrada de espécies seja mais lenta, que as modificações na qualidade de água, isto mostra que as espécies não estão apenas relacionadas com a qualidade ambiental, mas terão de se readaptar também a interações interespecíficas, como competição e predação, podendo levar mais tempo para reencontrar um novo equilíbrio ambiental.
- ✓ O resultado da restauração do Rio do Cabelo com o biotratamento BioMac foi promissor, e pela sua facilidade de instalação, associado ao baixo custo, deve servir de modelo para ser replicado em outros rios urbanos ou não.
- ✓ A ictiofauna pode ser usada como indicadora de qualidade ambiental, principalmente em relação à biodiversidade presente, incluindo espécies indicadoras de qualidade ambiental, assim como os índices ecológicos.
- ✓ O índice de indicação de espécies mostrou ser representativo de Qualidade Ambiental apresentando menor número de espécies indicadoras no Rio do Cabelo em condições mais poluídas, associadas a ambientes poluídos e mais espécies indicadoras no Rio do Cabelo restaurado, associadas com ambientes mais conservados.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho faz parte de um projeto maior da doutoranda Flávia Martins, a qual continuará com este projeto por mais tempo, avaliando as condições da qualidade da água do Rio do Cabelo, após a instalação das estruturas de biotratamento.

No entanto, já foi possível registrar muitas alterações no rio, que se refletiram no aumento da transparência da água, visível a olho nu. Isso permitiu que mais espécies marinhas adentrassem o estuário para reprodução, o que explica o aumento de espécies no P6. Isso é extremamente relevante, porque demonstra a importância de melhorar um rio, para a reprodução de espécies marinhas.

Este trabalho prova que é possível melhorar a qualidade de água de rios a baixo custo, utilizando a própria biota presente, como o biofilme e macrófitas, de maneira a tornar o ambiente mais adequado à presença de espécies de peixes, que muitas delas são sensíveis à qualidade ambiental e no caso de rios poluídos, deixam de entrar nos seus estuários.

Desta forma, está comprovado que a assembleia íctica é uma boa indicadora ambiental, podendo ser utilizada em monitoramento de qualidade de água, de forma a contribuir com planos de gestão de corpos hídricos.

O uso de biotratamento com BioMac é uma forma de restauração em rios urbanos que deveria ser aplicada a todos os rios poluídos, permitindo assim que esses ecossistemas aquáticos melhorassem a sua qualidade, de forma a garantir a prestação de serviços ecossistêmicos, entre eles a pesca e a recreação com melhor qualidade e garantia de um melhor ambiente, menos contaminado, com benefícios ambientais e sociais.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, A. ; MOURA, F.E.; CRUZ, C.L.; DESTEFANI, V. Impactos Ambientais no Ribeirão Suruquá Trecho Entre o Município de Paranavai e Tamboara (PR). Resumo Expandido. **Anais da XXII Semana de Geografia da FAFIPA**. 18-23 p. Universidade Estadual do Paraná. UNESPAR- PR 2013
- ALMEIDA, Z. S.; ACIOLI, F. A.; VASCONCELOSFILHO, A. L. Levantamento da Ictiofauna na área de Itapissuma (Itamaracá-PE). **Pesq. Foco**, São Luís, v. 6(7): 79-107, 1998
- ARAÚJO, R.R.A.; SOUZA, M.J.; LIMA, D.C.R.; Diversidade da Fauna Aquática do Estuário do Rio Japarutuba, Estado do Sergipe, Brasil. **Acta Fish. Aquat. Res.** 5 (1): 33-42.p. 2017.
- BRITISKI, H.A.; SATO, Y.; ROSA, A.B.S. **Manual de identificação de peixes da região de Três Marias (Com chaves de identificação para os peixes da Bacia do Rio São Francisco)**. CODEVASF, Divisão de Piscicultura e Pesca. Brasília/DF. 143p. 1984
- BRASIL. **Gestão dos Recursos Naturais: subsídios à elaboração da Agenda 21 Brasileira**. Brasília, 2000.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução n. 12, de 19 de junho de 2000**. Brasília, 2000b.
- BARRILI, C.H.G.; **Indicadores Físicos, Químicos e Biológicos Da Integridade Ambiental em seis Córregos da porção superior da Bacia do Rio Monjolinho**. São Carlos-SP. Dissertação. 93p. São Carlos –SP.2014
- BLABER, S.J.M.. **Tropical estuarine fishes: ecology, exploitation and conservation**. Queensland, Australia Blackwell Science, 372p. 2000
- CASATTI, L., R. ROMERO, F.B. TERESA, J. SABINO & F. LANGEANI. Fish community structure along a conservation gradient in Bodoquena Plateau streams, central West of Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, 22(1): 50-59. 2010.
- CAMARGO, M. & ISAAC, V. Food categories reconstruction and feeding consumption estimatives for the Sciaenids *Macrodon ancylodon* (Bloch & Schneider), and the cogenetic fishes *Stellifer rastrifer* (Jordan) e *Stellifer naso* (Jordan) (Pisces, Perciformes) in the Caeté Estuary, Northern Coast of Brazil. **Rev. Bras. Zool.** 21(1): 85-89. 2004

COSTA, F. **Documentário da ictiofauna, região das lagoas Mundaú-Manguaba. Projeto de levantamento ecológico-cultural, 2ª etapa.** Maceió CDT/SEPLAN/ Governo do Estado de Alagoas, 1980. 200 p

CUNICO.M; AGOSTINHO,A.A; LATINI,J.D.; Influência da urbanização sobre as assembleias de peixes em três córregos de Maringá – PR. **Revista Brasileira de Zoologia** 23 (4): 1101–1110, 2006

COLWELL, R.K. **User's guide to Estimate S5 statistical. Estimation of species richness and shared species from samples.** Version 7.0.0. 1994-2004.

CROOK, D. A.; ROBERTSON, A. I. Relationships between riverine fish and woody debris: implications for lowland rivers. **Marine and Freshwater Research**, v. 50, n. 8, p. 941-953, 1999

DAGA, V.S.; GUBIANI, É.A.; CUNICO, A.M.;BAUMGARTNER, G..Effects of abiotic variables on the distribution of fish assemblages in streams with different anthropogenic activities in southern Brazil. **Neotropical Ichthyology**,10(3); 643-652. 2012

DAY JR. W.; HALL, C.A.S.; KEMP, W.M.; YÁÑEZ-ARANCÍBIA. **Estuarine Ecology.** New York: Wiley, 558 p 1989

DUFRENE, M.; P. LEGENDRE. Species assemblages and indicator species: The need for a flexible asymmetrical approach. **Ecological Monographs**, 67:345-366. 1997.

DYER, S.D.; PENG C.; MCAVOY, D.C.; FENDINGER, N.J.; MASSCHELEYN, P.; CASTILHO L.V. & LIM, J.M.. The influence of untreated wastewater to aquatic communities in the Balatuin River, the Philippines. **Chemosphere**, Kidlington, 52: 43-53. 2003.

FRANCHINI, C.; GOMES,A.G.; Avaliação do fluxo hidrológico dos rios Lajeado Bonito e Limeira comparando atividades urbanas e rurais sobre a qualidade da água. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**.Vol.13(1).2017

FREITAS C.E.C.; SOUZA-SIQUEIRA K.F; O uso de Peixes como Bioindicador Ambiental em Áreas de Várzea da Bacia Amazônica. **Rev. Agrogeoambiental**. 39-45p. 2009

FARIAS, M.S.S. **Monitoramento da qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio do Cabelo**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) 178p UFCG- Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, 2006.

FROESE, R.; PAULY, D. **World Wide Web electronic publication**. Disponível em: .
Acesso em: 22/08/2017

GALINDO, E. F. **A intersetorialidade como requisito para construção de uma Cidade Saudável: política de Saneamento e de Saúde no Recife (gestão 2001-2004) - Estudo de Caso**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Urbano). Recife, UFPE, 2004.

GODEFROID, R.S.; HOFSTAETTER, M.; SPACH, H.L. Structure of the fish assemblage in the surf zone beach at Pontal do Sul, Paraná. **Nerítica**, 11: 77-93. 1997.

GODEFROID, R.S.; SPACH, H.L.; SANTOS, C.; MACLAREN, G.; SCHWARZ JR., R. Mudanças temporais na abundância e diversidade da fauna de peixes do infralitoral raso de uma praia, sul do Brasil. **Iheringia Série Zoológica**, 94(1): 95-104. 2004.

GOULART, M. & CALLISTO, M. Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. **Revista da FAPAM**, ano 2(1). 2003.

GOMES-FILHO, G. **Characiformes (Actinopterygii: Ostariophysii) das bacias costeiras da Paraíba**. Dissertação. UFPB/DSE. João Pessoa - PB. 1999.

GUARIDO, P. C. P.; **Degradação ambiental e presença de espécies de peixes não nativas em pequenos igarapés de terra firme de Manaus, Amazonas**. Dissertação (Mestrado) ---INPA, Manaus, 57p. 2014.

IRVING, M. A.; OLIVEIRA, A. M. E.; LIMA, H. H. Aspectos bioecológicos do estuário do Rio Pacoti, Ceará, Brasil. **Arq. Ciên. Mar.**, Fortaleza, v. 27:91-100, 1988

KOIKE, J.; GUEDES, D. S. Peixes dos arrecifes de Pernambuco e estados vizinhos. In: ENCONTRO DE ZOOLOGIA DO NORDESTE, 3., Recife, **Anais...** Recife: UFPE, 1981. p. 35.

LEMES, E.M. e V. GARUTTI. Ecologia da ictiofauna de um córrego de cabeceira da bacia do alto rio Paraná, Brasil. **Iheringia, Série Zoológica**, Porto Alegre, 92 (3): 69-78. 2002.

LIRA, WS. e CÂNDIDO, GA., orgs. **Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa** [online]. Campina Grande: EDUEPB, 2013, 325p.

LOPES, P. R. D; OLIVEIRA-SILVA, J. T.; FERREIRA-MELO, A. S. A. Contribuição ao conhecimento da ictiologia do manguezal de Cacha de Pregos, Ilha de Itaparica, Baía de Todos os Santos, Bahia. **Revista Brasileira de Zoologia**, Curitiba, v. 15, (2): 315-325, 1998

MARQUES, J. G. W. **Levantamento da ictiofauna estival do complexo estuarino de Maceió**. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 90 f. 1978

MELO, L.T.; GARRO-TEJERINA.L.F. e MELO E.C.; Diversidade Biológica da Comunidade de Peixes no Baixo Rio das Mortes, Mato Grosso, Brasil. **Rev. Bras. De Zoologia**. 24(3):67-66. 2007

MENEZES, N.A.; FIGUEIREDO, J.L. **Manual de peixes marinhos do sudeste do Brasil. IV. Teleostei (3)**. Museu de Zoologia, Universidade de São Paulo. São Paulo. v. 4 (3) 96p. 1980

NOGUEIRA, Daniela. **Participação e Reconhecimento na Organização Social em torno da Gestão de Recursos Hídricos: uma análise comparada da Bacia do Rio das Velhas/MG e da Bacia do Rio dos Sinos/RS**. Dissertação (Mestrado em Ciência Política). Brasília, UnB, 2004.

PLOEG, A. **Revision of the South American cichlid genus *Crenicichla* Heckel, 1840, with description of fifteen new species and consideration on species groups, phylogeny and biogeography (Pisces, Perciformes, Cichlidae)**. Univ. Amsterdam, Netherlands. P.1- 153. 1991

PESSANHA, A.L.M. & ARAÚJO, F.G. Spatial, temporal and diel variations of fish assemblages at two sandy beaches in the Sepetiba Bay, Rio de Janeiro, Brazil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 57: 817-828. 2003.

PINTO-COELHO, R.M. **Fundamentos em Ecologia**. Porto Alegre: Artmed Ed. 252p. 2000.

PINTO, B.C.T. & ARAÚJO, F.F.G. Assessing of Biotic Integrity of the Fish Community in a Heavily Impacted Segment of a Tropical River in Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**. 50(3): 489-502. (2007).

- OLIVEIRA, D.C. & BENNEMANN, S.T. Ictiofauna, recursos alimentares e relações com as interferências antrópicas em um riacho urbano no sul do Brasil. **Biota Neotropica**, 5(1). 2005.
- ROCHA, L.A.; BASS, A.L.; ROBERTSON, D.R.; BOWEN, B.W. Adult habitat preferences, larval dispersal, and the comparative phylogeography of three Atlantic Surgeonfishes (Teleostei: Acanthuridae). **Molecular Ecology**, 11: 243-252. 2002.
- ROSA, R. S. Lista sistemática de peixes marinhos da Paraíba (Brasil). **Rev. Nordestina Biol.**, João Pessoa, v. 3, (2):205-226, 1980
- ROSA, R. S.; ROSA, I. L.; ROCHA, L. A. Diversidade da ictiofauna de poças de maré da praia do Cabo Branco, João Pessoa, Paraíba, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, Curitiba, v. 14 (1):201-212, 1997
- SPACH, H.L.; GODEFROID, R.S.; SANTOS, C.; SCHWARZ JR., R.; QUEIROZ, G.M.L.N. 2004 Temporal variation in fish assemblage composition on a tidal flat. **Brazilian Journal Oceanography**, 52(1): 47-58.
- SASSI, R.; OLIVEIRA, B.R. ; ARAÚJO, M.E.; MOURA G. F.; MELO, J.A.; MELO, G.N. **Estudo integrado das lagoas costeiras do Estado da Paraíba**. João Pessoa. 1997(Relatório Técnico Final)
- SOUZA, J. E. R. T. **Ictiofauna e bioacumulação de metais pesados na cadeia trófica, Rio Gramame, Bacia do Rio Gramame Paraíba**. 201p. Tese - - Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa 2013
- SOUZA, F.. Relação entre parâmetros ecológicos e qualidade ambiental em três córregos na Bacia do Alto Rio Paraná. **Biotemas**. v.26 (4):101- 110, dez. 2013
- SUAREZ, R.Y.; PETRERE JR, M.; Gradientes de diversidade nas comunidades de peixes da bacia do rio Iguatemi, Mato Grosso do Sul, Brasil. **Iheringia, Sér. Zool.**, Porto Alegre, 96(2):197-204, 2006
- SANTOS, C.; SCHWARZ, R. OLIVEIRA-NETO, F.J.; SPACH, L.H.; A Ictiofauna em Duas Planícies de Maré do Setor Euhalino da Baía de Paranaguá, PR. **Boletim do Instituto de Pesca, São Paulo**, 28(1): 49-60p. 2002
- TEIXEIRA, T. P.; TERRA, B. de F.; ESTILIANO, E. O.; GRACIA, D.; PINTO, B. C. T. e ARAÚJO, F. G. de. Distribuição da ictiofauna em locais impactados no rio Paraíba do Sul. **Revista Universidade Rural: Série Ciências da Vida**, Seropédica, RJ: EDUR, v. 24 (2): 167-174, jul.-dez., 2004

VARI, R. P. Systematics of the Neotropical Characiform genus *Steindachnerina* Fowler (Pisces: Ostariophysii). *Smithonian Contributions to Zoology*, n. 507, 118p. 1991.

VASCONCELOS FILHO, A. L.; OLIVEIRA, A. M. E. Ictiofauna. p. 143-154. In: BARROS, H. M. et al. (Eds.). **Gerenciamento participativo de estuários e manguezais**. Recife: Ed. Universitária, UFPE, 2000.

VASCONCELOS FILHO, A. L.; CAVALCANTI, E. F.; SOUZA, S. T. Composição e distribuição da fauna ictiológica no Canal de Santa Cruz (Parte Sul - Itamaracá - Pe). **Revista Nordestina de Zoologia**, v. 1(1): 247-262, 1994.

VIEIRA, B.D.; SHIBATTA, A.O.; Peixes como Indicadores da Qualidade Ambiental do Ribeirão Esperança, Município de Londrina, Paraná, Brasil. **Biota Neotropica** v7 (1). 2007.

VIEIRA, T.B. **Influência da mata ripária na estrutura das assembleias de peixes de riachos da Bacia do Alto Rio Paraná em Goiás, Brasil**. Dissertação (Mestrado), Instituto de Ciências Biológicas Universidade Federal de Goiás, , Goiânia, 64p. 2011.