



INTERAÇÃO RIO-AQUÍFERO E A MEIOFAUNA DO AMBIENTE HIPORREICO

RIVER-AQUIFER INTERACTION AND MEIOFAUNA OF HYPORHEIC ENVIRONMENT

Tatiane Barbosa Veras¹; Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral²;
Anderson Luiz Ribeiro de Paiva³; Aliny Fernanda Santos Barreto⁴

Artigo recebido em: 28/12/2015 e aceito para publicação em: 10/11/2016.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v31i1.28548>

Resumo - As interações que ocorrem entre a água superficial (rios e lagos) e água subterrânea envolvem uma série de processos que devem ser explorados no intuito de entender suas interligações, já que a taxa de recarga e a qualidade da água subterrânea dependem fortemente das características dessa interface. A zona de intercâmbio, conhecida por zona hiporreica é formada por uma camada subsuperficial de sedimentos entre o leito do rio e o aquífero, e suas características favorecem o estabelecimento de algumas espécies, destacando-se a meiofauna. Alguns processos biológicos responsáveis pela modificação da qualidade da água de recarga envolvem esses organismos. Um estudo sobre a comunidade da meiofauna hiporreica foi realizado em três pontos do rio Beberibe, Olinda - PE. A meiofauna esteve composta por um total de 4965 indivíduos, distribuídos em oito *taxa*, onde 97% dos organismos foram representados pelos rotíferas, nemátodos e anelídeos. A densidade média total variou entre 1446,3 indivíduos/ 10 cm² no verão e 12,1 indivíduos/ 10 cm² no inverno. A estrutura da comunidade foi correlacionada às variáveis: inverno, verão e granulometria dos sedimentos e o conjunto desses fatores refletiu-se nas características da meiofauna hiporreica do trecho estudado do rio Beberibe-PE. Tanto no verão como no inverno, os pontos onde as densidades de grupos foram mais significativas, foram as dominadas pelas frações arenosas.

Palavras-chave: Interação água subterrânea - água superficial. Meiofauna hiporreica. Qualidade da água de recarga.

Abstract - The interactions that occur between surface water (rivers and lakes) and groundwater involve a number of processes that should be explored in order to understand their interconnections, since the rate of recharge and groundwater quality strongly depend on the characteristics of this interface. The area of interconnection, known as hyporheic zone is formed by a subsurface layer of sediment from the river bed and the aquifer, and its characteristics favor the establishment of some species, highlighting the meiofauna. Some biological processes responsible for modifying the recharge water quality involve those bodies. A study on hyporheic meiofauna community was performed at three points of Beberibe river, Olinda - PE. The meiofauna was composed of a total of 4965 individuals, distributed in eight *taxa* where 97% of organizations were represented by rotíferas, nematodes and annelids. The average total density varied between individuals 1446.3 / 10 cm² in the summer and 12.1 individuals / 10 cm² in winter. The community structure was correlated to the variables: winter, summer and grain size of the sediment and the combination of these factors were reflected in characteristics of hyporheic zone of Beberibe river -PE. Both in summer and in winter, the points where the densities groups were more significant were dominated by sandy fractions.

Keywords: Interaction groundwater and surface water. Hyporheic meiofauna. Recharge water quality.

1 INTRODUÇÃO

A recarga de aquíferos a partir das águas de rios e lagos tem se tornado mais importante em função da necessidade crescente da água subterrânea para fins de

abastecimento urbano e/ou industrial. Muitos mananciais de superfície apresentam algum tipo de poluição e a situação se agrava com o crescente descarte de esgoto bruto diretamente nas águas superficiais, o que tem motivado cada vez mais o interesse dos

¹⁻⁴ Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, PE - E-mails: (tatiane_veras@yahoo.com.br, jcabral@ufpe.br, anderson.paiva@ufpe.br, afsantosbarreto@gmail.com)

pesquisadores sobre as relações existentes na zona hiporreica entre água superficial e água subterrânea, onde o foco principal dessas pesquisas é a gestão sustentável dos recursos hídricos (BRUNKE & GONSER 1999; LAUTZ *et al.*, 2009; YAO *et al.*, 2015).

No passado, as águas subterrâneas e superficiais eram consideradas corpos de águas distintos e, portanto, estudados separadamente (WINTER *et al.*, 1999; KALBUS *et al.*, 2006). Com o avanço de pesquisas, atualmente, sabe-se que de uma maneira ou de outra, qualquer controle exercido sobre um recurso acabará afetando o outro (FEITOSA & MANOEL FILHO, 2008).

Ao longo dos últimos anos, muitos trabalhos têm sido publicados sobre a temática relacionada a estudos da interação rio-aquífero, e neste contexto a zona hiporreica merece grande destaque por ser o local de grande influência nessa interação sendo considerada um ecossistema responsável por um conjunto de reações importantes.

A faixa da zona hiporreica que ocupa o leito dos rios influencia e é influenciada pela qualidade da água do curso d'água e da água subterrânea. Nessa interface, os processos físicos e bioquímicos contribuem para a melhoria da água que se infiltra e recarrega os aquíferos. Na zona hiporreica ocorre a ciclagem de compostos orgânicos, nitrogênio e fósforo (LAWRENCE *et al.*, 2013) e um bom entendimento do processo contribui para um melhor gerenciamento da qualidade de água do rio e do aquífero.

O escoamento na zona hiporreica produz o transporte de compostos orgânicos, nutrientes e contaminantes criando condições para a atuação da microfauna e da meiofauna presente nos sedimentos e participante dos processos de sorção, reações redox e biodegradação proporcionando um grande potencial para tratamento da água (LAWRENCE *et al.*, 2013)

De acordo com Mugnai *et al.* (2015), a zona hiporreica fornece vários serviços para o ecossistema, desempenhando um papel fundamental na mediação de processos

de troca, incluindo seja a matéria, seja a energia, entre os ecossistemas superficiais e os subterrâneos, funcionando como regulador do fluxo de água, de refúgio para invertebrados bentônicos e local de armazenagem, fonte e transformação de matéria orgânica. A zona hiporreica pode ser considerada um filtro natural, capaz de mitigar e retardar as variações físico-químicas que afetam os ambientes superficiais e subterrâneos (BRUNKE & GONSER, 1997).

Normalmente as fontes hídricas subterrâneas têm uma melhor qualidade quando comparadas com as águas superficiais, pois, durante a recarga natural do aquífero diversos contaminantes são removidos de forma eficiente pelos processos naturais de atenuação. Desse modo, a zona hiporreica, isto é, a interface entre águas superficiais e subterrâneas, desempenha um importante papel, uma vez que é uma região de intensa atividade biogeoquímica (TUFENKJI *et al.*, 2002).

Para este ambiente não existe uma definição conceitual única, pois seu estudo envolve diferentes variáveis, como: ecologia, morfologia, química, hidrologia, tempo de residência e até combinações entre essas variáveis (WILLIAMS, 1989; BOULTON *et al.*, 2010; BIANCHIN *et al.*, 2011; LARNED & DATRY, 2013; LEHR *et al.*, 2015). Diante disso, é muito importante conhecer as características da zona hiporreica, visto que esse ambiente pode proporcionar um tratamento natural nas águas de recarga dos aquíferos.

A zona hiporreica, como ecótono de ligação entre a superfície e as águas subterrâneas, é parte funcional seja dos ecossistemas fluviais seja das águas subterrâneas (MUGNAI *et al.*, 2015). Este dinâmico ecótono, abrange uma única e diversa fauna de invertebrados (MARMONIER *et al.*, 1993; FERIS *et al.*, 2003; LEIGH *et al.*, 2013) podendo atuar como filtro físico, químico e biológico (VERVIER *et al.*, 1992) capaz de imobilizar ou transformar nutrientes e poluentes (BOURG & BERTIN, 1993), prevenindo ou

reduzindo sua passagem entre água subterrânea e superficial (MAIER *et al.*, 2011). Ou seja, é um ambiente coordenado por uma infinidade de processos que são considerados atenuadores naturais.

O fluxo de água que ocorre no ambiente hiporreico e as características dessa região favorecem o estabelecimento de algumas espécies, pois existe uma grande infiltração de matéria orgânica nos interstícios dos sedimentos, onde destaca-se a meiofauna.

Definida por Giere (1993), a meiofauna é um grupo ecológico constituído de organismos bentônicos que passam por uma malha de abertura de 1,0 mm e ficam retidos em uma de 0,044 mm, abrangendo quase todos os filos de invertebrados, ocorre em grande abundância em sedimentos de todo o mundo (SOLTWEDEL, 2000). Além disso, a meiofauna possui curtos ciclos de vida (1 a 3 meses) o que faz com que mudanças na estrutura da comunidade possam ser observadas em estudos de curto prazo. Organismos da meiofauna são conhecidos por terem tempos de geração em escalas de vários dias a algumas semanas (SOUZA-SANTOS *et al.*, 1999).

A meiofauna é um grupo cuja morfologia, fisiologia e características de história de vida têm se desenvolvido para explorar a matriz intersticial dos sedimentos. A grande quantidade de sedimentos finos na zona hiporreica diminui significativamente a qualidade do ambiente para os invertebrados hiporreicos e bentônicos, pois a produção de fluxos fica limitada dificultando a capacidade do ambiente de se recuperar após distúrbios (DESCLOUX *et al.*, 2013). Os espaços que existem entre areias finas são pequenos demais, restringindo a maioria dos organismos intersticiais as areias mais grossas (SWEDMARK, 1964).

As características granulométricas dos sedimentos de fundo além de influenciar a meiofauna no sentido de adaptações dos corpos desses organismos, também tem forte relação aos padrões de distribuição espaço-temporal.

A composição meiofaunística e suas

características têm sido utilizadas em diversos estudos para demonstrar complexas relações com algumas variáveis ambientais, inclusive com a degradação da matéria orgânica (PFANNKUCHE & SOLTWEDEL, 1998; CARTES *et al.*, 2002). Alguns autores reportam que a passagem da água do manancial superficial pela zona hiporreica está atrelada a processos biológicos que compreendem a degradação de matéria orgânica pelo metabolismo dos microorganismos presentes no solo, além de mineralização de substratos secundários (DONALD & GRYGASKI, 2002; TUFENKJI *et al.*, 2002; SENS *et al.*, 2006). Nesse sentido, faz-se necessário esses conhecimentos sobre esses organismos e sua influência no processo de modificação da qualidade da água de recarga.

De acordo com MARTINS *et al.* (2015), os processos hidrodinâmicos também são importantes para a meiofauna. A hidrologia e a geomorfologia, direta ou indiretamente, controlam a distribuição dos organismos em habitats intersticiais (DOLE-OLIVIER & MARMONIER, 1992).

Em especial a distribuição temporal da meiofauna hiporreica ainda é um assunto pouco estudado. O que pode se afirmar é que a zona hiporreica é um ambiente importante para a fauna de invertebrados (BRET-SCHKO, 1992; STOCH & GALASSI, 2010; DOLE-OLIVIER, 2011).

Diante do exposto, o presente artigo tem como objetivo fornecer informações relevantes sobre essa zona de interação das águas subterrâneas com as águas superficiais, caracterizando a meiofauna do ambiente hiporreico. O intuito é descrever a diversidade da meiofauna hiporreica em um trecho do rio Beberibe - PE a nível de grandes grupos, além da variabilidade temporal entre o período seco e chuvoso do nordeste brasileiro.

2 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi desenvolvido em um trecho do rio Beberibe localizado na divisa entre os municípios de Recife e Olinda (Figura 1).

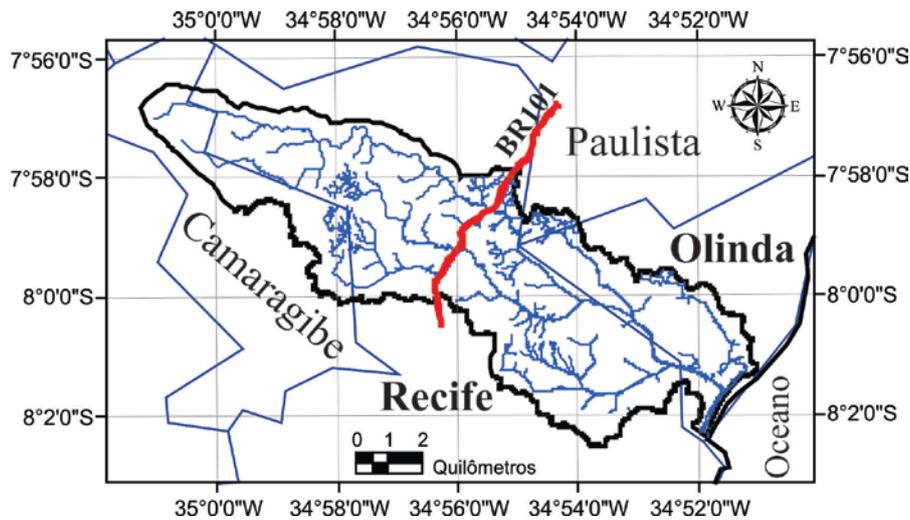


Figura 1 - Bacia Hidrográfica do rio Beberibe, Pernambuco

Figure 1 - Beberibe river watershed, Pernambuco

Sistema de Coordenadas: Sirgas 2000.

O rio Beberibe nasce no município de Camaragibe através da confluência do rio Pacas com o rio Araçá. Sua extensão tem aproximadamente 19 km, desde a sua nascente até desembocar no oceano Atlântico. Pela classificação hidrográfica do estado de Pernambuco, a bacia do rio Beberibe pertence ao Grupo 1 - GL 1, que corresponde ao grupo de Bacias de Pequenos Rios Litorâneos (APAC, 2015).

O aquífero Beberibe na área da estação experimental situa-se abaixo do freático separado por uma espessa camada de argila. De acordo com Cabral *et al.* (2008), o aquífero Beberibe é considerada a formação mais importante em termos de armazenamento de água.

A bacia hidrográfica do Beberibe apresenta de acordo com a classificação climática de Köppen (1948) clima do tipo As' quente e úmido. As chuvas mais intensas nas estações de outono e inverno refletem uma maior variação no meio ambiente ripário, proporcionando o aumento da umidade relativa do ar e diminuição da temperatura ambiental.

Compondo uma rede hidrográfica relativamente densa, as atividades antrópicas próximas ao rio Beberibe refletem diretamente na qualidade das águas

superficiais, provocando um aumento considerável no nível de poluição

Na bacia do rio Beberibe, o estudo foi desenvolvido em seu trecho alto, onde três pontos foram selecionados para caracterização da meiofauna hiporreica, cujas coordenadas podem ser observadas na Figura 2.

Os pontos 1 e 2 estão localizados a jusante da BR-101, onde o rio Beberibe apresenta uma largura de aproximadamente 6 m e a lâmina d'água variando de 0,30 a 0,40 m de profundidade em períodos secos e úmidos, respectivamente. Esses pontos atravessam áreas bastante urbanizadas, onde o rio recebe muitos efluentes produzidos pela comunidade local.

O Ponto 3 encontra-se a montante da BR-101, onde o rio Beberibe apresenta uma largura média de aproximadamente 7 m e uma lâmina d'água que varia de 0,20 a 0,25 m. O local é bastante preservado, com águas claras e não apresenta urbanização em seu entorno até o momento.

Os locais foram selecionados com o objetivo de fornecerem uma cobertura representativa da área de estudo (Figura 2), além das características de acessibilidade para as medições e coleta.

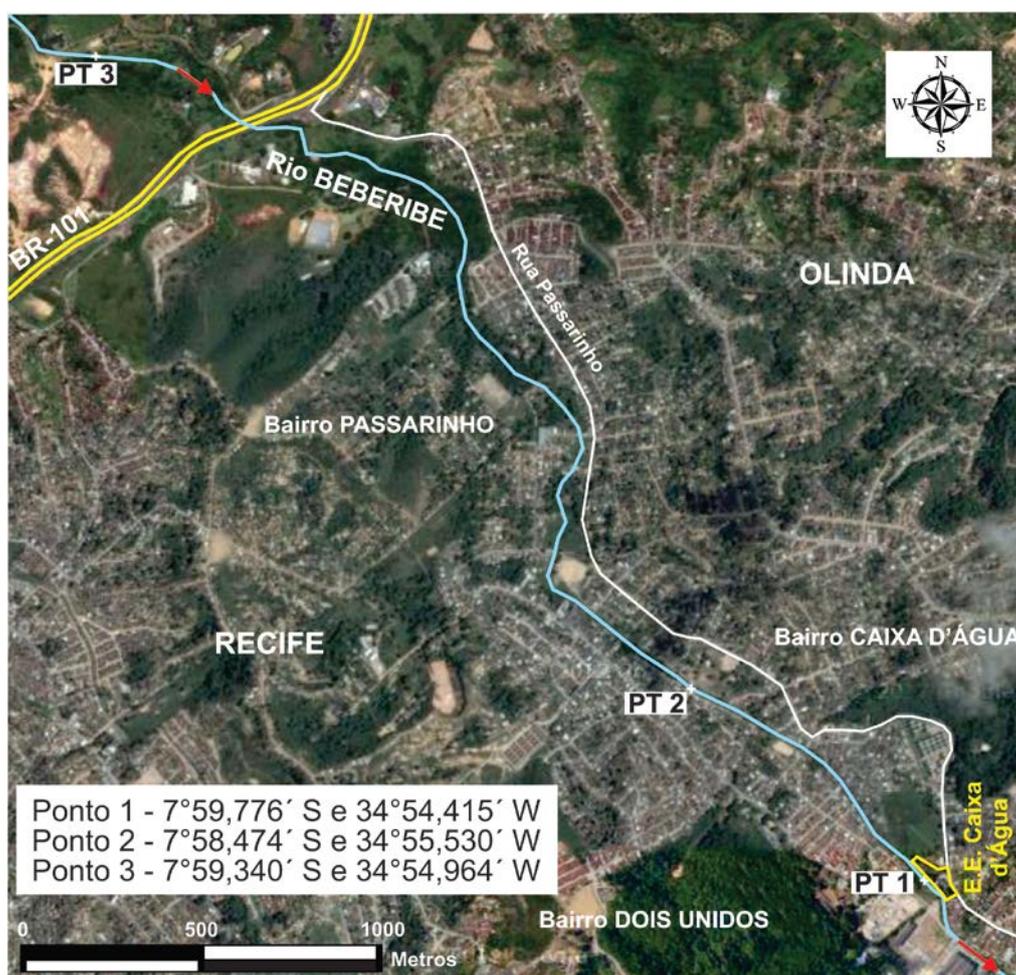


Figura 2 - Localização dos pontos de coleta no rio Beberibe
Figure 2 - Location of sample points at Beberibe river

Nos pontos selecionados foram realizadas coletas de amostras para ensaios granulométricos e caracterização biológica da zona hiporreica através do levantamento da abundância e composição da meiofauna existente nesse ambiente.

É importante salientar que na área de estudo já foram realizadas algumas pesquisas onde autores reportam a existência de uma conexão hidráulica entre o rio e o aquífero. Através da aplicação de um modelo computacional, Paiva *et al.* (2013), observaram que na área de estudo o rio Beberibe contribui para o aquífero, onde no período úmido a contribuição é o dobro em relação ao período seco. Através de ensaios de infiltração na zona hiporreica, Veras *et al.* (2016) forneceram informações sobre a troca hídrica que ocorre entre o rio e o aquífero

num trecho do rio Beberibe, onde comprovou-se que em alguns pontos o rio contribui para o abastecimento do aquífero através do fluxo vertical descendente.

Visto que a meiofauna tem grande importância na qualidade das águas de recarga e que através de estudos já foi comprovado que existe uma interação rio-aquífero na área estudada, salienta-se a importância do estudo desses organismos para um melhor entendimento das características da recarga do aquífero.

3 METODOLOGIA

3.1 Granulometria

A composição da zona hiporreica pode ser muito influente para a meiofauna,

pois o tamanho e a forma das partículas sedimentares determinam o espaço intersticial. Ou seja, o tamanho da comunidade do meiofaunístico sofre restrições decorrentes ao tamanho do espaço que elas têm para viverem. Os organismos que compõem a meiofauna sofrem uma série de adaptações em consequência das características do seu ambiente (GIERE, 1993).

Sendo assim, foram realizados ensaios granulométricos, em duas épocas do ano, no intuito de identificar o material que compõe a zona hiporreica do trecho analisado.

De acordo com a APAC (2015), nos últimos 10 anos, o período mais chuvoso na área de estudo encontra-se entre os meses de março e agosto, com o período mais seco entre os meses de setembro a fevereiro. Baseado nessas informações, em novembro de 2014 foram coletadas as amostras de verão (V) e em maio de 2015 foram coletadas as amostras de inverno (I) para a realização dos ensaios granulométricos. É importante deixar claro que a pesquisa foi realizada no nordeste do país, onde as estações do ano praticamente se resumem a inverno e verão. Nesse sentido, na presente pesquisa quando se faz referência ao verão significa os períodos de estiagem e o inverno significa os períodos chuvosos.

Nos pontos de estudo (PT) foram retiradas amostras superficiais da zona hiporreica, onde as amostras foram denominadas como PT1V, PT1I, PT2V, PT2I, PT3V, PT3I totalizando 6 amostras. As mesmas foram coletadas com um amostrador tipo *corer* com área total de 16,67 cm². Logo após a coleta, foram refrigeradas ainda em campo para conservação e foram levadas ao laboratório para posterior análise.

As análises granulométricas dos sedimentos hiporreicos foram processadas na UFPE, no Laboratório de Oceanografia Geológica (LABOGEO), do Departamento de Oceanografia (DOCEAN). Inicialmente, foi realizado um tratamento prévio para a queima da matéria orgânica contida nos sedimentos com hidrogênio peróxido a 10%

(INGRAM, 1971). Posteriormente, foram efetuadas as análises granulométricas por meio das técnicas de peneiramento e pipetagem descritas em Suguio (1973) e ABNT (1988).

A partir dos resultados obtidos, os dados das frações granulométricas foram plotados no software SYSGRAN versão 3.0 (CAMARGO, 2006), obtendo-se os parâmetros estatísticos do diâmetro médio e grau de seleção segundo as equações de Folk & Ward (1957) e diagrama triangular de Shepard (1954).

De acordo com a classificação granulométrica (WENTWORTH, 1922 *apud* SUGUIO, 1973), os sedimentos são classificados em grânulos/cascalhos (2 a 4 mm), areias (2 a 0,062 mm), siltes (0,062 a 0,004 mm) e argilas (< 0,004 mm).

O diagrama triangular de Shepard é puramente descritivo e baseia-se num diagrama triangular em que são representados os conteúdos de areia, silte e argila. Além do diâmetro médio que classifica as areias, siltes e argilas de acordo com o tamanho médio das partículas, o grau de seleção das amostras também é encontrado a partir do tratamento usado, onde esses resultados são expressos na unidade phi (ϕ). Essa unidade é uma escala logarítmica negativa de base 2 ($-\log_2$ mm) para uniformizar valores de tamanho de grãos que variam de acordo com sua origem (argila sendo 4 microns a areia grossa 500 microns) em números inteiro na escala phi onde 8 são as argilas e -1 areia grossa.

3.2 Análise da meiofauna hiporreica

Várias comunidades de organismos preenchem os interstícios dos sedimentos hiporreicos, por isso a caracterização biológica da zona hiporreica foi realizada a partir do levantamento da abundância e composição da meiofauna existente nesse ambiente.

Para análise da meiofauna foram amostrados os mesmos pontos e nas mesmas épocas do ano que foi realizada a coleta para

granulometria, sendo que para a meiofauna foram coletadas amostras, réplicas e tréplicas.

Em cada ponto o sedimento foi coletado com um amostrador cilíndrico (*corer*) feito de acrílico liso e transparente enterrado a 10 cm de profundidade no sedimento hiporreico. Após a extração dos sedimentos, todas as amostras foram acondicionadas em recipientes plásticos devidamente identificados e imersos no formaldeído a 4% para sua preservação até o momento da extração de parcelas para análise em laboratório.

Após as coletas, as amostras foram levadas para UFPE e analisados no Laboratório de Dinâmica de Populações da UFPE (LABDIN), no Departamento de Zoologia do Centro de Ciências Biológicas (CCB). A meiofauna foi extraída durante a lavagem dos sedimentos hiporreicos com água filtrada sobre peneiras geológicas de aberturas de malha de 500, 200, 100 e 45 µm.

Os organismos retidos na malha de maior abertura foram desprezados por não fazer parte da meiofauna. O material retido em cada peneira foi novamente fixado, corado com Rosa de Bengala e triado sob lupa. A identificação se deu a nível de grandes grupos.

Para base de cálculo das densidades foi utilizada a área referente ao círculo do *corer* (11,33 cm²). A densidade meiofaunística das amostras foi uniformizada para valores correspondentes a indivíduos / 10 cm², a partir da fórmula $D = (N / V) \times 10$, onde: D = densidade; N = número total de organismos presentes na amostra; V = volume da amostra (cm³).

Posteriormente calculou-se a densidade média das réplicas e tréplicas, através de média aritmética simples.

A partir dos resultados obtidos, foi realizada uma análise multivariada como medida de semelhança, ou seja, avaliando objetivamente a similaridade e a dissimilaridade.

A estrutura da comunidade da meiofauna foi investigada mediante a utilização da análise PERMANOVA (Permutational multivariate analysis of

variance), um programa computacional que testa a resposta simultânea de uma ou mais variáveis e de um ou mais fatores com base em qualquer medida de distância, utilizando métodos de permutação (ANDERSON, 2005). A PERMANOVA é uma análise de variância semi-paramétrica, baseada em permutações a partir de uma matriz de similaridade.

Para discriminar diferenças espaciais nas comunidades entre os tratamentos, utilizou-se uma matriz de similaridade de Bray-Curtis e a ordenação por escalonamento multidimensional (MDS). A distância de Bray-Curtis (1957) de uso frequente é disponibilizada na maioria dos pacotes estatísticos e varia entre 0 (dissimilaridade) e 1 (similaridade). Esse índice é fortemente influenciado pelas espécies dominantes, as espécies raras acrescentam muito pouco ao seu valor (VALENTIN, 1995).

O MDS tem o objetivo de construir um "mapa" ou configuração das amostras, num determinado número de dimensões, para satisfazer todas as condições impostas pela matriz de similaridade (CLARKE & WARWICK, 2001).

As análises de dados multivariados foram analisadas com o software Primer® (Plymouth Routines In Multivariate Ecological Researches) v.6, onde as análises multivariadas seguiram as recomendações de Clarke & Warwick (1994).

Essas análises permitem a obtenção de gráficos com valores médios +/- intervalos de confiança de 95%, tanto observando as variações dos grandes grupos como variações temporais.

Foi adotado o nível de significância de 5% para todas as análises, que é um valor padrão para análises ecológicas. Sempre que necessário, os dados brutos foram transformados para $\log_{10}(x+1)$ e as análises multivariadas para raiz quadrada.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Granulometria

A variabilidade granulométrica das amostras coletadas e os parâmetros

abordados nesse trabalho (diâmetro médio e grau de seleção) nos três pontos do trecho estudado no rio Beberibe, estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1 - Análise granulométrica das amostras do leito do rio Beberibe nos três pontos de coleta, nos períodos de verão e inverno

Table 1 - Particle size analysis of samples from Beberibe river bed at three sample points (summer and winter periods)

PARÂMETROS	AMOSTRAS					
	PT1V	PT2V	PT3V	PT1I	PT2I	PT3I
%Grânulos/Cascalhos	0,17	9,14	19,98	0,03	0,33	1,88
%Areia	99,83	90,79	58,21	98,92	95,24	72,53
%Silte	0	0,07	5,08	0,84	3,54	13,56
%Argila	0	0	16,73	0,21	0,89	12,03
Shepard (1954)	Areia	Areia	Areia	Areia	Areia	Areia
Diâm. Médio (ϕ)	0,91 (AG)	0,42 (AG)	2,54 (AF)	1,19 (AM)	1,81 (AM)	3,41 (AMF)
Grau de seleção (ϕ)	0,84 (MS)	1,05 (PS)	3,81 (MPS)	0,63 (MS)	1,14 (PS)	2,91 (MPS)

(ϕ) phi - escala logarítmica negativa de base 2; Diâm. - diâmetro; AG = areia grossa; AM = areia média; AMF = areia muito fina; MS = moderadamente selecionado; PS = pobremente selecionado; MPS = muito pobremente selecionado.

De acordo com a classificação de Shepard (1954), o trecho estudado do rio Beberibe é predominantemente arenoso. Porém, existe uma heterogeneidade entre seus diâmetros. O tamanho médio dos grãos alternou-se entre a fração areia grossa e areia muito fina, onde no período seco as amostras foram representadas por grãos de diâmetros maiores do que no período chuvoso que houve uma maior ocorrência de finos.

Os percentuais de cascalho mais altos foram registrados no período seco e em relação ao percentual de argila sua maior ocorrência foi no período chuvoso, onde foi encontrada em todas as amostras. O sedimento do período chuvoso foi bem marcado pelos maiores percentuais de silte e argila. Provavelmente esse fato pode ser relacionado com o processo de erosão nas épocas chuvosas, pois, de acordo com Sari *et al.* (2013), os solos arenosos não são bem estruturados e, por isso, têm pouca resistência ao arrastamento, sendo facilmente desagregados e carregados sob a ação de escoamentos com alta velocidade.

Conforme os dados obtidos, o valor do grau de seleção das amostras apresentou variação entre moderadamente selecionados

e muito pobremente selecionados, independente da estação do ano.

Entre o verão e o inverno, observaram-se alterações nas características dos sedimentos na maioria dos pontos analisados, provavelmente determinadas pela hidrodinâmica diferenciada encontrada nos períodos de estiagem e nos períodos de chuva.

4.2 Meiofauna

A caracterização da estrutura da comunidade da meiofauna hiporreica, do trecho estudado do rio Beberibe nos períodos de estiagem e chuvosos, esteve composta por um total de 4965 indivíduos, distribuídos em oito *taxa* (grupos).

A Figura 3 representa uma das amostras da meiofauna hiporreica dos sedimentos do rio Beberibe, com a presença de alguns organismos devidamente corados.

Dos oito grandes grupos encontrados nos sedimentos hiporreicos do rio Beberibe, 97% de dominância foi representado pelos nemátodos, anelídeos e rotíferas, sendo encontrados em quase todas as amostras analisadas (Tabela 2).

Figura 3 - Amostra devidamente corada da meiofauna hiporreica dos sedimentos do rio Beberibe, com o aumento de 4x com auxílio de microscópio estereoscópico e destaque do rotífera com aumento de 40x com auxílio do microscópio binocular

Figure 3 - Samples after dyed of hyporheic meiofauna in sediments at Beberibe river, enlarged 4x with magnifying glass. Rotifera enlarged 40x with stereoscopic microscope and binocular microscope

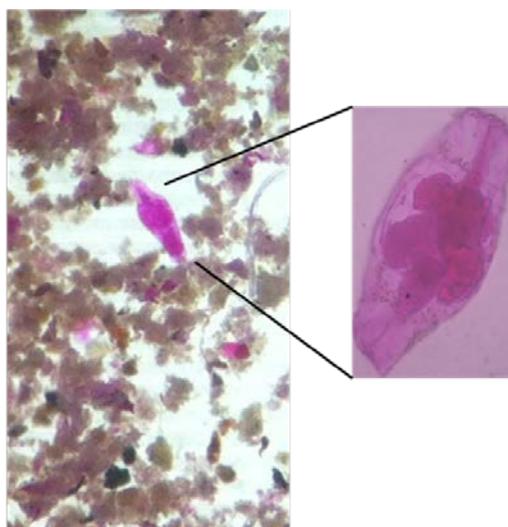


Tabela 2 - Abundância média (média de 3 contagens) e desvio padrão (DP) dos grandes grupos da meiofauna encontrados no inverno e no verão dos três pontos de coleta do rio Beberibe

Table 2 - Average abundance (average of 3 counts) and standard deviation (SD) of large groups in meiofauna, winter and summer periods at three sample points, at Beberibe river

GRUPOS	ABUNDÂNCIA DE INDIVÍDUO POR AMOSTRAS					
	PT1V	PT2V	PT3V	PT1I	PT2I	PT3I
Nemátoda	29	27	3,7	3,7	1,0	0,7
DP +/-	3,6	14,8	2,1	2,9	1,0	1,2
Anelídeo	32,3	39,7	0,7	0	0,3	0
DP +/-	8	8,7	0,6	0	0,6	0
Rotífera	153,3	1298,7	0	5	3	0
DP +/-	7,8	246,1	0	1	1	0
Outros	0	57,3	0	0	0	0
DP +/-	0	22,7	0	0	0	0
MÉDIA TOTAL	214,7	1422,3	4,3	8,7	4,3	0,7

De acordo com os dados da Tabela 2, observa-se que o Ponto 3 apresenta um menor percentual de indivíduos, já o Ponto 2 representa o local com maior abundância.

O tipo de sedimento é um dos principais fatores determinantes da composição e distribuição da meiofauna. As características dos grãos determinam variáveis como a quantidade de oxigênio disponível no sedimento (GIERE *et al.*, 1988).

Ao relacionar os resultados da granulometria e da meiofauna da presente

pesquisa, observa-se que nas amostras estudadas a maior abundância de organismos foi encontrada nos pontos que apresentaram sedimentos mais grossos.

Em sedimentos finos, a baixa permeabilidade e baixos níveis de oxigênio acarretam em uma população meiofaunal reduzida (FENCHEL & RIEDL, 1970). Esse fato realmente pode ser considerado verdadeiro em relação aos dados encontrados, onde a composição da meiofauna hiporreica das amostras com sedimentos mais finos em geral apresentaram

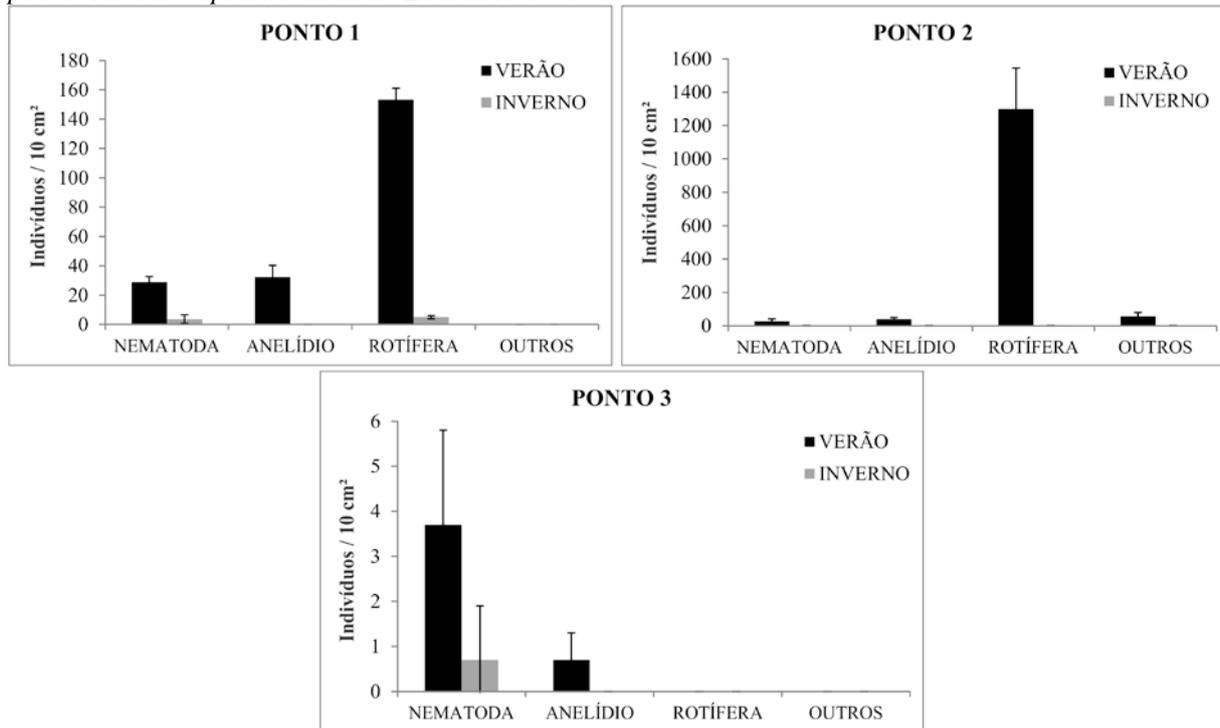
abundâncias menores.

Dessa forma, o tamanho e a seleção do sedimento podem ser bons indicativos da abundância e composição da meiofauna (HAUER & LAMBERTI, 2007).

A densidade total de organismos variou entre 197,1 indivíduos / 10 cm² no Ponto 1, 1258,5 indivíduos / 10 cm² no Ponto 2 e de 2,4 indivíduos / 10 cm² no Ponto 3 (Figura 4).

Figura 4 - Densidades médias da taxa dos grandes grupos da meiofauna presente nos sedimentos hiporreicos dos três pontos analisados. As barras representam a média ± desvio padrão

Figure 4 - Medium density tax of large meiofauna groups present in hyporheic sediments from three analyzed points. The bars represent the mean ± standard deviation



O grupo taxonômico mais abundante considerando todos os pontos foi o rotífera, representando 88% do total de indivíduos da meiofauna com densidade média de 1288,6 indivíduos / 10 cm², em seguida os anelídeos e nemátodas que corresponderam a 4%, com densidades médias de 63,8 indivíduos / 10 cm², e 55,9 indivíduos / 10 cm², respectivamente.

Ainda levando em consideração a densidade dos grupos faunísticos, houve variações consideráveis entre os pontos nas diferentes estações do ano, onde no verão foram encontrados 1446,3 indivíduos / 10 cm² e no inverno 12,1 indivíduos / 10 cm².

Na Figura 5, é possível observar que os 3 pontos analisados apresentam uma densidade mais expressiva de indivíduos no verão do que no inverno.

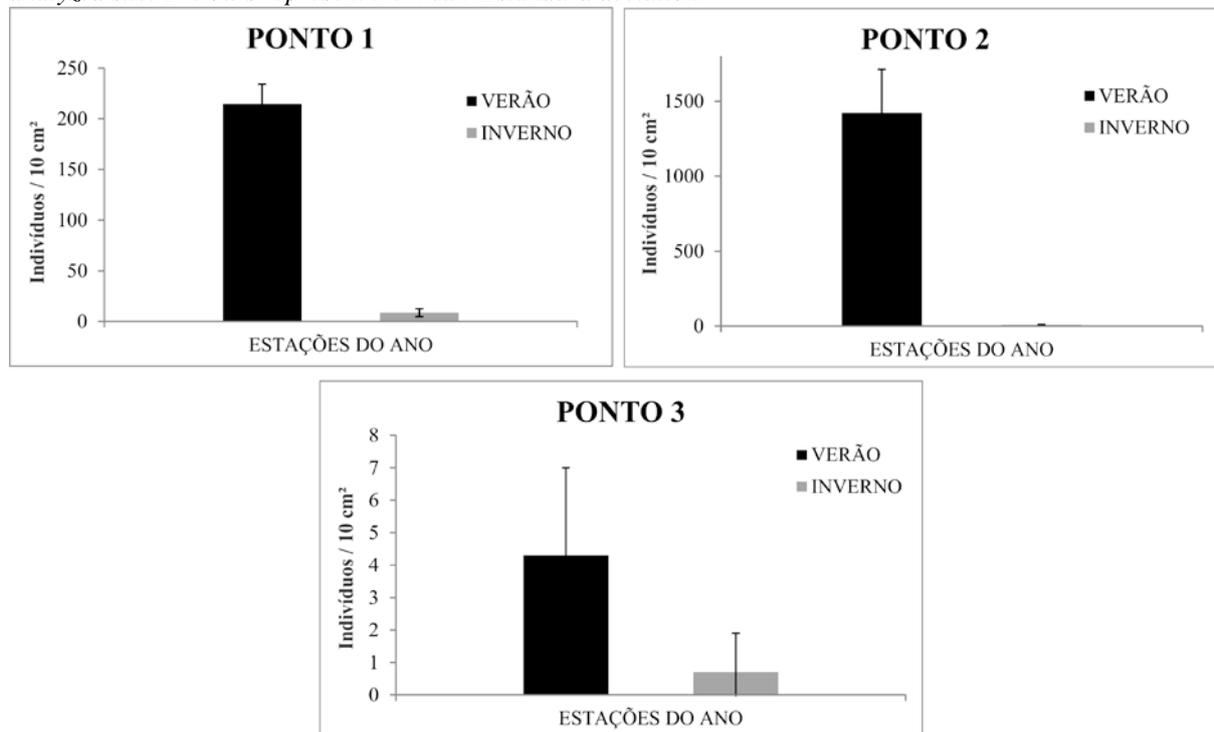
O fato de terem sido encontradas diferenças significativas para as densidades nos diferentes meses de coleta de maio / novembro, provavelmente está relacionado com as características pluviométricas diferenciadas entre as estações do ano. Dados cedidos pela Agência Pernambucana de Água e Clima (APAC, 2015), relacionados a média histórica pluviométrica (período de 2005 – 2015) do posto mais próximo da área de estudo (Olinda 199), atestaram que o mês de novembro, quando incidiu as maiores densidades, ocorreu o menor volume de chuvas do ano (24,98 mm). Já o mês de maio, está entre os meses que apresentaram a maior média de precipitação mensal (312,00 mm) na região estudada e foi o mês onde foram encontradas as menores densidades da meiofauna hiporreica.

Alguns trabalhos (DYE 1983, SANTOS *et al.*, 1996; MOELLMANN *et al.*, 2001; LENCIONE & SPITALE, 2015) têm mostrado a relação entre a meiofauna e

combinações de fatores climatológicos e físico-químicos, sendo esses fatores responsáveis por variações sazonais na estrutura da comunidade da meiofaunística.

Figura 5 - Densidades médias da meiofauna presente nos sedimentos hiporreicos dos três pontos relacionadas, por estações do ano e local analisado. As barras representam a média \pm desvio padrão

Figure 5 - Medium density of meiofauna present in hyporheic sediments from three points by seasons and analyzed site. The bars represent the mean \pm standard deviation



Em análise geral, a distribuição temporal da meiofauna hiporreica dos sedimentos do rio Beberibe, seguiu certo padrão já mencionado por outros autores para diferentes localidades, em que ao comparar a quantidade de organismos encontrados no verão e no inverno, houve uma redução bastante significativa da densidade da meiofauna hiporreica no trecho analisado. Moellmann *et al.* (2001) estudaram a variação espacial e temporal da densidade e biomassa da meiofauna no Canal de São Sebastião, São Paulo, onde no verão a densidade média de organismos da meiofauna foi maior do que no inverno.

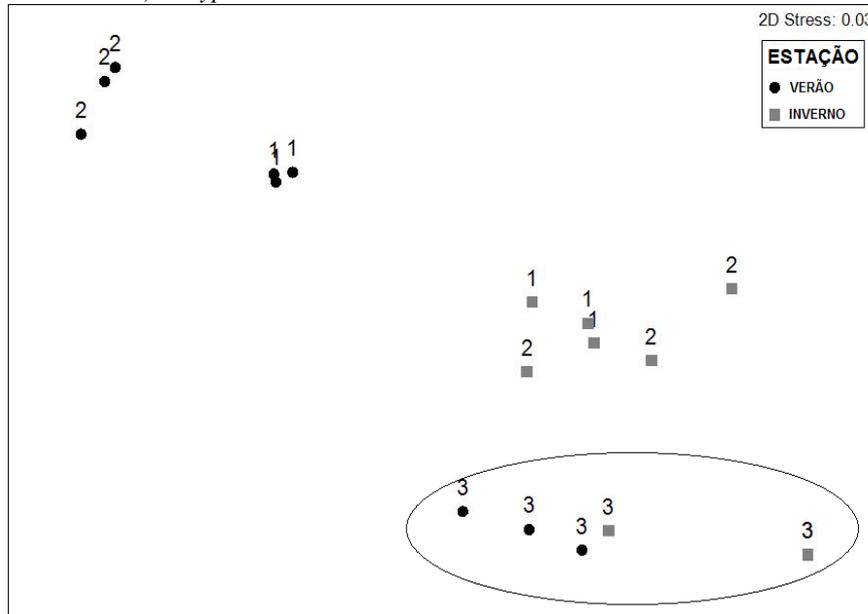
Gomes e Filho (2009) avaliaram a variabilidade espaço-temporal da meiofauna do médiolitoral na praia de Ajuruteua, Estado do Pará, sendo registrada uma maior riqueza na densidade da meiofauna no período seco.

A perturbação física do sedimento é maior durante o inverno, quando a quantidade de água é maior e as correntezas também, gerando o revolvimento e redistribuição dos sedimentos. Distúrbios físicos no sedimento em função do hidrodinamismo podem causar a ressuspensão dos mesmos para a coluna d'água e conseqüentemente a remoção da meiofauna. A meiofauna presente nas camadas superficiais do sedimento facilmente passa para a coluna d'água, podendo até ser transportada para outros locais (PALMER, 1988).

A estrutura da comunidade de meiofauna dos sedimentos hiporreicos do rio Beberibe pode ser observada nas representações em MDS realizadas para comparar os pontos de coleta para as diferentes estações do ano (Figura 6).

Figura 6 - Escalonamento multidimensional não métrico (MDS) baseado na densidade da estrutura da comunidade de meiofauna para as estações do ano analisadas (verão e inverno) nos sedimentos hiporreicos do rio Beberibe

Figure 6 - Multidimensional scale (MDS) based on structure density of meiofauna community by analyzed seasons (summer and winter) in hyporheic sediments at Beberibe river



*Não foram colocados nomes nem escala nos eixos porque não representam uma grandeza específica, mas o resultado do escalonamento multidimensional.

De acordo com o resultado da PERMANOVA, comprovou-se que existe diferença significativa na estrutura da comunidade entre os pontos para cada estação do ano estudada ($p = 0,002$). Esse resultado fica evidenciado no MDS da Figura 6, onde é possível apontar diferenças temporais entre os pontos. Entretanto, os pontos 1 e 2 são mais similares entre si do que o Ponto 3 para os períodos de estiagem e períodos de chuva.

Nos resultados aqui apresentados, houve diferenças significativas nas densidades dos grupos mais representativos entre as variáveis analisadas e entre os pontos estudados. Entretanto, a estrutura da comunidade da meiofauna do Ponto 2, apresentou maior sensibilidade para as variáveis investigadas. Talvez o fato do Ponto 2 estar localizado num trecho médio entre os pontos analisados favoreça a diversidade de espécies apresentada no seu comportamento.

Também existe o fato do Ponto 2 apresentar uma vazão relativamente baixa ($0,27 \text{ m}^3/\text{s}$), refletindo um menor hidrodinamismo no local. Além do fato desse

mesmo ponto apresentar uma maior quantidade de plantas aquáticas enraizadas no leito do rio do que os outros pontos, aumentando a disponibilidade de alimento e a estabilidade sedimentar.

5 CONCLUSÕES

A zona hiporreica é importante para a recarga de aquíferos a partir das águas do rio e o presente artigo forneceu informações sobre a caracterização da meiofauna hiporreica num trecho do rio Beberibe-PE, visando uma melhor compreensão sobre a importância desses organismos na atenuação de contaminantes durante a passagem da água na interação das águas superficiais e subterrâneas.

A comunidade de organismos da meiofauna no rio Beberibe esteve composta por um total de 4965 indivíduos, distribuídos em oito *taxa*, onde o rotífera foi o grupo taxonômico mais abundante, representando 88% da população.

Diferenças significativas foram observadas nas densidades da comunidade da meiofauna em relação as estações do ano

estudadas. No período chuvoso a densidade dos organismos foi bem menor em relação ao período seco, sendo 12,1 e 1446,3 indivíduos / 10 cm² em média, respectivamente.

Além das diferenças ambientais entre as estações do ano, a distribuição dos sedimentos nos pontos estudados refletiu na heterogeneidade da distribuição da estrutura da comunidade da meiofauna hiporreica. As amostras analisadas apresentaram característica predominantemente arenosa com uma heterogeneidade entre seus diâmetros, onde os pontos com sedimentos mais grossos apresentaram uma maior densidade de organismos.

A composição meiofaunística da zona hiporreica, ainda é pouco estudada no Brasil. No entanto os organismos da meiofauna demonstram complexas relações com algumas variáveis ambientais, sendo assim, o aprofundamento do conhecimento sobre a meiofauna é importante para a compreensão de sua contribuição na depuração dos micropoluentes presentes na água superficial que ao interagir com as águas subterrâneas desencadeiam alguns processos biogeoquímicos influenciando a qualidade da água de recarga para aquíferos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Professor Roberto Barcellos pela parceria nos ensaios granulométricos. Ao Professor Paulo Santos e sua equipe pelas informações sobre a metodologia de análise da meiofauna da zona hiporreica e pelo uso do Laboratório de Dinâmica de População da UFPE. À FACEPE, CAPES e ao CNPq pelo apoio nas diversas fases do projeto de pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7181**: Solo – análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1988.

ANDERSON, M. J. **PERMANOVA Permutational multivariate analysis of variance**. A computer program by Marti J.

Anderson. Department of Statistics, University of Auckland - New Zealand, 2005.

APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Dados climatológicos**. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/>. Acesso em: 20 de setembro de 2015.

BIANCHIN, M.S.; SMITH, L.; BECKIE, R.D. Defining the hyporheic zone in a large tidally influenced river. **Journal of Hydrology**, v. 406, n. 1-2, p. 16-29. 2011.

BOULTON, A.J.; DATRY, T.; KASAHARA, T.; MUTZ, M.; STANFORD, J.A. Ecology and management of the hyporheic zone: Stream-groundwater interactions of running waters and their floodplains. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 29, n. 1, p. 26-40, 2010.

BOURG, A.C.M.; BERTIN, C. Biogeochemical processes during the infiltration of river water into an alluvial aquifer. **Environmental Science Technology**, v. 27, p. 661-666, 1993.

BRAY, J. R.; CURTIS, J. T. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. **Ecological Monographs**, v.27, p. 325 - 349, 1957.

BRETSCHKO, G. Differentiation between epigeic and hypogeic fauna in gravel streams. **Regul. Rivers**, v. 7, p. 17-22, 1992.

BRUNKE, M.; GONSER, T. Hyporheic invertebrates - the clinal nature of interstitial communities structured by hydrological exchange and environmental gradients. **J.N. Am. Benthol. Soc.** v.18, p. 344-362, 1999.

BRUNKE, M.; GONSER, T., The ecological significance of exchange processes between rivers and groundwater. **Freshwater Biology**, v. 37, no. 1, p. 1-33, 1997. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2427.1997.00143.x>.

CABRAL, J., FARIAS, V., SOBRAL, M., PAIVA, A. & SANTOS, R. Groundwater management in Recife. **Water Int**, v. 33, n. 1, p. 86-99, 2008.

CAMARGO, M.G. SYSGRAN: um sistema de

- código aberto para análises granulométricas do sedimento. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 36, n. 2, p. 371-378, 2006.
- CARTES, J. E.; GRÉMARE, A.; MAYNOU, F.; VILLORA-MORENO, S.; DINET, A. Bathymetric changes in the distributions of particulate organic matter and associated fauna along a deep-sea transect down the catalan sea slope (Northwestern Mediterranean). **Progress in Oceanography**, v. 53, p. 29-56, 2002.
- CLARKE, K. R.; WARWICK, R. M. **Changes in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation**, Plymouth. NERC, 1994.
- CLARKE, K. R.; WARWICK, R. M. Ordination of samples by Mult- Dimensional Scaling (MDS). In: **Change in marine communities: An approach to Statistical Analyses and Interpretation**. 2nd edition, PRIMER -E Ltd - Plymouth Marine Laboratory, UK, 2001.
- DESCLOUX, S.; DATRY, T.; MARMONIER, P. Benthic and hyporheic invertebrate assemblages along a gradient of increasing streambed colmation by fine sediment. **Aquatic Sciences**, v. 75, p. 493–507, 2013.
- DOLE-OLIVIER, M.J. The hyporheic refuge hypothesis reconsidered: a review of hydrological aspects. **Marine & Freshwater Research**, v. 62, n. 11, p. 1281-1302. <http://dx.doi.org/10.1071/MF11084>, 2011.
- DOLE-OLIVIER, M.J.; MARMONIER, P. Patch distribution of interstitial communities: prevailing factors. **Fresh Biol**, v. 27, p.177 – 191, 1992.
- DONALD, D.; GRYGASKI, T. **Development of a sustainable potable water supply for rural villages in the coastal region of Tazanian, Africa**, 2002.
- DYE, AH. Composition and seasonal fluctuations of meiofauna in a Southern African mangrove estuary. **Mar. Biol**, v. 73, p. 165-170, 1983.
- FEITOSA, F.A.C; MANOEL FILHO, J. (org). **Hidrogeologia**. Conceitos e aplicações. 3. ed. Fortaleza: CPRM/REFO, LABHID, UFPE, 2008.
- FENCHEL, T.M.; RIEDL, R.J. The sulfide system: a new biotic community underneath the oxidized layer of marine sand bottom. **Marine Biology**, v. 7, p. 225- 268, 1970.
- FERIS, K.; RAMSEY, P.; FRAZAR, C.; MOORE, J. N.; GANNON, J. E.; HOLBEN, W. E. Differences in hyporheic-zone microbial community structure along a heavy-metal contamination gradient. **Applied and Environmental Microbiology**, p. 5563-5573, 2003.
- FOLK, R.L.; WARD, W.C. Brazos river bar: a study of significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 27, n. 1, p.3-26, 1957.
- GIERE, O. **Meiobenthology** : the microscopic fauna in aquatic sediments. Springer- Verlag Berlin Heidelberg, Germany 328 p, 1993.
- GIERE, O.; ELEFThERIOU, A. & MURISON, D. J. Abiotic factors. IN: HIGGINS, R.P. & THIEL, H. (eds). **Introduction to the study of meiofauna**. Washington, D. C: Smithsonian Institution Press, p. 61-78, 1988.
- GOMES, T.P.; ROSA FILHO, J.S. 2009. Composição e variabilidade espaço-temporal da meiofauna de uma praia arenosa amazônica (Ajuruteua, Pará). **Iheringia - Série Zoológica**, n. 99, p. 210-216.
- HAUER, F.R.; LAMBERTI, G.A. **Methods in stream ecology**. Academic Press, USA, 2 ed. 896 p.
- INGRAM, D.R. The concept of accessibility: a search for an operational form. **Regional Studies**. v.5, n. 2, 1971.
- KALBUS, E.; REINSTORF, F.; SCHIRMER, M. Measuring methods for groundwater, surface water and their interactions: a review. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**, v. 3, p. 1809–1850, 2006.
- LARNED, S.T.; DATRY, T. Flow variability and longitudinal patterns in parafluvial water chemistry, aquatic invertebrates and microbial activity. **Freshwater Biology**, v. 58, p. 2126– 2143, 2013.

- LAUTZ, L.K.; KRANES, N.T.; SIEGEL, D. I. Heat tracing of heterogeneous hyporheic exchange adjacent to in-stream geomorphic features. **Hydrological Processes**, v. 24, p. 3074-3086, 2009.
- LAWRENCE, J.E.; SKOLD, M.E.; HUSSAIN, F. A.; SILVERMAN, D. R.; RESH, V. H.; SEDLAK, D.L.; LUTHY, R.G.; MCCRAY, J. E. Hyporheic zone in urban streams: a review and opportunities for enhancing water quality and improving aquatic habitat by active management. **Environmental Engineering Science**, v. 30, n. 8. 2013.
- LEIGH, C.; STUBBINGTON, R.; SHELDON, F.; BOULTON, A.J. Hyporheic invertebrates as bioindicators of ecological health in temporary rivers: A meta-analysis. **Ecological Indicators**, v. 32, p. 62-73, 2013.
- LEHR, C.; PÖSCHKE, F.; LEWANDOWSKI, J.; LISCHKEID, G. A novel method to evaluate the effect of a stream restoration on the spatial pattern of hydraulic connection of stream and groundwater. *Journal of Hydrology*, v. 527, p. 394-401, 2015.
- LENCIONI, V.; SPITALE, D. Diversity and distribution of benthic and hyporheic fauna in different stream types on an alpine glacial floodplain. Primary Research Paper, **Hydrobiologia**, v. 751, p. 73-87, 2015.
- MAIER, H. S.; HOWARD, K. W. F. Influence of Oscillating Flow on Hyporheic Zone. **Development**, v. 49, n. 6, November-December, p. 830-844, 2011.
- MARMONIER, P.; VERVIER, P.; GIBERT, J.; DOLE-OLIVIER, M. J. Biodiversity in ground waters. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 8, p. 392-394, 1993.
- MARTINS, M. O.; ALMEIDA, T. C. M.; DOMENICO, M. Di. Vertical distribution of meiofauna on reflective sandy beaches. **Braz. J. Oceanogr.** [online]. v.63, n.4, pp. 469-480, 2015.
- MOELLMANN, M. A.; CORBISIER, T. N.; CURVELO, R. R. Variação espacial entre verão e inverno da meiofauna do Canal de São Sebastião - SP. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 49, p. 75-85, 2001.
- MUGNAI, R.A.; MESSANA, G.B.; DI LORENZO, T. The hyporheic zone and its functions: revision and research status in Neotropical regions. **Braz. J. Biol.**, v. 75, n. 3, p. 524-534, 2015.
- PAIVA, A.L.R. de; CABRAL, J.J.S.P.; FREITAS, D.A. Interação Rio-Aquífero com Bombeamento em um Poço Próximo ao Rio num Sistema de Filtração em Margem. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v.18 n.1, Jan/Mar, p. 235-247, 2013.
- PALMER, M.A. Dispersal of marine meiofauna: a review and conceptual model explaining passive transport and active emergence with implications for recruitment. **Mar. Ecol. Prog. Ser.** v. 48, n. 1, p.81- 91, 1988.
- PFANNKUCHE, O.; SOLTWEDEL, T. Small benthic size classes along the N.W. European Continental Margin: spatial and temporal variability in activity and biomass. **Progress in Oceanography**, v. 42, p. 189- 207, 1998.
- SANTOS, P.J.P.; J CASTEL & LP SOUZA-SANTOS. Seasonal variability of meiofaunal abundance in the oligo-mesohaline area of the Gironde Estuary, France. *Estuar. Coast. Shelf Sci* v. 43, p. 549-563, 1996.
- SARI, V.; POLETO, C.; CASTRO, N.M.R. Caracterização dos processos hidrossedimentológicos em bacias rurais e urbanas. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 9, n.16; p. 2013.
- SENS, M. L.; DALSSASSO, 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.
- SHEPARD, F.P. Nomenclature Based on Sand-Silt-Clay Ratios. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 24, n. 3, p.151-158, 1954.
- SOLTWEDEL, T. Metazoan meiobenthos along continental margins: a review. **Prog. Oceanogr.**, v. 46, p. 59-84, 2000.

- SOUZA-SANTOS L. P.; SANTOS P. J. P.; CASTEL, J. Development and population dynamics of *Amonardia normani* Brady reared on axenic and non-axenic diatoms. **J. exp. mar. Biol. Ecol.**, v. 235, p. 167-182, 1999.
- STOCH, F.; GALASSI, D. M. Stygobiotic crustacean species richness: a question of number, a matter of scale. **Hydrobiologia**, v. 653, n. 1, p. 217-234. <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-010-0356-y>, 2010.
- SUGUIO, K. **Introdução à Sedimentologia**. São Paulo, Ed. Edgard Blücher/EDUSP. p.317, 1973.
- SWEDMARK, K. B. The interstitial fauna of marine sand. **Biol. Rev.**, v. 39, p. 1-42, 1964.
- TUFENKJI, N.; RYAN, J. N.; ELIMELECH, M. Bank filtration: a simple technology may inexpensively clean up poor-quality raw surface water. **Environmental Science & Technology**. Colorado, USA, p. 423-428, 2002.
- VALENTIN, J. L. Agrupamento e Ordenação. *Oecologia Brasiliensis*, v. 2: Tópicos em tratamento de dados biológicos, p. 27-55, 1995.
- VERAS, T.B.; CABRAL, J. J. S. P.; PAIVA, A. L. R.; BARCELLOS, R. L; SANTOS, L. L. , Vertical hydraulic gradient research in hyporheic zone of Beberibe river in Pernambuco State (Brazil). **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21 n. 4, 2016. <http://dc.doi.org/10.1590/2318-0331011615153>
- 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. 11:93–102, 1992.
- WILLIAMS, D. D. Towards a biological and chemical definition of the hyporheic zone in two Canadian rivers. **Freshwater Biology**, v. 22, p. 189, 1989.
- WINTER, T. C.; HARVEY, J. W.; FRANKE, O. L.; ALLEY, W. M. **Ground Water and Surface Water**. A Single Resource. USGS Circular 1139; U.S. Geological Survey: Denver, CO, 1999.
- YAO, Y.; HUANG, X.; LIU, J.; ZHENG, C.; HE, X.; LIU, C. Spatiotemporal variation of river temperature as a predictor of groundwater/surface-water interactions in an arid watershed in China. **Hydrogeology Journal**, v. 23, p. 999–1007, 2015.