UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

JONATHAS BARBOSA DE ARAÚJO FREITAS

CARACTERIZAÇÃO DA ZONA HIPORREICA NO TRECHO MÉDIO DO RIO BEBERIBE CONSIDERANDO ASPECTOS BIOLÓGICOS E SEDIMENTOLÓGICOS

Recife
2018

JONATHAS BARBOSA DE ARAÚJO FREITAS

CARACTERIZAÇÃO DA ZONA HIPORREICA NO TRECHO MÉDIO DO RIO BEBERIBE CONSIDERANDO ASPECTOS BIOLÓGICOS E SEDIMENTOLÓGICOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.
Área de Concentração: Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral
Coorientador: Prof. Dr. Paulo Jorge Parreira dos Santos

Recife

2018

Catalogação na fonte
Bibliotecária Valdicèa Alves, CRB-4 / 1260

F866c Freitas, Jonathas Barbosa de Araújo.
Caracterização da zona hiporreica no trecho médio do rio Beberibe considerando aspectos biológicos e sedimentológicos / Jonathas Barbosa de Araújo Freitas - 2018.
145folha; Il.; Tab.;Abr. e Sig.

Orientador: Prof. Dr. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral
Coorientador: Prof. Dr. Paulo Jorge Parreira dos Santos

Dissertação (Mestrado)– Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação Engenharia Civil, 2018.
Inclui Referências.

1. Engenharia Civil. 2. Filtração em margem 3. Zona hiporreica. 4. Interação rio-aquífero. 5. Meiofauna. 6. Microfitobentos. Sedimentologia. I. Cabral, Jaime Joaquim da Silva Pereira. (Orientador). II. Santos, Paulo Jorge Parreira dos(Coorientador). III. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.) BCTG/2018-109

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

A comissão examinadora da Defesa de Dissertação de Mestrado

CARACTERIZAÇÃO DA ZONA HIPORREICA NO TRECHO MÉDIO DO RIO BEBERIBE CONSIDERANDO ASPECTOS BIOLÓGICOS E SEDIMENTOLÓGICOS

defendida por

Jonathas Barbosa de Araújo Freitas

Considera o candidato APROVADO

Recife, 20 de fevereiro de 2018

Orientador - Prof. Dr. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral – UFPE
Coorientador - Prof. Dr. Paulo Jorge Parreira dos Santos - UFPE

Banca Examinadora:

_____
Prof. Dr. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral - UFPE
(Orientador)

_____
Prof. Dr. Roberto Lima Barcellos – UFPE
(examinador externo)

_____
Prof.ª Dr.ª Dayana Andrade de Freitas – IFPE
(examinadora externa)

_____
Prof. Dr. Anderson Luiz Ribeiro de Paiva – UFPE
(examinador externo)

Dedico a Deus, pelo seu amor incondicional, bondade e fidelidade. Dedico também à minha avó, Lourdinha (*in memorian*); à minha mãe, Bernadete; ao meu pai, Valdemir e ao meu irmão, Joabe, assim como a toda minha família e amigos, minha enorme gratidão por todo aprendizado, incentivo, compreensão e força durante essa caminhada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente sou grato a Deus por ter me dado forças para conseguir conquistar mais uma vitória em minha vida.

Também agradeço a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a concretização de mais um sonho.

À minha família, por ter sido sempre um suporte nos momentos mais difíceis e um estímulo para que eu pudesse alcançar os meus objetivos.

A todos os amigos, pela força e incentivo dados que me ajudaram na realização deste trabalho.

Ao meu professor e orientador Jaime Cabral, pela oportunidade de contribuir para um mundo melhor através da pesquisa e de compartilhar do seu vasto conhecimento.

Ao professor Paulo Santos, pela coorientação e pela sua receptividade no LABDIN.

Ao professor Anderson Paiva e Tatiane Albuquerque, pela experiência em pesquisa que me passaram e pela paciência de me tirar algumas dúvidas.

A todos os colegas do Grupo de Recursos Hídricos da UFPE, por terem contribuído direta ou indiretamente com este trabalho, em especial, aos demais integrantes do Grupo de Filtração em Margem, pelo companheirismo e pela ajuda em todas as atividades.

Ao professor Roberto Barcellos, que contribuiu com este trabalho, abrindo as portas do LABOGEO.

A COMPESA (Companhia Pernambucana de Saneamento), pela contribuição nesta pesquisa e a FACEPE (Fundação de Amparo ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado de Pernambuco), pela concessão da bolsa de mestrado.

RESUMO

O crescimento populacional e o surgimento de novos poluentes emergentes têm criado a necessidade de buscar água em mananciais mais distantes e exigido formas mais sofisticadas e caras no tratamento convencional. Assim, a tecnologia de Filtração em Margem (FM) mostra-se como um método alternativo para o tratamento de água para o abastecimento urbano. Esta técnica é eficiente e de baixo custo, pois utiliza o próprio solo como meio filtrante, onde a água superficial de um rio ou lago é induzida através de bombas instaladas próximas a suas margens, ocorrendo processos físicos, químicos e biológicos que melhoram bastante a sua qualidade. Devido aos seus benefícios econômicos e qualitativos, tem crescido o número de pesquisas sobre o tema ao redor do mundo nos últimos anos. Como esta tecnologia envolve a interação entre a água superficial e a água subterrânea, é indispensável o entendimento sobre a zona hiporreica, que é a zona de transição entre estes dois ambientes. Desta maneira, esta pesquisa objetivou caracterizar a zona hiporreica em relação aos seus aspectos biológicos e sedimentológicos no rio Beberibe, onde já existe uma estação experimental de FM em Pernambuco. A caracterização biológica foi realizada através da quantificação e separação dos organismos da meiofauna bentônica em grandes grupos e da estimativa de biomassa das microalgas que vivem aderidas aos sedimentos hiporreicos, o microfitobentos. Foi contabilizado 4906 indivíduos da meiofauna, divididos em pelo menos 8 *taxa*. Os grupos dominantes foram Annelida e Nematoda, onde 95% do total de indivíduos foram destes dois *taxa*. A biomassa de microfitobentos é bastante importante, pois estas microalgas são fonte de alimento para a meiofauna. Entre os pontos estudados, o mais rico em biomassa de microfitobentos teve 6,65 µg/cm² de clorofila-a. Quanto à caracterização sedimentológica, foram obtidos dados de matéria orgânica, $CaCO_3$ e granulometria do leito do rio, onde constatou-se a predominância de material arenoso. Também foi feito o monitoramento qualitativo da água subterrânea, nos poços da estação experimental de FM e em um cacimbão local; e da água superficial no rio Beberibe. Assim, este trabalho pretende contribuir para o desenvolvimento da tecnologia de FM no estado de Pernambuco e para um maior conhecimento sobre a zona hiporreica e suas composições biológicas e sedimentológicas.

Palavras-chave: Filtração em margem. Zona hiporreica. Interação rio-aquífero. Meiofauna. Microfitobentos. Sedimentologia.

ABSTRACT

The population growth and the emergence of new pollutants have created the need to fetch water from more distant springs and require more sophisticated and expensive techniques in the conventional water treatment. Thus, the Bank Filtration (BF) technology is shown as an alternative method for the treatment of water for urban supply. This technology is eficiente and low cost, because it uses the own soil as a filtering media where a superficial water from a river or lake is induced through pumps installed next to its banks, experiencing physical, chemical, and biological processes that enhance the water quality. Due to its benefits, the number of researches on this subject around the world in the last years has grown. As this technology involves an interaction between surface water and groundwater, it is indispensable to understand the hyporeic zone, which is a transition zone between these two water environments. In this way, this research aims to characterize the hyporeic zone about its biological and sedimentological characters in Beberibe River (Pernambuco State, Brazil), where there is an experimental BF Station. The biological characterization was performed through the quantification and separation of organisms of meiofauna in large groups and estimation of biomass of the microalgae that live adhered to the hyporeic sediments, the microphytobenthos. A total of 4906 meiofauna individuals was recorded, divided by at least 8 *taxa*. The dominant groups were Annelida and Nematoda, where 95% was from these two *taxa*. The microphytobenthos biomass is quite important, since these microalgae are a food source for meiofauna. Among the study spots, the richest one in microphytobent biomass had 16.06 μg/cm² of chlorophyll-a. In addition, an organic matter and $CaCO_3$ survey was carried out and a grain-size analysis was executed on the river bed, where the predominance of sandy material was verified. Qualitative monitoring of groundwater was also carried out in the BF experimental station wells and in a local dug well; and surface water in Beberibe River, based on various physico-chemical quality parameters in the water. Thus, this study intends to contribute to the development of BF technology in Pernambuco State, Brazil, and to a larger amount of knowledge about the hyporeic zone and its biological and sedimentological compositions.

Keywords: Bank filtration. Hyporheic zone. River-aquifer interaction. Meiofauna. Microphytobenthos. Sedimentology.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1	-	Classificação de um rio quanto à interação rio-aquífero	21
Figura 2.2	-	Esquema simplificado da zona hiporreica	25
Figura 2.3	-	Esquema simplificado da técnica de FM	38
Figura 3.1	-	Bacia Hidrográfica do Rio Beberibe	48
Figura 3.2	-	Precipitações médias mensais no período 2006 – 2016 na Estação Alto da Brasileira, Recife	50
Figura 3.3	-	Precipitações médias mensais em 2017 na Estação Alto da Brasileira, Recife	51
Figura 3.4	-	Estruturação da bacia Pernambuco-Paraíba sobre o Embasamento Cristalino a as principais falhas normais com base em perfis gravimétricos em corte próximo ao município de Olinda	52
Figura 3.5	-	Mapa geológico na região da bacia do Rio Beberibe	53
Figura 3.6	-	Foto ilustrativa do Rio Beberibe e o seu entorno na divisa entre os municípios de Olinda e Recife	54
Figura 3.7	-	Foto ilustrativa do Rio Beberibe e seus problemas socioambientais	55
Figura 3.8	-	Localização dos pontos de pesquisa no Rio Beberibe	56
Figura 3.9	-	Ilustração do Ponto 1 no rio Beberibe.	57
Figura 3.10	-	Ilustração do Ponto 2 no rio Beberibe.	58
Figura 3.11	-	Ilustração do Ponto 3 no rio Beberibe.	58
Figura 3.12	-	Localização do cacimbão próximo ao Ponto 3 e à Estação Elevatória de Caixa d'Água	59
Figura 3.13	-	Ilustração do cacimbão	60
Figura 3.14	-	Localização geográfica da EE de Caixa d'Água	61
Figura 3.15	-	Seção litológica transversal ao Rio Beberibe	62
Figura 3.16	-	Seção litológica paralela ao Rio Beberibe	63
Figura 3.17	-	Esboço dos poços de observação instalados na estação experimental de FM em Caixa d'Água	64

Figura 3.18 - Localização dos poços de observação e de produção na estação experimental de FM em Caixa d'Água 65

Figura 4.1 - Capela utilizada durante as queimas de MOT e de $CaCO_3$ 69

Figura 4.2 - Etapas da metodologia realizada para a determinação da distribuição granulométrica: (a) Peneiramento úmido; (b) Peneiramento seco; (c) Pipetagem 70

Figura 4.3 - Frascos âmbar utilizados no armazenamento das amostras de microfitobentos 71

Figura 4.4 - Espectofotômetro utilizado para a leitura das amostras de microfitobentos 72

Figura 4.5 - Metodologia realizada para a coleta das amostras de meiofauna 75

Figura 4.6 - Metodologia realizada para a triagem e quantificação dos indivíduos da meiofauna: (a) Peneiramento das amostras; (b) Corante rosa-de-bengala; (c) Processo de identificação e quantificação dos meiobentos utilizando lupa de aumento 77

Figura 4.7 - Metodologia realizada em campo para o monitoramento qualitativo: (a) Coleta de água para análise físico-química; (b) Coleta de água para análise de metais; (c) Medidor multiparâmetro utilizado 79

Figura 4.8 - Equipamentos utilizados na retirada de água dos poços: (a) Bomba de baixa vazão com controlador pneumático; (b) Tubo de 5 metros de comprimento com válvula de retenção. 80

Figura 4.9 - Leitura piezométrica nos poços de FM na estação experimental 81

Figura 5.1 - Variação da MOT e diâmetro médio por coleta e profundidade no ponto 1 87

Figura 5.2 - Variação da MOT e diâmetro médio por coleta e profundidade no ponto 2 88

Figura 5.3 - Variação da MOT e diâmetro médio por coleta e profundidade no ponto 3 89

Figura 5.4 - Concentrações de clorofila-a e feopigmentos em julho 91

Figura 5.5 - Concentrações de clorofila-a e feopigmentos em outubro 92

Figura 5.6 - Percentual da abundância total de indivíduos para os grupos mais representativos encontrados nas coletas no Rio Beberibe 93

Figura 5.7 - Grupos taxonômicos mais abundantes e representantes do grupo “outros” encontrados nas amostras do Rio Beberibe 94

Figura 5.8 - Percentual da abundância total da meiofauna por pontos estudados no Rio Beberibe 95

Figura 5.9 - Abundância total da meiofauna por ponto no Rio Beberibe em cada mês de coleta 97

Figura 5.10 - Abundância total dos grupos mais representativos da meiofauna no Rio Beberibe em cada mês de coleta 99

Figura 5.11 - Abundância média (indivíduos) da meiofauna no ponto 1 em cada profundidade nos meses estudados 101

Figura 5.12 - Abundância média (indivíduos) da meiofauna no ponto 2 em cada profundidade nos meses estudados 102

Figura 5.13 - Abundância média (indivíduos) da meiofauna no ponto 3 em cada profundidade nos meses estudados 104

Figura 5.14 - Densidade média dos grupos da meiofauna no ponto 1 106

Figura 5.15 - Densidade média dos grupos da meiofauna no ponto 2 106

Figura 5.16 - Densidade média dos grupos da meiofauna no ponto 3 107

Figura 5.17 - Densidade média dos grandes grupos da meiofauna encontrados nos pontos de estudo do Rio Beberibe em abril de 2017 108

Figura 5.18 - Densidade média dos grandes grupos da meiofauna encontrados nos pontos de estudo do Rio Beberibe em julho de 2017 108

Figura 5.19 - Densidade média dos grandes grupos da meiofauna encontrados nos pontos de estudo do Rio Beberibe em outubro de 2017 109

Figura 5.20 - Representação MDS da estrutura da comunidade da meiofauna para os meses de coleta nos sedimentos hiporreicos no Rio Beberibe 110

Figura 5.21 - Representação MDS da estrutura da comunidade da meiofauna entre os pontos estudados no Rio Beberibe para o mês de abril 111

Figura 5.22 - Representação MDS da estrutura da comunidade da meiofauna entre os pontos estudados no Rio Beberibe para o mês de julho 112

Figura 5.23 - Representação MDS da estrutura da comunidade da meiofauna entre os pontos estudados no Rio Beberibe para o mês de outubro 113

Figura 5.24 - Gráfico do monitoramento de condutividade elétrica nos poços P2, P3 e cacimbão 115

Figura 5.25 - Gráfico do monitoramento de potencial de oxirredução nos poços P2, P3 e cacimbão 116

Figura 5.26 - Gráfico do monitoramento do pH nos poços P2, P3 e cacimbão 116

Figura 5.27 - Gráfico do monitoramento da temperatura nos poços P2, P3 e cacimbão 117

Figura 5.28 - Gráfico do monitoramento das concentrações de metais no Rio Beberibe (ferro, chumbo e alumínio) 119

Figura 5.29 - Gráfico do monitoramento físico-químico no Rio Beberibe (pH, condutividade elétrica, turbidez, cor, alcalinidade, dureza, cálcio e magnésio) 120

Figura 5.30 - Gráfico do monitoramento físico-químico no Rio Beberibe (sódio, potássio, cloreto, sulfato, N amoniacal, nitrito, nitrato e fosfato total) 121

Figura 5.31 - Gráfico do monitoramento físico-químico no Rio Beberibe (fluoreto, DBO, potencial de oxirredução e temperatura) 122

Figura 5.32 - Gráfico do monitoramento piezométrico nos poços de FM e no Rio Beberibe 129

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	-	Classificação das partículas do solo, conforme ABNT.	45
Tabela 3.1	-	Médias mensais da normal climatológica no período 1961 a 1990, na Estação do Curado, Recife	50
Tabela 3.2	-	Vazão média de operação dos poços de produção localizados na estação experimental de FM em Caixa d'Água	66
Tabela 4.1	-	Cotas da boca dos poços de FM na estação experimental relativos à cota de referência 0,00m adotada no piso das bombas	81
Tabela 5.1	-	Análise granulométrica, de MOT e $CaCO_3$ no ponto 1	83
Tabela 5.2	-	Análise granulométrica, de MOT e $CaCO_3$ no ponto 2	84
Tabela 5.3	-	Análise granulométrica, de MOT e $CaCO_3$ no ponto 3	85
Tabela 5.4	-	Concentrações médias de clorofila-a e feopigmentos obtidas em cada coleta nos três pontos de estudo no Rio Beberibe	90
Tabela 5.5	-	Resumo da abundância total do meiobentos coletado no Rio Beberibe	95
Tabela 5.6	-	Abundância média (indivíduos) e desvio-padrão dos grandes grupos encontrados no ponto 1 do Rio Beberibe	100
Tabela 5.7	-	Abundância média (indivíduos) e desvio-padrão dos grandes grupos encontrados no ponto 2 do Rio Beberibe	102
Tabela 5.8	-	Abundância média (indivíduos) e desvio-padrão dos grandes grupos encontrados no ponto 3 do Rio Beberibe	103
Tabela 5.9	-	Resultado da PERMANOVA	110
Tabela 5.10	-	Resumo do monitoramento qualitativo nos poços P2, P3 e cacimbão	114
Tabela 5.11	-	Resumo do monitoramento qualitativo no Rio Beberibe	118
Tabela 5.12	-	Resumo do monitoramento piezométrica nos poços de FM e no Rio Beberibe	128

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
APHA	American Public Health Association
BF	Bank Filtration
CCB	Centro de Ciências Biológicas
CE	Condutividade Elétrica
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONDEPE/FIDEM	Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco
CPRH	Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
CTG	Centro de Tecnologia e Geociências
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DOCEAN	Departamento de Oceanografia
EE	Estação Elevatória
ETA	Estação de Tratamento de Água
FM	Filtração em Margem
GL-1	Grupo de Bacias de Pequenos Rios Litorâneos de Pernambuco
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LABDIN	Laboratório de Dinâmica de Populações
LABOGEO	Laboratório de Oceanografia Geológica
MDS	Multidimensional Scaling
MOT	Matéria Orgânica Total
PERMANOVA	Permutational Analysis of Variance
ORP	Potencial de Oxirredução

pH	Potencial Hidrogeniônico
SGSQ	Sistema de Gestão de Controle de Qualidade
SIRH	Sistema Integrado de Recursos Hídricos e Energéticos
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
uH	Unidade de Hazen
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
US EPA	United States Environmental Protection Agency
USGS	United States Geological Survey
Ut	Unidade de Turbidez
VMP	Valor Máximo Permitido

SUMÁRIO

1	**CONSIDERAÇÕES INICIAIS**	**17**
1.1	INTRODUÇÃO E RELEVÂNCIA DO TEMA	17
1.2	OBJETIVOS	20
1.2.1	**Objetivo Geral**	**20**
1.2.2	**Objetivos específicos**	**20**
2	**REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**	**21**
2.1	INTERAÇÃO RIO-AQUÍFERO	21
2.1.1	**Zona Hiporreica**	**24**
2.1.1.1	Características do solo	28
2.1.1.2	Colmatação	30
2.1.1.3	Meiofauna	32
2.1.1.4	Microfitobentos	36
2.2	FILTRAÇÃO EM MARGEM	38
2.2.1	**Histórico da FM e sua utilização no mundo**	**42**
2.2.2	**Filtração em margem no Brasil**	**44**
3	**CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**	**48**
3.1	CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS	49
3.2	CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA	51
3.3	ASPECTOS SOCIOAMBIENTAIS E DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	54
3.4	ÁREA DE PESQUISA	56
3.4.1	**Pontos no Rio Beberibe**	**56**
3.4.2	**Cacimba**	**59**
3.4.3	**Estação Elevatória de Caixa d'Água**	**60**
3.4.3.1	Projeto piloto	61

3.4.3.2 Dificuldades encontradas 66

4 MATERIAIS E MÉTODOS 67

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ZONA HIPORREICA 67

4.1.1 Granulometria, matéria orgânica total e CaCO3 67

4.1.2 Microfitobentos 71

4.1.3 Meiofauna 74

4.2 MONITORAMENTO QUALITATIVO 78

4.3 MONITORAMENTO PIEZOMÉTRICO 80

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES 82

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ZONA HIPORREICA 82

5.1.1 Granulometria, matéria orgânica total e CaCO3 82

5.1.2 Microfitobentos 90

5.1.3 Meiofauna 93

5.2 MONITORAMENTO QUALITATIVO 114

5.2.1 Monitoramento qualitativo dos poços P2, P3 e cacimba 114

5.2.2 Monitoramento qualitativo no Rio Beberibe 117

5.3 MONITORAMENTO PIEZOMÉTRICO 128

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS 130

6.1 RECOMENDAÇÕES 132

REFERÊNCIAS 134

1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1 INTRODUÇÃO E RELEVÂNCIA DO TEMA

A água, como um dos elementos mais importantes para a vida no planeta, deve ser preservada ao máximo. As cidades nos dias atuais têm consumido cada vez mais esse recurso. A poluição das águas superficiais próximas aos centros urbanos é um problema bastante comum, especialmente em países em desenvolvimento como o Brasil, e isso tem agravado a necessidade de buscá-la em lugares cada vez mais distantes e/ou de tratá-la com técnicas cada vez mais sofisticadas.

A necessidade crescente por água potável tem aumentado o interesse global por pesquisas e desenvolvimento de técnicas mais baratas e eficientes para o tratamento da água.

A Filtração em Margem é um método alternativo de tratamento d'água que é bastante eficiente e de custo reduzido. Esta se baseia no bombeamento de poços próximos de rio ou lago, cuja água superficial é induzida pelo bombeamento e ao passar pelos finos do solo sofre processos físico-químicos e biológicos que melhoram sua qualidade. A ação do bombeamento causa um cone de depressão no poço coletor, induzindo assim a água do manancial até o poço através do meio poroso do subsolo (RAY *et al.*, 2002).

A Filtração em Margem (FM) tem sido utilizada no fornecimento de água para abastecimento público por mais de um século em alguns países da Europa, reconhecida como um eficiente processo de atenuação da poluição, assegurando sustentabilidade no fornecimento de água potável a um custo mais baixo (RAY *et al.*, 2002). Esta técnica fornece água de qualidade muito superior à água extraída diretamente do corpo d'água superficial, geralmente imprópria para o consumo humano (ALBUQUERQUE, 2015).

A eficiência deste processo depende de fatores como a qualidade da água bruta do rio ou lago, condições hidrogeológicas do aquífero, interface rio-aquífero, gradiente hidráulico, taxa de infiltração, condutividade hidráulica e distância entre a margem e os poços de bombeamento (RAY *et al*., 2002).

Todos estes fatores são importantes no processo de FM e, por isso, é necessária a compreensão de cada um deles para um entendimento mais aprofundado desta técnica e de suas melhores formas de implantação.

Desta maneira, por se tratar de uma técnica onde, fundamentalmente, ocorre a interação entre o rio e seu aquífero subjacente, a compreensão do que ocorre na interface entre as águas superficial e subterrânea é essencial.

Nos últimos anos, várias são as pesquisas a respeito desta interação, sobretudo sobre a zona hiporreica. Esta zona é o ecótono entre estes dois ambientes (água superficial e subterrânea). A sua importância está atrelada à grande ocorrência de processos biogeoquímicos (SOPHOCLEOUS, 2002; TUFENKJI, RYAN, ELIMELECH, 2002; HANNAH *et al.,* 2009; ALBUQUERQUE, 2015).

Assim, o estudo das características biológicas e físico-químicas da zona hiporreica é primordial para um bom entendimento da interação rio-aquífero, sobretudo sua capacidade de atenuação de poluentes e de ciclagem de nutrientes (SMITH, 2009).

A meiofauna é composta por organismos invertebrados que vivem nos ambientes intersticiais do leito do rio. A sua nomenclatura é devido ao seu tamanho: é maior que a microfauna e menor que a macrofauna. A avaliação da meiofauna em um ecossistema é bastante relevante em virtude de serem sensíveis a mudanças no ambiente e possuírem ciclo de vida curto, o que facilita nas observações de curto prazo (GIERE, 2009; ALBUQUERQUE, 2015).

Estes organismos ainda contribuem na formação de biofilmes que promovem a colmatação biológica no leito do rio. Além de agirem na absorção de nutrientes e na degradação da matéria orgânica, contribuindo para a autopurificação na zona hiporreica (GIERE, 2009; ALBUQUERQUE, 2015; ZEPPILLI *et al*., 2015).

Por isso, a caracterização biológica da zona hiporreica é tão importante. Neste trabalho, objetivou-se realizar a quantificação e a separação em grandes grupos taxonômicos da meiofauna e sua variação temporal.

Paralelamente, a biomassa de microfitobentos também foi analisada devido a sua importante relação com os indivíduos da meiofauna. Os microfitobentos são microalgas aderidas aos sedimentos e importantes produtores primários da cadeia alimentar da meiofauna. Assim, a biomassa microfitobentônica é altamente relevante na quantidade e distribuição de meiofauna na zona hiporreica (MUROLO *et al*., 2006; GIERE, 2009; TRINDADE, 2007).

Além do microfitobentos, existem outros fatores que são determinantes na variação espaço-temporal da meiofauna na zona hiporreica. Entre eles, a sua granulometria é importante na descrição dos habitats da meiofauna, pois definem diretamente as condições espaciais e estruturais da mesma (GIERE, 2009).

Por este motivo, no presente trabalho, pretende-se estudar fatores que influenciam na composição e distribuição meiofaunística, tais como a distribuição granulométrica da zona hiporreica, biomassa de microfitobentos e qualidade da água superficial; além de obter dados sobre parâmetros físico-químicos da água subterrânea e os níveis piezométricos dos poços da estação piloto de Filtração em Margem instalada no rio Beberibe-PE.

Diante disso, o atual estudo mostra-se relevante ao melhor entendimento da relação rio-aquífero através da caracterização biológica e sedimentológica da zona hiporreica. Assim, é evidente a importância desta pesquisa para o enriquecimento das informações a respeito da tecnologia de Filtração em Margem.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Ampliar o conhecimento sobre a interação entre o rio e seu aquífero subjacente através da caracterização biológica e sedimentológica da zona hiporreica, visando à técnica de Filtração em Margem para o abastecimento público no estado de Pernambuco.

1.2.2 Objetivos específicos

- Estudar os pontos no rio mediante caracterização biológica da zona hiporreica através de levantamento de meiofauna e microfitobentos;
- Estudar os pontos do rio mediante caraterização sedimentológica da zona hiporreica através de análise granulométrica e teores de matéria orgânica total e carbonato de cálcio presentes nos sedimentos;
- Avaliar as condições de qualidade da água do rio através de análise físico-química e de metais;
- Caracterizar os pontos estudados no rio e nos poços quanto aos seus aspectos físicos e químicos *in loco*, como: temperatura, pH, condutividade elétrica e potencial redox;
- Monitorar o nível piezométrico dos poços de Filtração em Margem na estação experimental de Caixa d'Água em Olinda, Pernambuco;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 INTERAÇÃO RIO-AQUÍFERO

Como bem se sabe, o ciclo hidrológico é um sistema fechado em que a água circula do oceano para a atmosfera e então retorna para o oceano superficial ou subterraneamente (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2000). Os processos presentes no ciclo hidrológico incluem a evaporação, precipitação, infiltração e escoamentos superficial e subterrâneo. Este ciclo é largamente conhecido, porém uma de suas etapas é menos estudada e entendida em comparação com sua grande importância: a interface entre as águas superficiais e subterrâneas (SOUZA; COSTA, 2014).

Cada componente hidrológica está continuamente interagindo com outras componentes do sistema, assim, as águas superficiais e subterrâneas não são elementos isolados um do outro. Assim, desta forma, o estudo sobre a interação águas superficial-subterrânea se mostra essencial. Nos casos, em que o corpo d'água for um rio, pode-se utilizar o termo "interação rio-aquífero".

O conhecimento da interação rio-aquífero é uma importante condição prévia para a solução de muitos problemas ecológicos e de gestão da água (MACHELEIDT; GRISCHEK; NESTLER, 2006).

Para Sophocleous (2002), o entendimento dos princípios básicos da interação água superficial-subterrânea é fundamental para uma boa gestão dos recursos hídricos. De acordo com Arantes, Chaudhry e Marcussi (2006), o planejamento de apenas um componente do sistema hidrológico isoladamente não é totalmente eficaz. Desta maneira, a gestão separada dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos é inefetivo. USGS (2017) reforça a importância do estudo das interações rio-aquífero afirmando que seu entendimento pode ajudar a reduzir as flutuações de abastecimento de água em bacias hidrográficas aluviais.

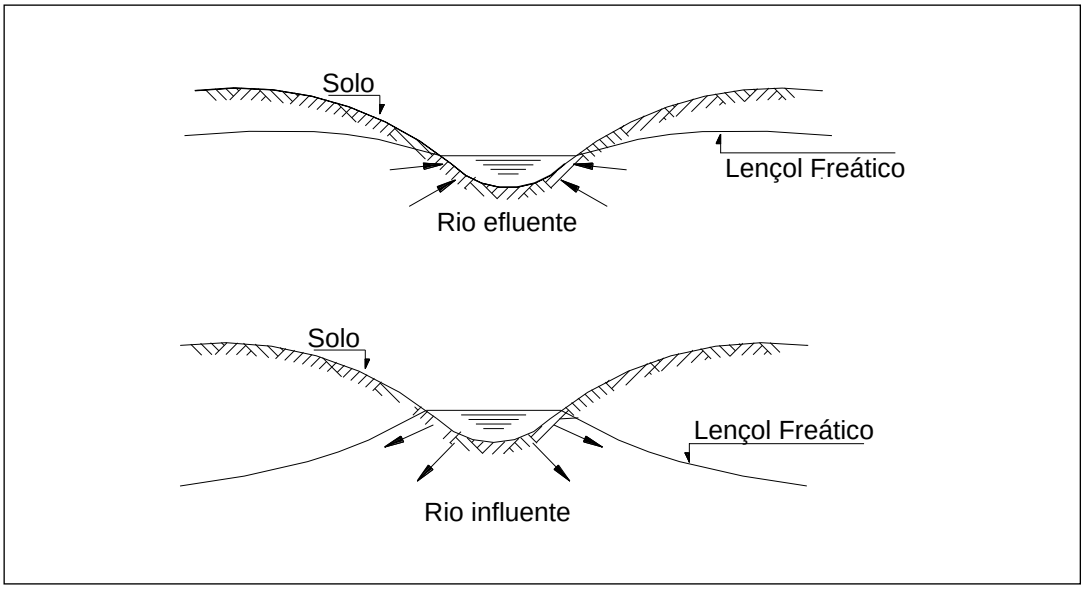
Vários aspectos da interação água subterrânea-superficial têm sido estudados nas últimas décadas. Isto é reflexo da relevância destas duas massas hídricas que são as principais fontes de fornecimento de água potável e importante recurso também para a indústria e agricultura (BARA *et al*., 2014).

De acordo com Schubert (2006a), as interações rio-aquífero são governadas pelas flutuações do nível de água do rio. Os gradientes resultantes entre o nível do rio de grande variação temporal com a adaptação gradual do nível freático do aquífero subjacente controlam o fluxo e o transporte de água do rio infiltrada.

Os rios podem ser categorizados quanto à sua relação de fluxo com seu lençol freático subjacente. Os rios podem ser classificados como influentes (fornece água ao lençol) ou efluentes (recebe água do lençol). A classificação que um determinado rio recebe quanto a isso varia espacial e temporalmente, pois trechos diferentes podem se comportar hidraulicamente de formas diferentes; e temporalmente, pois um mesmo trecho pode ora se comportar como influente ora como efluente.

A água se movimenta de pontos com maior carga hidráulica para pontos de menor carga hidráulica. Por isso, o principal fator que rege o comportamento hidráulico entre o rio e seu aquífero livre subjacente é a diferença entre suas alturas piezométricas, como pode ser observado na Figura 2.1.

Figura 2.1 - Classificação de um rio quanto à interação rio-aquífero



Fonte: Cabral *et al.* (2001)

Assim, para que um trecho de rio seja considerado influente (rio fornece água para aquífero), o nível piezométrico do rio precisa ser maior do que o nível

piezométrico do aquífero. Para que um rio seja classificado com efluente (aquífero alimentando o rio), o nível piezométrico do rio precisa ser menor do que o nível piezométrico do aquífero.

Apesar de ser o principal, a flutuação do nível de água no rio e no aquífero não é o único fator que influencia na variação temporal da taxa de troca hídrica desses dois meios. Fleckenstein, Niswonger e Fogg (2006) afirmam que a heterogeneidade granulométrica da subsuperfície do leito pode ter uma profunda interferência em como o rio responde às mudanças de nível freático no aquífero. Variações temporais da resistência da camada semipermeável também exercem influência (GELDNER, 1980 *apud* ARANTES; CHAUDHRY; MARCUSSI, 2006). Além disso, regimes de fluxos variáveis podem alterar a condutividade hidráulica do leito via processos de erosão e deposição afetando a intensidade das interações rio-aquífero (SOPHOCLEOUS, 2002).

Tendo em vista todas essas observações, Velickovic (2005) resume os fenômenos físicos que controlam a quantidade de água que passa na interface rio-aquífero em:

- Diferença dos níveis do rio e do aquífero;
- Condutividade hidráulica do leito do rio e espessura de seus sedimentos;
- Condutividade hidráulica do aquífero;
- Características geométricas do aquífero e
- Características geométricas do leito.

Ibrahim, Kaeser e Richie (2009) apresentam a relevância no monitoramento das interações das águas superficiais como as águas subterrâneas. Em questões hidrológicas, o estudo sobre o fluxo entre massas de água é bastante importante quanto aos aspectos quantitativos. No que se diz respeito à questão hidroquímica, o transporte e o destino dos nutrientes e contaminantes são de interesse ambiental. Assim, a interface rio-aquífero não apenas cria uma conexão entre as duas massas de água, mas modifica as concentrações através de processos de diluição, interações da água com a rocha, processos microbiológicos e absorção de solutos pela vegetação. Biologicamente, esta interface tem influência sobre a qualidade dos locais de desova dos peixes,

comunidade bentônica e processos de eutrofização (IBRAHIM; KAESER; RICHIE, 2009).

O monitoramento e quantificação da interação entre água superficial e subterrânea pode ser feita através de infiltrômetros, mini-piezômetros, piezômetros diferenciais, traçadores e lisímetros de fundo de rio (ARANTES; CHAUDHRY; MARCUSSI, 2006; VERAS, 2011; SANTOS; 2012). A utilização de traçadores geoquímicos possui a vantagem de compensar os erros de equipamentos de medição. Sensoriamento remoto para medição de temperatura em escala regional tem-se mostrado como um bom método para estudos sobre velocidade de infiltração e condutividade hidráulica vertical na interface rio-aquífero em diversos trabalhos pelo mundo (LIU *et al*., 2015; ZHI-WEI; HAN-ZHOU; JI-XIANG, 2013; KEERY; BINLEY, 2007).

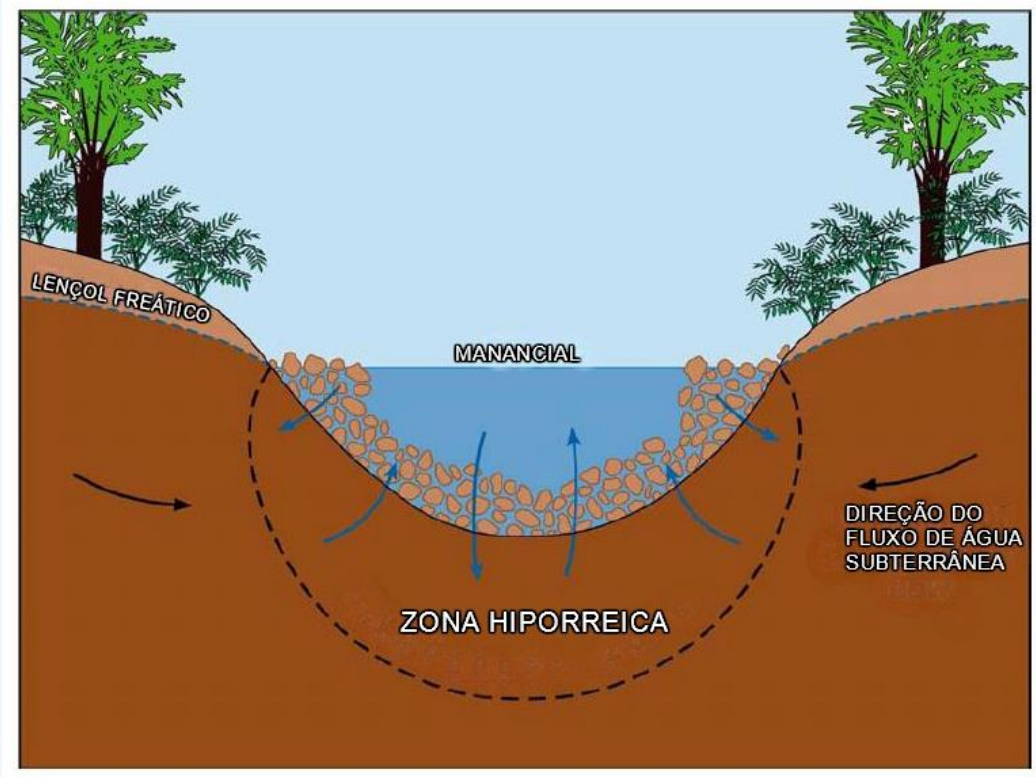
2.1.1 Zona hiporreica

A Zona hiporreica é o ecótono entre águas superficiais e águas subterrâneas. Ela age como uma região de transição ambiental entre os ecossistemas fluvial e subterrâneo, não pertencendo a nenhum desses dois meios, mas possuindo características hidrológicas, químicas, biológicas e metabólicas próprias.

Segundo a Environmental Agency (2005), o termo “hiporreica” é derivado do grego *hyporheos* – *hypo* (sobre, por baixo) e *rheos* (fluxo). A definição de Zona Hiporreica é ampla e pode variar conforme o campo da ciência, porém pode-se resumir à seguinte definição: é a zona abaixo e subjacente ao leito do canal em que há uma troca entre a água do canal e a água intersticial nos sedimentos do leito.

Essa definição ainda pode ser sintetizada como a zona em que há mistura da água superficial com a água subterrânea. Albuquerque (2015) acrescenta que a zona hiporreica é um volume subsuperficial de sedimentos e um adjacente espaço poroso a um curso d’água onde ocorrem constantes trocas. Seus limites exatos são difíceis de serem definidos, por variarem bastante temporal e espacialmente (BOULTON *et al*., 1998). Suas condições físicas e químicas também sofrem alterações contínuas ao longo do tempo (SMITH, 2009).

Figura 2.2 - Esquema simplificado da zona hiporreica



Fonte: Adaptado de Environmental Agency (2005).

A importância do estudo sobre a zona hiporreica está no fato dela ter uma boa capacidade de atenuação de poluentes em comparação aos aquíferos subjacentes.

Para Smith (2009), como a zona hiporreica é uma região de forte interação entre a água subterrânea e a água superficial, é de grande valia ter-se um profundo entendimento à respeito para propriamente avaliar os impactos de poluentes em água subterrânea sobre água superficiais dependentes, e vice-versa.

A zona hiporreica caracteriza-se por ser uma região de intensa atividade biogeoquímica, onde acontece a ciclagem de nutrientes (TUFENKJI; RYAN; ELIMELECH, 2002), e de habitat e refúgio para uma série de organismos (HANNAH *et al*., 2009), onde a água flui através dos interstícios dos sedimentos que são predominantemente anisotrópicos (LU *et al*., 2012), atuando assim, como um filtro físico, químico e biológico (VERVIER *et al*., 1992).

Adicionalmente, Sophocleous (2002) valida a significância da zona hiporreica afirmando que os processos biogeoquímicos produzidos dentro dos primeiros centímetros de sedimentos abaixo de quase todos os cursos e reservatórios de águas superficiais tem um profundo efeito na química do intercâmbio de água.

Tipicamente a água dentro da zona hiporreica é composta por água subterrânea de ressurgência e água superficial infiltrada (LAWLER *et al*., 2009). Na zona hiporreica, a troca de água superficial/subterrânea, nutrientes e matéria orgânica acontecem em decorrência dos gradientes hidráulico e químico, da topografia e da litologia do sedimento (ENVIRONMENTAL AGENCY, 2005).

A eficiência de seus processos de transformação está atrelada a um grande potencial redox e à existência de matéria orgânica e atividade microbiana no ambiente hiporreico (HANNAH *et al*., 2009).

Estudos têm sido feitos a respeito desta zona, de forma isolada ou em conjunto com a zona ripária, como um amortecedor da poluição de águas superficiais nos aquíferos subjacentes (ENVIRONMENTAL AGENCY, 2005). Apesar de tamanha importância, muito pouco se sabe sobre a zona hiporreica em regiões tropicais (MUGNAI *et al*., 2015).

No Brasil, Albuquerque (2015) caracterizou a zona hiporreica no leito do rio Beberibe, mesmo local onde foi feito o presente estudo. A caracterização foi realizada em 3 pontos e em 2 estações do ano (verão e inverno) nos aspectos físico, com análises granulométricas, de infiltração e de variação da carga hidráulica; e biológica, onde se observou uma ampla predominância de organismos pertencente ao grupo taxonômico dos rotíferas, seguido dos nematódeos e anelídeos.

Sabe-se que a zona hiporreica possui uma grande variedade de organismos residentes permanentes e ocasionais. Sua população é bastante dinâmica e podem ser compostas de micróbios, meiofauna e macro-invertebrados. A composição e distribuição desta fauna varia de acordo com suas condições ambientais, tais como, variações sazonais normais, variações climáticas

extremas (seca ou cheia), estrutura sedimentar, poluição, entre outros. (ENVIRONMENTAL AGENCY, 2005).

Os seres que vivem na zona hiporreica podem ser considerados como um indicador de poluição. Quando a água do aquífero freático está alimentando o rio, caso haja uma contaminação na água subterrânea, o organismos hiporreicos mostrarão o efeito da poluição antes dos organismos viventes na água superficial. Assim, mudanças nos organismos hiporreicos servem como um indicador precoce de poluentes da água subterrâneas entrando na água superficial (US EPA, 1998).

Segundo Lawler *et al*. (2009), existem 4 controles primários do fluxo de troca hiporreica: a geomorfologia do leito, o nível de água no canal, a descarga de água subterrânea e condutividade hidráulica, esta que é vinculada com o tamanho dos grãos e sua distribuição. Além disso, mais 2 variáveis são usadas como derivação daquelas principais: a potência de fluxo e o fornecimento de sedimentos (LAWLER *et al*., 2009).

De acordo com Smith (2009), atividades antrópicas podem causar danos severos na estrutura da zona hiporreica. Entre estas atividades, pode-se citar:

- Dragagem: remove sedimentos e sua capacidade natural de atenuação de poluentes; remove preferencialmente cascalho.
- Barragens: altera o poder do rio em volta da estrutura, levando ao depósito de sedimentos finos à montante.
- Gestão inadequada do solo: erosão do solo devido à atividades agrícolas é uma fonte de sedimentos finos que podem causar colmatação e eutrofização.
- Barreiras de inundação: redução da conectividade rio-planície de inundação e degradação da integridade ecológica das zonas ripárias e hiporreicas.

2.1.1.1 Características do solo

Os solos são constituídos por três componentes principais que formam uma mistura: partículas sólidas de natureza mineral e orgânica, ar e água, sendo assim, um sistema trifásico compostos de sólido, líquido e gasoso. Em relação ao seu componente sólido, o solo é formado por material proveniente da decomposição das rochas através da ação de agentes físicos, químicos e biológicos, podendo ou não ter matéria orgânica.

As propriedades físicas mais importantes do solo são a sua textura, ou seja, a distribuição de tamanho de suas partículas; e a sua estrutura, que é definida pelo arranjamento das partículas em agregados (REINERT; REICHERT, 2006).

A água desempenha uma forte ligação com o solo, onde vários fenômenos e mecanismos ocorrem como impacto direto da água sobre ele. Entre estes fenômenos e mecanismos estão o intemperismo, os processos de formação, crescimento de plantas e atividade biológica (REINERT; REICHERT, 2006). Assim, para o estudo da interação rio-aquífero, é essencial o entendimento sobre as características do meio poroso no qual o aquífero se encontra.

A condutividade hidráulica refere-se à facilidade do meio poroso de exercer a função de um condutor hidráulico. Leva em consideração as características do meio, incluindo porosidade, tamanho e distribuição das partículas, forma das partículas, arranjo das partículas, bem como as características do fluido que está escoando (viscosidade e massa específica) (CABRAL, 2008).

Em um meio isotrópico a condutividade hidráulica pode ser entendida como sendo numericamente igual à vazão que atravessa uma área unitária submetida a um gradiente hidráulico unitário (CABRAL, 2008). Obviamente um líquido mais viscoso terá, no meio poroso, velocidade diferente da velocidade do líquido com baixa viscosidade. Além disso, um líquido mais denso terá características de escoamento diferentes de um líquido menos denso.

A condutividade hidráulica pode ser expressa em função dos parâmetros do meio e do fluido da seguinte forma:

$$K = \frac{\rho k g}{\mu}$$

onde:

K = condutividade hidráulica (pode ser expressa em m/s ou cm/s);
k = permeabilidade intrínseca do meio poroso (depende da sua granulometria e sua disposição estrutural);
ρ= massa específica;
μ = viscosidade dinâmica.

Alguns autores chamam a condutividade hidráulica de permeabilidade. Na presente dissertação será usado o termo condutividade hidráulica.

O tamanho das partículas dos sedimentos é uma informação básica sobre o solo. Por isso, a classificação destes sedimentos é importante para se conhecer as propriedades do solo. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1995) divide as partículas do solo conforme a Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Classificação das partículas do solo, conforme a NBR 6502/95 (ABNT, 1995).

ARGILA	SILTE	AREIA			CASCALHO
		Fina	Média	Grossa	
0,002	0,06	0,2	0,6	2,0 mm	

Em relação à composição dos sedimentos de um aquífero, sabe-se que quanto maior o tamanho médio dos grãos do solo, maior é a condutividade hidráulica, pois os vazios são maiores. Quanto maior o desvio padrão (grau de seleção) dos diâmetros dos grãos, menor é a condutividade, pois maior é a variação dos tamanhos dos grãos e os grãos pequenos ocupam o espaço entre os grãos grandes.

Assim, a água apresentará uma maior facilidade de se movimentar em um solo composto por uma maior quantidade de areia grossa do que em um solo composto por uma quantidade maior de argila, por exemplo.

Desta maneira, é muito importante conhecer as características sedimentológicas do solo que compõe a zona hiporreica. Pois, dependendo de sua composição, pode haver uma menor condutividade hidráulica o que prejudicaria a interação água superficial e água subterrânea.

2.1.1.2 Colmatação

A colmatação é um processo natural e inevitável no qual ocorre a redução da condutividade hidráulica do leito de um canal através de ações de natureza física, química e biológica. Na literatura internacional, além do termo colmatação (em inglês: *colmation*), é comum a utilização do termo “entupimento do leito do rio” (em inglês: *riverbed clogging*).

A medida com que o processo de colmatação se desenvolve, as trocas de água entre o rio e o aquífero vão diminuindo. Eventos de cheia são importantes para “limpar” a camada de entupimento que cresceu ao longo do tempo, fazendo elevar os valores de condutividade hidráulica do leito. Após estes eventos de maior vazão do rio, os processos naturais de colmatação retornam. Por isso, a porção do leito do rio onde se observa processos de entupimento mais extensivos são as áreas mais próximas das margens, onde a velocidade de fluxo são menores comparados ao centro do canal.

Segundo Soares (2015), não apenas atividades naturais como o regime de escoamento pode influenciar a formação ou remoção da colmatação. Atividades humanas como controle de enchentes, navegação ou outras atividades aquáticas também devem ser levadas em consideração.

Pholkern *et al*. (2015) explicam que a utilização da técnica de Filtração em Margem pode acelerar os processos de colmatação no rio, pois cria uma situação em que os sedimentos em suspensão, matérias orgânicas e inorgânicas, precipitados químicos e outras partículas se acumulam formando uma camada de colmatação nos primeiros centímetros ao longo do caminho até o poço de produção.

O processo de colmatação muitas vezes é relacionado negativamente a efeitos indesejáveis na interação entre a água superficial e a água subterrânea, como a diminuição da velocidade de infiltração em processos de recarga e a redução da capacidade potencial dos poços de produção em sistemas de filtração (BOUWER, 2002; GRISCHEK; BARTAK, 2016). Apesar disso, a colmatação possui grande importância para a engenharia de recursos hídricos, pois promove a diminuição de poluentes que são transportados para a água

subterrânea através da retenção destes no leito do rio e através de processos de biodegradação (HISCOCK; GRISCHEK, 2002; VELICKOVIC, 2005).

A colmatação é dependente do tempo e é função de vários fatores como as propriedades do rio, como regime de escoamento, erosão e sedimentação; a qualidade da água superficial; características do leito e a distância dos poços de FM (MUCHA *et al*., 2006; SCHUBERT, 2006b). Quanto a seu processo de formação, a colmatação pode ser de 4 tipos (SOARES, 2015; GRISCHEK; BARTAK, 2016):

- Físico: consiste na congestão do meio poroso através da deposição ou intrusão de sedimentos finos como areia fina, silte e argila;
- Mecânico: é a redução da condutividade hidráulica causada pelo aprisionamento de gases no meio poroso. Entre estes gases estão gás carbônico (CO_2), nitrogênio (N_2), hidrogênio (H_2), oxigênio (O_2) e metano (CH_4);
- Biológico: é a colmatação causada por micro-organismos e/ou seus produtos de processos biológicos. Dentre eles, estão os organismos eucariontes, fungos, algas e protozoários;
- Químico: é causada por alterações no potencial redox, pH e temperatura nas áreas e infiltração, ocasionando a precipitação de substâncias dentro dos poros dos sedimentos.

Rios em lugares de clima tropical são mais sujeitos à colmatação física, pois estes tendem a ter uma maior carga de partículas finas em suspensão devido ao intemperismo que age na decomposição das rochas. Isto pode levar o pontencial de colmatação a níveis severos nestes locais (SOARES, 2015; PHOLKERN *et al*., 2015).

Uma das causas biológicas responsáveis pela colmatação é a formação de biofilmes, que são comunidades de micro-organismos sem mobilidade própria que podem ser encontradas em quase toda superfície sólida exposta à água não esterilizada (ALBUQUERQUE, 2015).

Em relação à sua aparência, o processo de colmatação pode ser classificado em externa e interna (SOARES, 2015; VELICKOVICK, 2005; PHOLKERN *et al.*, 2015; GRISCHEK; BARTAK, 2016):

- Colmatação externa: é causada pela deposição de partículas na superfície do leito sob condições de fluxo lento, onde as forças hidráulicas não são fortes o suficiente para mantê-las em movimento.
- Colmatação interna: é provocada pela congestão dos poros por sedimentos suspensos abaixo da camada externa. Pode formar um selo que desconecta a água superficial da água hiporreica.

Enquanto a camada de colmatação externa pode possuir alguns milímetros de espessura, a camada interna pode alcançar profundidades de até 30cm abaixo do leito do rio (PHOLKERN *et al*., 2015). O principal fator que influencia na profundidade de colmatação é a distribuição do tamanho dos grãos dos sedimentos do leito (VELICKOVICK, 2005).

2.1.1.3 Meiofauna

Meiofauna são pequenos animais bentônicos, ou seja, vivem em relação íntima com algum substrato em ambientes aquáticos. Possuem representação filogenética de quase todos os filos dos invertebrados, ocorrendo amplamente em sedimentos nos mais diversos ambientes ao redor do mundo. É definida metodologicamente como todos os metazoários retidos em uma peneira de 42µm, mas são capazes de passar por um peneira de 500 µm (VINCX, 1996; COULL, 1999; MARIA; WANDENESS; ESTEVES, 2016). Desta maneira, a meiofauna se caracteriza por organismos maiores que a microfauna e menores que a macrofauna. Este grupo de animais também pode ser chamado de “meiobentos”.

Além dos organismos que estão permanentemente caracterizados por serem da meiofauna, existem outros que fazem parte deste grupo apenas temporariamente. Durante as fases iniciais de suas vidas, estes organismos possuem o tamanho que os coloca dentro da meiofauna. Após seu

crescimento, eles se tornam macrofauna. Um exemplo disso são alguns insetos em sua fase larval.

A meiofauna não se trata de um grupo ecológico homogêneo. Eles ocupam uma grande variedade de habitats, desde lagos alpinos até mares profundos; desde ambientes com alta salinidade até ambientes com baixa (COULL, 1999). Ademais, a meiofauna se caracteriza por serem organismos de rápido tempo de reprodução e elevada taxa de metabolismo. Eles são vitais para o funcionamento do ecossistema, incluindo a ciclagem de nutrientes e a provisão de energia para níveis tróficos mais elevados (ZEPPILLI *et al*., 2015).

Apesar de ser bastante estudada, as pesquisas sobre a meiofauna são restringidas a ambientes marinhos e estuarinos. Em ambientes de água doce, como rios e lagos, a meiofauna é pouco estudada em comparação a outros ecossistemas (HAKENKAMP; PALMER, 2000).

Em ambientes de água doce, os filos da meiofauna mais abundantes são Annelida, Rotifera, Nematoda, Molusca, Platelmintos, Gastrotricha, Porifera, Bryozoa, Tardigrada, Cnidaria e Nermetea (EYUALAM-ABEBE; ANDRÁSSY; TRAUNSPURGER, 2006).

No Brasil, a meiofauna é estudada desde a metade do século XX, onde as pesquisas inicialmente focalizavam na taxonomia das espécies de diferentes grupos zoológicos. Nos últimos 20 anos, as pesquisas nesta área tem se intensificado no Brasil (SANTOS *et al.*, 2009; MARIA, WANDENESS; ESTEVES, 2016).

Em Pernambuco, em estudo realizado no rio Beberibe, investigou-se a meiofauna presente no ambiente hiporreico e foram identificados um total de 7804 indivíduos, com predominância dos grupos nematoda, anelídeo e rotífera (ALBUQUERQUE, 2015).

Giere (2009) afirma que o tamanho dos grãos e sua distribuição granulométrica são importantes fatores no estudo e descrição dos habitats da meiofauna, pois determinam diretamente as condições espaciais e estruturais, e indiretamente, determinam o meio físico e químico do sedimento. Partículas de sedimentos de

tamanho bem distribuído possuem volume reduzido se comparado com sedimentos grosseiros mal distribuídos.

Além disto, a área superficial externa das partículas de sedimento também é um fator importante para a vida bentônica, pois define a área disponível para o estabelecimento de biofilme, que em condições naturais, formam uma matriz onde as partículas de sedimento são embutidas (GIERE, 2009).

Outros fatores que são determinantes na distribuição espacial do meiobentos são a direção e a magnitude do fluxo de água. A capacidade da meiofauna ser levada pela água ou de se estabelecer no sedimento é altamente dependente das características hidrológicas do curso d'água (HAKENKAMP; PALMER, 2000; GIERE, 2009).

Em rios, a influência da variação de fluxo é bem mais importante no estudo da distribuição da meiofauna do que em ambientes marinhos; pois nestes, os organismos estão expostos a condições bem mais previsíveis devido às flutuações cíclicas da maré.

Os regimes hidrológicos e geomorfológicos são dominantes sobre todos os outros fatores nos ecossistemas fluviais e determinam as interações e os papéis da meiofauna (HAKENKAMP; PALMER, 2000).

As variações sazonais são imprescindíveis no comportamento da fauna hiporreica. No período de alta vazão; a macrofauna possui um papel dominante e a meiofauna, um papel subordinativo, apesar de sua considerável diversidade. No período intermediário, a meiofauna ganha importância. No período da baixa vazão, os níveis de oxigênio do rio tendem a ser menores, o que força uma migração ascendente dos meiobentos para camadas mais superficiais da zona hiporreica e pode causar perdas por deriva (GIERE, 2009).

Além disso, nos períodos de cheia, o fluxo da água altera morfologicamente o leito do rio, limpando as camadas de colmatação e contribuindo para a formação de caminhos preferenciais da água para camadas mais profundas, elevando os níveis de oxigênio nestes pontos. Assim, os organismos da meiofauna podem ir para camadas mais profundas do leito em resposta às elevações no fluxo do rio.

Segundo Zeppilli *et al*., (2015), a meiofauna é caracterizada por possuir alta sensibilidade à mudanças ambientais devido a seu pequeno tempo de geração e a ausência de dispersão larval pelágica.

Assim, o estudo da meiofauna se apresenta como um bom indicador para os estudos sobre mudanças climáticas e impactos antropogênicos. No qual, mudanças globais podem gerar efeitos negativos, principalmente para a cadeia alimentar bentônica; e podem favorecer algumas espécies meiofaunais, uma vez que podem exibir notáveis adaptações fisiológicas (ZEPPILLI *et al.,* 2015).

Albuquerque (2015) reitera que os ciclos de vida de pequena duração dos seres da meiofauna, que vão de 1 a 3 meses, facilitam nas observações em estudos de curto prazo.

Além de terem ciclos de vida curto e responderem rapidamente às mudanças no sistema, outras vantagens no estudo da meiofauna são a elevada abundância nos ambientes hiporreicos, a associação íntima que estes organismos têm com o sedimento e facilidade de coletar com pequenas amostras (HAKENKAMP; PALMER, 2000).

Conforme afirma Giere (2009), a meiofauna pode também modificar seu ambiente e favorecer a degradação da matéria orgânica, estimulando a atividade microbiana e agindo na bioturbação do solo. Por isso, os meiobentos exercem uma importante tarefa na absorção de nutrientes que favorecem a eficiência natural de autopurificação na interface água subterrânea-superficial.

De acordo com o estudo de Liu *et al.* (2017), uma maior biodiversidade de microfauna, meiofauna e macrofauna desempenha um importante papel no biofilme hiporreico.

Assim, a meiofauna favorece a formação de biofilmes na zona hiporreica pelo estímulo de processos microbianos que ela exerce, contribuindo para o aumento da colmatação, o que influencia a qualidade da água de recarga de um aquífero.

Desta maneira, a preservação da zona hiporreica onde os organismos da meiofauna estão inseridos é uma condição primária para o seu bom funcionamento na absorção de nutrientes (LIU *et al.*, 2017).

2.1.1.4 Microfitobentos

Os microfitobentos são algas eucariontes unicelulares que crescem aderidos aos sedimentos mais superficiais. Estes organismos são fotoautotróficos com clorofila-a, b, c e d. Agem como um fator biótico do habitat para meiofauna através de seu valor trófico e produção de muco (MACINTYRE *et al*., 1996; TRINDADE, 2007; GIERE, 2009).

A presença do microfitobentos nos milimetros mais superficiais da camada de sedimentos está relacionada com sua dependência da fotossíntese para seu crescimento. Sendo assim, Murolo *et al.* (2006) chamam esta de a camada "fotossinteticamente ativa".

Um nível de turbidez elevado afeta muitos processos biológicos na coluna d'água. Os produtores primários da cadeia alimentar, como os microfitobentos, são os primeiros a sentir a limitação na penetração da luz (MUROLO *et al.*, 2006).

Além de estarem presentes nos sedimentos, os microfitobentos também podem estar unidos a outros substratos de origem inorgânica, como grãos de areia e rochas; ou substratos de origem orgânica, como macroalgas e fanerógamas (TRINDADE, 2007).

Nos estudos realizados, a estimativa da quantidade de biomassa microfitobentônica é realizada a partir da determinação de pigmentos de clorofila-a e de feopigmentos. Esta estimativa segura é feita por espectrofotometria usando as equações de Lorenzen (1967). Geralmente, os valores são expressos em µg/cm² (COLIJN; DIJKEMA, 1981; MAGNI *et al.*, 2000; MUROLO *et al.*, 2006).

A clorofila-a é o principal determinante de quantidade de biomassa de microalgas. Os feopigmentos, por sua vez, são os produtos da degradação da

clorofila-a, podendo ser provenientes da transformação da clorofila-a quando esta passa pelo trato digestivo de consumidores (HAWKINS *et al.,* 1986) ou de processos de deposição ou aporte de detritos vegetais terrestres ou de microalgas fitoplâncton da água (BENITES, 2014).

Deste modo, é importante afirmar que quanto menor for a razão clorofila-a/feopigmentos em uma determinada área, mais forte é o indicativo de que a taxa de herbivoría, ou seja, a taxa de predação de microalgas é maior do que o acúmulo de sua biomassa.

Isto indica que além da turbidez que prejudica a penetração da luz, a comunidade bentônica heterótrofa também pode limitar o microfitobentos (NETTO *et al*., 2007).

Nas camadas de sedimentos superiores, vários processos ligam fortemente as microalgas e a meiofauna, em microescala espacial e temporal (GIERE, 2009). O microfitobentos é responsável pela transformação de nutrientes inorgânicos e gás carbônico em matéria orgânica através de sua produção primária (NETTO *et al*., 2007).

Assim, o microfitobentos é uma importante fonte de alimento para os meiobentos (HICKS; COULL, 1983). A sua taxa de consumo pela meiofauna é bastante intensa, ou seja, esta ligação explica a diminuição de vários meiobentos após o decréscimo na quantidade destas microalgas.

Em estudo realizado por Escavarage, Garcia e Castel (1989), estimou-se que o consumo de microfitobentos pela meiofauna estava na ordem de 27% em uma lagoa rasa, 38% em um banco de ostras e 89% em um banco de sargaço.

Consequentemente, a meiofauna é o principal responsável pela transferência do carbono proveniente da produção primária microfitobentônica para a cadeia alimentar, por ser o seu maior consumidor. Em alguns ambientes, a macrofauna também pode contribuir para o consumo da biomassa dessas microalgas (MONTAGNA; BLANCHARD; DINET, 1995).

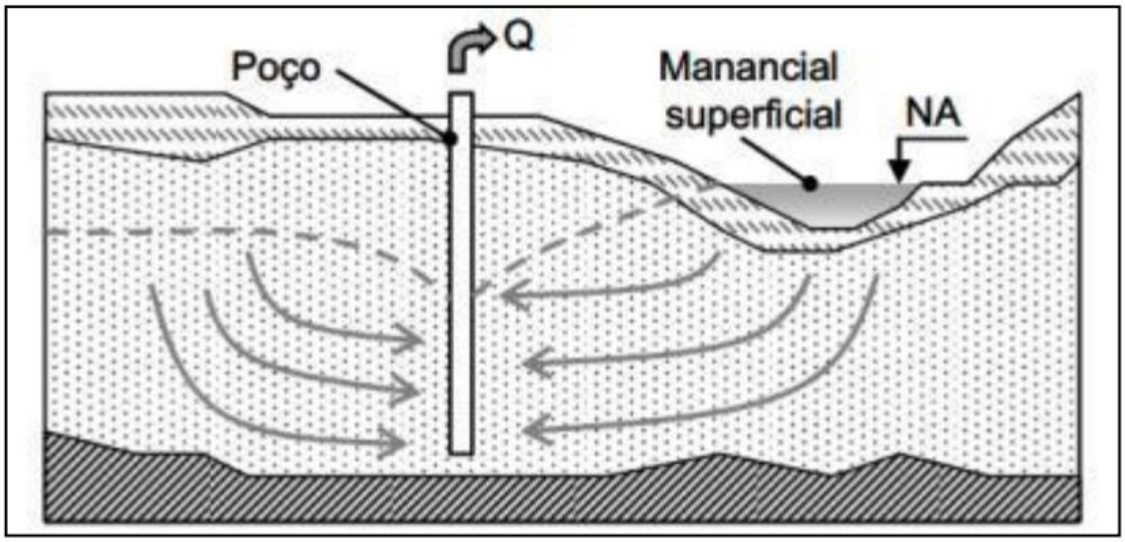
Desta maneira, acredita-se que a distribuição espacial de microalgas influencia a distribuição espacial da meiofauna. Porém, ainda são levantados

questionamentos se esta distribuição é influenciada apenas pela disponibilidade de biomassa (clorofila-a) dos microfitobentos, de um modo geral; ou se algumas espécies de meiobentos são seletivas por apenas algumas espécies de microalgas, o que influenciaria na sua distribuição (TRINDADE, 2007).

2.2 FILTRAÇÃO EM MARGEM

A Filtração em Margem (FM) é uma técnica de tratamento, onde a água de um rio ou lago é induzida por bombeamento em poços localizados em suas margens a fluir através do meio poroso (solo). Nessa viagem da água superficial até o poço de bombeamento ocorrem processos físicos, químicos e biológicos que melhoram a sua qualidade.

Figura 2.3 - Esquema simplificado da técnica de FM



Fonte: Sens *et al.* (2006)

A indução da água superficial se dá através da diferença da carga hidráulica do rio e do aquífero, onde se forma um rebaixamento de seu nível devido a um cone de depressão produzido através do bombeamento. A água extraída através dos poços de bombeamento é na verdade, uma mistura da água do próprio aquífero com a água superficial induzida. A água produzida nesta técnica é de melhor qualidade do que a água captada diretamente do rio,

assim, este processo serve no mínimo como um pré-tratamento de água para abastecimento.
Segundo Sens *et al.* (2006), a proporção dessa mistura entre a água do aquífero e a água superficial depende fundamentalmente da distância do poço até a margem e de suas características, da vazão bombeada e das condições hidrogeológicas locais, entre outros fatores.

O processo de remoção da matéria orgânica da água é mais eficiente quando a velocidade da água induzida é baixa e o aquífero é composto de material granular com espaço aberto entre os poros para que a água flua ao redor dos grãos (SCHIJVEN; BERGER; MIETTINEN, 2003).

As vantagens desta técnica comparada ao tratamento direto de água superficial compreendem a eliminação dos finos em suspensão com os poluentes agregados, grande redução na variação da qualidade e um importante melhoramento da qualidade da água através da eliminação de metais pesados, micro-poluentes orgânicos, vírus e bactérias (STUYFZAND; JUHASZ-HOLTERMAN; DE LANGE, 2006).

De acordo com Paiva (2009), a Filtração em Margem é um método de tratamento d'água alternativo eficiente e de baixo custo, onde obtém-se dois benefícios imediatos:

- Minimizar a necessidade do uso de produtos químicos nas águas superficiais para o controle de patogênicos no tratamento das águas superficiais;
- Diminuir custos do tratamento, reduzindo riscos à saúde humana.

As desvantagens no processo de filtração em margem incluem (STUYFZAND; JUHASZ-HOLTERMAN; DE LANGE, 2006):

- A impossibilidade de impedir totalmente o rio de se infiltrar nos casos episódicos em que isto é desejável, devido à uma má qualidade da água;
- Reações geoquímicas do infiltrado com lodo e materiais do aquífero que elevem as concentrações de Fe^{2+}, Mn^{2+}, As, NH_4^+, CH_4, Ca^{2+} e HCO_3^-;
- Risco de um pesado entupimento do leito do rio (colmatação).

Há três tipos de poços que podem ser utilizados na Filtração em Margem: o poço de coletor vertical, o poço de coletor horizontal e poço amazonas. O tipo mais largamente utilizado é o poço de coletor vertical, por ser de mais fácil instalação e ser eficiente quanto ao tratamento da água. Os poços de coletor horizontal possuem uma construção mais complexa, porém são úteis quando a demanda por bombeamento for alta e possui a vantagem de ter menor necessidade de manutenção (RAY, 2002; PAIVA, 2009).

Segundo afirma Singh *et al.* (2010), a durante o processo de Filtração em Margem, a água é submetida à uma combinação de processos físicos, químicos e biológicos tais como filtração, diluição, sorção e biodegradação, que melhoram significantemente a qualidade da água bruta.

Analogamente, através destes processos (físicos, químicos e biológicos), a filtração em margem tem se mostrado eficiente na remoção de contaminantes físicos, químicos e biológicos. A turbidez e partículas microscópicas são os parâmetros físicos de preocupação. O carbono orgânico dissolvido, pesticidas, compostos farmacêuticos, nitrato, íons dissolvidos e metais são os parâmetros químicos. Os contaminantes biológicos são os protozoários, bactérias e vírus (RAY, 2002).

Stuyfzand, Juhasz-Holterman e De Lange (2006) explicam que no sistema de Filtração em Margem alguns processos biogeoquímicos acontecem, desde a água superficial no rio até a água produzida no sistema de FM:

- Na água superficial: a mistura com a água da chuva, evaporação, absorção de nutrientes, redução da dureza biogênica, volatização, fotólise, e biodegradação;
- Na interface rio-aquífero: filtração, entradas de O_2 e CO_2 adicionais, mineralização da matéria orgânica, dissolução do carbonato de cálcio, precipitação de sulfetos, nitrificação e oxidação do carbono orgânico dissolvido;
- Na passagem pelo aquífero: deslocamento da água subterrânea nativa, troca de cátion, oxidação de pirita e matéria orgânica, dissolução de várias fases minerais, sorção de oligoelementos, decaimento radioativo

de macro e micro poluentes orgânicos, biodegradação de micro-poluentes orgânicos e inativação de micro-organismos;

- No poço de produção: mistura de várias qualidades de água e mistura com a água subterrânea nativa.

Na implantação de um sistema de Filtração em Margem, é muito importante a preocupação sobre duas características de crescimento inverso: a capacidade de se produzir quantidade requerida de água e a capacidade de se obter água de a qualidade desejada (RAY; PROMMER, 2006).

O desejo de atender às duas características está ligado à condutividade hidráulica do meio poroso por onde a água irá passar. Para solos mais finos e de condutividade hidráulica mais baixa, a quantidade de água será menor, porém a qualidade tenderá a ser melhor. O oposto ocorre em solos de maior condutividade hidráulica. Assim, durante o fluxo de água na interação rio-aquífero, quanto mais lenta for a percolação, maior será a atenuação de poluentes.

Por isso, em um sistema de FM, é bastante importante o conhecimento a respeito da estrutura do ambiente físico hiporreico e dos processos que influenciam a condutividade hidráulica no leito do rio, como a colmatação.

Schubert (2006a) explica que no processo de filtração em margem, pode-se ocorrer 4 fases de colmatação devido à operação de bombeamento:

1. Formação de uma camada de colmatação espacialmente variante na região do cone de drepressão e deformação hidro-mecânica dos aquíferos naturais causada pelo movimento de água através do meio poroso.
2. Redução significativa da condutividade hidráulica em toda área de infiltração e a redução da taxa de produção nos poços.
3. Propagação da zona não-saturada além do leito do rio. Esta zona é aquela onde o contato direto entre o aquífero e o leito do rio é interrompido.
4. Total interrupção entre o cone de depressão e o leito do rio. Neste caso, ocorre o fim da operação de FM.

Além disso, é imprescindível conhecer os processos biológicos que ocorrem na no leito do rio, pois a existência de biofilmes nos sedimentos hiporreicos está relacionada com uma melhor eficiência no tratamento da água pelo processo de FM. A meiofauna, por exemplo, é importante na degradação da matéria orgânica e é um grande estimulante de processos microbianos que formam os biofilmes (GIERE, 2009; ALBUQUERQUE, 2015).

De acordo com Hiscock e Grischek (2002), existem duas zonas principais de atenuação de poluentes no processo de FM: a primeira é a camada de colmatação biologicamente ativa, onde há intensos processos de adsorção e degradação ocorrendo em um curto tempo de residência; e a segunda que é ao longo do caminho do fluxo entre o rio e o poço de bombeamento, onde as taxas de degradação e a capacidade sorção são menores e os processos de mistura são maiores.

2.2.1 Histórico da FM e sua utilização no mundo

Sistemas de FM têm operado na Europa desde a década de 1870 (RAY *et al.*, 2002). Na Alemanha, como consequência de grandes epidemias bacterianas causadas por águas retiradas diretamente de rios no fim do século XIX, a extração direta de águas superficiais para abastecimento público caiu em descrédito e foi substituída ou suplementada por processos naturais ou artificiais de passagem de água em subsolo sua eficiência na remoção de micro-organismos. Atualmente, aproximadamente 16% da água potável na Alemanha é produzida a partir de filtração em margem ou infiltração. Em Berlim, aproximadamente 75% de seu abastecimento de água é produzido a partir da filtração em margem e recarga artificial de águas subterrâneas (SCHMIDT *et al.*, 2003).

Segundo Tufenkji, Ryan e Elimelech (2002), a Filtração em Margem é utilizada como forma de tratamento de até 80% de água de um país, como é o caso da Suíça. Nos Países Baixos são 7%; na Alemanha, 16%; na Hungria, 40%; na Finlândia, 48% e na França, 50%. No resto do mundo, não é tão comum pela melhor disponibilidade de água superficial e subterrânea com boa qualidade.

No entanto, nos últimos anos o uso da Filtração em Margem tem crescido bastante em vários países do mundo. Nos Estados Unidos, esta técnica tem sido usada em estados como Nebraska, Kentucky, Texas e Califórnia; e várias instituições de ensino têm investido em pesquisas relacionadas. De acordo com Hunt (2003), a experiência americana com a filtração em margem começou em meados da década de 1930. Assim, os Estados Unidos acumulam mais de 80 anos de utilização desta tecnologia.

Enquanto a Europa e Estados Unidos têm usado a FM no processo de abastecimento d'água por várias décadas. Outros países têm iniciado os investimentos nesta técnica muito mais recentemente (HU *et al.*, 2016).

Os países emergentes têm grande potencial para utilização da tecnologia de FM. Shamrukh e Abdel-Wahab (2011) afirmam que o principal problema nos países em desenvolvimento não é a falta de disponibilidade de tecnologias, mas sim, ao fato das partes interessadas desconhecerem alternativas disponíveis e sua adequabilidade de uma tecnologia sobre outras em cada situação. O maior desafio é selecionar uma tecnologia apropriada considerando problemas multifacetados incluindo viabilidade técnica e financeira, costumes e práticas, preferências e suporte institucional disponível.

A maioria dos países em desenvolvimento, embora tenham abastecimento de água suficiente, não possuem técnicas nem recursos econômicos para garantir acesso ilimitado à água potável. Para estes países, existe uma necessidade urgente de desenvolver alternativas às técnicas clássicas de produção de água potável, adaptadas às suas condições econômicas e sociais (UNESCO, 2009). Assim, a Filtração em Margem se encaixa em sua realidade, por se tratar de uma técnica que depende de um fenômeno natural para produzir água (BLAVIER *et al.*, 2014).

Assim, vários países ao redor do mundo – sobretudo países emergentes - têm iniciado pesquisas e operações de Filtração em Margem como alternativa ao tratamento de água convencional nas últimas décadas.

A Coréia do Sul iniciou em 2001, na cidade de Changwon (LEE; LEE, 2010). No Egito, um sistema de filtração às margens do Rio Nilo foi introduzido para o

abastecimento de mais de 30 mil pessoas em 2004 (SHAMRUKH; ABDEL-WAHAB, 2008).

Na Tailândia, foi construído um sistema que simula a colmatação do leito do Rio Ping, na província de Chiang Mai, onde há déficit no abastecimento urbano e grande potencial de implantação do sistema de FM (PHOLKERN *et al.*, 2015).

A Malásia também tem iniciado suas contribuições em pesquisas de FM através de modelagens numéricas usando MODFLOW. Estas pesquisas têm sido fruto de sua primeira estação de filtração em margem no país, localizada no estado de Selangor (MUSTAFA *et al.*, 2016; SHAMSUDDIN *et al.*, 2015).

Várias pesquisas também foram conduzidas na Índia, onde esta técnica tem mostrado resultados positivos, mesmo em locais onde as águas superficiais apresentam qualidade péssima (BOVING *et al.*, 2014). Muitas cidades deste país já usam já estão usando a técnica e filtração em margem. Em várias dessas cidades, nenhum tratamento adicional significante é fornecido para o abastecimento urbano (SANDHU *et al.*, 2011). A FM foi bem-sucedida em rios indianos com alta concentração microbiológica, como o rio Arani. Escherichia spp., Salmonella spp., Shigella spp. e Clostridium spp. estavam presentes no rio e foram drasticamente reduzidos com a indução de um poço de produção à 400 metros da margem (PARIMALARENGANAYAKI *et al.*, 2015).

A Filtração em Margem já é bastante utilizada na China. Existem mais de 300 estações de FM, que se concentram, sobretudo, no norte do país. Mais de 50 estações estão localizadas ao longo do Rio Amarelo (HU *et al.*, 2016). Neste país, tem-se conduzido estudos sobre a variabilidade espacial da condutividade hidráulica em rios intermitentes com clima bastante árido (Rio Donghe), e em rios cuja bacia possui clima semi-úmido continental (Rio Weihe) (MIN *et al.*, 2013; WANG *et al.*, 2016). Na China, a filtração em margem tem se mostrado uma tecnologia eficiente para aliviar a carência de água, especialmente em regiões áridas e semi-áridas (HU *et al.*, 2016).

2.2.2 Filtração em margem no Brasil

No Brasil, apesar de não haver a utilização da Filtração em Margem no abastecimento público, muitas pesquisas têm sido feitas ao longo dos últimos dez anos. A Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) é pioneira em pesquisas sobre esta técnica no país através de seu projeto piloto na Lagoa do Peri, em Florianópolis. Paralelamente, a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) através de seu projeto piloto no rio Beberibe, em Olinda, também tem contribuído significantemente com pesquisas científicas sobre a Filtração em Margem.

Em estudo realizado na Lagoa do Peri, em Santa Catarina, Esquivel, Pizzolatti e Sens (2012) investigaram a qualidade da água obtida por FM com a água bruta da lagoa e a água obtida por tratamento convencional usando filtração direta em uma estação de tratamento local. Os resultados mostraram que a água da lagoa possuía valores elevados de turbidez e cor aparente, parâmetros pelos quais o processo de FM reduziu seus valores na ordem de 90%. Este valor foi superior aos 57% e 60% de remoção de cor aparente e turbidez, respectivamente, pelo processo de filtração direta na ETA.

Como única desvantagem observada no estudo, observou-se condições anóxicas na água obtida na Filtração em Margem. Isto se deve pelo grande processo de biodegradação da matéria orgânica. Assim, seria necessário um pós-tratamento por aeração e filtração em areia, processos em que se pode aproveitar a estrutura da ETA existente (ESQUIVEL; PIZZOLATTI; SENS, 2012).

Sens *et al.* (2006) avaliaram e concluíram que a FM é uma ótima técnica para a remoção de cianobactéricas em pesquisa realizada na Lagoa do Peri. Ainda em Santa Catarina, Romero *et al.* (2010) provaram a eficácia da técnica de filtração em margem em estudo realizado em um lago de aquicultura e o Rio Itajaí do Sul, onde foi observado um bom resultado na remoção de coliforme totais, *Escherichia coli* e pesticidas.

Em Pernambuco, vários estudos foram feitos em relação à tecnologia de filtração em margem, incluindo dissertações e teses. O projeto piloto existente,

onde foram feitas as pesquisas, localiza-se na Estação Elevatória de Caixa D'água às margens do rio Beberibe. Outras informações importantes serão apresentadas mais adiante neste trabalho.

Paiva (2009) fez análises hidrogeológicas para a escolha do local de implantação da técnica em Pernambuco. Ele avaliou a performance da técnica nas condições locais e constatou o seu bom desempenho, afirmando a sua capacidade de utilização como forma de tratamento de água para abastecimento urbano.

Tatiane Veras, em seus trabalhos, estudou a zona hiporreica do rio Beberibe em seus aspectos físicos e biológicos, utilizando ensaios de infiltração e granulométricos e caracterização biológica através de investigação de meiofauna. Foram feitas análises qualitativas que reforçaram os resultados satisfatórios da técnica (VERAS, 2011; ALBUQUERQUE, 2015).

No rio Beberibe, foi contatada a presença de micro-organismos patogênicos como *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. (FREITAS *et al.*, 2015). A filtração em margem foi eficiente na remoção destes protozoários. Assim, não foi identificada nenhuma forma de parasita patogênico de veiculação hídrica nos poços de produção (FREITAS, 2014).

Demétrio *et al.* (2013) estudaram as características hidrogeológicas das aluviões do rio Beberibe, onde constataram que o rio tem comportamento efluente quando as bombas não estão funcionando. Além disso, foi visto que apesar das aluviões às margens do rio serem aquíferos rasos, estes são confinados com recarga linear ao longo rio durante o bombeamento (DEMÉTRIO *et al.*, 2013).

Santos (2012) pioneiramente fez estudos sobre a filtração em margem fora do projeto-piloto do rio Beberibe. O objeto de seu estudo foi a implantação de um sistema de FM no agreste pernambucano, no reservatório de Mundaú. Este reservatório se encontrava bastante poluído e eutrofizado e a técnica de filtração em margem apresentou resultados bastante positivos, eliminando as cianobactérias presentes no reservatório e melhorando a qualidade físico-química da água.

Além de Pernambuco e Santa Catarina, outras pesquisas têm sido feitas nos últimos anos em projetos pilotos iniciados em outros estados do Brasil. No município de Rio Grande, no Rio Grande do Sul, foi feito um estudo de viabilidade de aplicação da técnica de filtração em margem. Constatou-se a necessidade de maior riqueza de dados e informações a respeito das formações hidrológicas e hidrogeológicas do local, com o propósito de escolha do melhor ponto de aplicação (CAMPOS, 2012).

Em Minas Gerais, Rocha e Marques (2016) realizaram uma investigação criteriosa para se conhecer a hidrogeologia local às margens de uma barragem no campus da Universidade Federal de Viçosa, a fim de caracterizar o aquífero e analisar a interação água subterrânea-superficial no sistema de Filtração em Margem. Assim, foi constatada a viabilidade de utilização deste sistema no local.

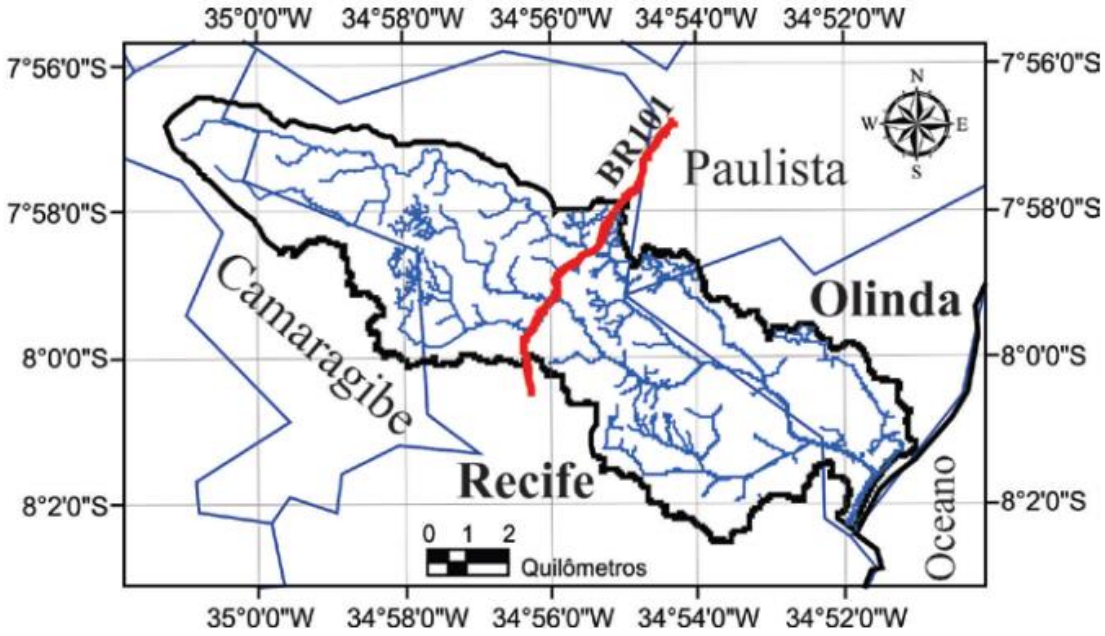
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi realizado nas margens do rio Beberibe, um dos rios mais poluídos de Pernambuco, situado na Região Metropolitana do Recife. Este rio localiza-se na divisa dos municípios de Olinda e Recife.

Esta poluição é decorrente, principalmente, pelo fato de grande parte de sua extensão atravessar comunidades de baixa renda. Predominantemente, essas comunidades não dispõem de boas condições de higiene e saúde pública. A coleta de esgoto e resíduos sólidos são precários ou inexistentes, assim, grande parte destes tem como destino o rio Beberibe.

A bacia hidrográfica do rio Beberibe pertence ao Grupo de Pequenos Rios Litorâneos (GL-1). Esta bacia está dividida pela BR-101 em dois setores distintos. A oeste desta rodovia, a área da bacia apresenta baixos níveis de ocupação, com resquícios da Mata Atlântica. A leste da rodovia existe altos índices de urbanização (SIRH, 2017).

Figura 3.1 – Bacia hidrográfica do Rio Beberibe



Fonte: VERAS *et al.* (2017)

O rio Beberibe nasce no município de Camaragibe, sendo formado pela confluência dos rios Pacas e Araçá, caracterizando-se como um rio de

pequena extensão. Sua bacia hidrográfica envolve parcelas dos municípios de Recife, Olinda e Camaragibe. Sua bacia envolve partes dos municípios de Olinda, Camaragibe e Recife; vivendo aproximadamente uma população de 580 mil habitantes em seu pequeno território de 81 km², caracterizando uma área com alta densidade populacional de cerca de 7300 hab/km² (SIRH, 2017).

De acordo com Campos (2008), o rio Beberibe nasce a 130 metros de altitude, percorrendo um total de 31 km até o Oceano Atlântico. Apenas após a junção dos rios Pacas e Araçá é que passa a se chamar de Beberibe. Os principais afluentes pela margem direita são o rio Morno, que recebe águas do rio dos Macacos e o riacho Vasco da Gama, também chamado de canal da Arruda. Pela margem esquerda, seus principais afluentes são o córrego do Abacaxi e o canal da Malária.

O rio Beberibe possui três trechos principais: o alto Beberibe, que vai da nascente até a BR-101; o médio Beberibe, que vai da BR-101 até o seu encontro com o rio Morno; e o baixo Beberibe, que vai do encontro com o rio Morno até a foz conjunta com o rio Capibaribe (CAMPOS, 2003).

3.1 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

A bacia hidrográfica do rio Beberibe possui características predominantes de clima quente e úmido, com chuvas de outono e inverno. Assim, conforme a classificação feita por Köppen, o clima dominante na região é As'. Esta classificação é a mais usada para categorizar as diferentes regiões de acordo com suas características climatológicas e geográficas, atribuindo um código para cada uma delas (ALVARES *et al.*, 2013; CAMPOS, 2003).

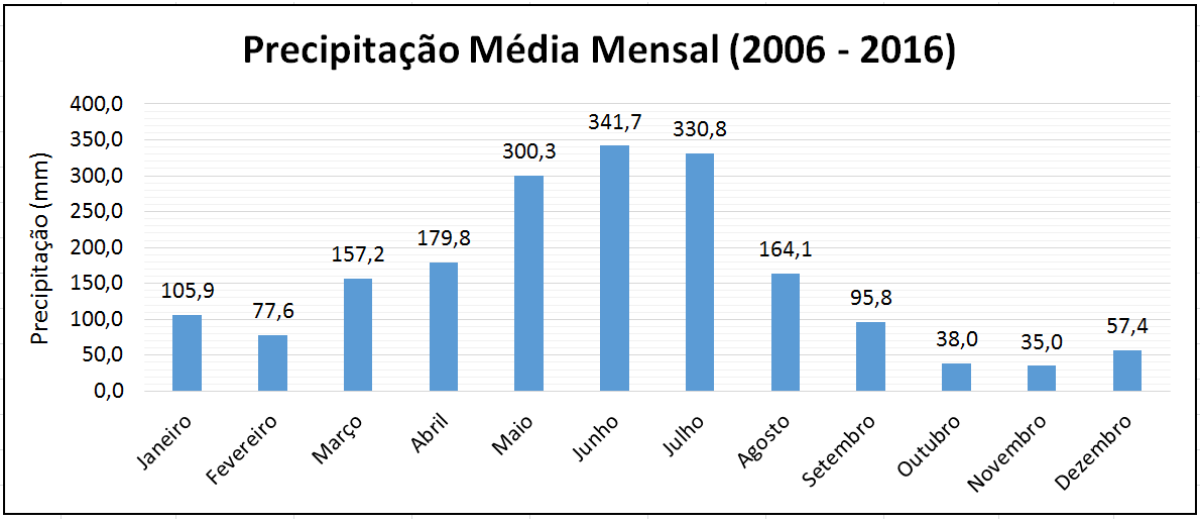
A precipitação média anual é bastante elevada, aproximadamente 2450,7 mm, sendo dividido em dois períodos distintos: chuvoso, de abril a agosto; e seco, de setembro a março (CAMPOS, 2003). A temperatura média anual gira em torno dos 25,5 ºC, com baixa amplitude térmica. O mês mais frio é julho com média de 23,9 ºC e os meses mais quentes são janeiro e fevereiro com média de 26,6 ºC (INMET, 2003 *apud* PAIVA, 2009). A Tabela 3.1 mostra as médias mensais de precipitação, temperatura e demais fatores climáticos.

Tabela 3.1 - Médias mensais da normal climatológica no período 1961 a 1990, na Estação do Curado, Recife.

MÊS	PRECIPITAÇÃO (mm)	EVAPORAÇÃO (mm)	TEMPERATURA (°C)	UMIDADE RELATIVA (%)	INSOLAÇÃO (horas)
Janeiro	102,80	135,40	26,60	75	242,60
Fevereiro	145,00	153,30	26,60	77	210,40
Março	262,10	97,00	26,40	80	208,30
Abril	325,70	76,60	26,00	84	183,40
Maio	331,80	70,20	25,20	85	187,50
Junho	388,90	73,00	24,50	86	168,60
Julho	389,70	77,70	23,90	85	165,40
Agosto	205,80	99,20	24,00	82	206,90
Setembro	123,60	114,50	24,60	79	217,20
Outubro	62,60	141,20	25,50	76	253,90
Novembro	45,20	140,10	26,10	74	260,90
Dezembro	67,50	145,30	26,40	75	251,30
MÉDIA MENSAL	204,23	110,29	25,48	79,8	213,03
TOTAL ANUAL	2450,70	1323,50	-	-	2556,40

Fonte: (INMET, 2003 *apud* PAIVA, 2009)

Figura 3.2 - Precipitações médias mensais no período 2006 – 2016 na Estação Alto da Brasileira, Recife.



Fonte: (APAC, 2018)

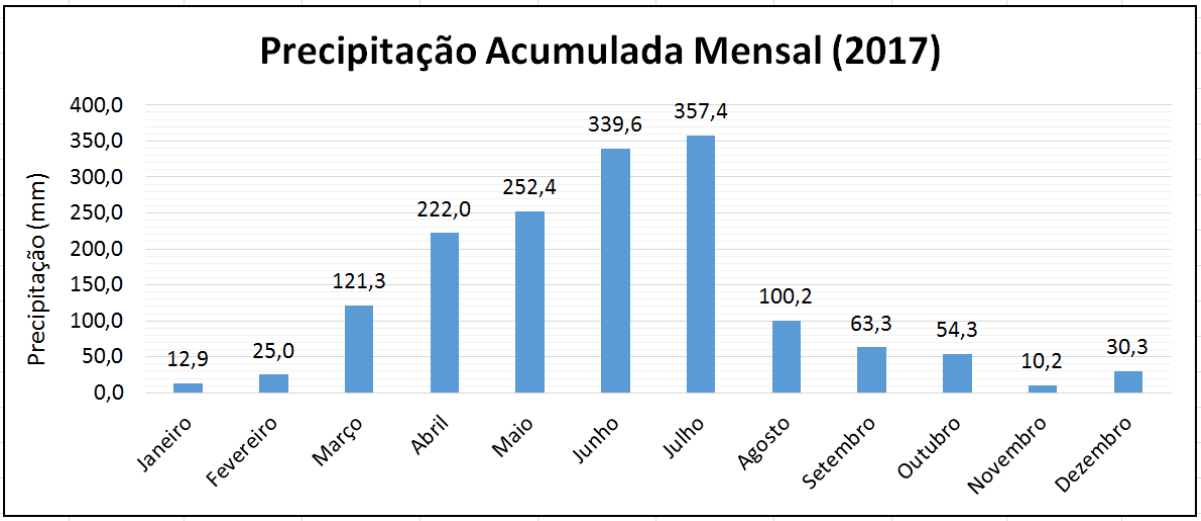
A Figura 3.2 ilustra bem a distinção entre o período chuvoso e período seco na região, através das precipitações médias para cada mês no período mais recente de 2006 a 2016. Os dados foram coletados no posto pluviométrico do

Alto da Brasileira, em Recife, e disponibilizados pela Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC, 2018).

Neste período (2006 – 2016), o mês mais chuvoso foi junho com média de 330,8 mm de precipitação; e o mês menos chuvoso foi novembro, com 35,0 mm de precipitação. A média anual neste intervalo de tempo foi 1883,5 mm/ano, configurando uma redução nos valores médios mensais com relação ao histórico.

Na figura 3.3, pode-se observar os valores mensais de precipitação acumulada no mesmo posto pluviométrico para o ano de 2017, quando este trabalho foi realizado. Neste ano, o mês mais chuvoso foi julho com 357,4 mm de chuva acumulada e o mês menos chuvoso foi novembro, com 10,2 mm. O acumulado de precipitação do ano foi de 1588,9 mm.

Figura 3.3 – Precipitações médias mensais em 2017 na Estação Alto da Brasileira, Recife.



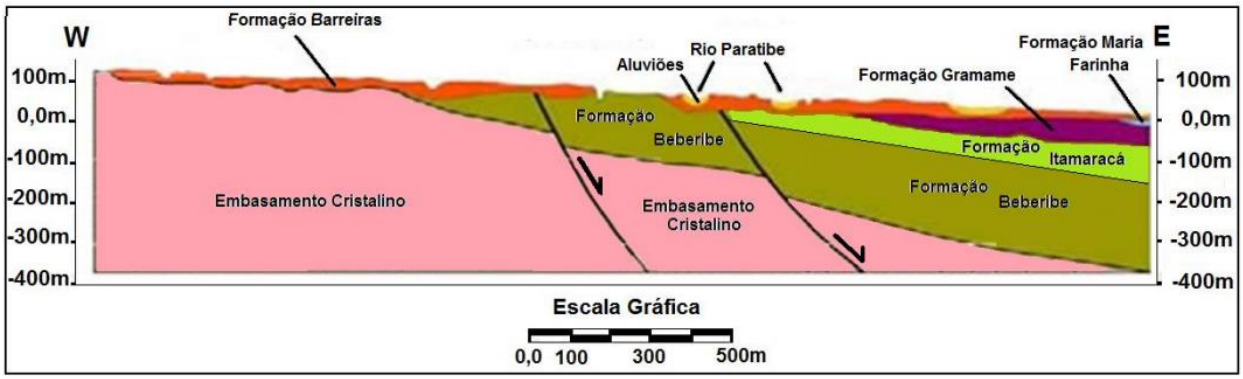
Fonte: (APAC, 2018)

3.2. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA

Como já mencionado anteriormente, a bacia hidrográfica do rio Beberibe pertence ao Grupo de Pequenos Rios Litorâneos (GL-1). Este grupo está situado predominantemente sobre rochas sedimentares da bacia Paraíba e rochas do embasamento cristalino (BARBOSA; LIMA FILHO, 2005).

Segundo Lopes (2012), a bacia Paraíba é uma bacia tipo rampa e é a última ligação entre a África e América do Sul durantes os eventos geológicos que culminaram na separação destes dois continentes. Esta bacia é uma faixa sedimentar costeira entre o Lineamento Pernambuco e o Alto de Mamanguape, ao norte de João Pessoa, constituída pelas sub-bacias Olinda, Alhandra e Miriri (LOPES, 2012).

Figura 3.4 - Estruturação da bacia Paraíba sobre o Embasamento Cristalino a as principais falhas normais com base em perfis gravimétricos em corte próximo ao município de Olinda.



Fonte: Lopes (2012)

De acordo com Demétrio *et al.* (2013), a formação predominante no entorno da região de estudo é a Formação Barreiras, seguida pelas aluviões e depósitos de praia. Na sequência os calcários da Formação Marinha Farinha/Gramame e os arenitos da Formação Beberibe.

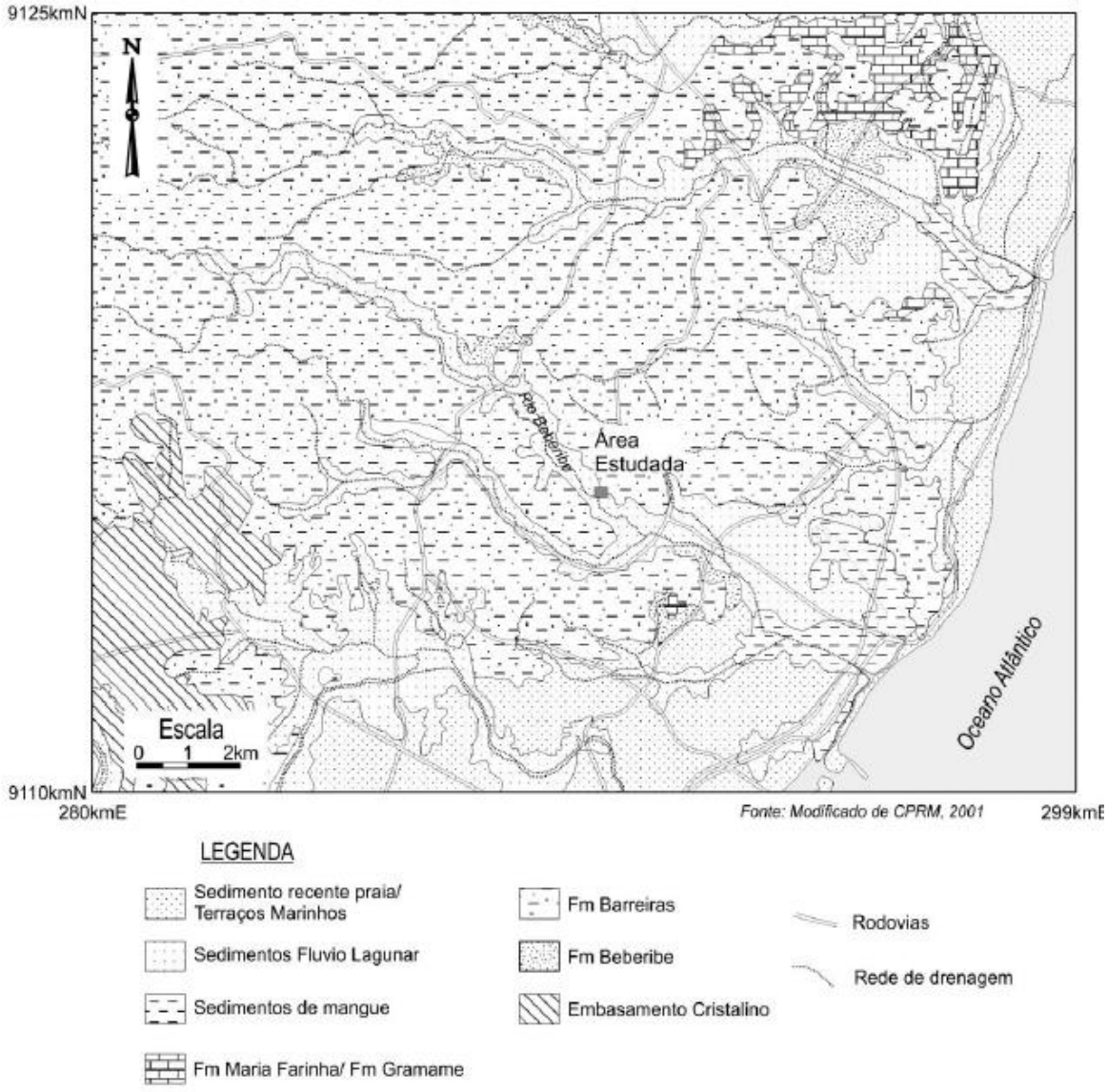
A formação Barreiras ocupa mais da metade da Região Metropolitana do Recife. Ocorre nas regiões circundantes à planície de Recife e, mesmo não possuindo um grande potencial hidrogeológico, certamente contribui com fluxo subsuperficial para os aquíferos da superfície. Corresponde à zona de tabuleiros, vales estreitos, ocorrendo na forma de pequenos morros isolados. É formado por sedimentos areno-argilosos, não consolidados, com intercalações argilosas e níveis arenosos grosseiros (LOPES, 2012; PAIVA, 2009; DEMÉTRIO *et al.*, 2013).

A formação Beberibe é uma sequência espessa de aproximadamente 200 metros predominantemente arenítica, de uma planície litorânea com dominância de areias fluviais, na qual houve processos de oscilação

transgressiva. Ocorre extensivamente na bacia Paraíba, principalmente ao norte da Região metropolitana do Recife, estando assentada discordantemente sobre o embasamento cristalino devido a uma discordância erosiva (LOPES, 2012; OLIVEIRA, 2003).

De acordo com Demétrio et al. (2013), o mais provável é que as aluviões do trecho do estudo estão assentadas sobre a formação Barreiras.

Figura 3.5 - Mapa geológico na região da bacia do Rio Beberibe



Fonte: Demétrio *et al.* (2013)

3.3 ASPECTOS SOCIOAMBIENTAIS E DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Como já foi afirmado anteriormente, a bacia hidrográfica do rio Beberibe está dividida entre duas áreas distintas em termos de urbanização: a oeste da BR-101 – que possui pouquíssima ocupação urbana - e a leste da BR-101 – que é fortemente habitada.

A bacia do rio Beberibe possui uma população de cerca de 590 mil habitantes, possuindo a maior concentração de assentamentos de baixa renda da região Metropolitana do Recife, onde 67% de seus domicílios estão situados em assentamentos espontâneos. Possui serviços públicos e de infraestrutura urbana precários (SIRH, 2017).

Figura 3.6 - Foto ilustrativa do Rio Beberibe e o seu entorno na divisa entre os municípios de Olinda e Recife.

Fonte: (FIDEM, 2000 *apud* CAMPOS, 2003).

Segundo Campos (2003), os graves problemas socioambientais presentes na bacia se intensificaram a partir da explosão urbana iniciada na segunda metade do século XX. Inicialmente, a cobertura vegetal da bacia compreendia o domínio da Mata Atlântica e dos sistemas associados de praia, restinga e manguezais. Após a forte ação antrópica, mudanças significativas nos aspectos climatológico, geológico e topográfico não foram produzidas, mas por

outro lado, modificações nos ambientes vegetal e hidrográfico foram bastante relevantes.

Figura 3.7 - Foto ilustrativa do Rio Beberibe e seus problemas socioambientais.

Fonte: SIRH (2012).

Através de monitoramento realizado em 2003 na bacia hidrográfica do rio Beberibe pela CPRH, pôde-se verificar a péssima qualidade de suas águas. Foram cincos estações: um no rio Morno, uma no riacho Lava Tripa e três no rio Beberibe. Os valores registrados chegaram a níveis de OD foi 0mg/l e de DBO, 19,2mg/l. Os níveis de Coliforme Fecal e Fósforo evidenciam o lançamento de esgoto de origem doméstica, em toda a extensão do seu curso (CPRH, 2017). Assim, comprova-se o que é público e notório a respeito do baixo nível de qualidade das águas do rio Beberibe.

De acordo com Veras (2011), a bacia do rio Beberibe já perdeu mais da metade de sua cobertura vegetal nativa. Essa forte urbanização resultou em problemas de impermeabilização do solo, pouca área de cobertura vegetal, um aumento gradativo da produção de resíduos sólidos e de lixo, ocupação desordenada e falta de estrutura nos serviços de saneamento e drenagem pluvial (VERAS, 2011).

O trecho do rio Beberibe onde se observa uma maior contribuição de esgotos e resíduos sólidos é o médio Beberibe, que se estende entre a BR-101 e o encontro com o rio Morno, pois a densidade populacional nessa área é maior devido à presença de morros (VERAS, 2011). É exatamente neste trecho onde se localiza a Estação Experimental de Filtração em Margem.

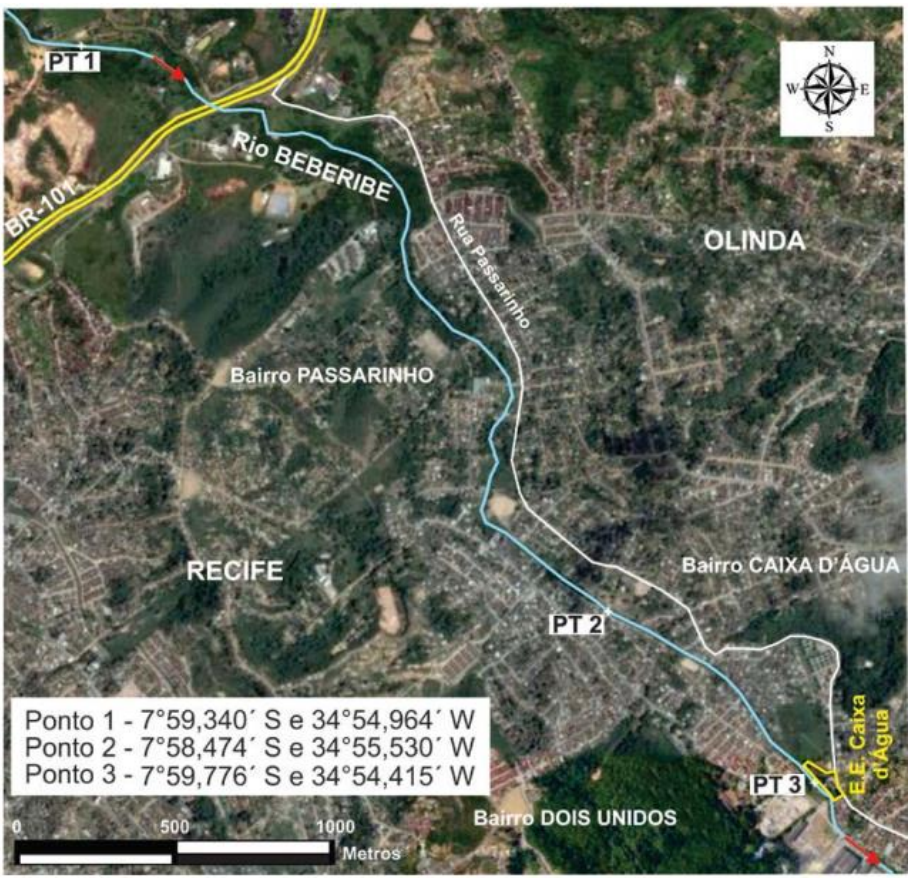
3.4 ÁREA DE PESQUISA

A pesquisa foi realizada em 3 pontos do Rio Beberibe; na Estação Elevatória da COMPESA, no bairro de Caixa d'Água, em Olinda, onde já existe um projeto piloto de Filtração em Margem instalado; e num cacimbão próximo à estação elevatória.

3.4.1 Pontos no Rio Beberibe

Os 3 pontos no rio foram nomeados Ponto 1, Ponto 2 e Ponto 3, conforme a Figura 3.8 em imagem adquirida pelo Google Maps.

Figura 3.8 – Localização dos pontos de pesquisa no Rio Beberibe.



A numeração dos pontos foi dada do ponto mais a montante até o ponto mais a jusante. Assim, o Ponto 1 localiza-se mais a montante, o Ponto 2 é intermediário e o Ponto 3 é o mais a jusante.

O Ponto 1 (Figura 3.9) está localizado próximo e montante da BR-101 no bairro da Guabiraba, em Recife. Caracteriza-se por estar numa área ainda preservada, com resquícios de Mata Atlântica. Não recebe contribuição a montante de áreas com urbanização e suas águas são cristalinas.

Figura 3.9 - Ilustração do Ponto 1 no rio Beberibe.

Logo após passar sob a BR-101, o rio começa a percorrer áreas de forte urbanização, ou seja, áreas onde o rio possui um forte risco de sofrer poluição antrópica.

O Ponto 2 (Figura 3.10) está situado aproximadamente 2,7 quilômetros a jusante do Ponto 1. Este ponto fica na divisa dos bairros de Dois Unidos, em Recife, e Caixa d'Água, em Olinda.

O rio neste ponto possui um forte grau de contaminação e é possível encontrar várias tubulações com esgoto saindo na área.

Figura 3.10 - Ilustração do Ponto 2 no rio Beberibe.

O Ponto 3 (Figura 3.11) está situado aproximadamente 800 metros a jusante do Ponto 2 e 3,5 quilômetros a jusante do Ponto 1. Está localizado no trecho do rio onde fica a Estação Elevatória da COMPESA em Caixa d'Água. Por receber uma vazão maior de esgotos domésticos, este ponto possui a aparência mais desagradável entre os pontos do estudo.

Figura 3.11 - Ilustração do Ponto 3 no rio Beberibe.

3.4.2 Cacimbão

Além destes três pontos no Rio Beberibe e em poços da EE de Caixa d'Àgua, foram feitas coletas em um cacimbão próximo à estação da Compesa (Figura 3.12).

Figura 3.12 - Localização do cacimbão próximo ao Ponto 3 e à Estação Elevatória de Caixa d'Água.

A utilização deste cacimbão na pesquisa surgiu a partir da necessidade de se ter um ponto que melhor representasse as condições do aquífero na região, sem interferência dos poços de filtração em margem, quando estes estiverem com o bombeamento funcionando.

Este cacimbão está localizado a aproximadamente 120 metros da entrada da Estação Elevatória de Caixa d'Àgua. Fica no quintal de uma residência e é usada esporadicamente apenas para fins domésticos.

Figura 3.13 – Ilustração do cacimbão

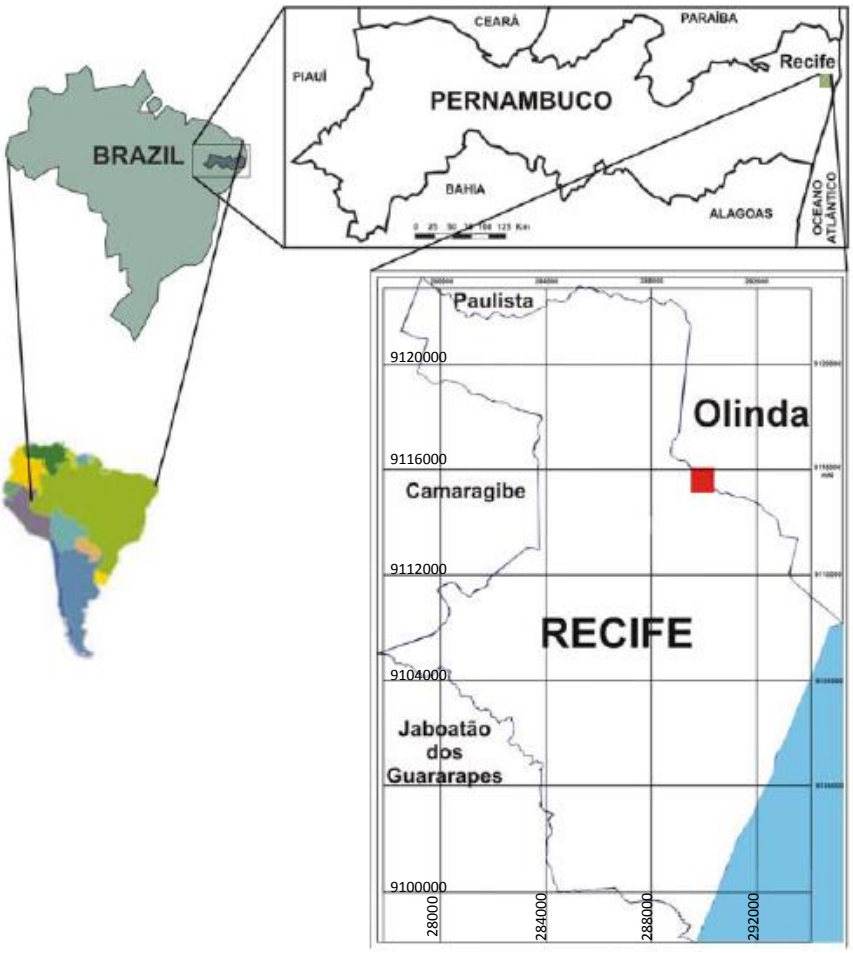
3.4.3 Estação Elevatória de Caixa d'Água

Outro local de monitoramento onde foram realizadas coletas é a Estação Elevatória de Caixa d'Água. Neste local, a Universidade Federal de Pernambuco, através do grupo de Filtração em Margem, implantou uma estação experimental de FM, e assim, tem desenvolvido várias pesquisas relacionadas ao tema ao longo dos anos, por meio do projeto piloto ali implantado.

Esta estação elevatória pertence à Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), empresa colaboradora da pesquisa, e localiza-se no bairro de Caixa d'Água às margens do Rio Beberibe em Olinda/PE, em área limítrofe ao município do Recife/PE. A sua localização em coordenadas geográficas é 7°59'44''S e 34°54'25''O.

É possível ver a posição da EE de Caixa d'Água na Figura 3.12 próxima a outros pontos de estudo e a sua localização geográfica na Figura 3.14.

Figura 3.14 - Localização geográfica da EE de Caixa d'Água.



Fonte: Paiva (2009)

3.4.3.1 Projeto piloto

A implantação de um projeto piloto para pesquisas de Filtração em Margem em Pernambuco foi iniciada em 2007. Após reuniões com a equipe técnica da COMPESA, definiu-se a Estação Elevatória de Caixa d'Água às margens do rio Beberibe como local favorável a este fim.

Alguns pontos positivos foram elencados na escolha do local, segundo Paiva (2009):

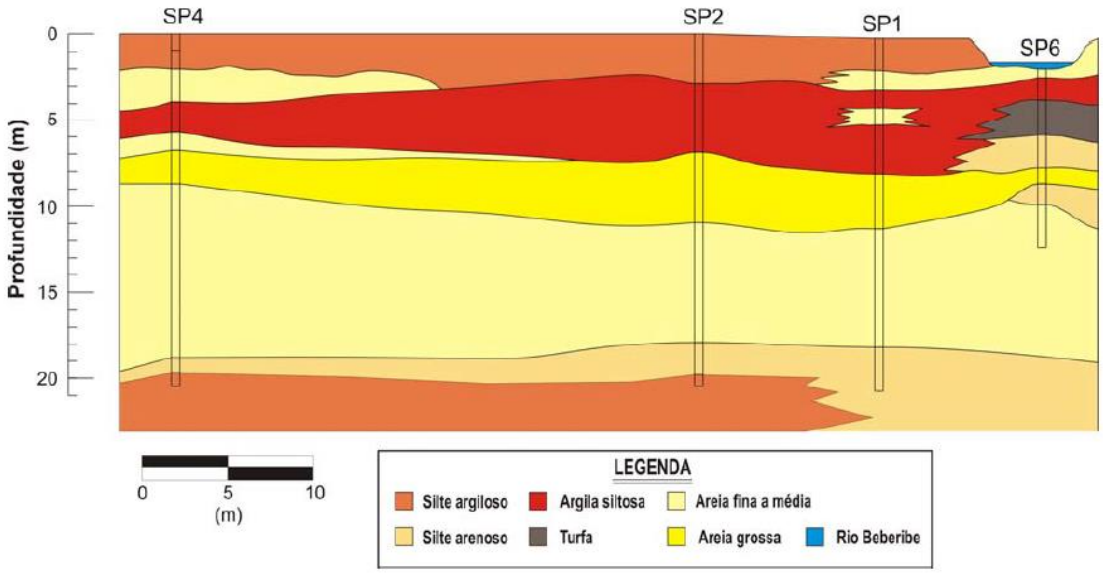
- É uma área de propriedade da própria COMPESA, facilitando acessos e proteção das instalações realizadas;
- O terreno da estação é margeado pelo rio Beberibe;
- A região está sobre uma formação sedimentar;

- A água explotada pelo sistema de FM já poderia ser direcionada para o próprio sistema de bombeamento existente.

Foi realizada uma investigação do subsolo, onde foram feitas sondagens à percussão SPT em 6 furos (SP1, SP2, SP3, SP4, SP5, SP6). Os furos SP1, SP2, SP3, SP4 e SP5 foram executados com 20 metros de profundidade; e o furo SP6, com 10 metros de profundidade. Foram feitas análises granulométricas das amostras no Laboratório de Solos da Universidade Federal de Pernambuco.

Assim, a partir dos perfis de sondagem, foram construídas 2 seções litológicas: uma transversal e uma paralela ao rio. Estas seções podem ser vistas nas Figuras 3.15 e 3.16.

Figura 3.15 - Seção litológica transversal ao Rio Beberibe.

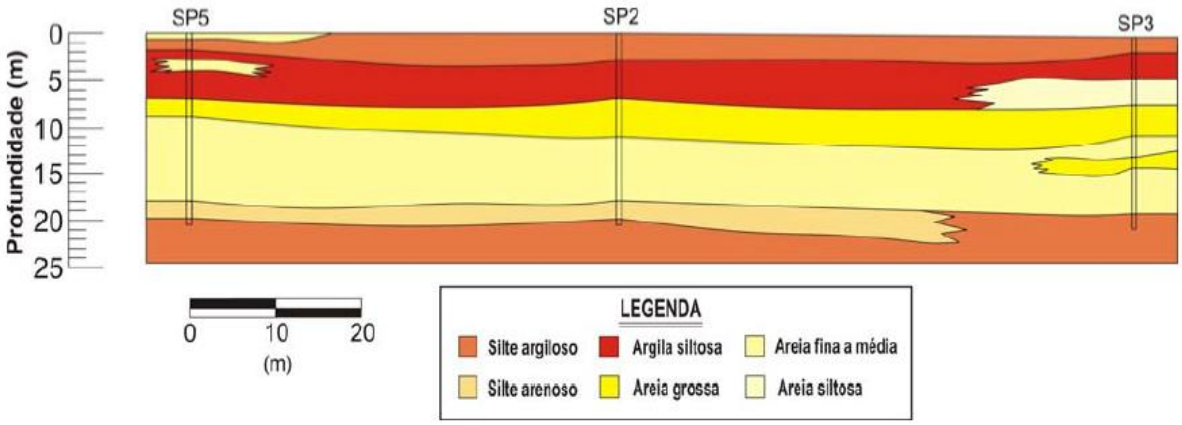


Fonte: Paiva (2009).

A seção litológica transversal foi traçada a partir das informações coletadas nos furos de sondagens SP4, SP2, SP1 e SP6. Percebe-se que a camada superior do solo é composta por silte argiloso que é prosseguida por argila siltosa. Estas duas camadas compreendem aproximadamente 7 metros do perfil do solo. A seguir, tem-se camadas compostas de material granular, onde se encontra areia grossa, e posteriormente, areia fina e média. Pode-se observar que o leito

do rio é composto por areia fina e média, seguida de uma esbelta camada de argila siltosa e uma camada de turfa.

Figura 3.16 – Seção litológica paralela ao Rio Beberibe.

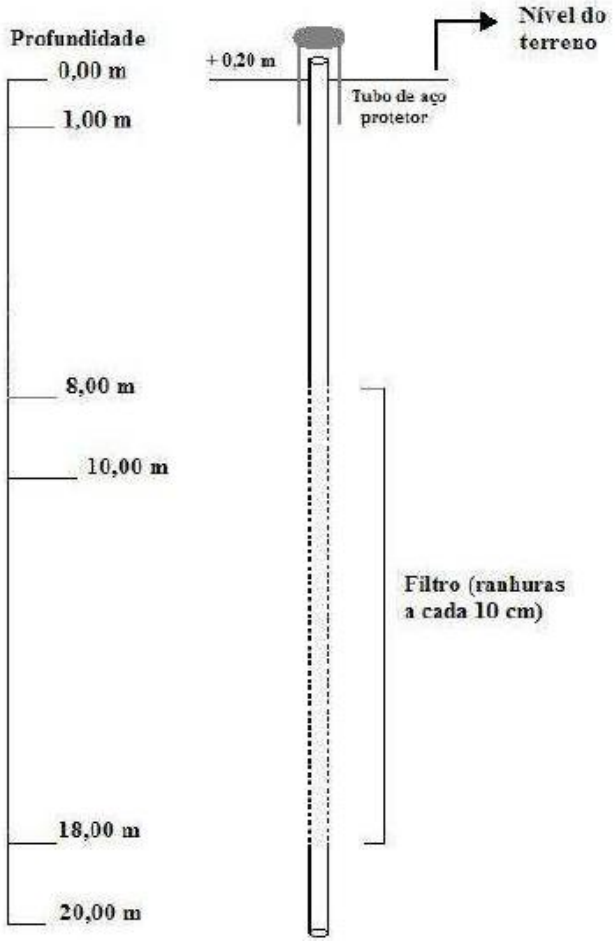


Fonte: Paiva (2009).

Para a elaboração do perfil litológico paralelo ao rio Beberibe, foram utilizadas as informações dos furos de sondagem SP5, SP2 e SP3. Pode-se observar que no topo da seção, o solo é composto por material mais fino, compreendendo uma camada de silte argiloso e uma camada de argila siltosa. A seguir, encontram-se camadas de material mais grosso, compostos de areia.

Os furos de sondagem foram feitos para serem aproveitados como poços de observação após as análises de investigação do subsolo. Assim, foram colocados tubos PVC de 1 polegada até os 20 metros de profundidade do furo, com ranhuras a cada 10 cm entre as profundidades de 8 e 18 metros (Figura 3.17). Para proteção dos piezômetros, foram colocados tubos de aço de 1,20 m na parte superior de cada poço de observação.

Figura 3.17 - Esboço dos poços de observação instalados na estação experimental de FM em Caixa d'Água.



Fonte: Freitas (2014).

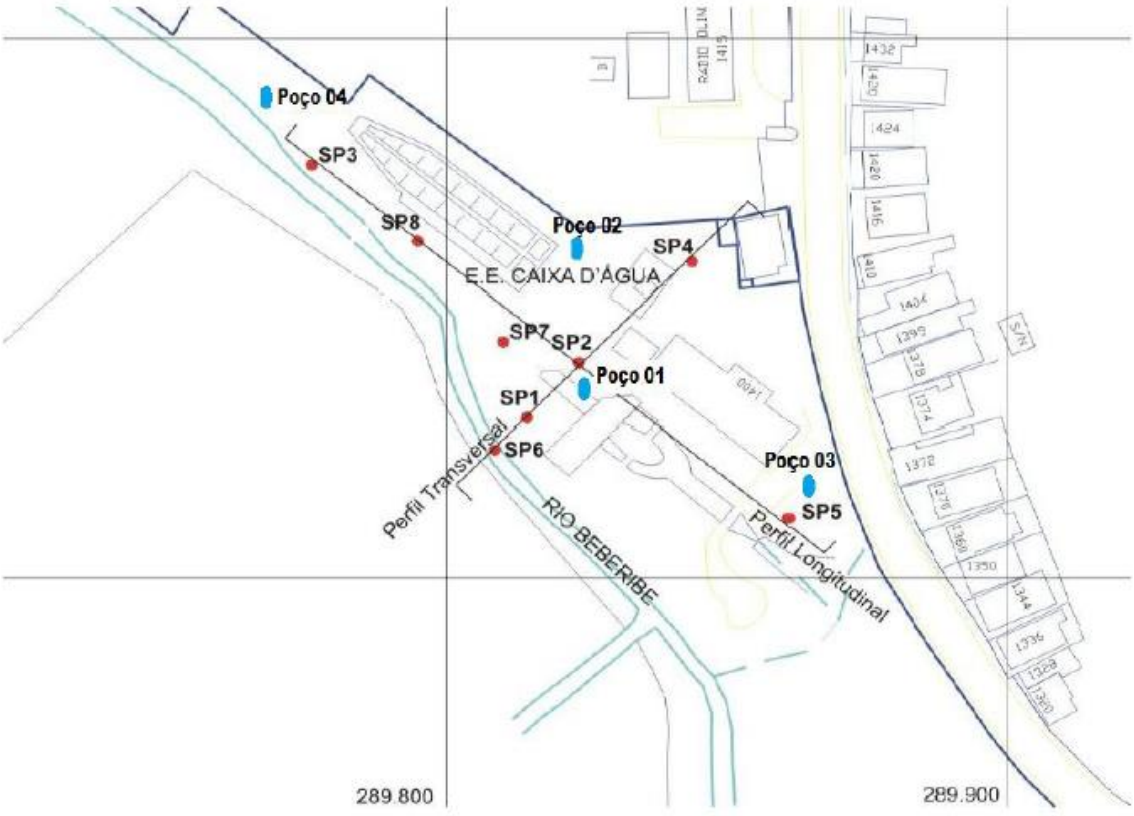
Em 2008, com a caracterização geológica concluída, foi possível instalar o primeiro poço de produção na estação elevatória. O poço de produção 1 possui 15 metros de profundidade e 6 polegadas de diâmetro. O filtro foi instalado entre 6 e 13 metros, trecho composto por material granular mais grosso. A bomba opera durante 24 horas ininterruptamente. Está localizado a aproximadamente 65 metros de distância do rio no sentido do fluxo subterrâneo, e possui vazão média de 12,6 m^3/h.

Após a instalação do poço de produção P1 e o mesmo já em operação, foi incorporado ao conjunto de poços de observação já existente mais dois poços feitos a partir dos furos de sondagem SP7 e SP8. Estes novos poços de observação, diferentemente dos antigos, possuem 8 metros de profundidade com filtro posicionado entre 2 e 7 metros de profundidade.

Em 2012, foram instalados mais 3 poços de produção na Estação Elevatória de Caixa d'Água. Os novos poços P2, P3 e P4 apresentam detalhes construtivos semelhantes ao primeiro poço. Possuem diâmetro de 150mm, profundidade de 15 metros, filtro entre 6 e 12 metros e cimentação feita nos 3 primeiros metros a partir da superfície.

A configuração completa do local onde se encontra o projeto piloto de filtração em margem no rio Beberibe com todos os poços de observação (SP1, SP2, SP3, SP4, SP5, SP6, SP7 e SP8) e todos os poços de produção 1, 2, 3 e 4 estão mostrados na Figura 3.18.

Figura 3.18 - Localização dos poços de observação e de produção na estação experimental de FM em Caixa d'Água.



Fonte: Albuquerque (2015).

A vazão média de operação dos quatro poços de produção pode ser observada na Tabela 3.2. Estas se referem às vazões médias durante os períodos de operação de cada poço de bombeamento (a partir de março de 2009 para o

poço 01, março de 2013 para o poço 03 e setembro de 2014 para os poços 02 e 04).

Tabela 3.2 - Vazão média de operação dos poços de produção localizados na estação experimental de FM em Caixa d'Água.

POÇOS	**01**	**02**	**03**	**04**
VAZÃO (m^3/h)	12,60	9,57	9,13	9,80

Fonte: Albuquerque (2015).

A água produzida pelo sistema de filtração em margem no local passa por análises físico-químicas e bacteriológicas e é misturada à água captada pelo sistema convencional da COMPESA através de ligação direta entre a bomba e o poço de sucção da estação elevatória.

3.4.3.2 Dificuldades encontradas

Umas das dificuldades encontradas refere-se a questões sociais no entorno da área experimental. Em 2017, aconteceu o furto da bomba do poço de produção do Poço 1, o que dificultou as atividades de pesquisa e levou a necessidade de intensificar o serviço de vigilância. Assim, o presente estudo não considerou o efeito do bombeamento nos poços de FM para o ano de 2017.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ZONA HIPORREICA

Como dito anteriormente, é primordial a investigação sobre zona hiporreica para a melhor compreensão da interação rio-aquífero. Assim, para que os objetivos do presente trabalho fossem alcançados, foram realizadas coletas em 3 pontos do Rio Beberibe para a análise da granulometria e, principalmente, da composição biológica bentônica presente no meio hiporreico.

4.1.1 Granulometria, matéria orgânica total e $CaCO_3$

Há algumas razões consideráveis para a realização de análises granulométricas, entre as quais, estão as bases para uma descrição mais precisa dos sedimentos, as informações sobre processos físicos atuantes durante a sua deposição, a relação de propriedades como porosidade e condutividade hidráulica, e o uso de parâmetros granulométricos em diferentes combinações (SUGUIO, 2003).

Assim, nos mesmos 3 pontos de estudo, foram extraídas amostras para a realização dos ensaios de granulometria. As coletas foram realizadas nos dias 06 de abril, 11 de julho e 04 de outubro, no ano de 2017. Estes foram os mesmos dias que ocorreram as coletas dos sedimentos para a caracterização biológica (meiofauna), o que foi importante para a ligação entre os dois parâmetros.

O amostrador corer foi o mesmo utilizado para as coletas de meiofauna; com a diferença de que para a granulometria, foram coletadas amostras até 10 cm de profundidade a cada 5 cm (2 amostras por ponto).

Depois de coletadas, as amostras foram armazenadas em um refrigerador para sua melhor preservação. Os ensaios granulométricos foram realizados, no Laboratório de Oceanografia Geológica (LABOGEO) do Departamento de Oceanografia (DOCEAN) da UFPE.

A mesma amostra utilizada para a análise granulométrica também é usada para a determinação dos teores de matéria orgânica total (MOT) e de carbonato de cálcio ($CaCO_3$).

Estes dois parâmetros também são importantes para a caracterização da zona hiporreica. A matéria orgânica total presente nos sedimentos hiporreicos possui uma forte relação com os organismos bentônicos (GIERE, 2009). Além de que, o estudo sobre a matéria orgânica presentes nos sedimentos pode dar informações sobre a influência antropogênica no local (BARCELLOS *et al*., 2016; XAVIER *et al*., 2016).

O carbonato de cálcio, por sua vez, é um agente cimentante que promove a ligação de partículas do solo, ou seja, aumenta sua colmatação, reduzindo a condutividade hidráulica da zona hiporreica (HISCOCK; GRISCHEK, 2002).

Inicialmente, as amostras são secadas em estufa a 60°C por pelo menos 24 horas. Então, são divididas em duas alíquotas: uma de 30 g para obtenção do teor de matéria orgânica total e, posteriormente, da composição granulométrica; e outra de 10 g para obtenção do teor de carbonato de cálcio.

Na primeira alíquota, é posta uma solução de H_2O_2 a 10% para a queima da matéria orgânica. Analogamente, a segunda alíquota é submersa em uma solução de ácido clorídrico (HCl) a 10% para ataque ao carbonato de cálcio. Em ambos os casos, as amostras são colocadas numa capela até que as queimas da matéria orgânica e do carbonato de cálcio sejam completas (Figura 4.1). Após isso, os teores de MOT e $CaCO_3$ são obtidos pela diferença de peso seco após as amostras serem colocadas em solução (CARVER, 1971).

Figura 4.1 - Capela utilizada durante as queimas de MOT e de $CaCO_3$.

Depois disto, inicia-se a o processo para análise granulométrica através dos métodos de peneiramento úmido, seco e pipetagem descritos em Suguio (1973). Assim, a alíquota utilizada para a determinação do teor de $CaCO_3$ é descartada e a alíquota utilizada para a determinação da MOT é utilizada para a granulometria.

Primeiramente, as partículas finas (< 0,062 mm) são separadas das partículas grossas através do processo de peneiramento úmido. As partículas grossas são colocadas novamente na estufa e, a posteriori, são submetidas ao peneiramento seco, onde são utilizadas diversas peneiras, com aberturas de malha de 2,000; 1,410; 1,000; 0,707; 0,500; 0,354; 0,250; 0,177; 0,125; 0,088 e 0,062 mm. É utilizado um equipamento, onde as peneiras sofrem vibrações de 10 a 15 minutos. Então, são pesados os sedimentos retidos em cada uma das peneiras.

Para as partículas finas, utiliza-se a técnica denominada pipetagem, que se baseia na Lei de Stokes. Esta técnica consiste na colocação dos sedimentos com água destilada em provetas. Em intervalos pré-determinados, retira-se

pequenas porções da mistura, que depois serão postas em estufa. Então, pesam-se os sedimentos retirados.

A partir de todos os pesos adquiridos após o peneiramento seco e na pipetagem (Figura 4.2), os dados foram inseridos no software Sysgran versão 3.1 (CAMARGO, 2006). Este software faz o tratamento dos dados segundo os parâmetros estatísticos de Folk e Ward (1957) e o diagrama de fáceis texturais de Shepard (1954). Assim, foram obtidos resultados como a classificação granulométrica das amostras, o diâmetro médio, o grau de seleção, assimetria e os teores de cascalho, areia, silte e argila.

Figura 4.2 - Etapas da metodologia realizada para a determinação da distribuição granulométrica: (a) Peneiramento úmido; (b) Peneiramento seco; (c) Pipetagem.

4.1.2 Microfitobentos

Os microfitobentos fizeram parte da caracterização biológica da zona hiporreica do Rio Beberibe nos pontos do estudo. Suas coletas foram realizadas nos dias 11 de julho e 04 de outubro de 2017.

Os microfitobentos fazem parte da cadeia alimentar da fauna hiporreica, sobretudo os meiobentos. Assim, este é um importante parâmetro biológico no estudo da composição e distribuição da meiofauna.

As coletas consistiram na retirada de sedimentos superficiais do leito do rio, com auxílio de amostrador de 1,13 cm² de área transversal e 2 cm de profundidade. Analogamente à amostragem da meiofauna, foram coletadas amostras replicadas por ponto em cada campanha. Em julho, foram três coletas por ponto e em outubro, quatro.

Após coletadas, as amostras são acondicionadas em frascos âmbar (Figura 4.3) e, após chegada ao laboratório, são mantidas no congelador e abrigadas da luz até o momento de sua análise.

Figura 4.3 - Frascos âmbar utilizados no armazenamento das amostras de microfitobentos.

Inicialmente, para que as amostras estejam em condições de análise, estas precisam ser retiradas do congelador e postas na geladeira por 8 horas para que possam ser descongeladas. Em seguida, adiciona-se 15 mL de acetona 100% PA nas amostras, agitando-as levemente para sua homogeinização.

Após 12 horas, agita-se novamente de forma cuidadosa. Depois do material decantar, a leitura no espectofotômetro é realizada. Este equipamento lê os níveis de absorbância das amostras em diferentes comprimentos de onda(COLIJN; DIJKEMA, 1981).

A leitura no espectofotômetro (Figura 4.4) consiste na colocação do líquido superficial das amostras em cubetas dentro do equipamento. As leituras são feitas nos comprimentos de onda 665 e 750 nm. Depois, adiciona-se 50 μL de ácido clorídrico e realiza-se novas leituras nos mesmos comprimentos de onda (COLIJN; DIJKEMA, 1981).

Figura 4.4 - Espectofotômetro utilizado para a leitura das amostras de microfitobentos.

Após estas leituras, a estimativa da quantidade de biomassa microfitobentônica é a realizada a partir das equações de Lorenzen (1967), onde são obtidos os valores das concentrações de clorofila-a e feopigmentos.

Equações de Lorenzen (1967):

$$Clorofila - a = \frac{\mathrm{A}\, K\, [(665o - 750o) - (665a - 750a)]v}{V\, L}$$

$$Feopigmentos\ = \frac{\mathrm{A}\, K\, [R(665a - 750a) - (665o - 750o)]v}{V\, L}$$

Onde:

665o = Absorbância a 665 nm antes da acidificação;
665a = Absorbância a 665 nm após a acidificação;
750o = Absorbância a 750 nm antes da acidificação;
750a = Absorbância a 750 nm após a acidificação;
A = Coeficiente de absorbância da clorofila-a = 11;
K = Factor que equaciona a redução da absorbância na concentração inicial de clorofila-a após acidificação = R/(R-1) = 2,43;
v = Volume de acetona usado;
V = Volume de amostra filtrada;
L = Percurso óptico da célula do espectrofotómetro;
R = Razão máxima de absorvância de A665/ A665A na ausência de feopigmentos = 1,7.

4.1.3 Meiofauna

A meiofauna também foi estudada, sendo a principal componente da caracterização biológica da zona hiporreica no Rio Beberibe. A caracterização meiofaunística ocorreu em 3 pontos do rio e consistiu no levantamento da quantidade de organismos da meiofauna e sua distribuição com a profundidade do leito.

A importância desta caracterização está no fato de que a meiofauna hiporreica contribui para a degradação de micropoluentes presentes no rio, que ao percolar pelo meio poroso desencadeia alguns processos biogeoquímicos que influenciam a qualidade da água de recarga (ALBUQUERQUE, 2015).

Para isso, foram coletadas amostras nos 3 pontos distintos em meses do ano com precipitações médias distintas. Assim, as coletas se deram nos dias 06 de abril (início do período chuvoso), 11 de julho (pico anual das precipitações médias mensais) e 04 de outubro (período seco), todos no mesmo ano de 2017.

Lembrando que as coletas foram realizadas na Região Metropolitana do Recife, onde possui clima tropical chuvoso, com baixa variabilidade térmica durante o ano, mas com períodos pluviométricos bem distintos (chuvoso e seco).

As amostras por ponto foram retiradas e separadas quanto a sua profundidade. Coletou-se sedimentos do leito do rio a cada 2 centímetros até a profundidade de 10 centímetros. Além da amostra inicial, foram coletadas réplicas e tréplicas, resultando em 3 amostras por ponto.

Desta maneira, foi possível avaliar a variabilidade espaço-temporal da comunidade meiobentônica presente na zona hiporreica, com suas respectivas profundidades.

As amostras foram extraídas com amostrador cilíndrico (corer) transparente de acrílico liso com área total de 261,31 cm^2 e área da seção transversal de 11,33 cm^2.

Para o cálculo da densidade meiofaunística, foi utilizada a Equação 4.1, onde a densidade foi uniformizada para valores cuja unidade correspondente é indivíduos / 10 cm².

$$D = (N / A) \times 10 \qquad (4.1)$$

Onde:

D = densidade (indivíduos/cm²);
N = número de indivíduos presentes na amostra;
A = área da amostra (cm²)

As coletas consistiram em inserir o corer no leito do rio até 10 cm de profundidade, depositar os sedimentos nos recipientes plásticos devidamente identificados a cada 2 cm e armazenar as amostras mergulhando-as com formaldeído a 4% para a preservação dos organismos extraídos. A Figura 4.5 ilustra como foi realizada a retirada dos sedimentos hiporreicos que compõem as amostras de meiofauna em cada ponto do estudo.

Figura 4.5 - Metodologia realizada para a coleta das amostras de meiofauna.

A identificação dos recipientes plásticos foi feita através da criação de um código de letras e números de fácil compreensão, conforme descrito a seguir:

- P1: ponto 1;
- P2: ponto 2;
- P3: ponto 3;
- 02: profundidade de 0 a 2 cm;
- 24: profundidade de 2 a 4 cm;
- 46: profundidade de 4 a 6 cm;
- 68: profundidade de 6 a 8 cm;
- 810: profundidade de 8 a 10 cm;
- A: amostra inicial;
- B: réplica;
- C: tréplica.

Deste modo, por exemplo, a identificação P246B significa que aquela amostra se refere à Réplica no ponto 2, com a profundidade de 4 a 6 cm. A identificação P102A se refere à amostra inicial no ponto 1, com profundidade de 0 a 2 cm. Assim, para cada campanha, foram extraídas 45 amostras diferentes, cada uma armazenada em seu respectivo recipiente.

Para a realização da triagem e identificação dos organismos da meiofauna, as amostras foram levadas para o Laboratório de Dinâmica de Populações da UFPE (LABDIN) no Departamento de Zoologia do Centro de Ciências Biológicas (CCB).

A primeira etapa da triagem consiste no peneiramento das amostras com peneiras geológicas de aberturas de malha de 500 µm, 300 µm, 200 µm, 100 µm e 45 µm. Assim, ocorre a separação da meiofauna, pois o material que é retido na peneira de 500 µm é descartado (macrofauna), assim como o material que passa pela peneira de 45 µm (microfauna).

Depois de peneiramento, o material retido em cada peneira é armazenado em novos recipientes plásticos. Desta maneira, cada amostra armazenada inicialmente se divide em 4 novos recipientes referente à cada uma das peneiras (300 µm, 200 µm, 100 µm e 45 µm).

A estas amostras separadas por peneiras, foi adicionado corante rosa-de-bengala diluído em formol, onde deixou agir por no mínimo 24 horas. É importante a adição deste corante, porque assim, os indivíduos da meiofauna absorvem a cor do corante, deixando-os em destaque em relação aos

sedimentos hiporreicos e facilitando o processo de triagem e identificação dos mesmos.

A identificação foi feita a nível de grandes grupos taxonômicos. As amostras, depois de devidamente coradas, são colocadas na Placa de Dollfus para a realização da triagem com o auxílio de uma Lupa com 4x de aumento. Assim, a identificação foi realizada de forma minuciosa e, a medida que ela era feita, as quantidades de indivíduos da meiofauna encontrados eram computados em planilha separados por ponto de coleta, grupo taxonômico e peneira em que foi encontrado (Figura 4.6).

Figura 4.6 - Metodologia realizada para a triagem e quantificação dos indivíduos da meiofauna: (a) Peneiramento das amostras; (b) Corante rosa-de-bengala; (c) Processo de identificação e quantificação dos meiobentos utilizando lupa de aumento.

4.2 MONITORAMENTO QUALITATIVO

Foi realizado o monitoramento qualitativo no Rio Beberibe, em poços de FM da estação experimental de Caixa d'Água e no cacimbão entre os meses de maio e dezembro de 2017.

Foram duas formas utilizadas para monitorar os parâmetros da água no local de estudo: através de análise em laboratório e através de medidor multiparâmetro portátil.

Em laboratório, os parâmetros analisados da água do rio foram os físico-químicos (pH, turbidez, cor, alcalinidade, dureza, cálcio, magnésio, sódio, potássio, cloreto, sulfato, N-amoniacal, nitrito, nitrato, fosfato total, carbonato e fluoreto) e os metais (ferro, manganês, zinco, cobre, chumbo e alumínio).

As amostras analisadas em laboratório foram coletadas nos dias 11 de julho, 23 de agosto, 13 de setembro, 04 de outubro, 29 de novembro e 13 de dezembro de 2017. Estes parâmetros analisados em laboratório foram coletados apenas no Rio Beberibe. Uma parte destas coletas foram feitas nos três pontos de estudo do rio, apenas em agosto e setembro não foi possível coletar no ponto 2.

Após coletadas, as amostras foram levadas para serem processadas e analisadas, de acordo com o Standard Methods (APHA, 2005) no SGCQ (Sistema de Gestão de Controle da Qualidade), que é um laboratório da Compesa.

Além destas, foram feitas coletas de dados *in loco* através de um medidor multiparâmetro portátil marca Hanna que mede o pH, o potencial de oxirredução, a condutividade elétrica e a temperatura.

Com este medidor, foi possível adquirir dados no Rio Beberibe, na estação experimental de Caixa d'Água (poços P2 e P3) e no cacimbão, nos dias 30 de maio, 12 de julho, 05 de setembro e 03 de outubro de 2017.

Apesar de obter menos parâmetros, a utilização deste medidor multiparâmetro apresenta algumas vantagens como: a facilidade com que os dados são

obtidos e a conveniência de adquiri-los diretamente em campo, apresentando melhor as condições locais.

Tanto nas coletas de água para análise físico-química e de metais como na coleta de água para a utilização do medidor multiparâmetro, foi utilizado um recipiente que sempre era lavado para evitar a contaminação da água de um local com a de outro (Figura 4.7).

Figura 4.7 - Metodologia realizada em campo para o monitoramento qualitativo: (a) Coleta de água para análise físico-química; (b) Coleta de água para análise de metais; (c) Medidor multiparâmetro utilizado.

Em relação à extração, as amostras de água subterrânea foram retiradas dos poços utilizando dois tipos diferentes de equipamentos: um tubo de 5 metros de comprimento com uma válvula de retenção na ponta; e um equipamento de bombeamento de baixa vazão com controlador pneumático (Figura 4.8).

A grande maioria das coletas foi realizada utilizando o tubo com válvula de retenção por ter a grande vantagem de ser leve, e consequentemente, de fácil transporte para campo e maior praticidade.

A amostragem da água dos poços foi realizada após a retirada de volume considerável para que evitasse a coleta de água estagnada, possibilitando que a água retirada tivesse a melhor representatividade do meio onde foi extraída.

Figura 4.8 – Equipamentos utilizados na retirada de água dos poços: (a) Bomba de baixa vazão com controlador pneumático; (b) Tubo de 5 metros de comprimento com válvula de retenção.

4.3 MONITORAMENTO PIEZOMÉTRICO

O registro piezométrico dos poços é uma atividade de rotina no projeto piloto de Filtração em Margem em Caixa d'Água. Através dele, conhece-se a variação espaço-temporal dos níveis piezométricos, sendo esta uma informação básica neste tipo de estudo.

O monitoramento piezométrico foi realizado nos dias 20 de setembro e 06 de dezembro de 2016 e 06 de abril, 12 de julho, 05 de setembro e 03 de outubro de 2017 nos poços de produção e de observação na estação experimental de Filtração em Margem, em Caixa d'Água.

As leituras foram feitas com um medidor de nível de água de pulso elétrico com trena acoplada, que mede apenas a profundidade do nível d'água em relação à cota do poço.

Figura 4.9 – Leitura piezométrica nos poços de FM na estação experimental.

Cada poço possui uma cota no topo do tubo estabelecida a partir de uma referência adotada. Esta referência é o piso da casa de bombas da EE de Caixa d'Água, onde se adotou a cota 0,00 m.

Tabela 4.1 - Cotas da boca dos poços de FM na estação experimental relativos à cota de referência 0,00 m adotada no piso das bombas.

	SP1	**SP2**	**SP3**	**SP4**	**SP5**	**SP7**	**SP8**	**Poço 1**	**Poço 3**
Cota	-0,103	0,210	-0,142	0,202	0,250	0,197	-0,299	0,437	0,225

Fonte: Freitas (2014).

Após a leitura, os dados foram transcritos na planilha em campo e, posteriormente, foram calculados os níveis piezométricos em cada ponto medido a partir da cota do seu respectivo poço.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ZONA HIPORREICA

5.1.1 Granulometria, matéria orgânica total e $CaCO_3$

Como mencionado anteriormente, foram realizadas coletas de sedimentos no leito do rio Beberibe para análise granulométrica e para determinação dos teores de matéria orgânica total (MOT) e de carbonato de cálcio ($CaCO_3$) nos meses de abril, julho e outubro de 2017. Em cada ponto, foram coletadas 2 amostras: uma de 0 a 5 cm de profundidade, e outra de 5 a 10 cm.

Foram obtidos em cada amostra os teores de cascalho, areia, silte e argila; o seu diâmetro médio e grau de seleção a partir do tratamento estatístico de Folk e Ward (1957), a classificação de fáceis texturais de Shepard (1954), e os teores de matéria orgânica total e de carbonato de cálcio.

O grau de seleção é um parâmetro estatístico de dispersão da amostra classificado de acordo com Folk e Ward (1957) a partir do desvio padrão (σ). Quanto mais bem selecionados são os sedimentos, significa que menor é o seu desvio padrão, ou seja, menor é a sua distribuição em torno do valor médio, indicando que os grãos têm tamanhos próximos.

Conforme descrito anteriormente, os teores de MOT e de $CaCO_3$ são apresentados em termos percentuais a partir da diferença de peso das alíquotas retiradas da amostra total antes e depois de suas queimas. Os teores de cascalho, areia, silte e argila são apresentados em termos percentuais da amostra remanescente após a queima da MOT.

Os dados referentes aos pontos 1, 2 e 3 podem ser observados, respectivamente, nas Tabelas 5.1, 5.2 e 5.3 a seguir.

Tabela 5.1 – Análise granulométrica, de MOT e $CaCO_3$ no ponto 1.

PONTO 1		% Cascalho	% Areia	% Silte	% Argila	Diâm. médio (mm)	Classificação	Grau de seleção	% MOT	% CaCO3
ABRIL	0 - 5 cm	12,22	87,23	0,54	0,00	0,584	Areia grossa	Pobremente selecionado	2,33	2,30
	5 - 10 cm	12,12	73,12	6,06	8,71	0,349	Areia média	Muito pobremente selecionado	3,60	6,40
JULHO	0 - 5 cm	5,50	94,36	0,14	0,00	0,512	Areia grossa	Pobremente selecionado	1,43	2,00
	5 - 10 cm	6,01	93,89	0,10	0,00	0,499	Areia média	Pobremente selecionado	0,23	1,30
OUTUBRO	0 - 5 cm	20,88	74,21	3,92	0,98	0,676	Areia grossa	Pobremente selecionado	1,87	2,20
	5 - 10 cm	4,60	92,26	2,51	0,63	0,420	Areia média	Pobremente selecionado	2,00	3,60

Ao analisar a Tabela 5.1 referente ao ponto 1, é possível observar que, independente do mês, os primeiros 5 cm de profundidade foram compostos por areia grossa e os 5 cm seguintes, por areia média. O grau de seleção dos sedimentos foi predominantemente classificado como pobremente selecionado, indicando que houve uma certa dispersão dos valores granulométricos.

Os teores de matéria orgânica total e de carbonato de cálcio variaram de 0,23% a 3,60% para MOT e de 1,30% a 6,40% para $CaCO_3$. Para ambos os parâmetros, houve uma grande queda nos valores de julho. A queda foi mais acentuada na amostra de 5-10 cm daquele mês. Os valores mais elevados ocorreram em abril, sobretudo na amostra de 5-10 cm.

A redução dos valores de MOT e $CaCO_3$ e da menor participação de cascalho em julho (período chuvoso) no ponto 1 indica que neste mês, a maior vazão do rio agiu na lavagem da camada de sedimentos, reduzindo os teores destes componentes neste ponto e transportando a MOT e $CaCO_3$ para os pontos mais a jusante. Em outubro (período seco), é possível observar que o teor de cascalho na camada superficial subiu bastante em relação a julho, resultado da menor vazão que o rio apresenta no período seco.

Os dados sedimentológicos do ponto 2 podem ser vistos na Tabela 5.2, onde é possível observar que os diâmetros dos sedimentos e sua classificação variaram bastante entre os meses analisados. No mês de abril, o diâmetro médio foi bem maior do que os demais, sendo classificado em areia grossa para os primeiros 5 cm de profundidade, e em areia média para os 5 cm

seguintes. Vale destacar o grande teor de cascalho (22,28%) para a amostra de 0-5 cm de abril comparado com as outras.

Tabela 5.2 – Análise granulométrica, de MOT e $CaCO_3$ no ponto 2.

PONTO 2		% Cascalho	% Areia	% Silte	% Argila	Diâmetro médio (mm)	Classificação	Grau de seleção	% MOT	% CaCO3
ABRIL	0 - 5 cm	22,28	77,54	0,18	0,00	0,606	Areia grossa	Pobremente selecionado	1,80	3,40
	5 - 10 cm	4,84	94,72	0,44	0,00	0,432	Areia média	Pobremente selecionado	2,87	4,30
JULHO	0 - 5 cm	0,95	82,05	11,75	5,26	0,152	Areia fina	Pobremente selecionado	5,50	4,92
	5 - 10 cm	2,59	94,41	3,01	0,00	0,221	Areia fina	Pobremente selecionado	7,67	4,70
OUTUBRO	0 - 5 cm	1,24	56,29	11,58	30,89	0,043	Silte grosso	Muito pobremente selecionado	5,76	5,00
	5 - 10 cm	2,27	55,68	25,23	16,82	0,048	Silte grosso	Muito pobremente selecionado	8,20	6,23

Para o mês de julho, o diâmetro médio foi menor em relação a abril, sendo as amostras classificadas como areia fina em ambas as profundidades. Em outubro, as amostras apresentaram diâmetros médios ainda menores, classificando-as em silte grosso. Neste mês, houve uma grande elevação no teor de argila (30,89% e 16,82%) comparado com os meses de abril e julho.

Desta maneira, possivelmente esta grande quantidade de argila em outubro foi resultado do assentamento das lamas (silte+argila) pós-chuvas. De maneira diferente ao observado em outubro, abril (fim do verão) apresentou grande quantidade de cascalho.

Assim, é possível observar que o ponto 2 sofreu a maior variação temporal de diâmetro e de composição granulométrica entre todos os pontos estudados.

Todas as amostras neste ponto tiveram um certo valor de desvio padrão, o que os configura como, no mínimo, pobremente selecionados. Como já mencionado anteriormente, as amostras de outubro tiveram teores mais expressivos de argila e com grande teor de areia e silte, aumentando a sua dispersão. Assim, em outubro, os sedimentos foram muito pobremente selecionados.

Em relação à MOT, houve uma variação de 1,80% a 8,20%. O mês de abril teve índices bem mais baixos do que os demais (1,80% e 2,87%). Em todos os

meses, as amostras de profundidade 5-10 cm tiveram valores mais altos de matéria orgânica do que as amostras mais superficiais, onde, o mês de outubro apresentou os maiores índices em suas respectivas profundidades (5,76% e 8,20%).

Os teores de $CaCO_3$ tiveram um menor desvio entre as amostras comparado aos de MOT. Os índices de $CaCO_3$ variaram de 3,40% a 6,23%.

Em relação ao ponto 3, é possível observar na Tabela 5.3 que os valores de argila foram, em média, bem mais elevados do que nos outros pontos. Esta maior participação de sedimentos mais finos resultou nos menores diâmetros médios entre todos os pontos.

Tabela 5.3 – Análise granulométrica, de MOT e $CaCO_3$ no ponto 3.

PONTO 3		% Cascalho	% Areia	% Silte	% Argila	Diâmetro médio (mm)	Classificação	Grau de seleção	% MOT	% CaCO3
ABRIL	0 - 5 cm	8,82	65,06	12,11	14,01	0,100	Areia muito fina	Muito pobremente selecionado	5,20	3,40
	5 - 10 cm	5,97	59,13	4,70	30,20	0,065	Areia muito fina	Muito pobremente selecionado	4,33	4,37
JULHO	0 - 5 cm	1,88	57,95	8,79	31,38	0,053	Silte grosso	Muito pobremente selecionado	11,10	11,65
	5 - 10 cm	9,84	59,05	9,95	21,16	0,072	Areia muito fina	Muito pobremente selecionado	12,70	16,36
OUTUBRO	0 - 5 cm	1,87	62,78	10,10	25,25	0,048	Silte grosso	Muito pobremente selecionado	6,87	3,80
	5 - 10 cm	1,39	49,14	13,19	36,28	0,034	Silte grosso	Muito pobremente selecionado	8,28	5,60

Assim, observa-se que o diâmetro médio na camada superficial da zona hiporreica (0-5 cm) foi, no geral, maior no ponto 1 e caiu gradativamente do ponto 2 ao ponto 3. Isto provavelmente ocorreu devido ao transporte de sedimentos como resultado da dinâmica do rio. As partículas mais pesadas tendem a se depositar primeiro (trechos mais a montante) e as partículas mais leves tendem a se depositar posteriormente em regiões mais baixas do rio (trechos mais a jusante).

No mês de abril, as amostras foram classificadas como areia muito fina no ponto 3. Em julho, os primeiros 5 cm tiveram silte grosso e os 5 cm seguintes tiveram areia muito fina. Em outubro, em ambas as profundidades, a classificação foi silte grosso.

Como no ponto 3 houve maior participação de argila, resultando em uma maior dispersão da composição granulométrica, o grau de seleção dos sedimentos foi classificado como muito pobremente selecionado.

Além de ter a maior dispersão granulométrica e o menor diâmetro médio, o ponto 3 também se caracterizou por possuir a maior taxa de matéria orgânica total. Podemos observar que o pico de MOT ocorreu no mês de julho. Seus valores variaram entre 4,33% e 12,70% entre os meses analisados. Estes grandes valores de MOT podem ser resultado da maior contribuição de esgoto doméstico neste ponto, por estar em área de forte urbanização e ser o mais a jusante entre todos os pontos analisados.

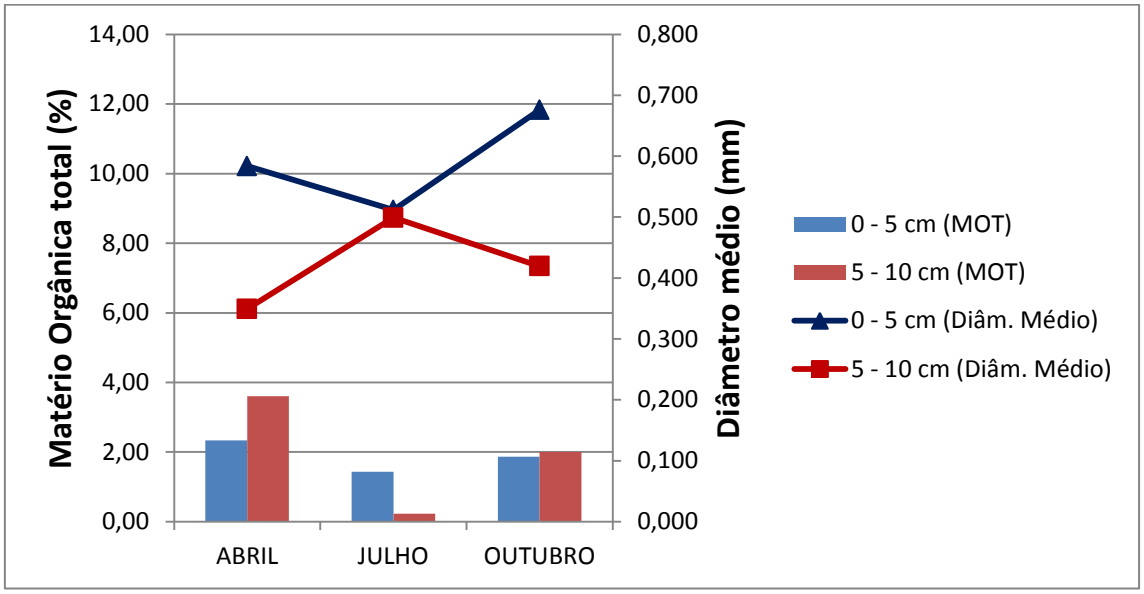
No mês de julho, também foi encontrado no ponto 3 os maiores valores de teor de carbonato de cálcio entre todas as amostradas coletadas (11,65% e 16,36%). A grande quantidade de $CaCO_3$ é um forte indicativo de ocorrência da colmatação decorrente da precipitação deste carbonato, o que causaria uma redução da condutividade hidráulica no leito do rio neste ponto.

Em comparação com a última pesquisa granulométrica realizada no leito do Rio Beberibe por Albuquerque (2015), houve pequenas diferenças. Albuquerque (2015) realizou coletas nos mesmo pontos de estudo deste trabalho, sendo os seus dados obtidos no ponto 1 bastante semelhantes aos aqui apresentados (areia em todas as coletas e baixos teores de MOT). Em relação aos pontos 2 e 3, Albuquerque (2015) suas coletas do período seco foram classificadas como areia, diferentemente das encontradas em outubro que foram classificadas como silte neste trabalho.

Sabe-se que altos teores de matéria orgânica estão associados a maiores quantidades de finos em sua composição granulométrica (TYSON, 1995). Em geral, a matéria orgânica nos sedimentos é adsorvida por minerais de argila (sedimentos mais finos) (BARCELLOS *et al*., 2016).

Por isso, a partir dos dados sedimentológicos apresentados, é importante observar nas Figuras 5.1, 5.2 e 5.3 os comportamentos da matéria orgânica total e o diâmetro médio variando no tempo.

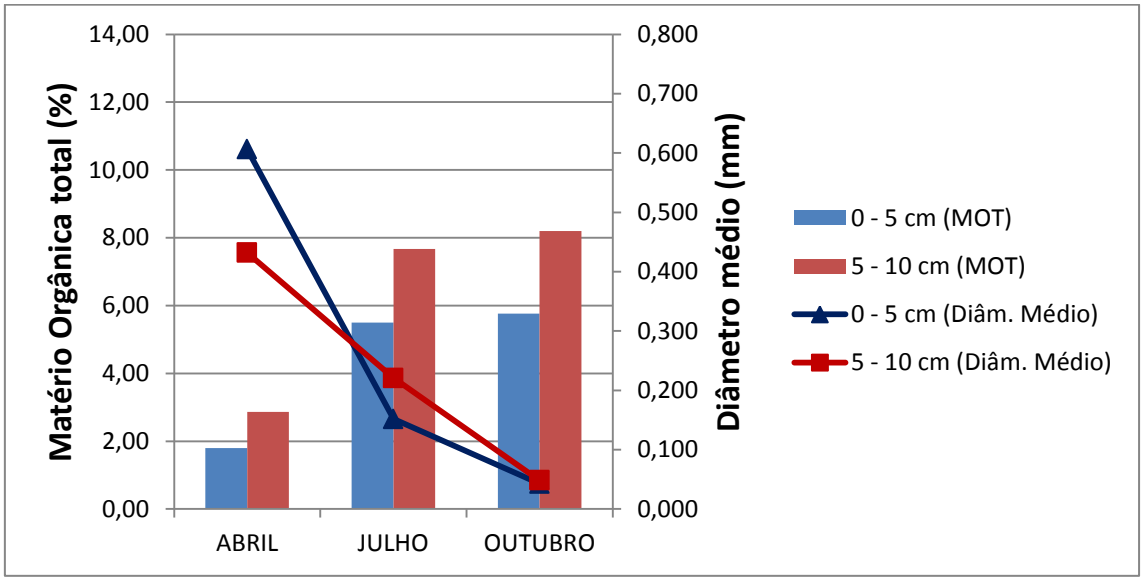
Figura 5.1 - Variação da MOT e diâmetro médio por coleta e profundidade no ponto 1.



Na Figura 5.1, nota-se que os teores de MOT foram menores em julho no Ponto 1. Neste mês, os teores de MOT foram os menores encontrados não apenas para o Ponto 1, mas entre todos os pontos estudados, apresentando valores de 1,43% e 0,23% respectivamente entre as profundidades 0-5 cm e 5-10 cm. Esta queda foi mais drástica para a profundidade 5-10 cm, onde o teor de MOT foi muito menor do que o teor apresentado na profundidade 0-5 cm. Nos outros dois meses (abril e outubro), percebe-se que o teor de MOT foi consideravelmente maior entre 5-10 cm de profundidade.

Em relação ao diâmetro médio, novamente os valores apresentados em julho foram diferentes ao comportamento do valor de diâmetro médio apresentado em abril e outubro. Em julho, houve pouquíssima diferença entre o diâmetro médio para as duas profundidades estudadas, enquanto isso, em abril e outubro, o diâmetro médio na camada superficial foi maior do que aquele encontrado na profundidade 5-10 cm.

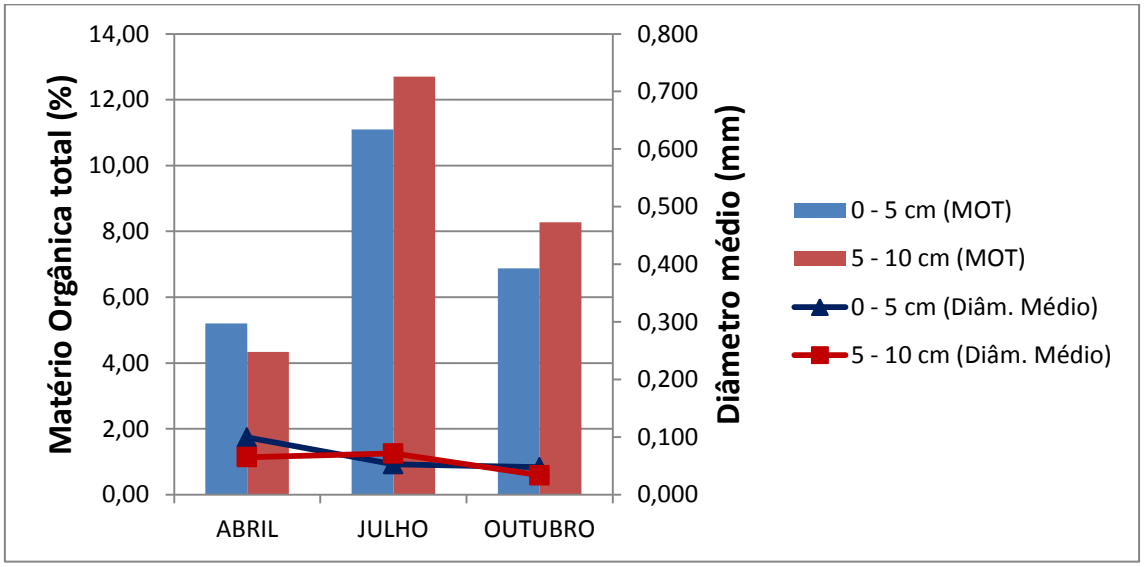
Figura 5.2 – Variação da MOT e diâmetro médio por coleta e profundidade no ponto 2.



Para o ponto 2, observa-se na Figura 5.2 que há uma certa correlação entre o diâmetro médio e a MOT. Percebe-se que há um crescimento dos teores de MOT para as duas profundidades estudadas. O crescimento foi mais acentuado entre abril e julho e em todos os meses a profundidade 5-10 cm apresentou um maior teor do que a profundidade 0-5 cm.

O diâmetro médio apresentou um comportamento inverso àquele apresentado pela MOT. Houve um decréscimo no diâmetro médio com o decorrer dos meses. Havia uma diferença maior entre os diâmetros médios das camadas em abril, que foi diminuindo até uma diferença muito pequena de apenas 0,005 cm entre as duas profundidades em outubro.

Figura 5.3 – Variação da MOT e diâmetro médio por coleta e profundidade no ponto 3.



A figura 5.3 apresenta os teores de MOT e diâmetro médio nos três meses estudados no Ponto 3. Observa-se que os valores destes dois parâmetros foram distintos em cada mês. A MOT teve seus maiores valores em julho nas profundidades 0-5 e 5-10 cm, com teores de 11,10 e 12,70% respectivamente, sendo assim, os maiores valores para este parâmetro encontrado entre todos os 3 pontos.

Em contrapartida, os valores de diâmetro médio foram os menores entre todos os pontos. Em outubro, os valores de diâmetro médio foram de 0,048 e 0,034 mm respectivamente nas profundidades 0-5 e 5-10 cm. Percebe-se que estes valores foram maiores em abril e foram caindo até outubro.

Assim, como dito anteriormente, o ponto 3 apresentou os maiores valores de finos e de matéria orgânica em julho entre todas as amostras. Segundo Xavier *et al.* (2016), esta maior quantidade de finos e MOT pode estar relacionada à matéria orgânica de origem antrópica. Isto é bastante provável levando em consideração que este ponto está em área de intensa urbanização.

5.1.2. Microfitobentos

A estimativa da quantidade de biomassa microfitobentônica possibilita conhecer a disponibilidade de alimento para a meiofauna no local de estudo.

Através da metodologia adequadamente utilizada, foi possível obter as concentrações de clorofila-a e feopigmentos, e consequentemente, as razões entre elas. Os dados obtidos podem ser visualizados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 - Concentrações médias de clorofila-a e feopigmentos obtidas em cada coleta nos três pontos de estudo no Rio Beberibe.

		Ponto 1	**Ponto 2**	**Ponto 3**
JULHO	**Clorofila-a (µg/cm²)**	0,59	2,72	3,31
	Feopigmentos (µg/cm²)	0,65	13,34	8,69
	Razão Cl-a/Feo	0,91	0,20	0,38
OUTUBRO	**Clorofila-a (µg/cm²)**	6,65	0,71	2,31
	Feopigmentos (µg/cm²)	4,34	16,06	12,72
	Razão Cl-a/Feo	1,53	0,04	0,18

Nota-se que, excetuando a coleta do mês de outubro no Ponto 1, todas as outras coletas apresentaram concentrações médias de feopigmentos maiores do que as concentrações médias de clorofila-a.

A grande quantidade de feopigmentos pode ser resultado de processos de deposição ou aporte de detritos vegetais terrestres ou de microalgas fitoplâncton da água, mas também pode ser resultado de consumo *in loco* pela meiofauna (BENITES, 2014; HAWKINS *et al.,* 1986).

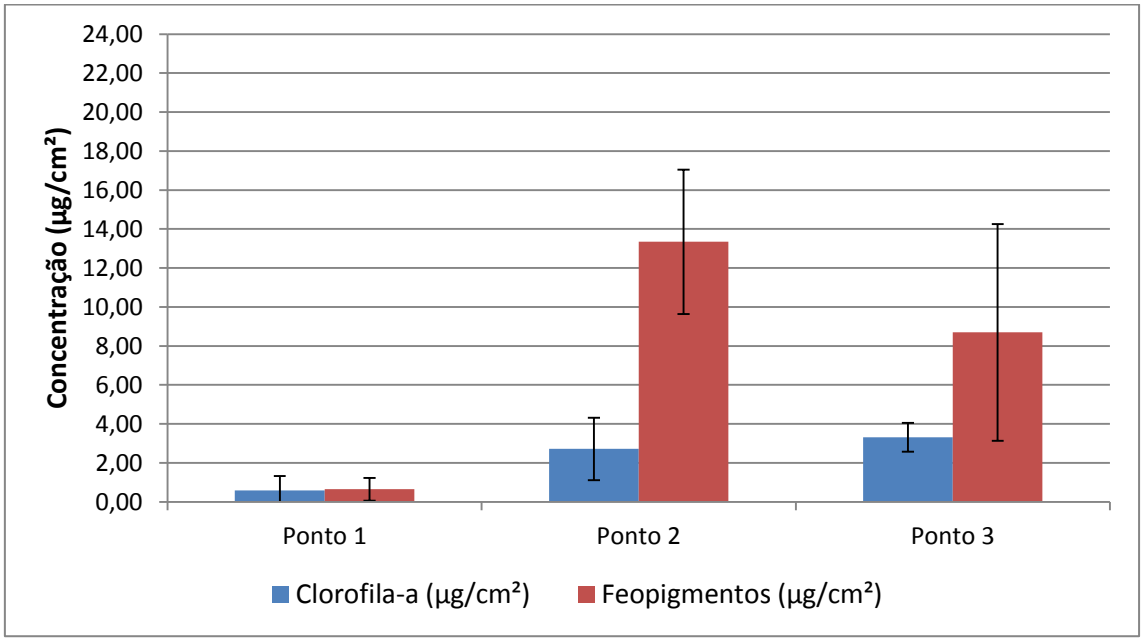
As razões clorofila-a / feopigmentos foram menores do que 1 em quase todos os pontos analisados. Isto indica a possibilidade de ter havido uma taxa de consumo do microfitobentos pelos meiobentos maior do que a sua taxa de produção primária na maioria dos pontos estudados nos dois meses de estudo (julho e outubro).

Nas Figuras 5.4 e 5.5, pode-se comparar as concentrações médias de clorofila-a e feopigmentos em cada ponto em julho e em outubro.

Em julho (Figura 5.4), nota-se que as concentrações médias de clorofila-a foram consideravelmente maiores nos pontos 2 e 3 (2,72 µg/cm² e 3,31 µg/cm²) do que no ponto 1 (0,59 µg/cm²). O mesmo pode ser observado em relação às concentrações médias de feopigmentos. Nos pontos 2 e 3 as concentrações foram de 13,34 µg/cm² e 8,69 µg/cm², respectivamente, enquanto que no ponto 1 foi de apenas 0,65 µg/cm².

É possível observar ainda que no ponto 1, a razão clorofila-a/feopigmentos foi bem maior do que nos demais pontos no mesmo mês, indicando que a taxa de consumo das microalgas não foi tão intensa como nos pontos 2 e 3, ou que a deposição de detritos vegetais ou de microalgas do fitoplâncton foi menor no ponto 1.

Figura 5.4 - Concentrações de clorofila-a e feopigmentos em julho.

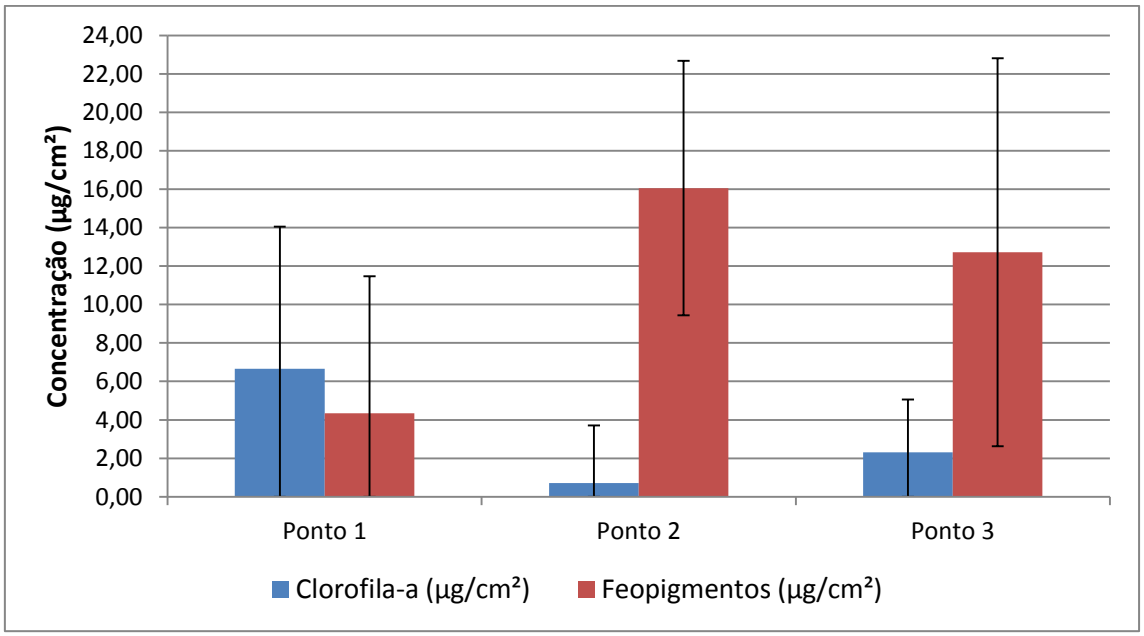


Em relação a outubro (Figura 5.5), pode-se observar que a concentração de clorofila-a no ponto 1 neste mês (6,65 µg/cm²) é superior ao observado em julho. Além disso, a concentração de clorofila-a no ponto 1 em outubro também foi maior comparado aos outros pontos no mesmo mês.

Em contrapartida, as concentrações de feopigmentos nos pontos 2 e 3 (16,06 µg/cm² e 12,72 µg/cm²) foram bem mais elevadas do que no ponto 1 (4,34 µg/cm²). Na realidade, pôde-se observar que as concentrações de

feopigmentos foram maiores no mês de outubro em relação a julho em todos os pontos analisados.

Figura 5.5 - Concentrações de colorofila-a e feopigmentos em outubro.



A partir dos dados de microfitobentos obtidos, pode-se observar os valores de clorofila-a e compará-los com os dados de outros trabalhos. Os dados obtidos no presente estudo são relevantes, uma vez que as pesquisas a respeito de microfitobentos são muito mais abundantes em ambientes estuarinos e escassas em ambientes fluviais. Em estuários, as concentrações de clorofila-a são consideravelmente mais elevadas do que as concentrações que foram obtidas no trecho médio do Rio Beberibe (MUROLO *et al*., 2006; NETTO *et al*., 2007; TRINDADE, 2007; NGO; SMOL; VANREUSEL, 2013).

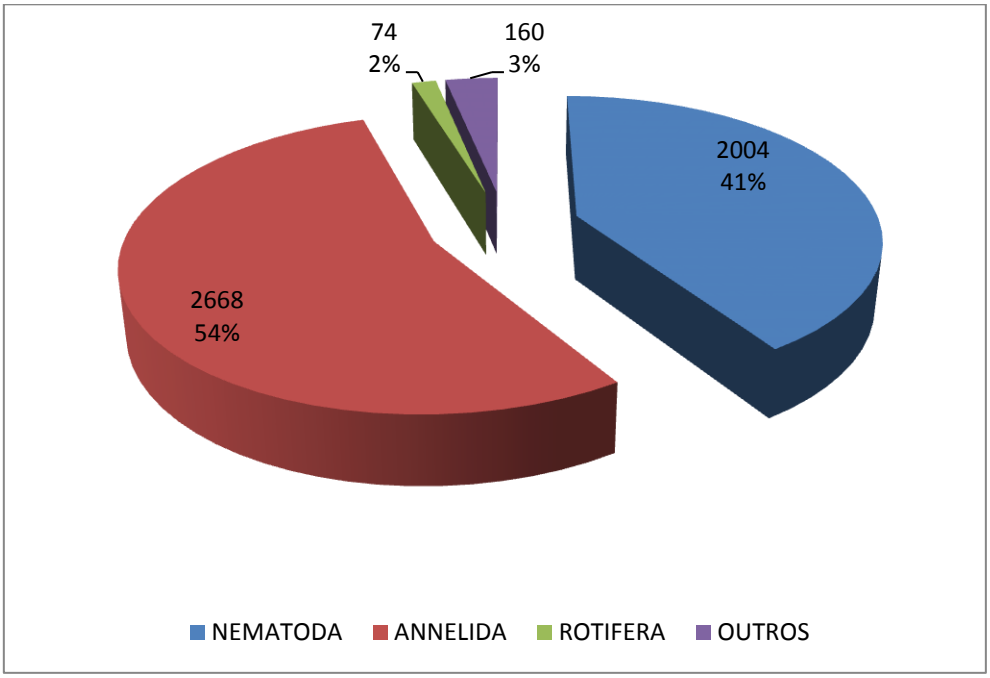
Desta maneira, cria-se um indício de que os estuários tendem a ter valores mais elevados de clorofila-a em seus sedimentos do que em trechos mais a montante do rio. Esta observação se torna relevante ao analisar o trabalho de Ngo, Smol e Vanreusel (2013), onde foram feitas medições dos níveis de clorofila-a em pontos situados em cinco estuários no Vietnã e observou-se a redução dos níveis de clorofila-a dos pontos localizados na boca do estuário para os localizados mais para o interior na maioria dos estuários estudados (NGO; SMOL; VANREUSEL, 2013).

5.1.3 Meiofauna

Foi realizada uma investigação da comunidade dos meiobentos presentes na zona hiporreica nos três pontos de estudo no rio Beberibe em abril, julho e outubro de 2017. Através desta caracterização, foi possível determinar informações importantes como a abundância, densidade e quantidade de biomassa. Durante a triagem, foi realizada a separação e a classificação dos indivíduos em *taxa*, ou seja, em grandes grupos taxonômicos.

Durante análises, foram identificados 4906 indivíduos. Lembrando que, como foi mencionado na metodologia deste estudo, em cada ponto de coleta foram extraídas três amostras, sendo a amostra inicial, e duas réplicas. A Figura 5.6 apresenta o percentual de abundância dos *taxa* mais representativos em relação ao total de indivíduos encontrados em todas as coletas.

Figura 5.6 - Percentual da abundância total de indivíduos para os grupos mais representativos encontrados nas coletas no Rio Beberibe.

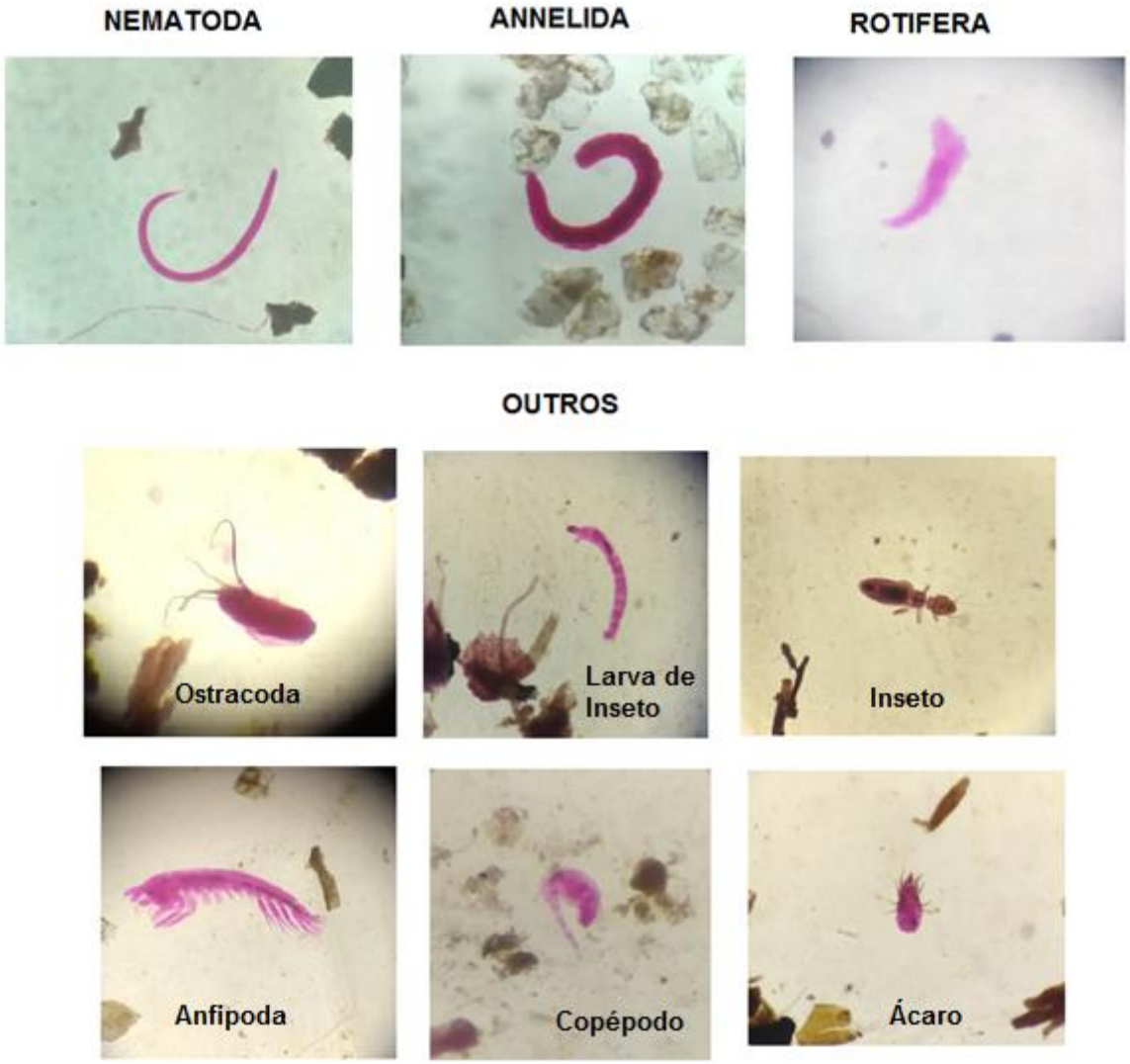


Como pode ser visto, os grupos taxonômicos com maior abundância foram Annelida e Nematoda, seguidos de longe pelo Rotifera. Em valores percentuais arredondados, a representação destes *taxa* em relação ao valor global de indivíduos encontrados foi de 54% para Annelida, 41% para os Nematoda e 2% para os Rotifera.

Esta foi uma grande surpresa, tendo em vista que em estudos anteriores, os rotíferos apresentaram uma participação na abundância muito superior em ecossistemas de água doce (PALMER, 1990; GIERE, 2009; ALBUQUERQUE, 2015).

Além desses três *taxa*, foram encontrados outros grupos taxonômicos como ácaros, insetos, ostracodas, anfipodas, copépodos, larvas de insetos, entre outros. Para estes grupos do meiobentos, foi utilizada neste trabalho a nomenclatura “outros” (Figura 5.7).

Figura 5.7 – Grupos taxonômicos mais abundantes e representantes do grupo “outros” encontrados nas amostras do Rio Beberibe.



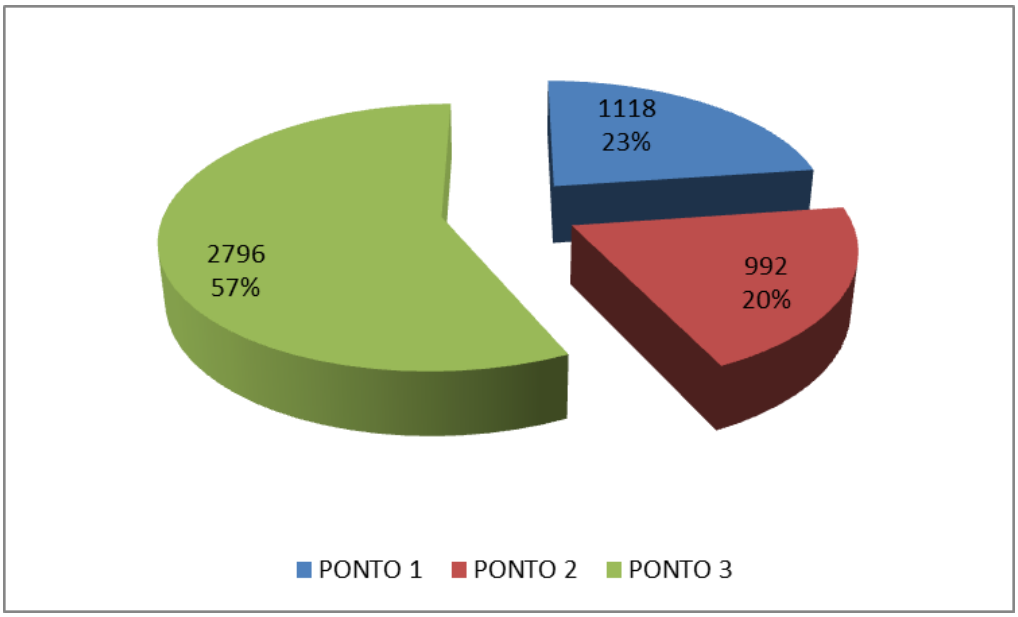
A Tabela 5.5 apresenta o resumo dos dados de abundância meiofaunística adquirida através da triagem feita para os três meses de coleta em cada um

dos três pontos de estudo dividido por *taxa*. Assim, pode ser visto como a quantidade de cada grupo taxonômico variou conforme o mês de coleta nos pontos analisados. A partir dela, alguns gráficos exibidos nas Figuras 5.8, 5.9 e 5.10 podem ser construídos para uma melhor representação e análise.

Tabela 5.5 - Resumo da abundância total do meiobentos coletado no Rio Beberibe.

		ABRIL	JULHO	OUTUBRO	TOTAL
PONTO 1	NEMATODA	287	123	56	466
	ANNELIDA	276	132	113	521
	ROTIFERA	47	2	1	50
	OUTROS	77	1	3	81
	Sub-total	**687**	**258**	**173**	**1118**
PONTO 2	NEMATODA	68	137	274	479
	ANNELIDA	35	286	165	486
	ROTIFERA	4	5	2	11
	OUTROS	10	0	6	16
	Sub-total	**117**	**428**	**447**	**992**
PONTO 3	NEMATODA	275	589	195	1059
	ANNELIDA	190	1319	152	1661
	ROTIFERA	0	2	11	13
	OUTROS	9	34	20	63
	Sub-total	**474**	**1944**	**378**	**2796**
	TOTAL	**1278**	**2630**	**998**	**4906**

Figura 5.8 - Percentual da abundância total da meiofauna por pontos estudados no Rio Beberibe.



A diferença das condições entre o ponto 1 e os pontos 2 e 3, descritas neste trabalho, quanto aos impactos antropogênicos causados pela ocupação urbana geram uma importante análise da abundância da meiofauna entre estes pontos. Poucos foram os estudos realizados sobre os efeitos de esgotos domésticos nas comunidades meiofaunísticas.

Na região costeira da antiga Iugoslávia, Vidakovic (1983) observou que o esgoto doméstico influenciava positivamente a densidade da meiofauna, mas diminuía a sua diversidade taxonômica. Na costa italiana, o resultado de Fraschetti *et al*. (2006) também indicou uma menor diversidade, mas foi observado que o número total de indivíduos não foi afetado, e que existiu uma diminuição no número de nematodas.

Hewitt e Mudge (2004) realizaram o estudo do gradiente de poluição causado por esgoto doméstico no complexo lagunar de Ria Formosa, no sul de Portugal, onde não foi verificada uma mudança significativa na abundância de Nematoda, mas que algumas espécies deste grupo foram encontradas em grande número próximo da fonte de esgoto.

A partir da Figura 5.8, nota-se que o ponto que apresentou a maior abundância foi o ponto 3 com 2796 indivíduos, seguido do ponto 1, com 1118 indivíduos, e do ponto 2, com 992 indivíduos. Este valor elevado referente à abundância total do ponto 3 que é influenciado principalmente pela enorme quantidade de meiobentos encontrados em julho neste ponto.

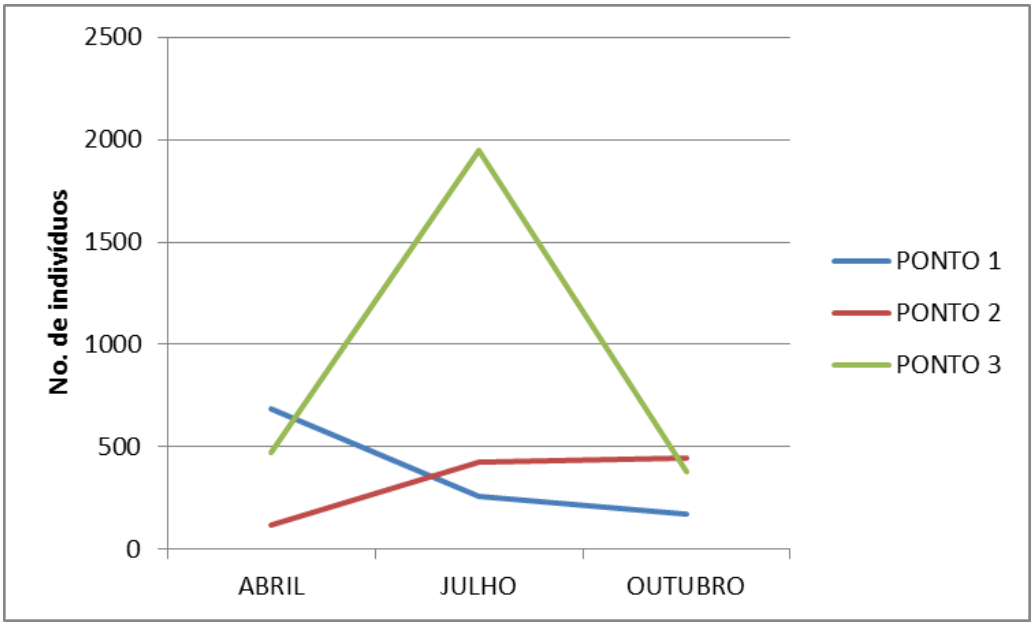
Deste modo, verifica-se uma grande abundância de meiofauna em pontos com forte poluição causada por esgoto no Rio Beberibe, sobretudo no ponto 3. Observado o número total de meiobentos por *taxa* em cada ponto na Tabela 5.5, observa-se que o ponto 1, que fica a jusante do trecho urbanizado do rio, apresenta menor número total de Nematoda e o segundo menor de Annelida. Porém, este ponto apresentou a maior participação relativa de rotíferos e outros, indicando uma maior diversidade taxonômica. Assim, em termos de diversidade, o presente estudo obteve resultado similar aos apresentados por Vidakovic (1983), Fraschetti *et al.* (2006) e Hewitt e Mudge (2004).

A granulometria é um fator chave na descrição dos habitats da meiofauna (GIERE, 2009). Muitas espécies da meiofauna têm como preferência os sedimentos mais grossos (HACK *et al*., 2007). Apesar de que sedimentos mais finos é a preferência da maioria dos nematódeos (COULL, 1985; GIERE, 2009).

Isto gera uma importante análise da abundância no Ponto 2. Foi observado que este ponto apresentou o seu maior diâmetro médio (0,606 mm) e seu menor teor de argila (0%) no mês de abril, quando apresentou quantidades menores de nematódeos e de meiobentos em geral. O número de indivíduos do grupo Nematoda aumentou neste ponto à medida que o diâmetro médio diminuiu e o teor de argila foi maior (Tabela 5.2). Ao analisar os pontos 1 e 3, a relação da abundância de nematódeos com o teor de finos (argila) não é observada de forma direta. Além disso, o Ponto 1 apresentou os maiores diâmetros médios entre todos os pontos em julho e outubro, mesmos meses em que o Ponto 1 teve as menores abundâncias totais da meiofauna (Figura 5.9).

Desta maneira, além da composição granulométrica, obviamente existem outros fatores ambientais que influenciam tanto a abundância dos nematódeos, como de outros *taxa*.

Figura 5.9 – Abundância total da meiofauna por ponto no Rio Beberibe em cada mês de coleta.



Como pode ser visto na Figura 5.9, o ponto 3 não teve a maior abundância entre todos os pontos em abril e outubro, porém foi de longe o mais rico em meiofauna em julho, quando foram contabilizados 1944 indivíduos no ponto 3. Enquanto isso, no mesmo mês, no ponto 1 foram contabilizados 258 indivíduos e no ponto 2 foram contabilizados 428. Esta grande abundância encontrada no ponto 3 em julho foi o que contribuiu para este ser o ponto com maior número total de indivíduos.

Para o mês de abril, o ponto 1 foi o de maior abundância e contou com 687 meiobentos; o ponto 2, foi o menor abundância e contou com 117; e no ponto 3 foram encontrados 474 indivíduos.

Apesar de no geral o ponto 2 ter apresentado uma menor quantidade de indivíduos da meiofauna, em outubro este foi o ponto mais abundante com 447 indivíduos do meiobentos. O ponto 3 apareceu em seguida com 378 meiobentos e o ponto 1 em último, com 173.

Assim, como ilustrado na Figura 5.9, os pontos 2 e 3 foram os de maior abundância em julho e em outubro. Esta informação pode explicar o fato de estes pontos apresentam os maiores valores de feopigmentos nestes meses como visto nas Figuras 5.4 e 5.5. Estes resultados apoiam a hipótese de que, nestes dois pontos, a taxa de consumo das microalgas pelo meiobentos é superior à taxa de consumo no ponto 1.

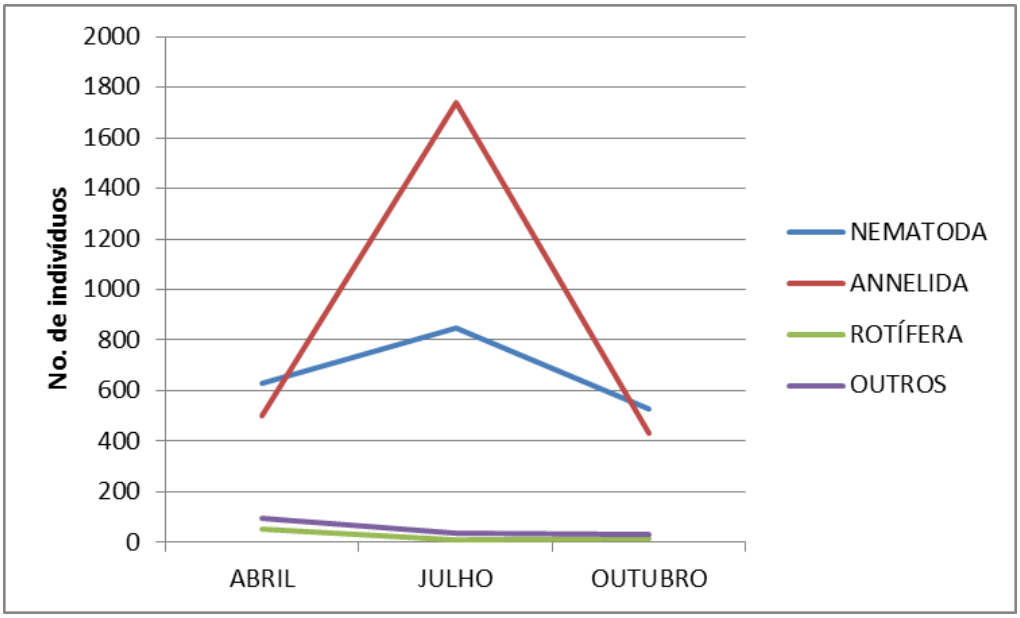
Outra observação a ser levantada é a relação das abundâncias da comunidade meiofaunística com os teores de matéria orgânica encontrados em cada ponto. As Figuras 5.1, 5.2 e 5.3, evidenciam que os meses com maior teor de MOT nos pontos 1, 2 e 3 são exatamente os meses com maior número de meiobentos encontrados nestes mesmos pontos. Destaca-se o ponto 3 que apresentou dentre todos os pontos e meses analisados, os maiores valores de MOT e de abundância em julho.

Uma análise similar pode ser feita em relação aos diferentes *taxa*. Como foi visto na Figura 5.6, a Annelida foi o *taxa* disparadamente mais abundante encontrado nas amostras, mas quando estes dados são analisados por mês na Figura 5.10, é possível notar que essa grande abundância total se deve ao

grande número de anelídeos encontrados em julho, principalmente no ponto 3. Nos outros dois meses, o grupo dos Nematoda foi o mais abundante.

Em abril, foram encontrados 630 nematódeos, 501 anelídeos, 51 rotíferas e 96 outros. Em julho, foram 849 nematódeos; 1737 anelídeos, sendo 1319 apenas no ponto 3; 9 rotíferos e 35 outros. No mês de outubro, foram contabilizados 525 nematódeos, 430 anelídeos, 14 rotíferos e 29 outros.

Figura 5.10 - Abundância total dos grupos mais representativos da meiofauna no Rio Beberibe em cada mês de coleta.



Segundo o estudo recente de Ape *et al*. (2018) na Itália, foi constatado que a abundância de nematódeos e copépodos era menor com o aumento da temperatura da água. Algo similar pode ser observado em relação à abundância destes grupos nas coletas do rio Beberibe. Julho como sendo o mês menos quente na região, provavelmente foi um fator relevante na abundância da meiofauna em comparação com os meses de abril e outubro que apresentaram menor quantidade de indivíduos.

Além disso, em julho (mês chuvoso) foi observado grande quantidade de MOT no ponto 3 (Tabela 5.3). A MOT neste ponto muito provavelmente foi proveniente da lavagem na camada de sedimentos em pontos mais a montante, como discutido anteriormente. Assim, esta maior quantidade de

MOT neste ponto resultou no *boom* de anelídeos e nematódeos em julho (Tabela 5.5).

Como explicado anteriormente, em cada ponto de estudo foram coletadas três amostras replicadas de 0 a 10 cm de profundidade divididas em cinco sub-amostras de 2 cm. Assim, foi possível calcular a abundância média de cada grupo taxonômico e o seu desvio-padrão para os dados obtidos em cada profundidade (Tabela 5.6). É importante lembrar que os valores de abundância média podem ser representados por números decimais, uma vez que eles são resultado da média da abundância.

Tabela 5.6 - Abundância média (indivíduos) e desvio-padrão dos grandes grupos encontrados no ponto 1 do Rio Beberibe.

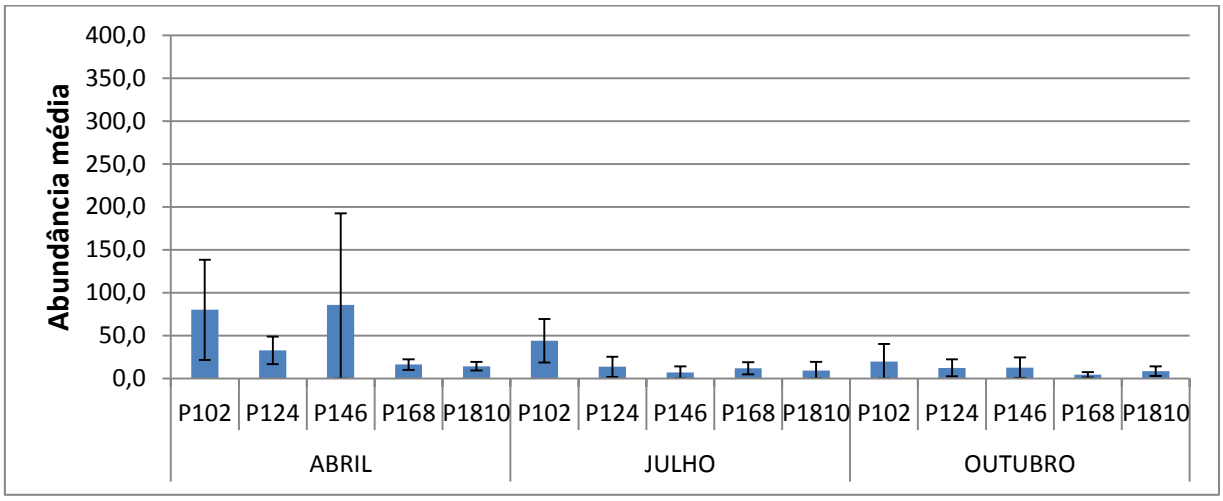
AMOSTRAS		NEMATODA		ANNELIDA		ROTIFERA		OUTROS	
		Abud. Méd.	DP	Abud. Méd.	DP	Abud. Méd.	DP	Abud. Méd.	DP
ABRIL	P102	32,3	32,1	36,0	13,5	4,7	8,1	7,0	6,2
	P124	10,7	3,8	14,7	4,9	4,0	6,9	3,3	5,8
	P146	43,0	50,3	24,0	24,2	6,7	11,5	12,0	20,8
	P168	5,3	2,1	9,3	4,6	0,0	0,0	1,7	2,1
	P1810	4,3	1,5	8,0	4,4	0,3	0,6	1,7	1,2
JULHO	P102	22,7	13,7	21,0	11,3	0,3	0,6	0,0	0,0
	P124	4,7	4,0	8,3	7,2	0,3	0,6	0,3	0,6
	P146	4,3	4,5	2,7	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0
	P168	3,3	2,3	8,7	6,5	0,0	0,0	0,0	0,0
	P1810	6,0	5,3	3,3	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0
OUTUBRO	P102	7,7	7,1	12,0	13,7	0,0	0,0	0,0	0,0
	P124	2,3	4,0	10,0	9,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	P146	3,7	4,6	8,0	7,0	0,3	0,6	0,7	1,2
	P168	1,0	1,0	3,3	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0
	P1810	4,0	4,6	4,3	1,2	0,0	0,0	0,3	0,6

*Abud. Méd.= Abundância média; DP= desvio padrão

A tabela 5.6 refere-se à abundância média no ponto 1 por *taxa* em cada profundidade nos meses estudados. Percebe-se que os grupos Rotifera e outros tiveram poucos indivíduos, mas que se concentraram principalmente nas amostras de abril. Além disso, abril foi o mês que apresentou o maior desvio padrão entre as amostras, sobretudo na profundidade 4-6 cm.

A Figura 5.11 apresenta os dados de abundância média considerando todos os grupos de meiobentos, com a representação de desvio-padrão, separados por profundidade em cada mês.

Figura 5.11 - Abundância média (indivíduos) da meiofauna no ponto 1 em cada profundidade nos meses estudados



Esta figura reforça o que foi visto na Tabela 5.5 e na Figura 5.9, mostrando que o mês de abril foi o de maior abundância no ponto 1 e que a profundidade 4-6 cm foi a de maior abundância entre as outras profundidades. Diferentemente disto, em julho e em outubro, a camada mais superficial da zona hiporreica foi a que apresentou um número maior de indivíduos do que as demais.

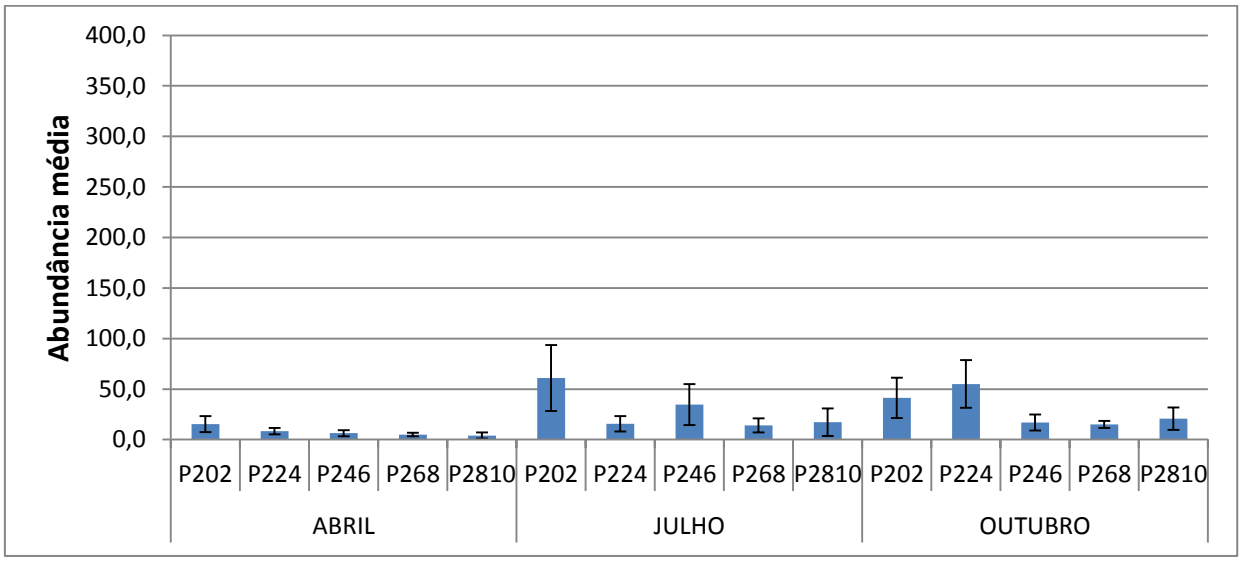
A tabela 5.7 mostra que as amostras do ponto 2 não tiveram um desvio-padrão tão elevado comparado ao ponto 1. A partir desta tabela e da Figura 5.12, é possível observar que no mês de abril, em média, a quantidade de indivíduos da meiofauna foi diminuindo gradativamente à medida que ficava mais profundo.

Tabela 5.7 - Abundância média (indivíduos) e desvio-padrão dos grandes grupos encontrados no ponto 2 do Rio Beberibe.

AMOSTRAS		NEMATODA		ANNELIDA		ROTIFERA		OUTROS	
		Abud. Méd.	DP	Abud. Méd.	DP	Abud. Méd.	DP	Abud. Méd.	DP
ABRIL	P202	7,7	4,7	5,0	3,6	1,3	2,3	1,3	0,6
	P224	5,7	2,9	1,7	0,6	0,0	0,0	1,0	1,7
	P246	4,0	2,6	1,7	0,6	0,0	0,0	0,7	0,6
	P268	2,3	2,1	2,3	1,2	0,0	0,0	0,3	0,6
	P2810	3,0	2,6	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
JULHO	P202	22,7	17,0	38,0	15,1	0,3	0,6	0,0	0,0
	P224	5,7	4,0	10,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	P246	8,3	7,5	25,3	11,0	1,0	1,7	0,0	0,0
	P268	3,0	1,7	11,0	8,7	0,0	0,0	0,0	0,0
	P2810	6,0	5,6	11,0	8,9	0,3	0,6	0,0	0,0
OUTUBRO	P202	22,7	10,0	18,3	10,3	0,0	0,0	0,3	0,6
	P224	37,7	23,2	16,3	13,1	0,3	0,6	0,7	1,2
	P246	9,0	3,0	7,0	6,2	0,3	0,6	0,7	1,2
	P268	7,0	2,0	7,7	4,7	0,0	0,0	0,3	0,6
	P2810	15,0	9,8	5,7	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0

*Abud. Méd.= Abundância média; DP= desvio padrão

Figura 5.12 - Abundância média (indivíduos) da meiofauna no ponto 2 em cada profundidade nos meses estudados



Nos meses de julho e outubro, observa-se uma mudança nesse comportamento. Apesar das maiores concentrações de meiofauna tenham sido encontradas nas menores profundidades, ou seja, nas camadas mais superficiais, a diminuição não se deu linearmente com a profundidade.

Em julho, a maior abundância se deu na profundidade 0-2 cm com média de 34,7 indivíduos, a segunda maior abundância ocorreu na profundidade 4-6 cm com 34,7 indivíduos. As profundidades 2-4 cm, 6-8 cm e 8-10 cm tiveram abundâncias médias de 15,7; 14 e 17,3; respectivamente. Mostrando que houve um acréscimo entre as profundidades 2-4 cm e 4-6 cm, facilmente identificado na Figura 5.12.

O mês de outubro foi único onde a profundidade mais abundante no ponto 2 não foi a camada mais superficial. De fato, na profundidade 0-2 cm foi encontrado um bom número de meiobentos em média (41,3), porém a profundidade 2-4 cm foi a mais rica em termos meiofaunísticos com 55 indivíduos. As profundidades 4-6 cm, 6-8 cm e 8-10 cm contabilizaram em média, respectivamente, 17, 15 e 20,7 indivíduos.

Através da Tabela 5.8, pode-se observar que em julho, o ponto 3 apresentou desvios-padrão bem elevados referentes ao valores de Nematoda e principalmente de Annelida. Esta observação é esperada, tendo em vista que o ponto 3 contabilizou um enorme quantidade de meiobentos em julho. Assim, era de se esperar valores consideráveis de desvio-padrão.

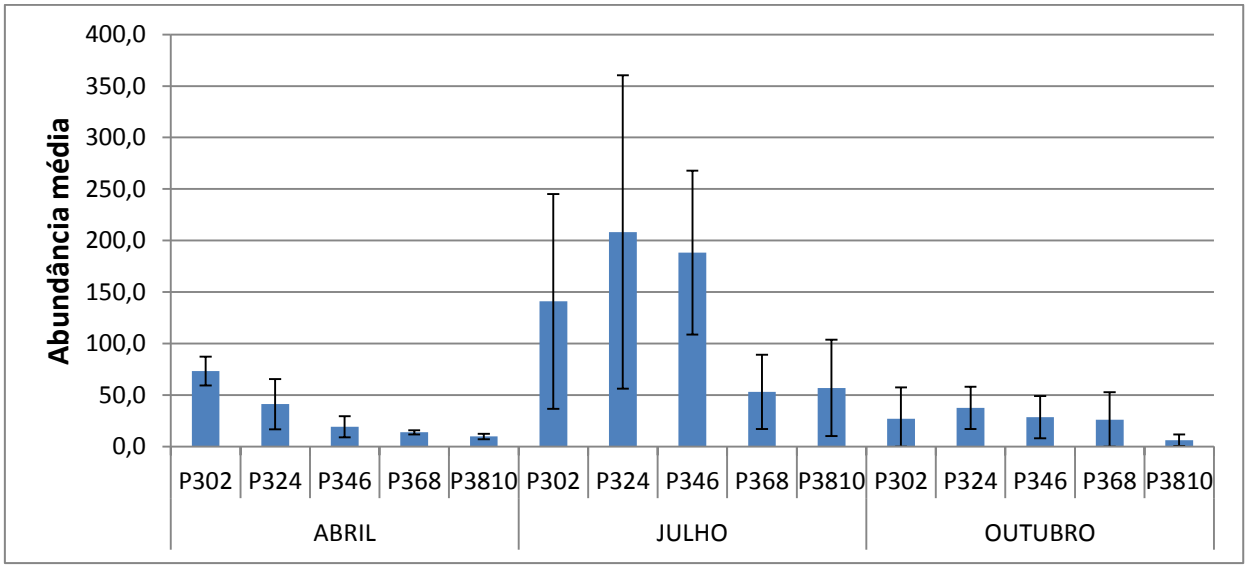
Tabela 5.8 - Abundância média (indivíduos) e desvio-padrão dos grandes grupos encontrados no ponto 3 do Rio Beberibe.

AMOSTRAS		NEMATODA		ANNELIDA		ROTIFERA		OUTROS	
		Abundância média	DP	Abundância média	DP	Abundância média	DP	Abundância média	DP
ABRIL	P302	42,0	21,4	30,7	14,2	0,0	0,0	0,7	1,2
	P324	26,0	24,0	15,3	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0
	P346	10,7	8,3	7,0	0,0	0,0	0,0	1,7	2,1
	P368	8,7	2,9	5,0	3,0	0,0	0,0	0,3	0,6
	P3810	4,3	2,5	5,3	3,2	0,0	0,0	0,3	0,6
JULHO	P302	47,7	39,3	89,0	68,8	0,7	0,6	3,7	3,8
	P324	74,3	61,7	128,0	89,4	0,0	0,0	6,0	6,6
	P346	49,7	22,7	137,0	54,8	0,0	0,0	1,7	2,9
	P368	12,3	12,0	41,0	24,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	P3810	12,3	11,1	44,7	37,1	0,0	0,0	0,0	0,0
OUTUBRO	P302	17,7	18,1	7,0	8,7	0,7	1,2	1,7	2,9
	P324	20,3	6,4	14,7	12,0	1,0	1,0	1,7	2,1
	P346	11,0	8,5	14,0	9,6	1,0	1,0	2,7	4,6
	P368	12,7	11,6	12,0	12,3	1,0	1,7	0,7	1,2
	P3810	3,3	2,9	3,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0

*Abud. Méd.= Abundância média; DP= desvio padrão

A Figura 5.13 apresenta os dados de abundância média no ponto 3. Em abril, observa-se uma diminuição gradativa da abundância com a profundidade. A abundância média da camada mais superficial até a mais profunda foi, respectivamente, 73,3; 41,3; 19,3; 14 e 10.

Figura 5.13 - Abundância média (indivíduos) da meiofauna no ponto 3 em cada profundidade nos meses estudados



Em julho, o ponto 3 apresentou os maiores valores de abundância entre todos os pontos e todos os meses. As maiores abundâncias ocorreram nos 6 cm superficiais, sendo a camada de 2-4 cm a que teve o maior número de indivíduos (208,3). A profundidade 4-6 cm foi a segunda com maior número de indivíduos (188,3); seguida da profundidade 0-2 cm com 141 indivíduos. As profundidades 6-8 cm e 8-10 cm tiveram em média, respectivamente, 53,3 e 57 indivíduos.

No mês de outubro, foi contabilizado no ponto 3 valores bem menores de abundância meiofaunística em comparação ao mês de julho. Apesar disso, a triagem de outubro revelou um comportamento da abundância semelhante ao observado em julho neste mesmo ponto. A profundidade de maior abundância foi a 2-4 cm com 37,7 indivíduos, seguida da profundidade 4-6 cm com 28,7 indivíduos e da 0-2 cm com 27. A profundidade 6-8 cm teve uma quantidade relativamente alta (26,3 indivíduos) se comparada às outras profundidades mais superficiais e a profundidade 8-10 cm teve em média 6,3 indivíduos.

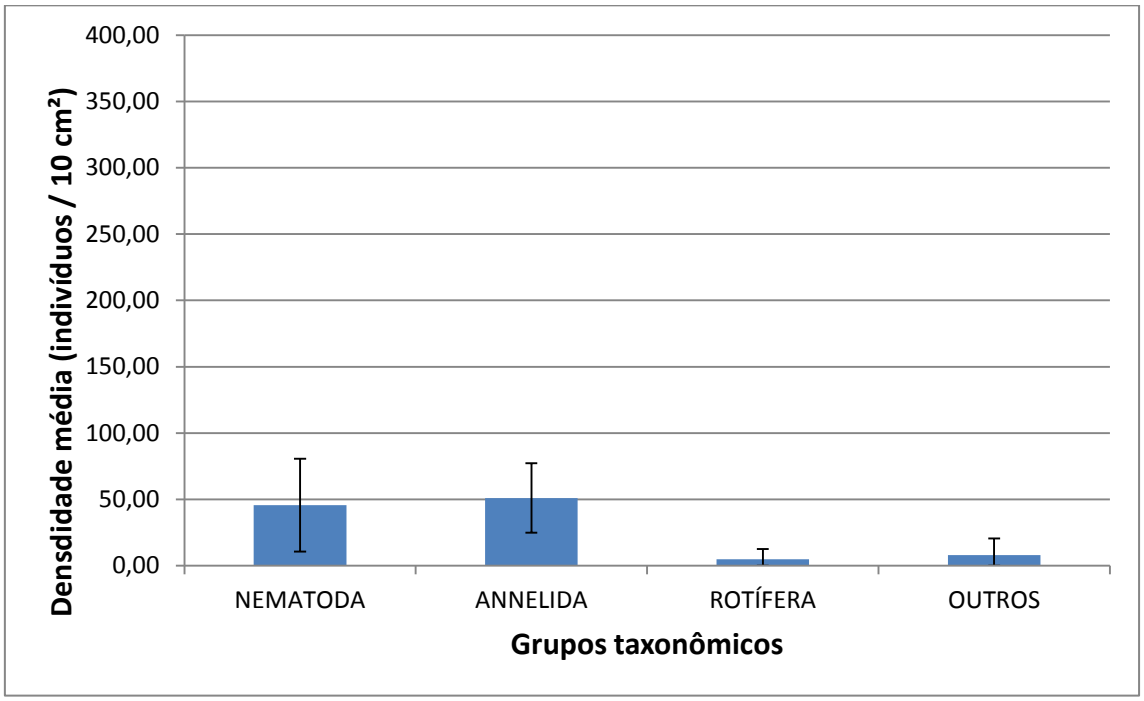
De modo geral, pode-se concluir que as camadas mais superficiais (até 6 cm) foram responsáveis pela maior abundância comparado com as camadas mais profundas (de 6 a 10 cm). Este resultado foi semelhante ao encontrado por Albuquerque (2015), que analisou a meiofauna nos mesmos pontos no rio Beberibe em profundidades de 0 a 5 cm e de 5 a 10 cm e encontrou um número maior de indivíduos na camada de 0 a 5 cm. Apesar disso, os dados aqui apresentados mostram que o decréscimo da abundância com a profundidade nem sempre acontece de forma linear, quando a meiofauna é analisada em camadas mais estreitas.

A distribuição vertical da comunidade meiofaunística nos sedimentos é controlada pela disponibilidade de oxigênio. Assim, diversas pesquisas têm comprovado que as camadas mais superficiais são geralmente as mais abundantes em meiobentos por serem as mais ricas em oxigênio e matéria orgânica (DALTO; ALBUQUERQUE, 2000; KOTWICK *et al*., 2005; GIERE, 2009; HUANG *et al*., 2014).

Palmer (1986) e Ward e Palmer (1994) explicam que a interação rio-aquífero também influencia na distribuição vertical da meiofauna. Em períodos do ano onde existe um fluxo vertical da água superficial para o aquífero, os níveis de oxigênio se elevam em zonas um pouco mais profundas, possibilitando o meiobentos a penetração para estas zonas. Isto explica o porquê de que em alguns pontos a abundância de meiofauna foi mais elevada em camadas como a de 2-4 cm e/ou 4-6 cm em comparação a de 0-2 cm. Além disso, o efeito do hidrodinamismo influencia a distribuição vertical, uma vez que os organismos bentônicos tendem a se proteger durante eventos de fluxo mais intenso (PALMER, 1986).

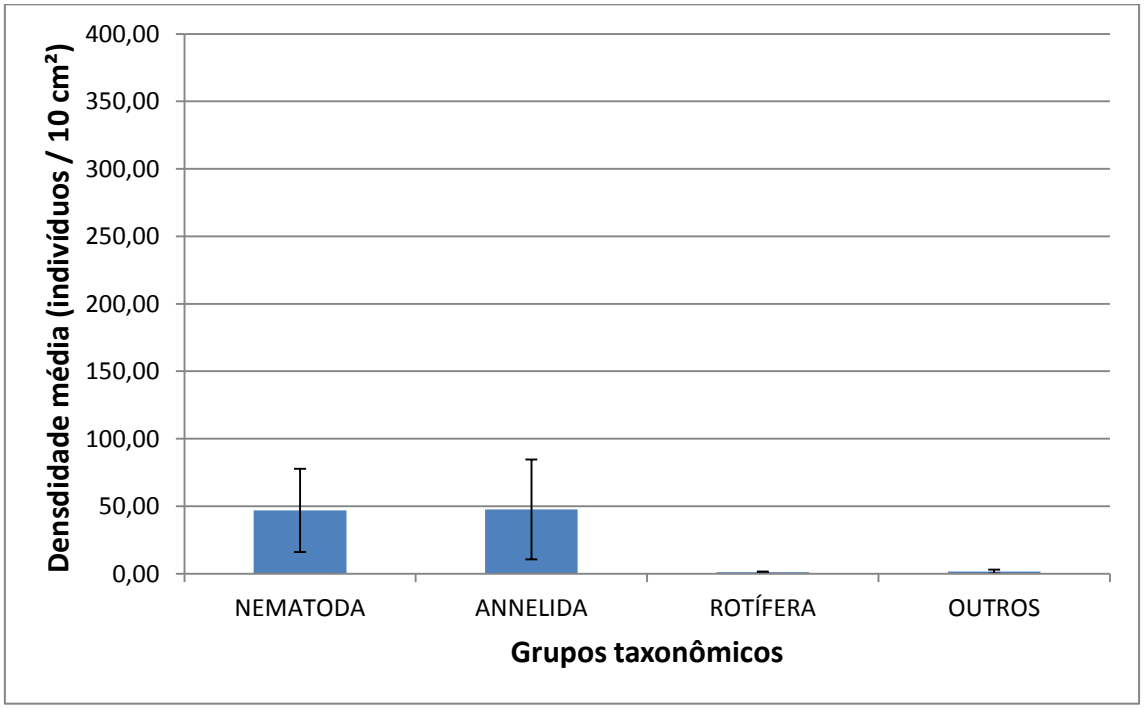
A densidade dos grupos faunísticos da meiofauna nos pontos 1, 2 e 3 estão apresentadas nas Figuras 5.14, 5.15 e 5.16, nesta ordem. Como pode ser visto nestas figuras, em todos os pontos, houve a mesma ordem de classificação relativa às suas densidades médias (indivíduos/10 cm²) em cada *taxa*. Assim, em todos os pontos estudados, a Annelida foi o grupo com maior densidade, seguido dos Nematoda, dos outros *taxa* e, por último, dos Rotifera.

Figura 5.14 - Densidade média dos grupos da meiofauna no ponto 1.



No ponto 1, os nematódeos tiveram uma densidade média de 45,70 indivíduos/10 cm²; os anelídeos, 51,09 indivíduos/10 cm²; os rotíferas, 4,90 indivíduos/10 cm² e o grupo dos outro *taxa*, 7,94 indivíduos/10 cm². Este foi o ponto onde os grupos menos dominantes (rotífera e outros *taxa*) apresentaram seus maiores valores de densidade média.

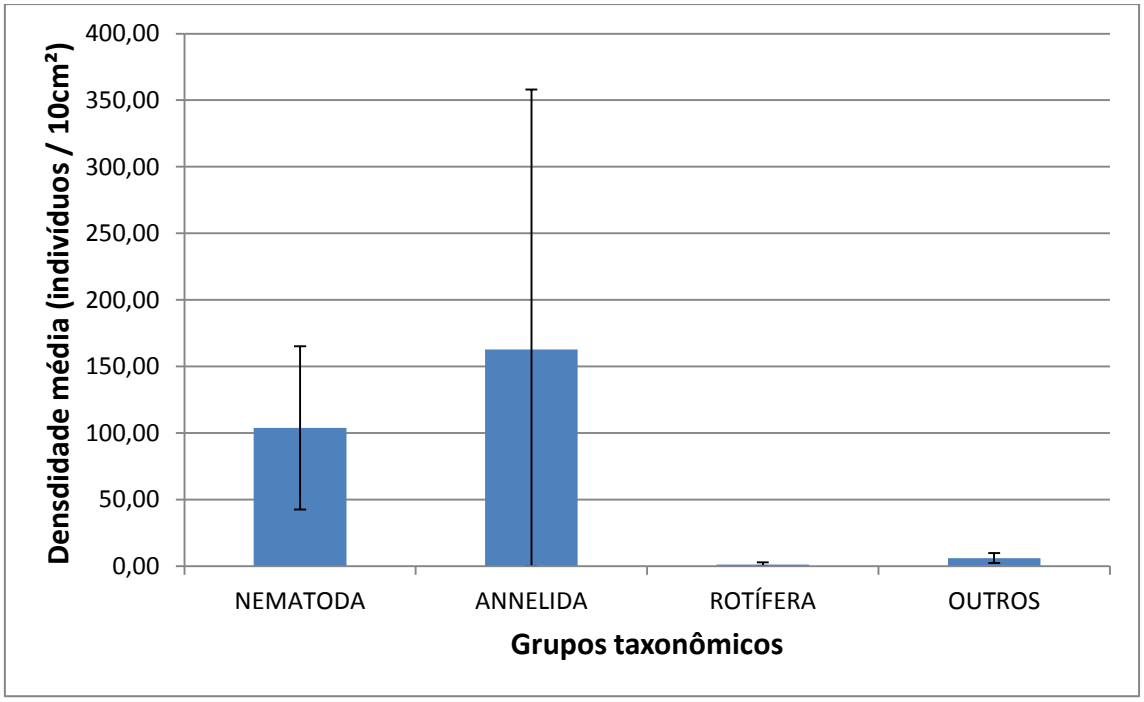
Figura 5.15 - Densidade média dos grupos da meiofauna no ponto 2.



No ponto 2, os Nematoda apresentaram um valor médio de densidade de 46,97 indivíduos/10 cm²; os Annelida, 47,66 indivíduos/10 cm²; os rotíferas, 1,08 indivíduos/10 cm² e o grupo dos outros *taxa*, 1,57 indivíduos/10 cm².

O ponto 3 apresentou a maior densidade total entre os três pontos analisados. Os Nematoda alcançaram uma densidade média de 103,85 indivíduos/10 cm²; os Annelida, 162,89 indivíduos/10 cm²; os rotíferas, 1,27 indivíduos/10 cm² e o grupo dos outro *taxa*, 6,18 indivíduos/10 cm².

Figura 5.16 - Densidade média dos grupos da meiofauna no ponto 3.



As Figuras 5.17, 5.18 e 5.19 detalham as densidades médias por ponto e por grupo taxonômico em cada mês. Em abril, verifica-se que em todos os pontos os nematodas foram o grupo dominante. O ponto 1 exibiu a maior densidade total nesse mês com 202,12 indivíduos/10 cm². No ponto 3, foi contabilizado 139,45 indivíduos/10 cm², sendo o segundo ponto com maior densidade meiofaunística. O ponto 2, apresentou em abril a menor densidade entre todos os pontos em todos os meses estudados, apenas 34,42 indivíduos/10 cm².

Figura 5.17 - Densidade média dos grandes grupos da meiofauna encontrados nos pontos de estudo do Rio Beberibe em abril de 2017.

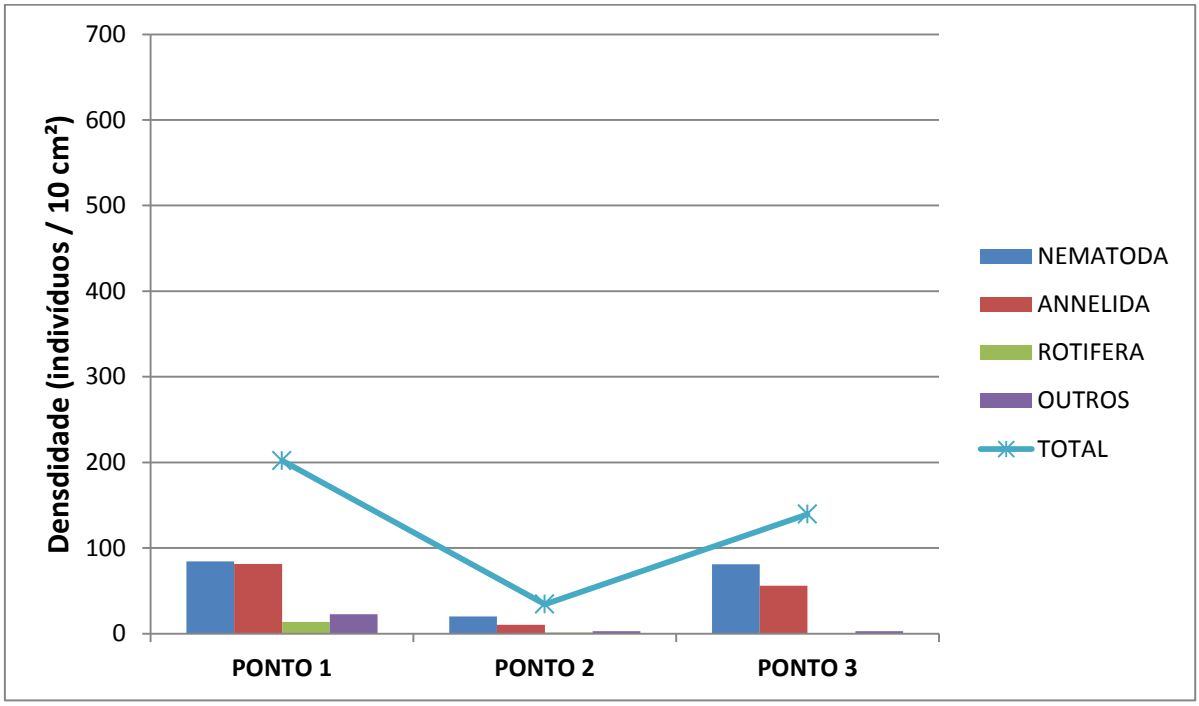
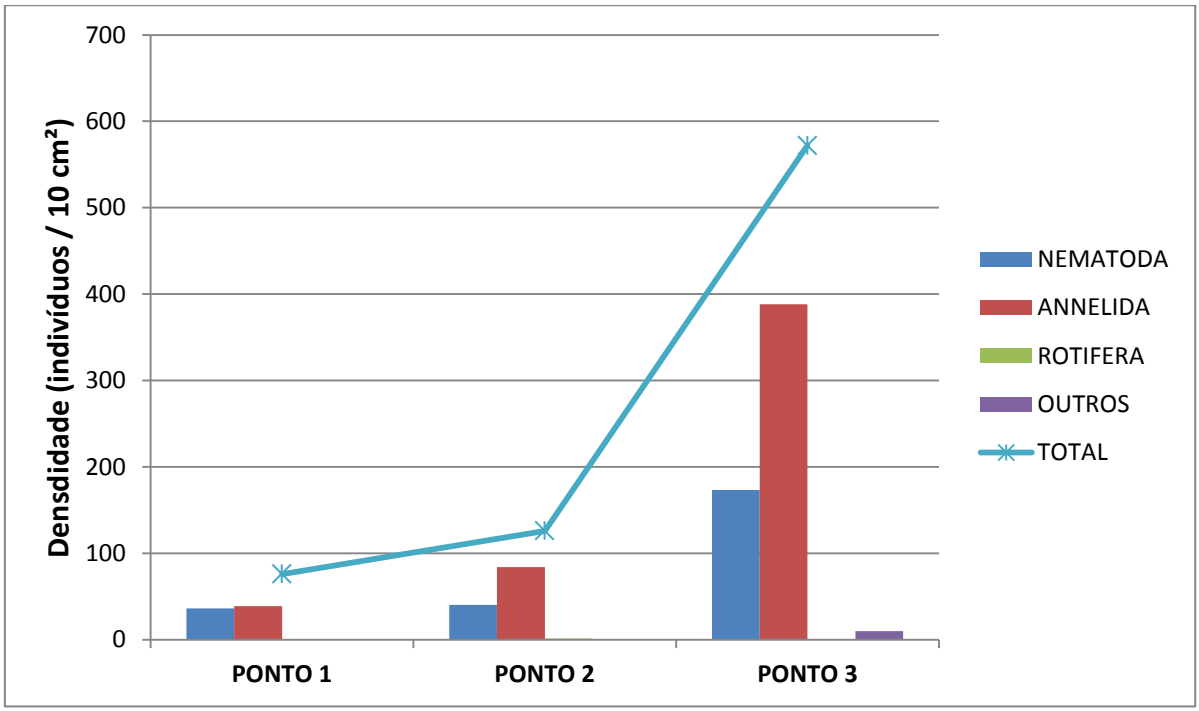


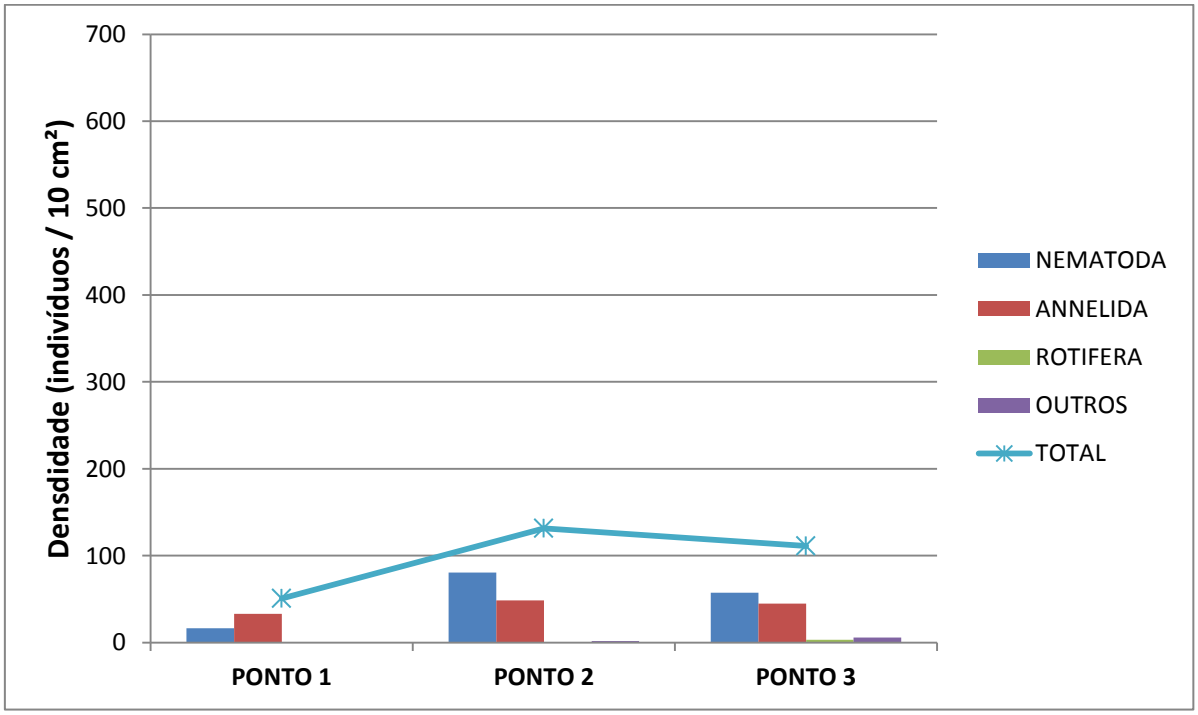
Figura 5.18 - Densidade média dos grandes grupos da meiofauna encontrados nos pontos de estudo do Rio Beberibe em julho de 2017.



Em julho, diferentemente de abril, teve como grupo taxonômico dominante os Annelida. O ponto com maior densidade foi o ponto 3, com 571,93

indivíduos/10cm². Este foi o maior valor de densidade meiofaunística encontrado em um ponto entre todos os meses de estudo. O ponto 1 teve a menor densidade em julho com 75,90 indivíduos/10 cm². O ponto 2 teve 125,92 indivíduos/10cm².

Figura 5.19 - Densidade média dos grandes grupos da meiofauna encontrados nos pontos de estudo do Rio Beberibe em outubro de 2017.



Em outubro, pode-se observar que o no ponto 1, o grupo dominante foi Annelida, enquanto que nos demais, foi Nematoda. O ponto 1 contabilizou o menor número de indivíduos, com 50,90 indivíduos/10cm². As densidades meiofaunísticas dos pontos 2 e 3 foram, de modo respectivo, 131,51 indivíduos/10 cm² e 111,21 indivíduos/10 cm².

A análise da estrutura da comunidade meiofaunística pode ser feita através da representação MDS, usada na comparação dos diversos fatores. Foi realizada a análise multivariada PERMANOVA (*Permutational multivariate analysis of variance*) que verifica se há diferenças significativas entre níveis dos fatores considerando a variância dos dados obtidos através de permutações. Os fatores analisados foram ponto, profundidade e mês; onde foram feitas análises de variância multivariada para cada um destes fatores individualmente e para

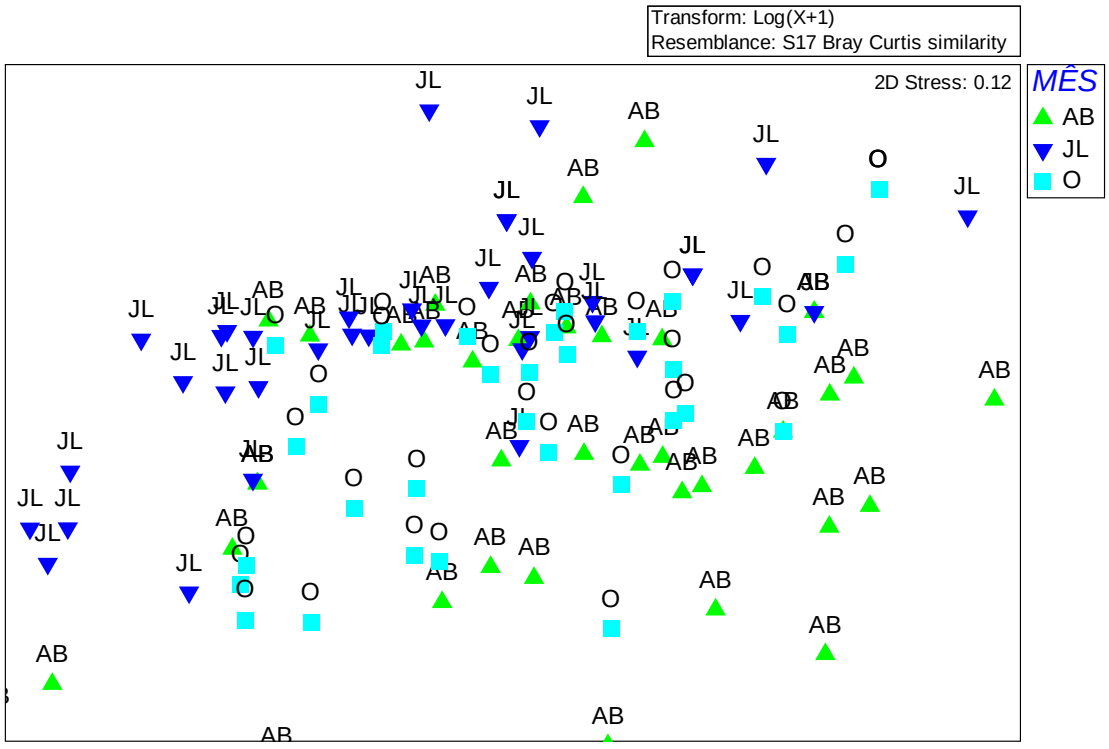
suas interações. Admite-se 95% de confiança neste teste de hipótese (p ≤ 0,05). Os resultados dos valor-p estatísticos encontram-se na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 – Resultado da PERMANOVA.

Interações	Valor-p	p ≤ 0,05
Ponto	0,0003	Sim
Profundidade	0,0001	Sim
Mês	0,0001	Sim
Ponto x Profundidade	0,8852	Não
Ponto x Mês	0,0001	Sim
Profundidade x Mês	0,9285	Não
Ponto x Profundidade x Mês	0,7168	Não

A análise PERMANOVA mostrou que cada fator analisado individualmente teve diferenças significativas e que houve interação significativa entre os fatores Ponto e Mês (para todos p ≤ 0,05). A Figura 5.20 mostra a representação MDS da estrutura meiofaunística entre os meses de coleta: abril, julho e outubro.

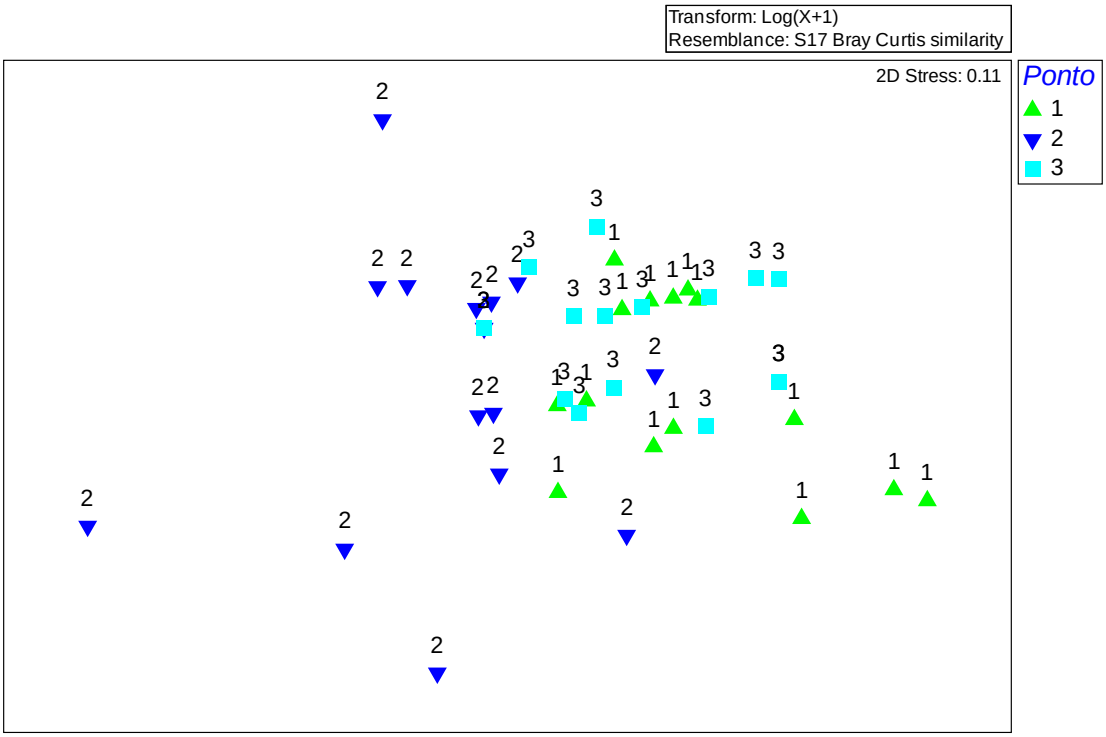
Figura 5.20 - Representação MDS da estrutura da comunidade da meiofauna para os meses de coleta nos sedimentos hiporreicos no Rio Beberibe.



Como pode ser visto na imagem, existem três agrupamentos distintos. É possível observar que as coletas de outubro apresentaram uma maior similaridade do que as outras, sendo mais concentrada ao centro do MDS da Figura 5.20. As coletas de abril apresentaram valores mais dispersos, indicando que houve uma maior variância entre os dados de abundância obtidos.

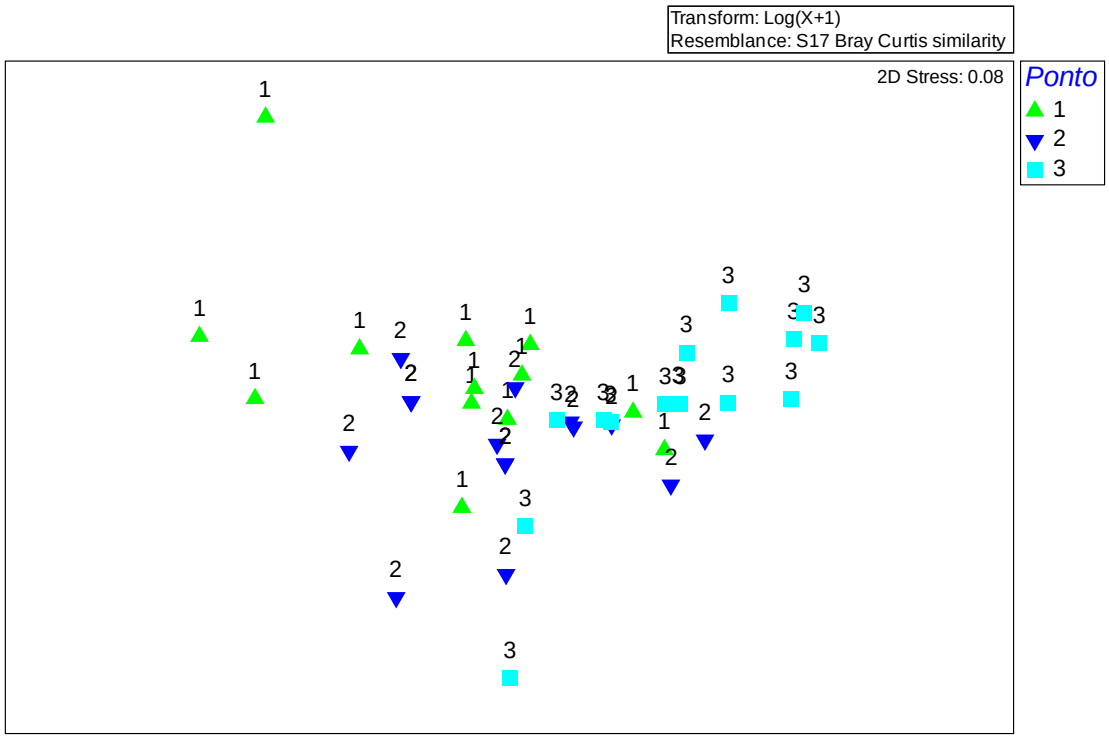
Os resultados da PERMANOVA mostram que quando as interações são feitas entre os três fatores, a única combinação que apresenta diferenças significativas é entre o ponto e mês. Por isso, foram realizadas representações MDS para cada mês (abril, julho e outubro) indicando os três pontos do rio Beberibe estudados (Figuras 5.21, 5.22 e 5.23).

Figura 5.21 – Representação MDS da estrutura da comunidade da meiofauna entre os pontos estudados no Rio Beberibe para o mês de abril.



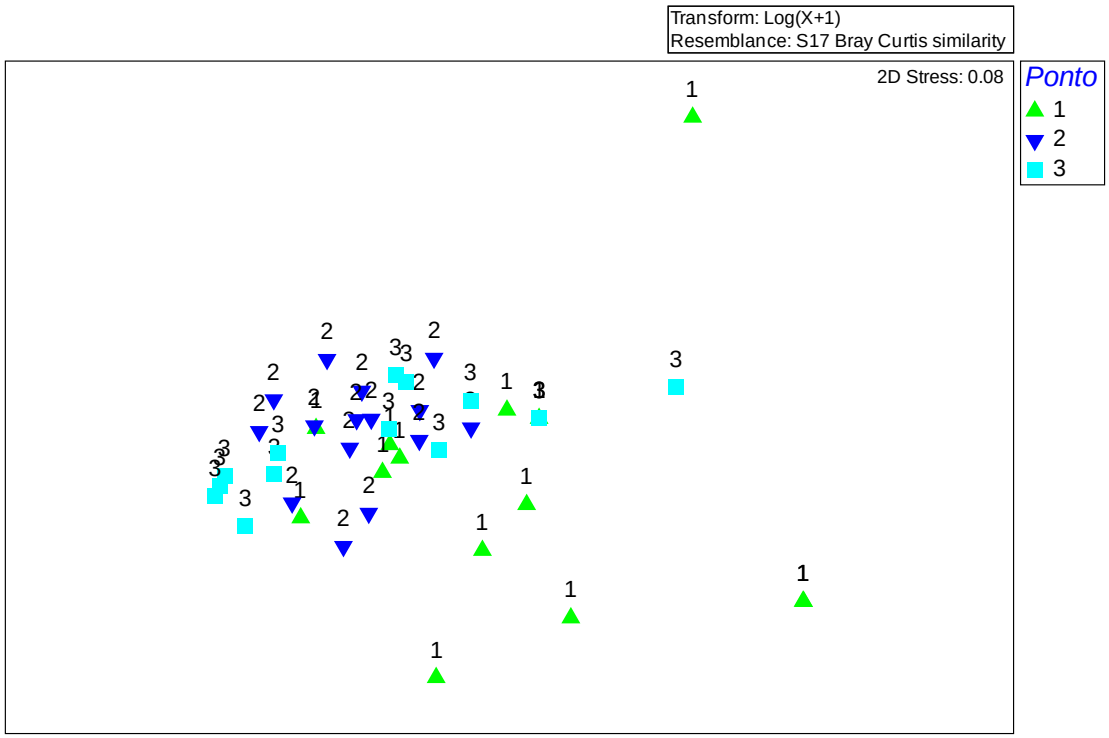
Observa-se na Figura 5.21 que para o mês de abril, o ponto 2 apresentou maior variância entre seus dados de abundância. O ponto 3 teve dados mais concentrados. O ponto 1 teve uma dispersão maior do que a do ponto 3, porém com alguma similaridade entre estes dois pontos, como pode ser visto no centro do MDS.

Figura 5.22 – Representação MDS da estrutura da comunidade da meiofauna entre os pontos estudados no Rio Beberibe para o mês de julho.



A Figura 5.22 apresenta o MDS dos pontos estudados para o mês de julho. Conforme sugerido pela análise PERMANOVA, pode-se nota a existência de três grupos distintos. O ponto 2 apresentou os dados mais concentrados, diferentemente do mês de abril. Para o ponto 3, com exceção de dois dados vistos na parte inferior do MDS, houve pouquíssima variância entre eles, ou seja, grande similaridade. Da mesma forma o ponto 1, que teve alguns dados apresentando grande desvio na parte superior e esquerda do MDS e a maioria dos dados concentrados ao centro.

Figura 5.23 - Representação MDS da estrutura da comunidade da meiofauna entre os pontos estudados no Rio Beberibe para o mês de outubro.



Conforme pode ser observado na Figura 5.23, os pontos 2 e 3 apresentaram grande similaridade, sendo concentrados na parte central um pouco a esquerda do MDS. Os dados do ponto 1, por sua vez, apresentaram grande dispersão entre eles, sugerindo que o desvio-padrão de suas amostras foi grande.

5.2 MONITORAMENTO QUALITATIVO

O monitoramento qualitativo é o procedimento para se conhecer as características de uma água. Desta maneira, como descrito na metodologia do presente trabalho, foram analisadas a água do rio Beberibe (água superficial) e de poços de FM e de um cacimbão (água subterrânea).

5.2.1 Monitoramento qualitativo dos poços P2, P3 e cacimbão

As análises de água subterrânea foram mais simplificadas, onde foi utilizado um medidor multi-parâmetro. Os parâmetros medidos foram condutividade elétrica (C.E.), potencial de oxirredução (ORP), pH e temperatura. Os pontos de medição foram os poços P2 e P3 na estação experimental de filtração em margem em Caixa d'Água e em um cacimbão localizado em uma residência próxima.

A Tabela 5.10 apresenta todos os dados referentes às medições realizadas nos poços de FM e cacimbão. Foram apenas duas extrações de água subterrânea feitas com o auxílio da bomba de controle pneumático. O restante foi feito com o equipamento manual que consiste no tubo que possui um válvula de retenção em sua extremidade.

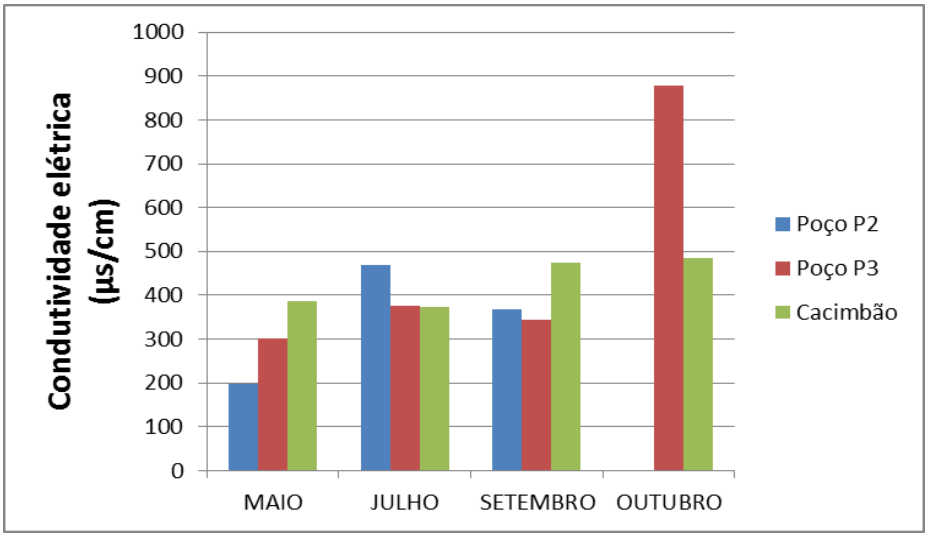
Tabela 5.10 - Resumo do monitoramento qualitativo nos poços P2, P3 e cacimbão.

Mês	Ponto	C.E. (µs/cm)	ORP	pH	Temp. (°C)	Equipamento de extração
Maio	Poço P2	198	88,4	6,44	27,01	Bomba c/ controle pneumático
Maio	Poço P3	302	68,9	6,19	27,21	Bomba c/ controle pneumático
Maio	Cacimbão	386	114,5	7,13	26,37	Tubo c/ válvula de retenção
Julho	Poço P2	470	-167,5	7,24	26,36	Tubo c/ válvula de retenção
Julho	Poço P3	377	-8,7	6,28	26,89	Tubo c/ válvula de retenção
Julho	Cacimbão	373	29,6	7,36	24,67	Tubo c/ válvula de retenção
Setembro	Poço P2	367	-119,5	7,98	26,05	Tubo c/ válvula de retenção
Setembro	Poço P3	345	-45,5	7,04	26,84	Tubo c/ válvula de retenção
Setembro	Cacimbão	475	22,8	8,05	25,26	Tubo c/ válvula de retenção
Outubro	Poço 3	879	7	6,64	28,48	Tubo c/ válvula de retenção
Outubro	Cacimbão	486	-7,02	7,12	26,14	Tubo c/ válvula de retenção

Nota-se que no mês de outubro, não foi possível a realização desta medição no poço P2, por motivo de segurança, conforme explicado anteriormente.

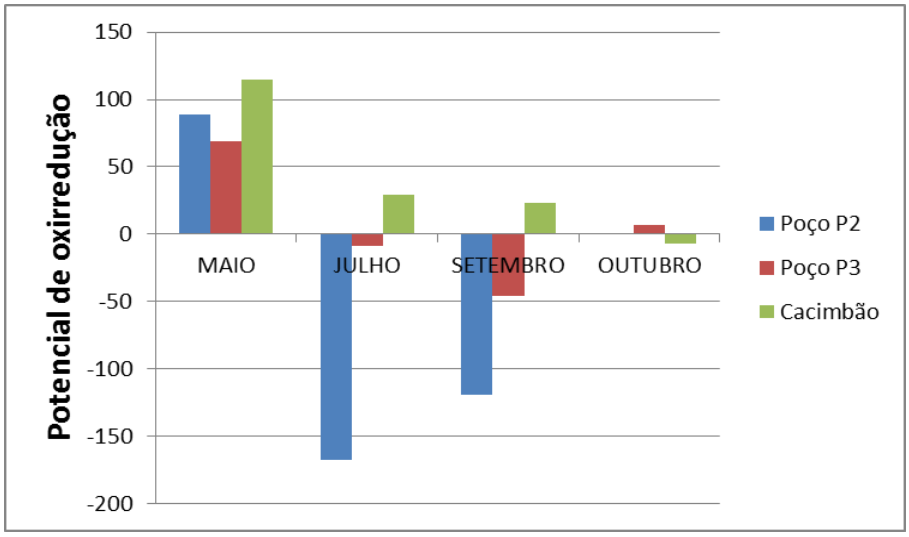
A figura 5.24 mostra a variação temporal da condutividade nos locais estudados. Percebe-se que os poços P2 e a cacimbão tiveram uma variação razoável. O primeiro variou de 198 µS/cm a 407 µS/cm; o segundo, de 373 µS/cm a 486 µS/cm. Por outro lado, o poço P3 teve um grande aumento de sua condutividade no mês de outubro. A condutividade elétrica neste poço variou timidamente de 302 a 377 µS/cm entre maio e setembro, e saltou para 879 µS/cm em outubro. Realmente, seria importante a coleta desse dado no mês de outubro para o poço P2, tendo em vista a comparação que poderia ser feita entre estes dois poços de FM.

Figura 5.24 - Gráfico do monitoramento de condutividade elétrica nos poços P2, P3 e cacimbão.



Em relação ao potencial de oxirredução mostrado na Figura 5.25, verifica-se que em maio, os pontos apresentaram os valores mais positivos entre os meses estudados. Em julho, o poço P2 e o poço P3 tiveram valores negativos, sendo -167,5 e -8,7, respectivamente. Estes valores se mantiveram negativos em setembro, -119,5 e -45,5. O potencial de oxirredução no cacimbão apresentou valores positivos e próximos entre os meses de julho e setembro: 29,6 e 22,8. Em outubro, o cacimbão apresentou valor ligeiramente negativo (-7,02) e o poço P3 ligeiramente positivo (7,0).

Figura 5.25 - Gráfico do monitoramento de potencial de oxirredução nos poços P2, P3 e cacimbão.



O pH é um parâmetro importante para a caracterização de uma água. Ele representa a concentração de íons de hidrogênio, dando a indicação sobre sua acidez, neutralidade ou alcalinidade da água (VON SPERLING, 2005). Sua escala vai de 0 a 14, onde 7 representa uma água neutra. Quanto mais próximo de 0, mais ácida é esta água; quanto mais próximo de 14, mais básica.

O pH das amostras apresentaram valores em torno de 7, variando entre 6,28 e 8,05; indicando que variaram de pouco ácidas a pouco básicas. Houve um aumento gradativo no pH das águas subterrâneas extraídas de todos os poços entre maio e setembro. Em outubro, o pH do poço P3 e do cacimbão sofreu um decréscimo.

Figura 5.26 - Gráfico do monitoramento do pH nos poços P2, P3 e cacimbão.

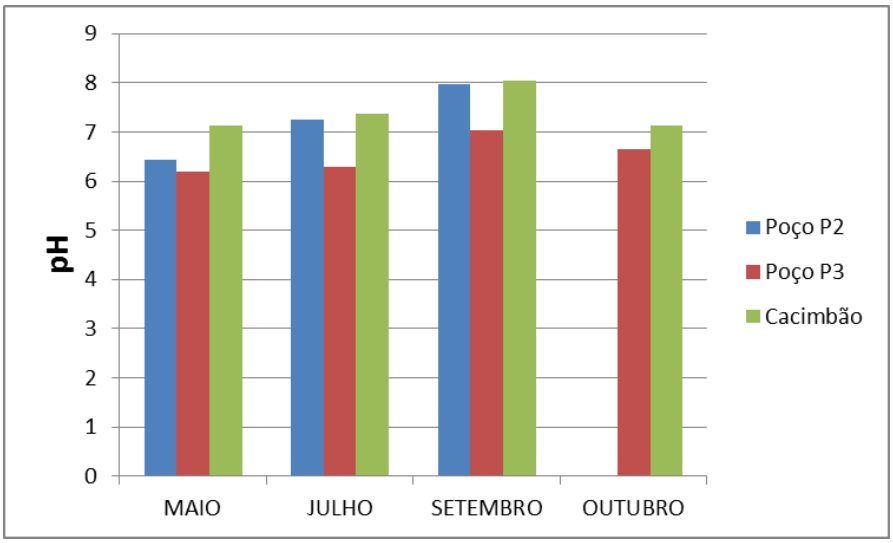
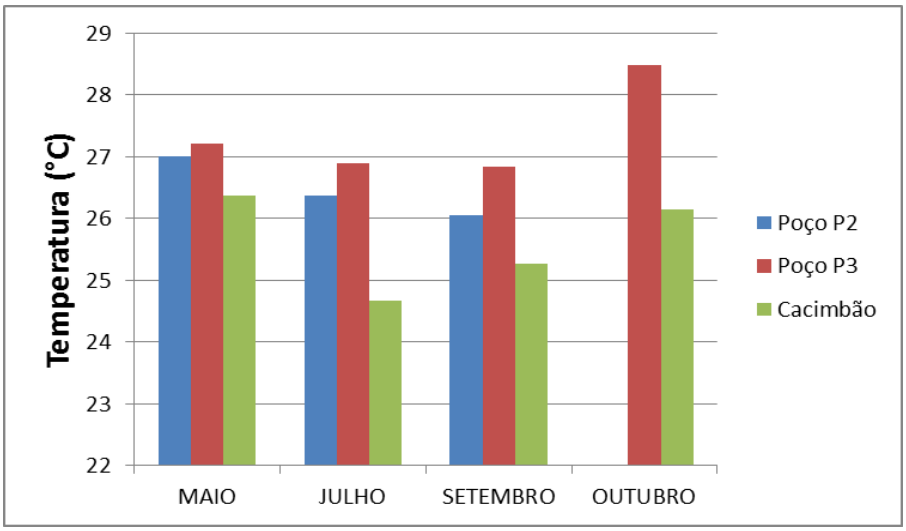


Figura 5.27 - Gráfico do monitoramento da temperatura nos poços P2, P3 e cacimbão.



Contrário ao que ocorreu com pH, a temperatura de todas as amostras caíram de maio a julho. Em setembro, apenas a temperatura da água do cacimbão aumentou. Seguindo essa elevação também no mês de outubro, o cacimbão e o poço 3. Observa-se que a água do cacimbão sempre se caracterizou com a menos quente entre os pontos estudados. A temperatura mais baixa obtida foi 24,67°C no cacimbão em julho, e a mais alta foi 28,48°C no poço P3 em outubro.

5.2.2 Monitoramento qualitativo no Rio Beberibe

As análises de água superficial foram mais ampliadas e consistiram, além da utilização de medidor multi-parâmetro, nas análises físico-químicas e de metais através de procedimentos de laboratório. Os dados obtidos em cada ponto estudado no rio Beberibe podem ser vistos na Tabela 5.11.

Foram vários os parâmetros de qualidade obtidos nas análises no rio Bebebribe, tais como: concentrações de ferro, manganês, zinco, cobre, chumbo, alumínio, valores de pH, condutividade elétrica, turbidez, cor, alcalinidade, dureza, cálcio, magnésio, sódio, potássio, cloreto, sulfato, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, fosfato, carbonato, fluoreto.

Tabela 5.11 - Resumo do monitoramento qualitativo no Rio Beberibe.

RIO BEBERIBE	JULHO			AGOSTO		SETEMBRO		OUTUBRO			NOVEMBRO			DEZEMBRO		
	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 1	PONTO 3	PONTO 1	PONTO 3	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3
FERRO	1,49	2,566	2,4	5,132	2,465	1,414	3,2	2,56	1,741	1,742	1,199	1,54	1,637	1,361	1,203	1,381
MANGANÊS	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
ZINCO	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
COBRE	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
CHUMBO	0,007	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,007	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
ALUMÍNIO	0,667	1,754	1,585	2,022	3,518	0,921	1,319	0,796	0,748	0,76	0,528	0,571	0,552	0,385	0,387	0,454
pH	6,3	6,8	6,7	6,3	6,9	6,8	6,7	4,1	6,8	6,8	7,2	7	6,7	6,5	7	6,8
CONDUTIVIDADE	-	-	-	-	-	96	319	108	333	372	72,1	374	407	67,6	462	481
TURBIDEZ	18,9	28,8	48,9	57	26,1	14,4	15,7	29,4	22,7	13,7	26,4	9,5	7,8	16,5	25,8	27,1
COR	65	69	65	48,8	66,7	37,7	70,7	91,5	86,5	65,8	201	133	135	48,6	89,7	78,9
ALCALINIDADE	7,7	61,9	73,3	7,3	77,9	32,8	90,9	74	94,7	101,7	5,6	93	105,9	6	121,8	126,3
DUREZA	9,61	53,07	61,57	8,53	50,5	1,69	36,64	16,11	38,76	41,97	9,2	36,4	44,1	7,8	48,7	58,7
CÁLCIO	2,57	16,02	19,03	1,64	19,88	0,53	10,18	4,22	10,69	11,41	1,7	8,8	10,9	1,92	12,88	15,12
MAGNÉSIO	0,77	3,16	3,4	1,08	0,19	0,09	2,72	1,35	2,92	3,27	1,2	3,5	4,09	0,73	4,01	5,08
SÓDIO	9,13	26,28	29,14	6,15	18,51	5,15	23,1	6,84	25,56	24,66	8,8	35,6	35,2	-	-	-
POTÁSSIO	2,98	8,1	9,34	2,12	6,52	1,75	7,36	1,73	7,73	7,2	2,9	11,9	11,1	-	-	-
CLORETO	14,67	30,57	31,68	14,91	31,39	13,27	38,28	15,9	45,85	43,53	12,3	40	42,6	13,9	26	24,7
SULFATO	1,5	14,4	11,4	1,6	11,7	2,94	13,02	2,17	13,28	12,92	2,2	11,7	13,2	-	-	-
N AMONIACAL	0,116	1,396	1,378	0,001	3,344	0,057	5,18	0,001	6,355	6,525	0,001	3,8	9,3	-	-	-
NITRITO	0,024	0,986	3,34	0,011	0,338	0,014	0,011	0,013	0,044	0,008	0,013	0,02	0,019	-	-	-
NITRATO	0,8	1,1	1,6	0,9	0,7	0,958	0,069	6,217	0,027	0,026	0,836	10,3	11,9	-	-	-
FOSFATO	0,067	0,402	0,464	0,191	0,421	0,033	0,592	0,069	1,113	1,063	0,072	1,63	1,262	0,069	1,321	1,253
CARBONATO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FLUORETO	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,016	0,064	0,047	0,57	0,6	1,02

Para melhor visualização dos dados apresentados na tabela, os gráficos mostrados nas Figuras 5.28, 5.29, 5.30 e 5.31 exibem os valores de cada parâmetro detalhados por mês e ponto de coleta no rio. Vários destes parâmetros possuem limites exigidos pelo Ministério do Meio Ambiente. Assim, para estes parâmetros, os valores máximos permitidos (VMP) estabelecidos pela Resolução 357 do CONAMA (2005) para corpos de água superficiais de classe II estão representados por uma linha tracejada em seus respectivos gráficos.

Figura 5.28 – Gráfico do monitoramento das concentrações de metais no Rio Beberibe (ferro, chumbo e alumínio).

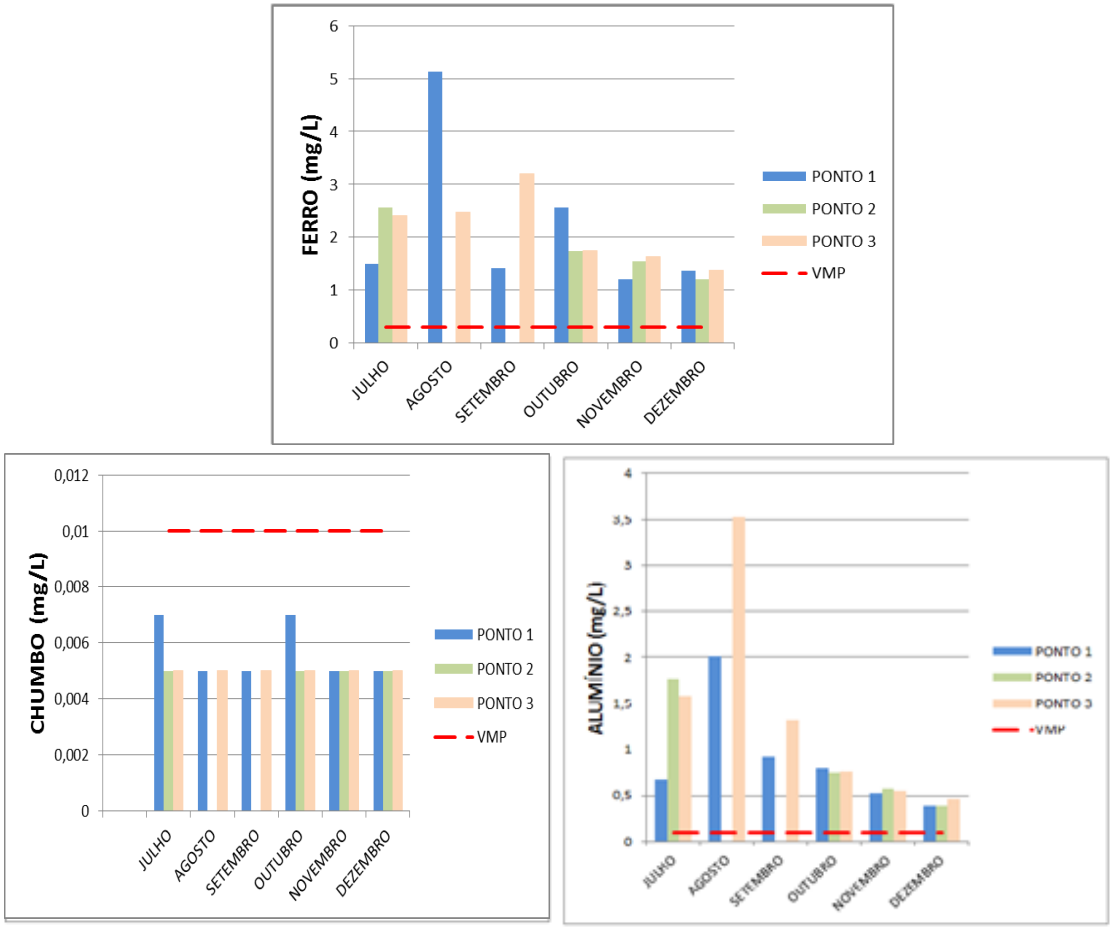


Figura 5.29 – Gráfico do monitoramento físico-químico no Rio Beberibe (pH, condutividade elétrica, turbidez, cor, alcalinidade, dureza, cálcio e magnésio).

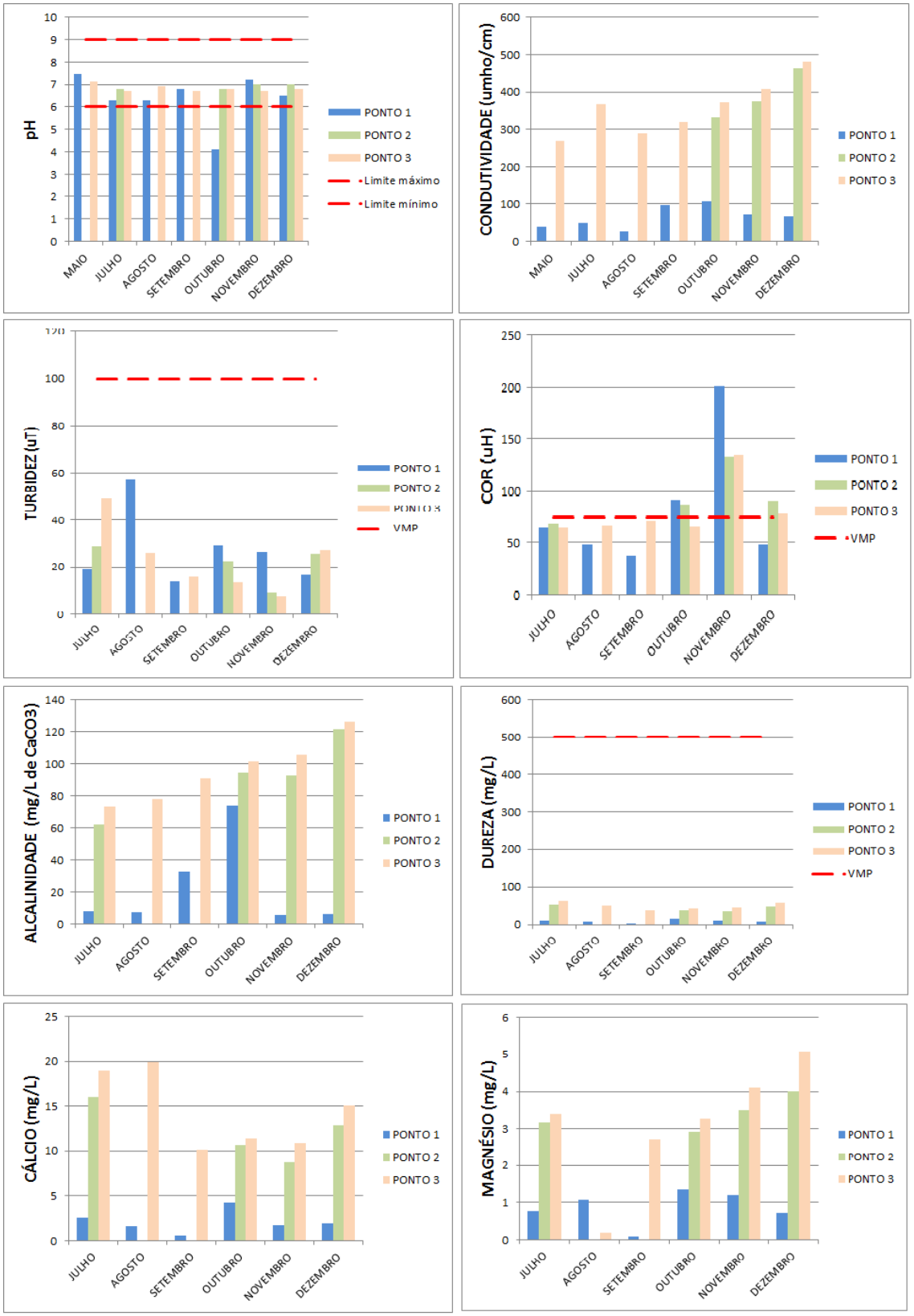


Figura 5.30 - Gráfico do monitoramento físico-químico no Rio Beberibe (sódio, potássio, cloreto, sulfato, N amoniacal, nitrito, nitrato e fosfato total).

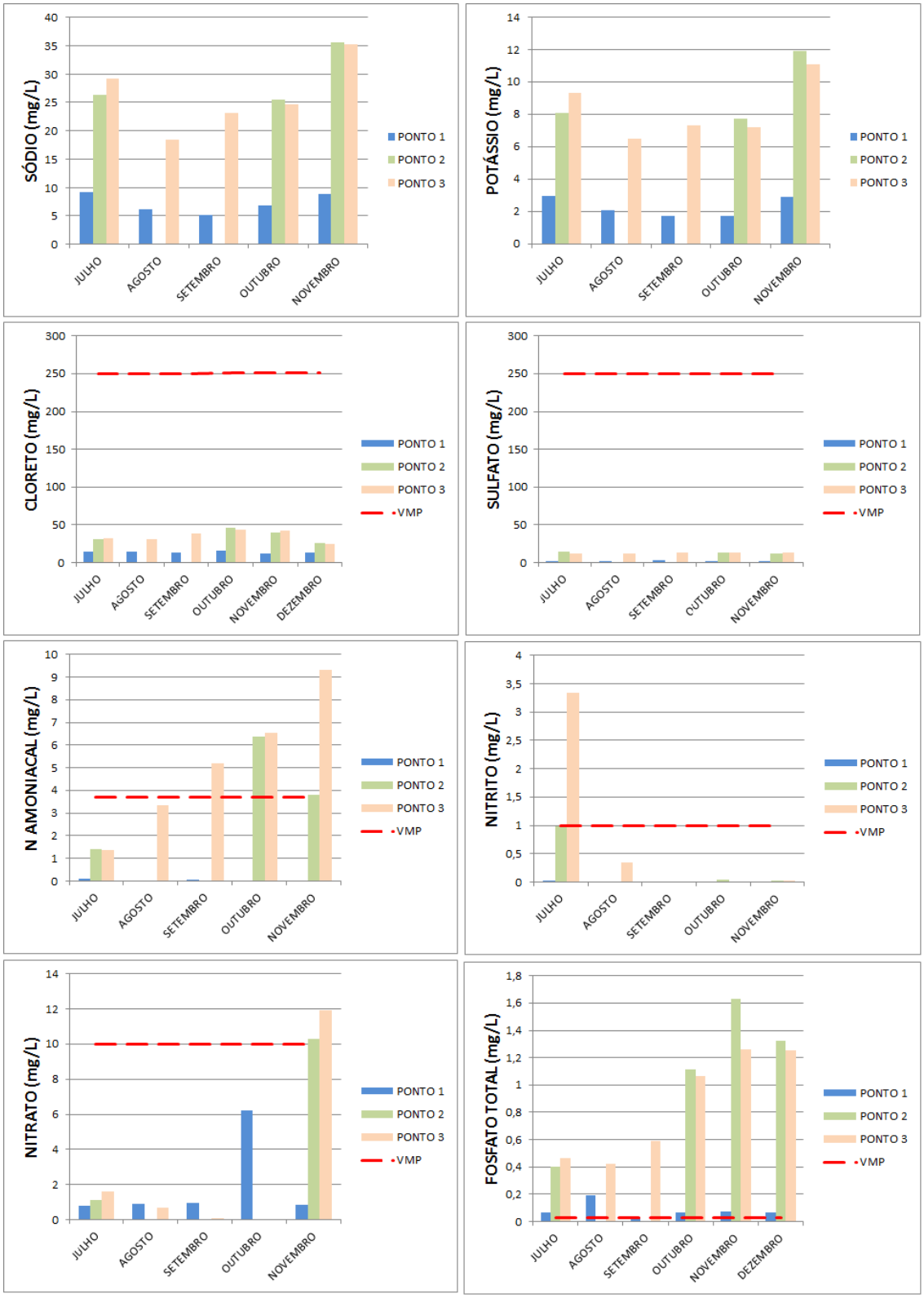
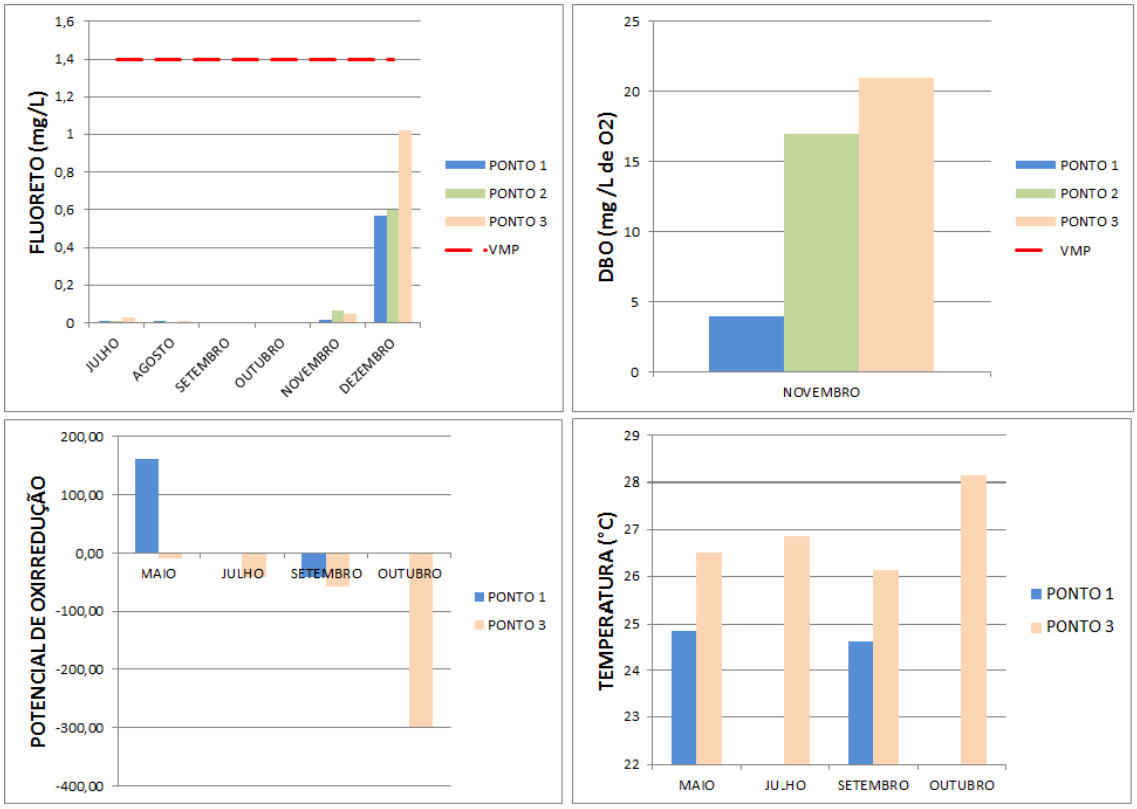


Figura 5.31 – Gráfico do monitoramento físico-químico no Rio Beberibe (fluoreto, DBO, potencial de oxirredução e temperatura).



É possível observar que todas as amostras apresentaram concentrações de ferro acima da estabelecida (0,3 mg/L). O ferro pode ter origem natural através da dissolução de compostos do solo. As concentrações de alumínio também estiveram acima do VMP, com destaque para as concentrações deste metal encontradas no mês de agosto nos pontos 1 e 3: 2,02 mg/L e 3,52 mg/L, respectivamente. São valores bem acima do VMP: 0,1 mg/L. Diferentemente, as concentrações de chumbo estiverem de acordo com a Resolução 357 do CONAMA (2005).

Assim, as concentrações inadequadas de alguns destes metais pode ter alterado os valores de abundância dos rotíferos a níveis diferentes do habitual. Como dito anteriormente, esse *taxa* geralmente é caracterizado por ser bastante presente em ecossistemas de água doce, mas que teve uma participação muito menor do que o esperado nas coletas realizadas no presente estudo em relação a outros feitos anteriormente no mesmo rio (ALBUQUERQUE, 2015).

Em estudo realizado por Haegerbaeumer *et al.* (2017), verificou-se o comportamento da meiofauna de água doce à contaminação química em um manancial localizado na Baixa Saxônia (norte da Alemanha). Foi visto que os rotíferos eram o grupo mais sensitivo a altas concentrações de metais e de compostos orgânicos. No mesmo estudo, foi realizado um experimento em laboratório, onde foi observada uma redução significativa da concentração de clorofila-a devido à injeção de cobre nas amostras do experimento, o que mostra que a comunidade da meiofauna é sensível às variações de concentração de metais (HAEGERBAEUMER *et al*., 2017).

O pH estabelecido pela norma deve estar entre 6 e 9 (CONAMA, 2005). Os valores de pH das águas amostradas estiveram neste intervalo, com predominância de valores pouco abaixo de 7, indicando um pequeno grau de acidez nestas águas. A única exceção foi a água extraída no ponto 1 em outubro, onde o pH foi 4,1; indicando que a água neste ponto estava bem mais ácida do que as demais.

A turbidez representa o grau de interferência com a passagem da luz através da água (VON SPERLING, 2005). Está relacionada com a existência de sólidos em suspensão, podendo ter origem natural ou antrópica, causando aspecto esteticamente desagradável à água. Todas as amostras analisadas tiveram valores de turbidez dentro do permitido.

Em relação à cor, esta também ocorre devido aos sólidos dissolvidos na água, podendo ter origem natural através das concentrações de ferro e manganês e da decomposição da matéria orgânica, ou de origem antropogênica através de resíduos industriais e esgotos domésticos. Observa-se que, nos meses de outubro e novembro, ocorreram valores maiores do que o permitido para cor. Em novembro, o ponto 1 apresentou o maior valor para cor (201 uH).

Como visto nos gráficos de turbidez e cor, o ponto 1 apresentou em vários meses os maiores valores para estes parâmetros. Isto indica que existiram processos de origem natural neste ponto que resultou na elevação de seus níveis de turbidez e cor. Como descrito anteriormente neste trabalho, devido a sua localização a montante da zona urbana, este ponto é o que recebe menor

influência de processos antropogênicos como o recebimento de esgoto doméstico.

A condutividade elétrica é a medida da capacidade da água de conduzir corrente elétrica, estando associada à presença de sais dissolvidos sob a forma de íons. A alcalinidade é a capacidade da água neutralizar ácidos, estando ligada a presença de carbonatos e bicarbonatos (SANTOS, 2000). Estes dois parâmetros apresentaram o mesmo comportamento entre os pontos. A partir do mês de agosto, os valores destes parâmetros cresceram gradativamente até dezembro.

Além disso, observou-se que os pontos 2 e 3 apresentaram valores de condutividade elétrica e alcalinidade muito superiores aos encontrados para o ponto 1. O mesmo pode ser observado com relação às concentrações de íons de cálcio, magnésio, sódio, potássio, sultato, cloreto e fosfato.

Ressalta-se que no caso do fosfato, os valores encontrados em todos os pontos foram acima do VMP pela Resolução 357 do CONAMA (2005) que é 0,03 mg/L. Porém, segundo Santos (2000), valores acima de 1,0 mg/L apresentam grande indicação de água poluída. Utilizando o valor de referência de Santos (2000), os pontos 2 e 3 nos meses de outubro, novembro e dezembro tiveram concentrações superiores a 1,0 mg/L. Possivelmente, essa elevação da concentração nestes meses se deram pela menor vazão do rio Beberibe nestes meses.

Existe a influência da ação antrópica, onde o fosfato pode ser acrescido à água através de derivados de detergentes, efluentes domésticos, inseticidas e pesticidas (SANTOS, 2000). O fósforo é um elemento importante para o crescimento de algas e de micro-organismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica. Em excesso, pode causar o problema da eutrofização em águas superficiais (VON SPERLING, 2005).

O nitrogênio encontrado no solo em grande parte provém de materiais orgânicos mortos. Através do seu ciclo, o nitrogênio é conduzido de sua forma orgânica à forma amoniacal e em nitritos, e posteriormente, através de processo de nitrificação, em nitratos; o que permite a avaliação do grau e da

distância de uma poluição pela quantidade e forma de apresentação dos derivados nitrogenados. O seu excesso em águas superficiais podem causar a eutrofização das mesmas; pois o nitrogênio, em suas diversas formas, é um nutriente nos processos biológicos e, juntamente com o fósforo, causa o crescimento excessivo de algas (BRAGA *et al*., 2005).

Desta maneira, o nitrogênio foi analisado no rio Beberibe nas formas de nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato. As formas amoniacais e nitrito são indicativos de poluição recente, enquanto que uma poluição mais remota está associada ao nitrogênio na forma de nitrato, que é totalmente prejudicial à saúde humana. Estes, quando presentes na água em altas concentrações, são indicativos de contaminação por atividade humana, como esgotos domésticos, depósito de lixo, despejos industriais, fertilizantes e resíduos de animais (SANTOS, 2000; VON SPERLING, 2005).

Os valores de nitrogênio amoniacal e de nitrito das amostras mostraram a discrepância entre o ponto 1 (a montante da área densamente habitada) e dos pontos 2 e 3 (dentro da área densamente habitada). Em seus gráficos, é difícil observar a representação em barras destes parâmetros para o ponto 1, por ser tão baixo em relação aos outros pontos. Em relação ao nitrogênio amoniacal, em setembro, outubro e novembro, os pontos 2 e 3 apresentaram valores acima do VMP (3,7 mg/L), o que aponta para um nível inadequado de qualidade nestes pontos quanto a este parâmetro. Isto indica contaminação por atividades humanas.

Caschetto *et al*. (2017) estudaram a origem dos compostos de nitrogênio através de análise isotópica e a sua influência na fauna intersticial em 42 pontos na zona hiporreica do rio Sagittario, na Itália. Através da caracterização isotópica, foi constatado que o nitrogênio amoniacal tinha como origem esgotos domésticos e fertilizantes sintéticos. Também foi verificado que concentrações de nitrogênio amoniacal maiores que 0,0653 mg/L eram suficientes para haver uma diminuição drástica de copépodos pertencentes a meiofauna (CASCHETTO *et al*., 2017).

Correlacionando as informações obtidas por Cachetto *et al.* (2017) com os dados do presente estudo no Rio Beberibe, pode-se notar que os valores de

nitrogênio amoniacal nos pontos 2 e 3 foram muito maiores do que 0,0653 mg/L. Assim, similarmente ao encontrado na Itália, foram detectados diversos grupos taxonômicos na zona hiporreica do rio Beberibe, dentre eles, os copepodas, porém com baixíssima participação em relação a abundância total.

Quanto ao nitrito, no geral, os valores estiveram bem abaixo do VMP. A única exceção ocorreu no mês de julho, quando o ponto 2 chegou a um nível próximo do máximo permitido, e o ponto 3 apresentou valor mais de três vezes maior do que o limite.

As concentrações de nitrato foram abaixo do VMP (10 mg/L) em todos os meses, exceto em novembro, quando as concentrações nos pontos 2 e 3 foram 10,3 mg/L e 11,9 mg/L, respectivamente. Uma surpresa ocorreu em outubro, quando apesar do nível de nitrato no ponto 1 estar abaixo do limite, apresentou valor mais elevado do que os outros dois pontos. Neste mês, a concentração de nitrato foi 6,22 mg/L no ponto 1. Provavelmente este ponto foi submetido a algum tipo de contaminação durante algum tempo antes da coleta, fazendo com que o nível de nitrato subisse bastante.

Em trabalho feito no norte da Alemanha, Majdi, Threis e Traunspurger (2017) estudaram a densidade da meiofauna nos sedimentos hiporreicos em dois rios com mesmo regime de temperatura e granulometria, mas com diferentes velocidades de fluxo e níveis de fosfato e nitrato. Foi observado que o rio com baixa velocidade de fluxo e rico em fosfato apresentou grande quantidade de indivíduos pertencentes ao grupo dos Rotifera, Tardigradas, Oligochaeta (Annelida) e Gastrotrichas; enquanto que o rio com alta velocidade de fluxo e rico em nitrato, teve maior densidade de indivíduos dos Nematoda, Turbellaria e Copepoda (MAJDI; THREIS; TRAUNSPURGER, 2017).

Ao comparar os resultados encontrados por Majdi, Threis e Traunspurger (2017) com os resultados de meiofauna encontrados na presente dissertação, é possível observar que eles foram bastante diferentes. O ponto 1 apresentou o maior valor de nitrato em outubro, porém teve a menor número de nematódeos neste mês (Tabela 5.5). Por outro lado, em outubro os pontos 2 e 3 tiveram os maiores valores de fosfato e a maior quantidade de rotíferas em comparação com o ponto 1. Essas comparações são limitadas, tendo em vista que as

condições ambientais nas áreas de estudo nestes dois trabalhos são bem distintas, sendo extremamente difícil encontrar os mesmos padrões de comportamento das populações bentônicas; porém são sempre válidas considerando que as pesquisas de meiofauna em ecossistemas de água doce são mais escassas.

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) é a medida de quantidade de oxigênio necessária para consumir a matéria orgânica presente na água. É um importante parâmetro que indica contaminação na água. Infelizmente, foi possível a realização deste teste apenas na coleta de novembro.

O valor máximo de DBO estabelecido pela Resolução 357 do CONAMA (2005) é de 5 mg/L de O_2. De acordo com os dados obtidos, apenas o ponto 1 apresentou valor de DBO dentro do padrão, 4 mg/L. O ponto 2 apresentou 17 mg/L de DBO, e o ponto 3 apresentou 21 mg/L.

Os dados de temperatura obtidos pelo medidor multi-parâmetro nos pontos analisados foram sempre condizentes com o clima tropical da área de estudo. A menor temperatura observada foi 24,63°C no ponto 1. É perceptível a tendência de que este ponto apresenta temperaturas inferiores àquelas apresentadas no ponto 3. Isto deve acontecer pelo fato de que a montante do ponto 1 existem grandes áreas de Mata Atlântica que cobrem o rio, impedindo os raios solares de atingir diretamente o espelho d'água. O trecho urbanizado do rio, por sua vez, não possui este protetor, fazendo com que a temperatura seja mais elevada.

5.3 MONITORAMENTO PIEZOMÉTRICO

Foram realizados os registros dos níveis dos poços de observação e de produção na estação experimental em Caixa d'Água, Olinda. Esta é uma medição que faz parte da rotina do projeto piloto de Filtração em Margem, pois a partir dela é possível adquirir informações básicas da ação do bombeamento sobre o nível freático no aquífero local e a sua variação temporal.

Como mencionado anteriormente, a partir do início de 2017 até a apresentação deste presente trabalho, os poços de produção de FM não estiveram funcionando. Por isso, não foi possível analisar a variação temporal e espacial dos níveis piezométricos no aquífero sob o efeito de bombeamento em 2017.

O acompanhamento dos níveis piezométricos foi feito de setembro de 2016 a outubro de 2017, com 6 medições no total. Assim, apenas nas medições que ocorreram em 2016 houve influência de bombeamento no local.

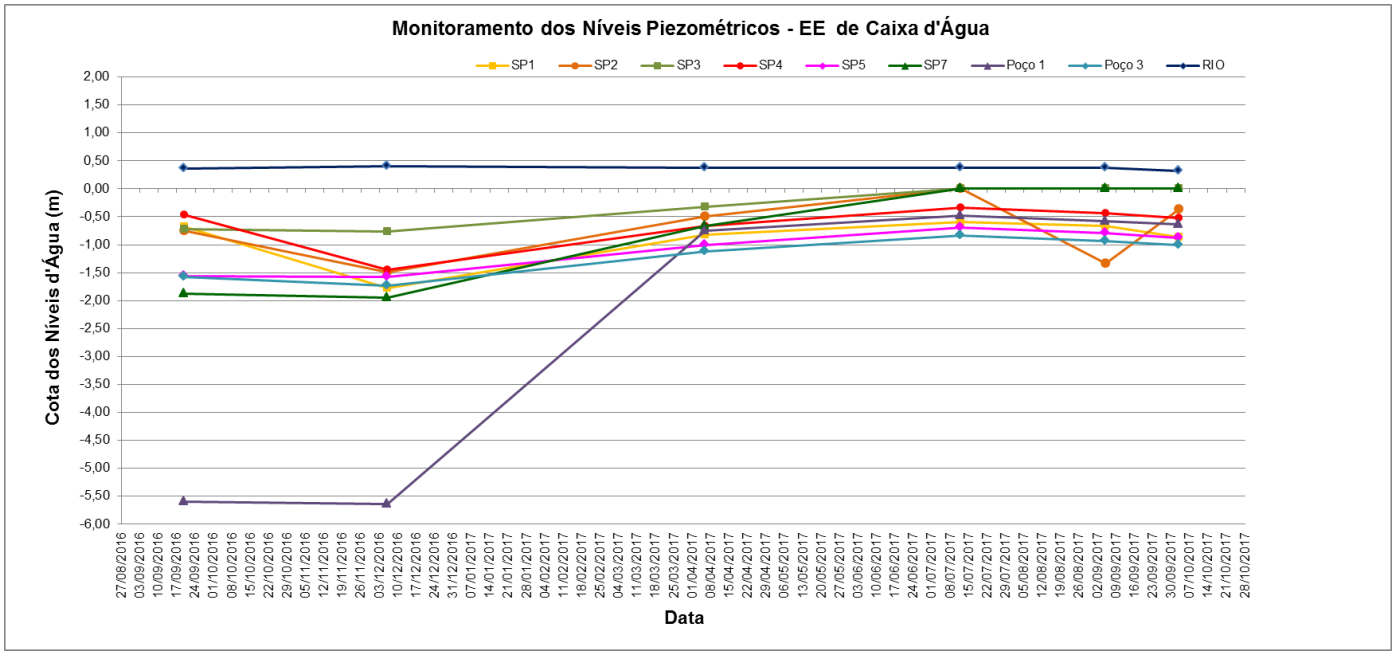
A Tabela 5.12 apresenta as cotas obtidas nos poços de FM e no Rio Beberibe, onde foi utilizado piezômetro diferencial durante outras atividades do grupo de FM da UFPE.

Tabela 5.12 - Resumo do monitoramento piezométrica nos poços de FM e no Rio Beberibe

DATA	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5	SP7	Poço 1	Poço 3	RIO	Observação
20/09/2016	-0,68	-0,75	-0,72	-0,47	-1,57	-1,87	-5,60	-1,58	0,46	Poço 1 funcionando
06/12/2016	-1,77	-1,49	-0,76	-1,45	-1,58	-1,95	-5,64	-1,74	0,21	Poço 1 funcionando
06/04/2017	-0,82	-0,50	-0,32	-0,67	-1,00	-0,66	-0,75	-1,13	0,36	sem bombeamento
12/07/2017	-0,59	X	X	-0,34	-0,69	X	-0,47	-0,84	0,46	sem bombeamento
05/09/2017	-0,66	-1,34	X	-0,44	-0,80	X	-0,57	-0,94	0,21	sem bombeamento
03/10/2017	-0,86	-0,36	X	-0,52	-0,88	X	-0,63	-1,01	0,21	sem bombeamento

Estas medições foram realizadas de acordo com a metodologia descrita neste trabalho, onde foram obtidas as profundidades do nível de água em cada poço e, posteriormente, os níveis piezométricos foram calculados a partir das cotas dos poços. Estas cotas foram resultado do referencial fixo comum adotado, o piso da casa de bombas da estação experimental de Caixa d'Água, cuja cota é zero, conforme já foi mencionado anteriormente.

Figura 5.32 – Gráfico do monitoramento piezométrico nos poços de FM e no Rio Beberibe.



É possível observar na Figura 5.32 que, no geral, todos os poços seguiram um comportamento em conjunto entre si, com exceção do Poço 1 que estava sob bombeamento durantes as duas medições no segundo semestre de 2016. Nota-se também que em 2016 os poços de observação e o Poço 3 tiveram uma cota piezométrica mais baixa, evidenciando a influência do bombeamento do Poço 1 em grande parte da área do aquífero sob a EE de Caixa d'Água.

Esta influência foi comprovada no estudo de Paiva (2009), que realizou o monitoramento piezométrico e representou as linhas de fluxo em um mapa potenciométrico, mostrando que o bombeamento no Poço 1 provoca um rebaixamento no nível do aquífero com boa área de atuação.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As informações aqui obtidas são importantes para o desenvolvimento da tecnologia de Filtração em Margem (FM) em Pernambuco, pois considera aspectos ambientais locais, o que é essencial para a instalação e desenvolvimento desta técnica. A presente dissertação de mestrado objetivou buscar mais informações sobre a tecnologia no projeto piloto de Filtração em Margem em Caixa d'Água, em Olinda.

A compreensão do que acontece na interface rio-aquífero é imprescindível para que se possa entender os processos que envolvem a interação água superficial e água subterrânea com mais clareza. O atual estudo buscou o melhor entendimento das características biológicas e sedimentológicas da zona hiporreica no trecho médio do Rio Beberibe.

O entendimento das características sedimentológicas da zona hiporreica incluiu a análise granulométrica e a obtenção dos teores de matéria orgânica total (MOT) e de carbonato de cálcio ($CaCO_3$) nos sedimentos hiporreicos, nos três pontos de estudo e divididos entre as profundidades de 0-5 cm e de 5-10 cm. Estes três parâmetros são relevantes, pois caracterizam o espaço físico da zona hiporreica e indicam a possível ocorrência de colmatação devido à atividade biológica e à precipitação de carbonatos.

Em termos de classificação granulométrica, foi verificada a predominância de areia. Entre as coletas que obtiveram maiores teores de matéria orgânica total e de carbonato de cálcio, destaca-se o ponto 3 que obteve entre as profundidades de 0-5 cm e de 5-10 cm, 11,10% e 12,70% de MOT, e 11,65% e 16,36% de $CaCO_3$ no mês de julho, provavelmente pela ação de lavagem pelo qual os sedimentos do trecho mais a montante são submetidos durante o período de chuvas, onde a MOT e $CaCO_3$ são transportados para trechos mais a jusante.

A caracterização biológica da zona hiporreica consistiu na quantificação da biomassa de microfitobentos (produtores primários) e da abundância e densidade da meiofauna (consumidores primários). Entre os pontos estudados,

o mais rico em biomassa de microfitobentos foi o ponto 1 que teve 6,65 µg/cm² em termos de clorofila-a.

A análise sobre a meiofauna hiporreica é extremamente relevante no estudo a respeito da tecnologia de FM, uma vez que estes organismos promovem a degradação da matéria orgânica, favorecendo a atenuação de poluentes e estimulando atividades microbianas, produzindo o biofilme que ocasiona a colmatação biológica no leito do rio. Este camada de biofilme serve como barreira para os poluentes do manancial superficial durante os processos de recarga de aquíferos.

O levantamento dos organismos da meiofauna nos sedimentos hiporreicos foi realizado de forma detalhada entre os três pontos, separados em grandes grupos taxonômicos e divididos em camada de 2 cm até a profundidade de 10 cm nos meses de abril, julho e outubro de 2017. Foram contabilizados 4906 indivíduos; aproximadamente 54% destes foram de anelídeos, 41% foram de nematódeos, 2% foram rotíferos e 3% dos indivíduos pertenciam a outros grupos. A pequena participação de rotíferas foi algo diferente do que geralmente é encontrado em outras pesquisas sobre meiofauna em ambientes de águas doce em todo mundo, muito provavelmente pelos níveis inadequados de metais e outros parâmetros na água superficial.

O ponto mais abundante em meiofauna foi o ponto 3 com 2796 indivíduos; seguido pelo ponto 1, com 1118 indivíduos e pelo ponto 2, com 992. Essa grande abundância observada no ponto 3 aconteceu sobretudo graças a enorme quantidade de indivíduos encontrados especialmente no mês de julho. Também foi verificada a abundância média em cada profundidade estudada. Observou-se uma maior abundância de meiofauna nos primeiros 6 cm de profundidade, o que é bastante compreensível devido a maior quantidade de oxigênio disponível nestas camadas. Porém, a diminuição da abundância média não se deu gradativamente em todos os pontos, sendo visto por vezes abundâncias maiores em camadas inferiores em relação à camada mais superficial (0-2 cm). Provavelmente isto ocorreu por ação de um maior hidrodinamismo apresentado ou de condições de rio influente na interação rio-

aquífero, onde a água superficial rica em oxigênio se infiltra no aquífero subjacente.

Através da abundância média, foi possível calcular a densidade média em cada ponto. A densidade total no ponto 3 em julho foi de 571,93 indivíduos/cm². O ponto 2, apresentou em abril a menor densidade entre todos os pontos em todos os meses estudados, apenas 34,42 indivíduos/10 cm².

Além da caracterização da zona hiporreica, foi realizado o monitoramento de qualidade da água dos poços de FM sem bombeamento, de um cacimbão próximo e do rio. Os dados de qualidade obtidos são fundamentais para a correlação com outros parâmetros estudados. Nos poços e no cacimbão, o monitoramento consistiu apenas em alguns parâmetros dados por equipamento eletrônico como condutividade elétrica, potencial de oxirredução, pH e temperatura. Para o Rio Beberibe, além destes, foram analisados diversos parâmetros físico-químicos e de metais que foram obtidos através de análises laboratoriais realizados em parceria com a Compesa.

As concentrações de alguns metais foram inadequadas em todos os pontos, que em outros estudos foi observado como responsáveis pela diminuição da quantidade de rotíferos e de clorofila-a. Foi observado também que íons como cálcio, magnésio, sódio, potássio, sultato, cloreto e fosfato, a condutividade elétrica e a alcalinidade foram muito maiores nos pontos 2 e 3 do que no ponto 1. Nestes dois pontos ainda foram encontrados níveis de nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal e DBO superiores ao VMP.

As concentrações de nitrato nos pontos 2 e 3 chegaram em novembro a 10,3 mg/L e 11,9 mg/L, respectivamente. Nestes dois pontos, o nitrogênio amoniacal chegou a 6,35 mg/L e 3,52 mg/L e a DBO, a 17,0 mg O_2/L e 21,0 mg O_2/L.

6.1 RECOMENDAÇÕES

Assim, em virtude do grande papel que a zona hiporreica exerce e sua importância para as pesquisas de Filtração em Margem, recomenda-se a continuação das pesquisas que envolvem esta zona, assim como o

prosseguimento das pesquisas envolvendo a meiofauna, tendo em vista que o comportamento de sua comunidade é bastante dinâmico e variável.

Sugere-se também a respeito de novas abordagens que sejam importantes na compreensão na tecnologia de Filtração em Margem como a utilização de traçadores que comprovem a sua eficiência na remoção e atenuação de poluentes. Entre os traçadores, o uso de isótopos ambientais pode ser uma ferramenta adequada para desvendar questões sobre os ciclos biogeoquímicos. Assim, os isótopos ambientais podem ser utilizados para saber a composição da água no processo de filtração, a origem e avaliação dos poluentes existentes e, até mesmo, os níveis tróficos da fauna intersticial.

Sugere-se a instalação de novas estações experimentais em outras regiões do estado de Pernambuco e do país, tendo em vista a peculiaridade de cada local. Desta maneira, a técnica de Filtração em Margem possa ser mais bem entendida e usada pelas companhias de abastecimento.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 6502: Rochas e solos. Rio de Janeiro. 18p, 1995.

ALBUQUERQUE, T.B.V. Caracterização física e biológica da Zona Hiporreica na interação rio- aquífero no Rio Beberibe – Pernambuco. Universidade Federal de Pernambuco, Doutorado em Engenharia Civil – Área de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Tese de Doutorado. Recife – PE, 2015.

ALVARES, C.A. *et al*. Köppen's climate classification map for Brazil. **Metereologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6. p. 711-728, 2013.

APE, F. SARÀ, G. AIROLDI, L. MANCUSO, F. MIRTO, S. Influence of environmental factors and biogenic habitats on the intertidal meiofauna. **Hydrobiologia**, v.807: p.349-366, 2018.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21 ed. Washington: APHA, 2005

APAC - Agência Pernambucana de Água e Clima. Monitoramento Pluviométrico. Disponível em: http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php, 2018.

ARANTES, E.J.; CHAUDHRY, F.H.; MARCUSSI, F.F.N. Caracterização da integração entre rio e aquífero com o uso de infiltrômetros. **Águas Subterrâneas**, v.20, n.2, p.97-108, 2006.

BARA, M. K. *et al*. Influence of surface water level fluctuation and riverbed sediment deposits on groundwater regime. **Journal of Hydrology** 62. P. 177-185. 2014.

BARBOSA, J. A.; LIMA FILHO, M. Os Domínios da Bacia da Paraíba, Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, Salvador, 2005 (http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/3/trabalhos/IBP0333_05.pdf)

BARCELLOS, R.L.; FLORES-MONTES, M.J.; ALVES, T.M.F.; CAMARGO, P.B. Modern sedimentar processes and seasonal variations of organic matter in na urban tropical estuary, Jaboatão River (PE), Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 75, p. 38-42, 2016.

BENITES, C.M. Estudo sobre a proposta de metodologia para ensaios de determinação das concentrações e fósforo e clorofila 'a' para emprego nos exames periciais de unidades de criminalística da Polícia Federal. Universidade Federal de Santa Catarina, Mestrado em Perícias Criminais Ambientais. Dissertação de Mestrado. Florianópolis-SC, 2014.

BLAVIER, J. *et al.* Investigation of Riverbed Filtration Systems on the Parapeti River, Bolivia. **Journal of Water Process Engineering**. p27-36. 2014.

BOULTON, A.J.; FINDLAY, S.; MARMONIER, P.; STANLEY, E.H.; VALETT, H.M. The functional significance of the hyporheic zone in streams and rivers. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**. v.29. p.59-81, 1998.

BOUWER, H. Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering. **Hydrogeology Journal**. v.10. p.121-142. 2002.

BOVING, T.B.; CHOUDRI, B.S.; CADY, P.; CORDING, A.; PATIL,K.; REDDY, V. Hydraulic and Hydrogeochemical Characteristics of a Riverbank Filtration Site in Rural India. **Water Environment Research**, v. 86, n. 7. 2014.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M.T.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

CABRAL, J. J. S. P.; KOIDE, S.; SIMOES, S.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Recursos Hídricos Subterrâneos. In: João Batista Dias de Paiva; Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva. **Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas**. 1ed.Porto Alegre: ABRH, v. 1, p. 237-277, 2001.

CABRAL, J. J. S. P. Movimento De Água Subterrânea. In: FERNANDO A. C. FEITOSA; JOÃO MANOEL FILHO; EDILTON FEITOSA; JOSÉ GEILSON A DEMÉTRIO. **Hidrogeologia Conceitos E Aplicações**. 3ed.Rio de Janeiro: CPRM, p. 77-91, 2008.

CAMARGO, M.G.; SYSGRAN: um sistema de código aberto para análises granulométricas do sedimento. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 36, n. 2, p. 371378, 2006.

CAMPOS, H.L. Processo Hidrológico de Gestão na Bacia Hidrográfica do Rio Beberibe (PE): Uma Retrospectiva. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro – RJ. 226p., 2003.

CAMPOS, H.L. O rio Beberibe e sua importância para o abastecimento de água da Região Metropolitana do Recife – RMR: Uma perspectiva Histórica. Clio – **Série Revista de Pesquisa Histórica** – n. 26-1, p. 239-256, 2008.

CAMPOS, L.P.S. Filtração em Margem no tratamento de água: avaliação da aplicação da técnica no manancial da lagoa do Peri, Santa Catarina, e

análise prévia de viabilidade de aplicação em Rio Grande, Rio Grande do Sul. Universidade Federal de Santa Catarina, Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. Trabalho de Conclusão de Curso, 2012.

CARVER, R.E. Procedures in Sedimentary Petrology. Publisher, John Wiley & Sons Canada, Limited, 1971.

CASCHETTO, M.; GALASSI, D.; PETITTA, M.; ARAVENA, R. Evaluation of the sources of nitrogen compounds and their influence on the biological communities in the hyporheic zone of the Sagittario River, Italy: na isotopic and biological apporach. **Italian Journal of Geosciences**, v. 136, n. 2, pp. 145-156, 2017.

COLIJN, F. C.; DIJKEMA, K. S. Species composition of benthic diatoms and distribution of chlorophyll-a on an intertidal flat in the Dutch Wadden Sea. **Mar. Ecol. Prog. Ser**. v.4. p. 9-21, 1981.

CONAMA – Conselho Nacional Do Meio Ambiente. Resolução 357 de 17 de março de 2005. Diário Oficial da União, n. 053, págs. 58-63, 2005.

COULL, B.C. Long-term variability of estuarine meiobenthos: an 11 year study. **Mar Ecol Prog Ser**. 24: 205–218, 1985.

COULL, B.C. Role of meiofauna in estuarine soft-bottom habitats. **Australian Journal of Ecology.** 24, p. 327-343, 1999.

CPRH - AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. Relatórios de Monitoramento Ambiental das Bacias Hidrográficas do Estado de Pernambuco. <http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/c3.2.6.pdf>, acessado em 14/02/2017. 2017.

DALTO, A. G.; ALBUQUERQUE, E. F. Meiofauna distribution in a Tropical Estuary of the South-Western Atlantic (Brazil). **Vie et Milieu**, v.50, n.3, p. 151-162, 2000.

DEMÉTRIO, J.G.A.; PAIVA, A.L.R. FREITAS, D.A.; CABRAL, J.J.S.P. Características hidrogeológicas das aluviões do rio Beberibe na área da bateria de poços no bairro de Caixa D'água, Olinda-PE. **Águas Subterrâneas**, v.27, p.111-126, 2013.

ESCAVARAGE, V.; GARCIA, M.E.; CASTEL, J. The distribution of meiofauna and its contribution to detritic pathways in tidal flats (Arcachon Bay, France). **Sci Mar** v.53, p.551–559, 1989.

ESQUIVEL, L.; PIZZOLATTI, B.; SENS, M. Tratamiento de agua potable por filtración inducida em uma laguna costera em el sur de Brasil. In: ROMERO,

L; SEGALLA, B; LUIZ, M. **Tecnología en Marcha.** v. 25, n.4, p. 23-32. 2012.

EYUALAM-ABEBE, E.; ANDRÁSSY, I.; TRAUNSPURGER, W. **Freshwater nematodes: Ecology and taxonomy**. CABI Publishing, Wallingford, Oxfordshire, U.K., p. 752, 2006.

ENVIRONMENTAL AGENCY Groundwater–surface water interactions in the hyporheic zone. Science Report SC030155/SR1. United Kingdom. p. 71, 2005.

FEITOSA, F.A.C.; MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia: Conceitos e aplicações**. CPRM/REFO, LABHID-UFPE. 2ª Edição. Fortaleza. 391, p. 2000.

FLECKENSTEIN, J.; NISWONGER, R.; FOGG, G. River-aquifer interactions, geologic heterogeneity, and low-flow management. **Ground Water.** v.44, n.6,p. 837– 852, 2006.

FOLK, R. L.; WARD. W.C. Brazos River Bar: Study of the Significance of Grain Size Parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**, 27 : p.3-27, 1957.

FRASCHETTI, S.; GAMBI, C.; GIANGRANDE, A.; MUSCO, L.; TERLIZZI, A.; DANOVARO, R. Structural and functional response of meiofauna rocky assemblages to sewage pollution. **Mar. Ecol. Prog. Ser**, v.52, p.540-548, 2006.

FREITAS, D. A. Uso da técnica de filtração em margem para remoção de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. e outros micro-organismos patogênicos no Rio Beberibe – Pernambuco. Universidade Federal de Pernambuco, Doutorado em Engenharia Civil – Área de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Tese de Doutorado. Recife – PE, 2014.

FREITAS, D.A.; PAIVA, A.L.R.; CARVALHO FILHO, J.A.A.; CABRAL, J.J.S.P.; ROCHA, F.J.S. Occurrence of Cryptosporidium spp., Giardia spp. And other pathogenic intestinal parasites in the Beberibe River in the State of Pernambuco, Brazil. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, V. 48, p. 220-223, 2015.

GIERE, O. Meiobenthology: The Miscroscopic Motile Fauna of Aquatic Sediments. Second Edition. Springer. 2009.

GRISCHEK, T.; BARTAK, R. Riverbed Clogging and Sustainability of Riverbank Filtration. **Water**, v.8, p.604; doi:10.3390. 2016.

HACK, L.A.; TREMBLAY, L.A.; WRATTEN, S.D.; LISTER, A.; KEESING, V. Benthic meiofauna community composition at polluted and non-polluted sites in New Zealand intertidal environments. **Marine Pollution Bulletin**, 54, p. 1801-1812, 2007.

HANNAH, D.; KRAUSE,S.; FLECKENSTEIN, J.; HEPPELL. K. *et al*. Biogeochemistry and the hydroecology of the hyporheic zone. In: ENVIRONMENTAL AGENCY. The Hyporheic Handbook. Science Report: SC050070. Chapter 5. October, 2009.

HAEGERBAEUMER, A.; HOSS, S.; RISTAU, K.; CLAUS, E.; HEININGER, P.; TRAUNSPURGER, W. The use of meiofauna in freshwater sediment assessments: Structural and functional responses of meiobenthic communities to metal and organics contamination**. Ecological Indicators**, v.78, p.512-525, 2017.

HAKENKAMP, C.C.; PALMER, M.A.The ecology of hyporheic meiofauna. In: JONES, J.B. MULHOLLAND, P.J**. Streams and ground Waters**. Academic Press. Cap. 13, p. 307-329, 2000.

HAWKINS, A.J.S.; BAYNE, B.L.; MONTOURA, R.F.C.; LLEWELLUN, C.A.; NAVARRO, E. Chlorophyll degradation and absorption throughout the digestive system of the blue mussel Mytillus edulis. **Exp. Mar. Biol. Ecol**, v. 96, p.213-223, 1986.

HEWITT, E.; MUDGE, S. Detecting anthropogenic stress in an ecossystem: Meiofauna in a sewage gradiente. **Environment Forensics**, v.5 p.155-170, 2004.

HICKS, G.R.F.; COULL, B.C. The ecology of marine meiobenthic harpacticoid copepods. **Oceanography and Marine Biology** - An Annual Review, n. 21, p. 67-175, 1983.

HISCOCK, K.M.; GRISCHEK, T. Attenuation of groundwater pollution by bank filtration. **Journal of Hydrology**, v.266, p.139-144, 2002.

HU, B.; TENG,Y.; ZHAI, Y. *et al*. Riverbank Filtration in China: A Review and Perspective. **Journal of Hidrology**, v. 541, Part B. p.914-92, 2016.

HUANG, D.; LIU, X.; LIN, M.; CHEN, H.; WEI, L.; HUANG, L.; ZHANG, Z. Effects of sewage discharge on abundance and biomass of meiofauna. **Yingyong Shengtai Xuebao**, v. 25, p. 3023-3031, 2014.

HUBBS, S.A. **Riverbank Filtration Hydrology**. NATO Science Series IV; Earth and Environmental Sciences 2006. p. 74-91, 2006.

HUNT, H. American Experience in Installing Horizontal Collector Wells. In: RAY, C. MELIN, G. LINSKY, R. **Riverbank Filtration: Improving Source-Water Quality**. Water Science and Technology Library. 2003

IBRAHIM, T.; KAESER, D.; RICHIE, A. Measurements and monitoring at the groundwater – surface water interface. In: Environmental Agency. The Hyporheic Handbook. Science Report: SC050070. Chapter 8. October, 2009.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. 3º Distrito de Meteorologia (DISME). Boletim com a Normal Climatológica no período 1961 a 1990. 2003.

KEERY, J.S.; BINLEY, A. Temperature measurements for determining groundwater – surface water fluxes. Science Report SC030155/SR9. Environmental Agency. Bristol, 2007.

KOTWICK, L. *et al*. Horizontal and vertical distribution of meiofauna on sandy beaches of the North Sea. **Helgol Mar Res**, v. 59, p. 255–264, 2005.

LAWLER, D.; CARDENAS, B.; OLD, G.; SEAR,D. Geomorphology and Sediments of the Hyporheic Zone. In: ENVIRONMENTAL AGENCY. The Hyporheic Handbook. Science Report: SC050070. Chapter 3. October, 2009.

LEE,S.I.; LEE, S.S. Development of site suitability analysis system for riverbank filtration. **Water Science and Engineering**, p.85-94. 2010.

LIU, C.; LIU, J.; HU, Y.; ZHENG, C. Studying groundwater and surface water interactions using airborne remote sensing in Heihe River basin, northwest China. Hydrology and Water Resources. IAHS Plub. 368, 2015.

LIU, Y.; DEDIEU, K.; SANCHEZ-PÉREZ, J.; MONTUELLE, B. *et al*. Role of biodiversity in the biogeochemical processes at the water-sediment interface of macroporous river bed: An experimental approach. **Ecological Engineering**, v. 103, part B, p. 385-393. 2017.

LOPES, A.V.G. Aspectos hidrogeológicos ambientais e jurídicos como ferramenta para uso e proteção das águas subterrâneas da Região Metropolitana do Recife. Universidade Federal de Pernambuco, Doutorado em Geociências. Tese de Doutorado. Recife – PE, 2012.

LORENZEN, C.J. Determination of chlorophyll and pheo-pigments spectrophotometric equations. **Limnology and Oceanography**, v. 12, n. 2, pp. 343-346, 1967.

LU, C.; CHEN, X.; OU, G.; CHENG, C *et al*. Determination of the anisotropy of an upper streambed layer in east-central Nebraska, USA. **Hydrogeology Journal**, v.20, p.93-101, 2012.

MACHELEIDT, W.; GRISCHEK, T.; NESTLER, W.New approaches for estimating streambed infiltratio rates. In: HUBBS, S.A. **Riverbank Filtration**

Hydrology. NATO Science Series IV; Earth and Environmental Sciences, p. 74-91, 2006.

MACINTYRE H.L.; GEIDER R.J.; AND MILLER D.C. Microphytobenthos: the ecological role of the “secret garden” of unvegetated, shallow-water marine habitats. I. Distribution, abundance and primary production. **Estuaries**, v.19, p. 186–201, 1996.

MAJDI, N.; THREIS, I.; TRAUNSPURGER, W. It’s the little things that count: Meiofaunal density and production in the sediment of two headwater streams. **Limnology and Oceanography**, 62, p. 151-163, 2017.

MAGNI, P.; ABE, N.; MONTANI, S. Quantification of microphytobenthos biomass in intertidal sediments: layer-dependent variation of chlorophyll a content determined by spectrophotometric and HPLC methods. **La mer** v. 38 p.57-63, 2000.

MARIA, T.F.; WANDENESS, A.P.; ESTEVES, A.M. State of the art of the meiofauna of Brazilian Sandy Beaches. **Brazilian Journal of Oceanography**, 64, p. 17-26, 2016.

MIN, L; JINJIE, Y; CHANGMING, L; ZHU, J; WANG, P. The Spatial variability of streambeds vertical conductivity in na intermitente river, northwestern China. **Environmental Earth Sciences**, v. 69, p. 873-883, 2013.

MONTAGNA, P.A.; BLANCHARD, G.F.; DINET, A. Effects of production and biomass of intertidal microphytobenthos on meiofaunal grazing rates. J**. Exp. Mar. Bio. Ecol**, v.185, p. 149-165, 1995.

MUGNAI, R.; MESSANA, G.; DI LORENZO, T. The hyporheic zone and its functions: revision and research status in Neotropical regions. Resultados da pesquisa. **Brazilian Journal of Biology**. v. 75, n. 3, p. 524-534. 2015.

MUSTAFA, S.; BAHAR, A.; AZIZ, Z.A.; SURATMAN, S. Modelling contaminant transport for pumping wells in riverbank filtration systems. Journal of Environmental Management 165. p.159-166. 2016.

MUCHA, I.; BANSKY, L.; HLAVATY, Z.; RODAK, D. Impact of riverbed clogging – Colmation – On groundwater. In: HUBBS, S.A. **Riverbank Filtration Hydrology**. NATO Science Series IV; Earth and Environmental Sciences 2006. pp. 43-72. 2006.

MUROLO, P.P.A.; CARVALHO, P.V.V.C.; CARVALHO, M.L.B.; SOUZA-SANTOS, L.P.; SANTOS, P.J.P. Spatio-temporal variations of microphytobenthos in the Botafogo and Siri estuaries (Northeast - Brazil). **Brazilian Journal of Oceanography**, v.54 n.1, p.19-30, 2006.

NETTO, S. A.; PAGLIOSA, P. R.; FONSECA, A. L. O.; GALLUCCI, F.; FONSECA, G. F. C.; SOUZA, R. S. Interações entre o microfitobentos, meiofauna e macrofauna (Praia Comprida, Santa Catarina). **Braz. J. Ecol.**, v. 11, p. 78-82, 2007.

NGO, X.Q.; SMOL, N.; VANREUSEL, A. The meiofauna distribution in correlation with environmental characteristics in 5 Mekong estuaries, Vietnam. **Cah. Biol. Mar**, v.54, p.71-83, 2013.

OLIVEIRA, L. T. Aspectos Hidrogeológicos da Região Costeira Norte de Pernambuco – Paulista a Goiana. Recife, 118p, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco. 2003.

PAIVA, A. L. R. O processo de Filtração em Margem e um Estudo de Caso no rio Beberibe. Universidade Federal de Pernambuco, Doutorado em Engenharia Civil – Área de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Tese de Doutorado. Recife – PE, 2009.

PALMER, M.A. Hydrodynamics and structure: interactive effects on meiofauna dispersal. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 104, p. 53-68, 1986.

PALMER, M.A. Temporal and spatial dynamics of meiofauna within the hyporheic zone of Goose Creek, Virginia. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 9, n. 1. p. 17-25, 1990.

PARIMALARENGANAYAKI, S.; BRINDHA, K.; SANKARAN, K.; ELANGO, L. Effect of recharge from a check dam and river bank filtration on geochemical and microbial composition of groundwater. **Saudi Society for Geosciences**. 2015.

PHOLKERN, K; SRISUK, K; GRISCHEK, T; SOARES, M; *et al*. Riverbed clogging experiments at potential river bank filtration sites along the Ping River, Chiang Mai, Thailand. **Environmental Earth Sciences**, v.73, p.7699-7709. 2015.

RAY, C. **Riverbank filtration: Understanding contaminant biogeochemistry and pathogen removal**. NATO Sciente Series. IV Earth and Environmental Sciences – V. 14, 2002.

RAY, C.; GRISCHEK, T.; SCHUBERT, J.; WANG, J.; SPETH, T. A perspective of riverbank filtration. **American Water Works Association Journal**, v.94, n.4; Technology Collection p. 149, 2002.

RAY, C.; PROMMER, H. Clogging-induced flow and chemical transport simulation. In: HUBBS, S.A. **Riverbank Filtration Hydrology**. NATO

Science Series IV; Earth and Environmental Sciences 2006. pp. 74-91. 2006.

REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. **Propriedades físicas do solo**. Universidade Federal de Santa Maria. 2006.

ROCHA, S.; MARQUES, E. Caracterização Hidrogeológica de um Sistema de Filtração em Margem de Lago. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**. ISSN 0101-9759 e-ISSN 1982-3908 – v.38 n.1, p.133-141, 2016.

ROMERO, L.; PIZZIOLATTI, B.; SOARES, M.; MICHELAN, D.; SENS, M. Bank filtration: Application in rural areas. Case studies in Santa Catarina, Brazil. 21st Century Watershed Technology: Improving Water Quality and Environment 2010; Guacimo; Costa Rica; 21 February, 2010.

SANDHU, C.; GRISCHEK, T.; KUMAR, P.; RAY, C. Potential for riverbank filtration in India. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v.13, n.2, p. 295-316, 2011.

SANTOS, A.C. Noções de Hidroquímica. In: FEITOSA, F.A.C. MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia: Conceitos e aplicações**. CPRM/REFO, LABHID-UFPE. 2ª Edição. Fortaleza, 2000.

SANTOS, J.P.; CARVALHO, M.L.B.; NASCIMENTO JÚNIOR, A.B. *et al*. Response of estuarine meiofauna assemblage to effects of fertilizer enrichment used in the sugar cane monoculture. Pernambuco, Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography** (Impresso), v. 57, p. 43-55, 2009.

SANTOS, L.L. Filtração em margem para remoção de cianobactérias e contaminantes físico-químicos em um reservatório de abastecimento público no semiárido pernambucano. Universidade Federal de Pernambuco, Doutorado em Engenharia Civil – Área de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Tese de Doutorado. Recife – PE, 2012.

SCHIJVEN, J. F.; BERGER, P.; MIETTINEN. I. Removal of Pathogens, Surrogates, Indicators, and Toxins Using Riverbank Filtration In: **Riverbank Filtration Improving Source-Water Quality**. v. 43 . p. 73-116, 2003.

SCHMIDT, C.K.; LANGE, F.T.; BRAUCH, H.; KÜHN, W. Experiences with riverbank filtration and infiltration in Germany. TWZ-Report. DVGW – Water Technology Center (TZW), Germany. 2003.

SCHUBERT, J. Significance of Hydrologic Aspects on RBF Peformance. In: HUBBS, S.A. **Riverbank Filtration Hydrology**. NATO Science Series IV; Earth and Environmental Sciences 2006. pp. 1-20. 2006a.

SCHUBERT, J. Experience with riverbed clogging along Rhine river. In: HUBBS, S.A. **Riverbank Filtration Hydrology**. NATO Science Series IV; Earth and Environmental Sciences 2006. p. 221-242. 2006b.

SENS,M. L.; DALSASSO, R. L.; MONDARDO, R. I.; MELO FILHO, L. C. Filtração em margem. In: Pádua, V. L. (coord). Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano. Rio de janeiro: ABES- Prosab 4, p.173-236, 2006.

SHAMRUKH, M.; ABDEL-WAHAB A. Riverbank filtration for sustainable water supply: application to a large-scale facility on the Nile River. **Clean Technologies and Environmental Policy**. DOI 10.1007/s10098-007-0143-2, 2008.

SHAMRUKH, M.; ABDEL-WAHAB. Water Pollution and Riverbank Filtration for Water Supply Along River Nile, Egypt. In: RAY, C.; SHAMRUKH, M. **Riverbank Filtration for Water Security in Desert Countries**. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Cap. 2. 2011.

SHAMSUDDIN, M.K.N. *et al.* Using particle tracking as a tool sustainable bank infiltration techniques: a case study in an alluvial área. **Arabian Journal of Geosciences**. p.1571-1590. 2015.

SHEPARD, F.P. Nomenclature Based on Sand-Silt-Clay Ratios. **Journal of Sedimentary Petrology,** v.24 n.3, p.151-158, 1954.

SINGH, P. KUMAR, P. MEHROTRA, I. GRISCHEK, T. Impact of riverbank filtration on treatment of polluted river water. **Journal of Environmental Management**, v.91. p.1055-1062, 2010.

SIRH - Sistema Integrado de Recursos Hídricos e Energéticos. Secretaria de Recursos Hídricos. http://www.sirh.srh.pe.gov.br/site Acesso em 2017.

SMITH, J. Introduction. In: ENVIRONMENTAL AGENCY. **The Hyporheic Handbook**. Science Report: SC050070. Chapter 1. October, 2009.

SOUZA, A.R.; COSTA, A.C. Interação rio-aquífero em um rio de médio porte no semiárido cearense. *XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Natal, 2014.

SOARES, M. The Influence of High Infiltration Rates, Suspended Sediment Concentration and Sediment Grain Size on River and Lake Bed Clogging. Technischen Universität Berlin, Doutorado em Engenharia. Tese de Doutorado. Berlim, 2015.

SOPHOCLEOUS, M. Interactions between groundwater and surface water: the state of the science. **Hydrogeologic Journal**. v.10, p. 52-67, 2002.

STUYFZAND, P.J.; JUHASZ-HOLTERMAN, M.HA.; DE LANGE, W.J. Riverbank filtration in the Netherlands: Well fields, clogging and geochemical

reactions. In: HUBBS, S.A. **Riverbank Filtration Hydrology**. NATO Science Series IV; Earth and Environmental Sciences. p. 74-91. 2006.

SUGUIO, K. Introdução à sedimentologia. São Paulo. Ed. Edgard Blucher. EDUSP, 317 p. 1973.

SUGUIO, K. Geologia sedimentar. São Paulo. Ed. Edgard Blucher, 2003.

TRINDADE, R.L. Interação microfitobentos x copepoda harpacticoida em área estuarina do Canal de Santa Cruz. Universidade Federal de Pernambuco, Mestrado em Oceanografia. Dissertação de Mestrado. Recife – PE, 2007.

TUFENKJI, N.; RYAN, J. N.; E ELIMELECH, M. Bank filtration: a simple technology may inexpensively clean up poor-quality raw surface water. **Environmental Science and Technology**. Colorado, USA, p. 423-428, 2002.

TYSON, R.V. Sedimentary Organic Matter. London, Chapman & Hall. 589p. 1995

UNESCO - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. United Water in a Changing World, The United Nations World Water Development Report 3, World Water Assessment Programme. Istanbul, Turkey. 2009.

USGS – United States Geological Service. Disponível em: https://wa.water.usgs.gov/projects/gwswinter/. Acesso em 09 de março de 2017.

US EPA - United States Environmental Protection Agency. Biological Indicators of Groundwater- Surface water Interaction. September, 1998.

VELICKOVIC, B. Colmation as one of the processes in interaction between the groundwater and surface water. **Factas Universitatis**. Series: Architecture and Civil Engineering, v.. 3, n. 2, p. 165 – 172, 2005.

VERAS, T. B. Análise da interação rio-aquífero na zona hiporreica para a tecnologia de filtração em margem: estudo de caso no rio Beberibe-PE. Universidade Federal de Pernambuco, Mestrado em Engenharia Civil - Área de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Dissertação de Mestrado. Recife-PE, 2011.

VERAS, T. B.; CABRAL, J.J.S.P.; PAIVA, A.L.R; BARRETO, A.F.S. Interação rio-aquífero e a meiofauna do ambiente hiporreico. **Águas Subterrâneas**, v.31, n.1, p.20-35, 2017.

VERVIER, P.; GIBERT, J.; MARMONIER, P.; DOLE-OLIVIER, M.- J. A perspective on the permeability of the surface freshwater–groundwater

ecotone. **Journal of the North American Benthological Society**, v.11, p.93–102, 1992.

VIDAKOVIC, J. The Influence of Raw Domestic Sewage on Density and Distribution of Meiofauna. **Marine Pollution Bulletin**, v. 14, n. 3, p. 84-88, 1983.

VINCX, M. Meiofauna in Marine and Freshwater Sediments. In: CAB INTERNATIONAL. **Methods for the Examination of Organismal Diversity in Soils and Sediments**. Cap. 15. Ed. G.S. Hall. 1996.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Vol 1. Ed. UFMG, 2005.

WANG, L.; SONG, J.; ZHANG, B.; GUO, H. *et al.* Spatial and Temporal Variations of Streambed Vertical Hydraulic Conductivity in the Weihe River, China. **Water**, 2016.

WARD, J.V.; PALMER, M.A. Distribution patterns of interstitial freshwater meiofauna over a range of spatial scales, with emphasis on alluvial river-aquifer systems. **Hydrobiologia**, v.287, p. 147-156, 1994.

XAVIER, D.A.; BARCELLOS, R.L.; FIGUEIRA, R.C.L.; SCHETTINI, C.A.F. Evolução sedimentar do estuário do Rio Capibaribe (Recife-PE) nos últimos 200 anos e suas relações com a atividade antrópica e processo de urbanização. **Tropical Oceanography**, v. 44, n. 2, p. 74-78, 2016.

ZEPPILLI, D.; SARRAZIN, J.; LEDUC, D.; ARBIZU, P. M.; FONTANETO, D.; FONTANIER, C.; GOODAY, A.J.; KRISTENSEN, R.M.; IVANENKO, V.N.; SORENSEN, M.V.; VANREUSEL, A.; THEBAULT, J.; MEA, M.; ALLIO, N.; ANDRO, T.; ARVIGO, A.; CASTREC, J.; DANIELO, M.; FOULON, V.; FUMERON, R.; HERMABESSIERE, L.; HULOT, V.; JAMES, T.; LANGONNE-AUGEN, R. *et al.* Is the meiofauna a good indicator for climate change and anthropogenic impacts. **Marine Biodiversity**, 2015.

ZHI-WEI, W.; HAN-ZHOU, S.; JI-XIANG, H. Determination of seepage velocity in streambed using temperature recordo of Russian River, USA. **Journal of Hydrodynamics**, v. 25, p. 388-395, 2013.