



## **XII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE**

### **BALANÇO DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO NO MÉDIO CURSO DO RIO JAGUARIBE EM JOÃO PESSOA – PB**

*Mariana Medeiros Batista<sup>1</sup> & Gilson Barbosa Athayde Júnior<sup>2</sup>*

**RESUMO** – Analisou-se a qualidade da água do rio Jaguaribe em João Pessoa com base em dados fornecidos pela SUDEMA referentes ao período de 2003 a 2007; análises recentes de OD também foram realizadas para fins de confirmação. A vazão de esgoto foi estimada por meio da diferença de vazão entre duas seções de medição de vazão do rio. A partir dos dados qualiquantitativos, analisou-se a carga orgânica lançada atualmente nesse trecho do rio. As análises dos parâmetros de qualidade indicam que o rio recebe contribuições de carga orgânica ao longo de seu percurso. A vazão de esgoto estimada no trecho analisado do rio é da ordem de 400 L/s e provém de cinco fontes principais: três aglomerados subnormais e extravasamentos de duas Estações Elevatórias de Esgoto. Entre os pontos P01 e P02, (localizados respectivamente antes e após as fontes de esgoto) é lançada uma carga orgânica, em termos de DBO, de 2.554 mg/s, responsável pelo decaimento da concentração de OD de 3,82 mg/L, em P01 para 0,68 mg/L, em P02.

**ABSTRACT**– Qualitative and quantitative diagnostics of Jaguaribe River were analyzed. Existing data (2003-2007) provided by SUDEMA were used; in addition, recent (2013) analyzes of DO were made to confirm previous data. Wastewater flow was estimated by the difference in flow between two river sections. Subsequently, the study of organic load in this river segment was made. Results of water quality show that the river receives contributions of organic load. Wastewater flow into the river is approximately 400 L/s and comes from five main sources: three subnormal communities and two Wastewater Pumping Stations. Between the points P01 and P02 (located respectively before and after the sources of wastewater), the river receives an organic load (BOD) of 2.554 mg/s, responsible for the DO concentration decay of 3.82 mg/L (P01) to 0.68 mg/L (P02).

**Palavras-Chave** – Rio Jaguaribe. Carga Poluidora. Oxigênio dissolvido.

1) Mestranda em Engenharia Civil e Ambiental /UFPB, CEP: 58059-900, João Pessoa/PB. Fone: 83-32167393. Fax: 83-32167179. E-mail: [marianamedeirosb@hotmail.com](mailto:marianamedeirosb@hotmail.com)

2) Professor Doutor do PPGECAM /UFPB, CEP 58059-900, João Pessoa/PB. Fone: 83-32167355. Fax: 83-32167179. E-mail: [gilson@ct.ufpb.br](mailto:gilson@ct.ufpb.br)

## 1 – INTRODUÇÃO

Uma das principais causas da deterioração da água de rios urbanos é o lançamento de efluentes domésticos, seja pela ausência ou ineficiência de um sistema público de esgotamento sanitário. Ocupações humanas desordenadas localizadas às margens dos rios agravam ainda mais a qualidade dos corpos hídricos, uma vez que, carentes em infraestrutura de saneamento básico, acabam despejando seus esgotos diretamente nos cursos d'água.

De acordo com Braga *et al.* (2005), o impacto introduzido pelo despejo de esgotos domésticos em corpos d'água ocorre principalmente pela diminuição da concentração de oxigênio dissolvido (OD) disponível na água. Isso decorre dos processos de decomposição da matéria orgânica realizados pelas bactérias aeróbias (e facultativas), as quais utilizam o oxigênio disponível na massa líquida para a sua respiração.

Em estudo realizado no trecho urbano do rio Acaraú em Sobral – CE, pertencente à Classe 2 de água doce conforme CONAMA nº 357/05 (BRASIL, 2005), Duarte *et al.* (2013) encontraram baixas concentrações de OD, variando entre 3,07 e 3,43 mg/L em dois pontos distintos.

O rio Jaguaribe e seu principal afluente, o Timbó, formam uma pequena bacia hidrográfica, típica da zona costeira e subcosteira sedimentar do Nordeste Oriental, e encontra-se totalmente inserida na microrregião de João Pessoa (MELO, 2001). Segundo Rafael o Souza (2002), o rio Jaguaribe é o principal rio de João Pessoa em termos de drenagem urbana. Ele corta boa parte da malha urbana da cidade, desde bairros densamente povoados até áreas de subhabitações.

Cavalcanti (2013), estudando a qualidade da água no rio Jaguaribe em João Pessoa – PB, obteve, nos três pontos de coleta ao longo do curso d'água, valores de OD sempre abaixo de 4 mg/L, chegando a atingir 0,4 mg/L. Além disso, estudo realizado por Sá Neto (2004), mostra que o rio Jaguaribe é pobre em número de espécies de ictiofauna, com um total de 17 espécies registradas, o que pode estar relacionado, entre outras motivos, aos baixos teores de oxigênio dissolvido.

Assim, o presente trabalho tem por objetivo analisar o balanço de oxigênio dissolvido no médio curso do rio Jaguaribe em João Pessoa-PB.

O presente estudo abrangeu parte do médio curso do rio Jaguaribe, trecho enquadrado em Classe 3 de água doce. Nessa região, um dos principais impactos observados é o lançamento de esgotos doméstico devido à presença de aglomerados subnormais ocupando grande parte do vale do rio Jaguaribe, bem como de estações elevatórias de esgoto.

## 2 – METODOLOGIA

### 2.1 – Qualidade da água do rio Jaguaribe

Dados do monitoramento da qualidade da água fornecidos pela SUDEMA (Superintendência de Administração do Meio Ambiente da Paraíba) foram utilizados para analisar o comportamento do OD, da DBO<sub>5</sub> e da turbidez. Estes incluíram amostras mensais de janeiro de 2003 a dezembro de 2007. O monitoramento realizado pela SUDEMA é feito em quatro pontos distintos ao longo do curso do rio Jaguaribe: JB01, JB02, JB03 e JB04 (ver Figura 1 e Quadro 1).

A fim de confirmar se o cenário apresentado pelos dados de períodos anteriores permanece, medições recentes de OD foram realizadas no médio curso do rio. Para isso, foram selecionados cinco pontos de amostragem: P01, P02, P03, P04 e P05 (indicados na Figura 1), sendo P01 e P03 coincidentes com os pontos de JB02 e JB03, respectivamente. O Quadro 1 mostra as coordenadas em UTM dos pontos.

As coletas de amostras para analisar o OD foram realizadas em cinco dias consecutivos (09/09/13, 10/09/13, 11/09/13, 12/09/13 e 13/09/13) no horário da manhã, entre 8h e 11h. A água coletada era cuidadosamente transferida para o frasco de DBO<sub>5</sub> e, então efetuada a fixação do oxigênio. Após realizar os procedimentos descritos em todos os pontos de coleta, as amostras eram levadas ao Laboratório de Saneamento da UFPB para a realização das análises.



Figura 1 - Localização dos pontos de coleta e das seções de medição de vazão

O método utilizado para a leitura do oxigênio dissolvido foi o Método de Winkler, seguindo as recomendações de APHA, AWWA e WEF (1998).

Quadro 1 - Localização geográfica dos pontos de amostragem

Pontos	Localização	Pontos	Localização
JB01	UTM 25M 0293386 mE, 9210272 mS	P01	UTM 25M 0294804 mE, 9210902 mS
JB02	UTM 25M 0294804 mE, 9210902 mS	P02	UTM 25M 0297165 mE, 9211841 mS
JB03	UTM 25M 0297927 mE, 9212132 mS	P03	UTM 25M 0297927 mE, 9212132 mS
JB04	UTM 25M 0295975 mE, 9214866 mS	P04	UTM 25M 0297795 mE, 9212657 mS
		P05	UTM 25M 0297631 mE, 9213210 mS

## 2.2 – Descargas de esgotos domésticos

Objetivando estimar a contribuição de esgoto doméstico, foi feita a medição de vazão do rio Jaguaribe em duas seções distintas no seu médio curso: Seção 01 (coincidente com o ponto P01) e Seção 02 (coincidente com o ponto P02), que podem ser observadas ainda na Figura 1. Verifica-se, portanto, que a área de estudo ficou restrita a apenas o trecho entre as seções, de aproximadamente 1,7 km de extensão.

A medição de vazão foi realizada em 18/09/13 no período da manhã. Nesta data, não houve registro de chuvas no município de João Pessoa. Os instrumentos utilizados foram uma trena, uma corda e um molinete. As medições foram feitas variando as posições do molinete, não só ao longo dos pontos da seção, mas também ao longo da profundidade. Os dados obtidos em campo foram organizados em uma planilha e trabalhados no programa de cálculo de vazão MolinX.

Nessa região, observa-se a presença de cinco principais fontes de esgoto (ver Figura 2), sendo 3 aglomerados subnormais e 2 estações elevatórias de esgoto, assim denominadas: **E1** (Efluente proveniente do aglomerado subnormal São Rafael); **E2** (Efluente proveniente do aglomerado subnormal Padre Hildon Bandeira); **E3** (Efluente proveniente de extravasor da Estação Elevatória (E.E.) localizada na Av. Min. José Américo de Almeida); **E4** (Efluente proveniente do aglomerado subnormal Tito Silva); e **E5** (Efluente proveniente de extravasor de Estação Elevatória (E.E.) localizada próximo ao aglomerado Tito Silva). Não há afluentes ao rio Jaguaribe no trecho considerado.

Assim, após estimar a quantidade de esgoto aproximada que está sendo lançada, no trecho do rio em estudo, por meio da diferença de vazão entre as duas seções de medição, calculou-se as vazões de esgoto das cinco principais fontes poluidoras existentes no trecho.

As contribuições domésticas provenientes dos aglomerados subnormais foram calculadas a partir dos dados populacionais fornecidos pelo Censo Demográfico de 2010 (IBGE, 2010) e da contribuição *per capita para* edificações do tipo residencial de padrão baixo (100L/hab.dia) (ABNT, 1993). A contribuição de esgoto proveniente dos extravasores das estações elevatórias (E.E.) foi então calculada através diferença entre a vazão total de esgoto no trecho do rio Jaguaribe e a contribuição total de esgoto dos aglomerados. Considerou-se ainda, por observações visuais, que a vazão de E3 fosse nove vezes a de E5.



Figura 2 - Localização das fontes de esgoto no trecho do rio Jaguaribe em estudo

### 2.3 – Carga orgânica poluidora

Sabendo que a vazão mássica é a quantidade em massa de um fluido que escoar através de certa seção em um intervalo de tempo considerado, a vazão mássica de OD em um corpo d'água é:

$$\text{Vazão mássica de OD} \left( \frac{\text{mg}}{\text{s}} \right) = \text{vazão do rio} \left( \frac{\text{L}}{\text{s}} \right) \times \text{concentração de OD} \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \quad (1)$$

A diferença de vazão mássica de OD entre dois pontos em um rio resume o balanço de oxigênio dissolvido no trecho. Para simplificação, foi considerado apenas o consumo de oxigênio proveniente da decomposição da matéria orgânica. A diferença de vazão mássica entre P01 e P02 é, portanto, uma estimativa da carga orgânica (CO) lançada ao rio entre os dois pontos.

A fim de estimar o quanto cada fonte de esgoto contribui com a carga orgânica no trecho, dois fatores foram considerados: vazão de esgoto de cada fonte e DBO exercida no percurso entre a fonte e o ponto P02. A equação abaixo relaciona ambos os fatores:

$$\text{Carga orgânica} \left( \frac{\text{mg}}{\text{s}} \right) = \text{vazão de esgoto} \left( \frac{\text{L}}{\text{s}} \right) \times \text{concentração de DBO}_t \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \quad (2)$$

Os valores de vazão para cada uma das fontes foram anteriormente calculados. A concentração de  $\text{DBO}_t$  foi obtida pela seguinte equação (adaptado VON SPERLING, 2005):

$$\text{DBO}_t = L_0 (1 - e^{-k_1 t}) \quad (3)$$

em que,

- $\text{DBO}_t = \text{DBO}$  exercida em um tempo  $t$  (mg/L);
- $k_1 =$  coeficiente de desoxigenação ( $\text{d}^{-1}$ ). Foi encontrado o valor de  $k_1 = 0,5$  (adotando o coeficiente médio referente à água residuária de baixa concentração, Fair *et al.*, 1973 e Arceivala, 1981 apud Von Sperling, 2005, de  $k_1=0,35$  e considerando a influência da temperatura média do rio de 27,9 °C no valor do coeficiente);
- $L_0 = \text{DBO}$  remanescente (em  $t=0$ ) ou demanda última de oxigênio (mg/L). O valor de  $L_0$  foi calculado a partir da relação entre  $\text{DBO}_u/\text{DBO}_5$ , dada por:  $\frac{1}{1-e^{-5k_1}}$  (Von Sperling, 2005). Assim, com  $k_1=0,50$  e adotando  $\text{DBO}_5 = 106,1$  mg/L, a relação  $\text{DBO}_u/\text{DBO}_5 = \frac{1}{1-e^{-5 \times 0,50}} = 1,09 \therefore \text{DBO}_u = 1,09 \times \text{DBO}_5 = 1,09 \times 106,1 = 115,65$  mg/L. Assim,  $L_0 = 115,65$  mg/L;
- $t =$  tempo (d). Os tempos  $t$  foram obtidos a partir da relação entre a distância de cada fonte de lançamento ao ponto P02 e a velocidade média no trecho. As distancias foram medidas pelo Google Earth. A velocidade média do rio equivale a 0,17 m/s (média das velocidades médias calculadas pelo programa MolinX em cada seção do rio). Os valores de  $t$  encontrados foram: 0,170d (E1), 0,134d (E2), 0,126d (E3), 0,012 (E4) e 0,001(E5).

### 3 – RESULTADOS

#### 3.1 – Qualidade da água do rio Jaguaribe

A Figura 3 mostra os dados médios anuais de oxigênio dissolvido no período de 2003 a 2007. No ponto JB01, observa-se que os valores de OD mantêm-se inferiores a 2 mg/L durante os cinco anos considerados. No trecho do rio compreendido entre os pontos JB01 e JB02, observa-se uma leve elevação dos teores de OD. Nesse trecho, o rio atravessa uma área de reserva de mata atlântica, o Jardim Botânico Benjamin Maranhão. Em seguida, nota-se um decaimento dos valores de OD ao longo de seu curso d'água.

Análises de oxigênio dissolvido realizadas em 2013 (ver Figura 3) mostram uma concentração média de OD de 3,82 mg/L em P01. Em seguida, observa-se uma diminuição gradativa dos teores de OD ao longo do percurso do rio, não ultrapassando o valor de 1 mg/L. Percebe-se, portanto, que os dados atuais de OD seguem a mesma tendência dos dados de anos anteriores, assemelhando-se principalmente aos valores de OD do ano de 2007 (com exceção de P01).

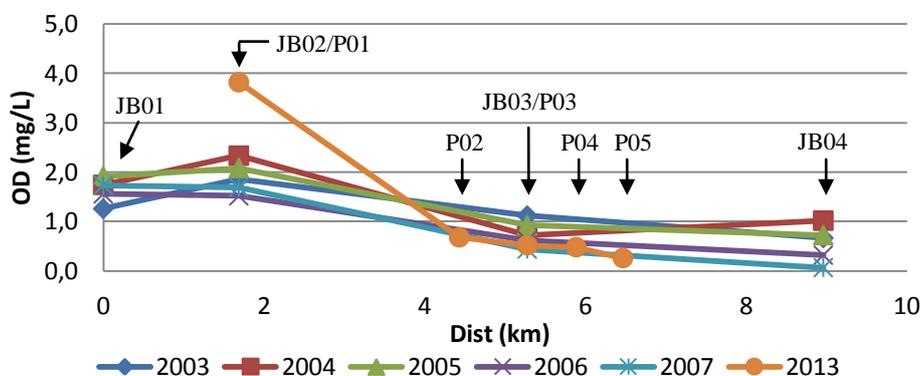


Figura 3 - Perfil do oxigênio dissolvido

Em relação aos demais parâmetros (Figura 4 e Figura 5), é possível observar, que nos cinco anos considerados, houve, em geral, um aumento da concentração de  $DBO_5$  e turbidez a partir do ponto JB02. Vale destacar ainda que, em 2007, os valores mais altos de  $DBO_5$  e turbidez nos pontos JB03 e JB04 coincidiram com os valores mais baixos de OD (ver Figura 3) nesses mesmos pontos.

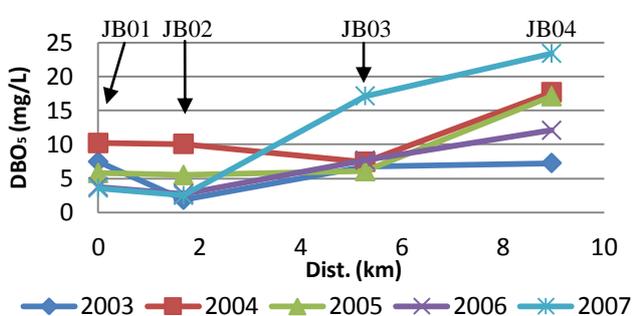


Figura 4 - Perfil da  $DBO_5$

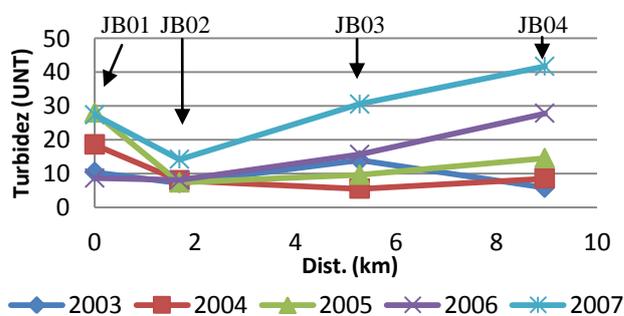


Figura 5 - Perfil da turbidez

Tais resultados indicam que o rio Jaguaribe recebia e continua recebendo contribuições de carga orgânica ao longo de seu percurso, comprovadas pelo decaimento gradativo das

concentrações de OD e elevação, em geral, das concentrações de DBO<sub>5</sub> e turbidez nos trechos entre JB02 e JB04.

### 3.2 – Estimativa de descarga de esgotos domésticos

Os valores de vazão calculados com o auxílio do programa MolinX para as duas seções de medição no rio Jaguaribe foram de aproximadamente 900L/s e 1.300L/s, respectivamente para a Seção 01 e Seção 02.

Assim, a vazão de esgoto que chega ao rio Jaguaribe (tida como a diferença de vazão entre as duas seções de medição), no trecho em estudo, equivale a aproximadamente 400L/s. A Figura 6 mostra três das cinco principais fontes de lançamento na região analisada: aglomerado subnormal São Rafael (E2), e as estações elevatórias E3 e E5.



Figura 6 - Fontes de lançamento de esgoto no trecho em estudo. Da esquerda para a direita: E2 (UTM 25M 295329 mE, 9211553 mS), E3 (UTM 25M 295370 mE, 9211576 mS) e E5 (UTM 25M 297153 mE, 9211851 mS)

A Tabela 1 a seguir mostra os dados utilizados para o cálculo das vazões de esgoto dos aglomerados subnormais e as vazões calculadas para cada fonte de esgoto. Observa-se que a vazão de esgoto total proveniente das E.E. representa 99,08% da quantidade total de esgoto que está sendo lançada no rio Jaguaribe, no trecho em estudo.

Tabela 1 - Estimativa de vazão das fontes de esgoto

Fontes de esgoto	População (hab)	Contribuição (L/hab.dia)	Q <sub>e</sub> (L/s)	%
E1	1.326	100	1,54	0,38
E2	1.031	100	1,19	0,30
E4	831	100	0,96	0,24
<b>Total - Aglomerados</b>	<b>3.188</b>	<b>100</b>	<b>3,69</b>	<b>0,92</b>
E3	-	-	356,68	89,17
E5	-	-	39,63	9,91
<b>Total - E.E.</b>	-	-	<b>396,31</b>	<b>99,08</b>
Total	-	-	400	100,00

### 3.3 – Carga orgânica poluidora

Calculando a vazão mássica de OD nos pontos P01 e P02, pela Equação (1), tem-se os valores expostos na Tabela 2. A diferença de vazão mássica, no trecho estudado, é de 2.554 mg/s.

Tabela 2 - Valores de OD, vazão e vazão mássica em P01 e P02

Pontos	OD médio (mg/L)	Vazão (L/s)	Vazão mássica (mg/s)
P01	3,82	900	3.438
P02	0,68	1.300	884

Os valores utilizados na Equação (2) estão expostos na Tabela 3. Diante das considerações e dos cálculos realizados, tem-se os valores de CO em P02 para cada uma das fontes de esgoto.

Tabela 3 - Valores de vazão de esgoto, concentração de  $DBO_t$  e CO em P02.

Fontes de esgoto	$Q_e$ (L/s)	$DBO_t$ (mg/L)	CO em P02 (mg/s)	%
E1	1,53	9,487	14,56	0,570
E2	1,19	7,565	9,03	0,353
E3	356,68	7,086	2.527,43	98,949
E4	0,96	0,695	0,67	0,026
E5	39,63	0,065	2,59	0,101
		Total	2.554,27	100

Essa carga orgânica (em termos de DBO), no valor aproximado de 2.554 mg/s, que está sendo lançada atualmente no rio Jaguaribe, é a responsável pelo decaimento da concentração de OD entre o ponto P01 (3,82 mg/L) e o ponto P02 (0,68 mg/L). Vale destacar ainda que grande parte da CO que chega ao ponto P02 é proveniente das estações elevatórias (99,05%). Estas são, portanto, os maiores responsáveis pela poluição orgânica do rio Jaguaribe no trecho estudado.

## 4 – CONCLUSÕES

Análises realizadas nos anos de 2003 a 2007, bem como análises recentes feitas em 2013, mostram que o rio Jaguaribe apresenta baixos teores de OD ao longo do percurso estudado, decaindo ao longo do corpo d'água. Por outro lado, as concentrações de  $DBO_5$  e turbidez se elevam. Tais resultados indicam a presença de carga orgânica no trecho em estudo.

A vazão de esgoto despejada no trecho do rio Jaguaribe compreendido entre as duas seções de medição equivale a aproximadamente 400 L/s, ou 44,4% do valor afluyente na calha do rio ao trecho considerado. Observa-se que dentre as fontes existentes, as E.E. contribuem com cerca de 99% da quantidade total de esgoto que chega ao corpo d'água na área em estudo.

Em termos de carga orgânica, o trecho em estudo recebe um total de 2.554 mg/s de DBO. Essa carga lançada é responsável pelo decaimento da concentração de OD de 3,82 mg/L, em P01 para 0,68 mg/L, em P02.

Dessa forma, antes de tudo, é necessário que a empresa concessionária local de saneamento, que é atualmente o maior responsável pelos problemas de contaminação por esgoto doméstico nessa região, através dos extravazores das EE, atue de forma imediata a fim de controlar/cessar tais fontes e direcionar o efluente das E.E. ao tratamento adequado em uma Estação de Tratamento de Esgoto.

## BIBLIOGRAFIA

APHA, AWWA, WEF (1998). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20th ed.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1993). *NBR 7.229: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos*. Rio de Janeiro - RJ.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J.G.L.; MIERZWA, J.C.; BARROS, M.T.L.; MILTON, S.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N. e EIGER, S (2005). *Introdução à engenharia ambiental*. 2 ed. São Paulo - SP: Pearson Prentice Hall, 318 p.

BRASIL (2005). *Resolução CONAMA nº357, de 17 de março de 2005* - Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA. Brasília - DF.

DUARTE, I.J.M.; ARAÚJO, G.M.; ARAÚJO, S.A.M. (2013). “Qualidade da água em um trecho urbano do rio acaraú localizado na cidade de Sobral – CE” in Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Bento Gonçalves-RS, pp 1-7.

IBGE (2010). *Censo Demográfico 2010 - Aglomerados subnormais (Primeiros resultados)*. Rio de Janeiro-RJ: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 259 p.

MELO, A.S.T. (2001). *Os aglomerados subnormais dos vales do Jaguaribe e do Timbó: análise geo-ambiental e qualidade do meio ambiente*. João Pessoa: UNIPÊ Editora, 128 p.

RAFAEL, R.L.; SOUZA, G.U.S (2002). “Poluição do Rio Jaguaribe” in Anais do 1º Congresso Brasileiro de Extensão Universitária. João Pessoa - PB:UFPB, pp 1-8.

SÁ NETO, A.A. (2004). *Levantamento da ictiofauna de água doce da bacia do rio Jaguaribe, João Pessoa, PB*. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa - PB, 37p.

VON SPERLING, M. (2005). *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. 452 p.