

# Avaliação genotóxica e mutagênica de amostras de efluentes tratados por lagoas de estabilização em Teresina-Piauí

## *Genotoxic and mutagenic evaluation of effluent treated by stabilization ponds in Teresina-Piauí*

- **Data de entrada:**  
27/01/2017
- **Data de aprovação:**  
14/03/2017

Vanessa Menezes Costa (\*)/ Cleto Augusto Baratta Monteiro/ Nelson Jorge Carvalho Batista

DOI: 10.4322/dae.2017.015

### Resumo

O presente estudo teve como objetivo avaliar a toxicidade e o potencial genotóxico e mutagênico induzido por efluente de esgoto tratado por sistemas de lagoas de estabilização na cidade de Teresina - PI com a utilização do teste *Allium cepa*. Foram realizadas seis coletas: duas em 2015 e quatro em 2016, contemplando o período seco e chuvoso da região em quatro pontos: P1-Esgoto bruto; P2-Rio montante; P3-Efluente final e o P4-Rio jusante. Todos os pontos do estudo apresentaram uma potencialidade genotóxica e mutagênica, principalmente nos pontos, P1 e P2 do período seco. As análises físico-químicas revelaram que as águas e efluentes coletados apresentaram elevadas concentrações de condutividade elétrica, detergentes e fósforo, principalmente nos pontos, P1 e P3, além dos altos teores de coliformes termotolerantes. Portanto, é possível que os resultados mais significativos encontrados na estação de tratamento de esgoto Leste tenham sido induzidos em razão do lançamento de xenobióticos provenientes de outras fontes antropogênicas, como as dos carros limpa-fossa, que descarregam os resíduos coletados nesta estação e podem estar comprometendo a eficiência do tratamento.

**Palavras-chave:** Efluente tratado. Teste *Allium cepa*. Genotoxicidade. Mutagenicidade.

### Abstract

*This research aims to evaluate the toxicity and the genotoxic and mutagenic potential induced by sewage effluents treated by stabilization lagoon systems in Teresina - PI using the *Allium cepa* test. The work was achieved in six collections contemplated by the dry and rainy period of the region in four points, two of them in 2015 and four in 2016. P1-Raw sewage; P2-River upstream; P3-Final effluent and P4-River downstream. All of the points in the study showed a genotoxic and mutagenic potential, mainly in the following points, P1 and P2 of the dry period. The results showed that the collected water and effluents presented high concentrations of electrical conductivity, detergents and phosphorus, mainly in the points, P1 and P3, beyond the high levels of thermotolerant coliforms. Therefore, it is possible that the most significant results found in the East sewage treatment plant may have been induced due to the release of xenobiotics from other anthropogenic sources such as the cleaning cess-pools vehicles, which discharge waste collected at this station and may be compromising treatment efficiency.*

**Keywords:** Treated Effluent. *Allium cepa* test. Genotoxicity. Mutagenicity

**Vanessa Menezes Costa** – Bióloga, Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Federal do Piauí. Licenciada em Ciências Biológicas e Especialista em Ensino de Biologia (Instituto Federal do Piauí) e em Gestão Ambiental (Universidade Estadual do Piauí).

**Cleto Augusto Baratta Monteiro** – Engenheiro Civil, Doutor em Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará, Técnico da Águas e Esgotos do Piauí S.A (Agespisa) e professor Associado II da Universidade Federal do Piauí.

**Nelson Jorge Carvalho Batista** – Biólogo, Doutor em Biologia Celular e Molecular Aplicada à Saúde pela Ulbra (RS). Mestre em Genética e Toxicologia Aplicada pela Universidade Luterana do Brasil – Ulbra (RS). Professor da Faculdade Santo Agostinho e do Colégio Diocesano.

\***Endereço para correspondência:** Rua Rio Grande do Norte, 1.645, Bairro Vila Operária - Teresina (PI), CEP64003-420. Telefone (86) 98828-4980. E-mail: vanessamenezes91@gmail.com.

## 1 INTRODUÇÃO

Dentre os ambientes afetados pela poluição, um dos mais atingidos é o aquático, posto que a água é um bem mineral essencial às funções vitais dos organismos e, conseqüentemente, à manutenção da vida no planeta. Além disso, outro fator preocupante é o fato de a água ser um solvente versátil, capaz de levar as substâncias químicas para longe dos focos de contaminação, o que pode comprometer outros ambientes (LEME; MARIN-MORALES, 2008).

O desenvolvimento urbano pode comprometer a sustentabilidade hídrica das cidades e trazer grandes impactos devido à carga de efluentes domésticos, industriais e pluviais sem tratamento despejados nos açudes, junto com material sólido do lixo e da erosão, além do crescimento urbano (LIU; LI, 2010). O impacto do lançamento de efluentes originados de estações de tratamento de esgotos em corpos d'água é motivo de grande preocupação para a maioria dos países (SPERLING, 2005).

Todo o esgoto coletado em Teresina é tratado em três estações de tratamento de esgotos: ETE-Alegria, ETE-Leste e ETE-Pirajá. Após o tratamento adequado, esse efluente de esgoto retorna para os rios Poti e Parnaíba (MONTEIRO, 2004). Para a realização do tratamento de esgoto é adotada a tecnologia das lagoas de estabilização, que são definidas como corpos de água do tipo lênticos, destinados a armazenar resíduos líquidos de natureza orgânica, esgoto sanitário bruto e sedimentado, despejos industriais orgânicos e oxidáveis ou águas residuárias oxidadas. O tratamento é feito por meio de processos naturais: físicos, biológicos e bioquímicos, denominados autodepuração ou estabilização (MONTEIRO, 2011).

O teste *Allium cepa* é utilizado para avaliar a qualidade de águas de fundo, superfícies e efluentes, como uma forma simples de estudo de parâmetros macroscópicos, tanto de valores de inibição de crescimento de raízes e parâmetros citológi-

cos como de aberrações celulares em metáfases ou anáfases e inibição de células em divisão (FISKESJÖ, 1988; VESNA et al., 1996; BARBÉRIO et al., 2011). Dentre esses vegetais, o *Allium cepa* (cebola) tem sido utilizado na determinação dos efeitos citotóxicos, genotóxicos e mutagênicos de inúmeras substâncias (GRANT, 1994) e na de amostras ambientais complexas (COTELLE et al., 1999; GROVER; KAUR, 1999; MATSUMOTO; MARIN-MORALES; 2004; GRISOLIA et al., 2005; EGITO et al., 2007; SOUZA et al., 2008).

Estudos relatam que diversos rios e açudes estão contaminados por substâncias tóxicas, genotóxicas, mutagênicas e carcinogênicas decorrentes do descarte de efluentes domésticos e industriais (WHITE; RASMUSSEN, 1998); além de agrotóxicos utilizados em áreas adjacentes aos corpos d'água (MONARCA et al., 2000).

Portanto, o teste de *Allium cepa* desenvolvido por Levan (1938) é considerado uma ferramenta útil para a pesquisa básica do potencial genotóxico e citotóxico de produtos químicos, substâncias complexas como extratos de plantas, dejetos industriais e, principalmente, águas contaminadas. Esse teste tem sido validado internacionalmente como bioindicador de amostras ambientais (EVSEEVA et al., 2003).

As estações de tratamento de esgoto de Teresina foram planejadas para o recebimento de esgoto doméstico, porém, a partir de 2011, por decisão do Governo do Estado do Piauí, a ETE-Leste passou a receber esgoto transportado por veículos limpa-fossa, que recolhem esgoto de fossas instaladas em regiões que não recebem cobertura do saneamento básico. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial genotóxico e mutagênico do efluente tratado pelas lagoas de estabilização da ETE-Leste com a utilização do teste *Allium cepa*.

## 2 METODOLOGIA

A capital piauiense, Teresina (Figura 1), está localizada na Mesorregião Centro-Norte piauiense, entre as coordenadas 05° 05' 21" de latitude sul e 42° 48' 07" de longitude oeste, ocupando uma

área aproximada de 1.392 km<sup>2</sup> da margem direita do rio Parnaíba, na porção do médio curso dessa Bacia Hidrográfica, onde recebe o rio Poti, um de seus maiores tributários (IBGE, 2011).



**Figura 1** – Mapa de localização do município em estudo, Teresina – PI  
Fonte: Autora, 2016.

A coleta das amostras de água e efluente foi realizada com o uso de garrafas de plástico de 1.500 mL (1,5 L), sendo feitas as preservações específicas para cada tipo de análise. O procedimento das coletas das amostras de água realizou-se de acordo com as diretrizes da APHA (2005). Foi coletado um volume total de oito litros de água e efluente, sendo acondicionadas em recipientes próprios para análise físico-química, microbiológica e toxicológica. A preservação e amostragem seguiram a Norma ABNT NBR 9898/1987, “Preservação e Técnicas de Amostragem de Efluentes Líquidos e Corpos Receptores”.

As amostras de água e efluente foram coletadas em quatro pontos distintos da Estação de Tratamento de Esgoto em estudo: esgoto bruto (P1), rio montante (P2), efluente final (P3) e rio jusante (P4) (Figura 2). As coletas foram realizadas em dois períodos do ano, para contemplar as diferentes condições climáticas da região: estação seca e chuvosa. Foram realizadas seis coletas, sendo três no período seco, novembro, dezembro de 2015 e janeiro de 2016, e três no período chuvoso, fevereiro, março e abril de 2016.



**Figura 2** - Identificação dos pontos de coleta do rio Poti - ETE-Leste, Teresina, Piauí  
 Fonte: Autora, 2016.

O teste *Allium cepa* foi realizado no Laboratório de Mecânica dos Fluidos, localizado no Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Piauí (U-FPI). Foi realizado de acordo com a proposição de Fiskesjö (1993) e algumas adaptações. Foram utilizadas cebolas de tamanho pequeno, de mesma origem, não germinadas e sem agrotóxicos. Cada experimento constou de 10 (dez) bulbos, além de controle negativo (CN) (água) e controle positivo (CP) utilizando solução de sulfato de cobre 0,0002 g/L (NUNES et al., 2011; BATISTA et al., 2016).

As soluções foram distribuídas em recipientes de vidro previamente esterilizados de capacidade de 30 mL. Após 72 horas de exposição, as raízes foram medidas e cortadas, sendo colocadas em solução fixadora (metanol/ ácido acético - 3: 1) durante 24h, em seguida transferidas para etanol

70% e conservadas em um refrigerador até o momento da preparação histológica das lâminas.

Para o preparo das lâminas, de três a quatro pontas de raízes foram retiradas do etanol 70% e foram lavadas com água destilada (3 banhos de 5 min cada), para a retirada do fixador do material. Logo após foi realizada a hidrólise com HCL 1N por 11 min, seguido de um novo banho em água destilada a temperatura ambiente.

Depois disso, as raízes foram secas com papel de filtro, e transferidas para frascos escuros, contendo o reativo de Schiff, por aproximadamente 2 horas. Depois das 2 horas, as raízes foram lavadas em água corrente até a total retirada do corante do material genético. Logo em seguida, as pontas de raízes foram transferidas para uma

lâmina, adicionou-se uma gota de Fast Green sobre os materiais seccionados e então a lamínula foi colocada sobre a lâmina, e foi feito o *squash* (esmagamento) com o dedo polegar, com razoável pressão nos locais onde estão dispostos os materiais seccionados.

Em seguida, as lâminas foram levadas ao refrigerador por cerca de 50 minutos, e logo depois foram coladas com Bálsamo do Canada sintético, e as bordas da lamínula seladas com esmalte para reaproveitamento do material.

A análise mutagênica foi determinada pelo do índice mitótico (IM), da frequência de aberrações cromossômicas (AC) no ciclo mitótico e a presença de micronúcleos. O Índice Mitótico (IM) corresponde à relação do número de células em divisão e total de células observadas, em porcentagem. A avaliação da toxicidade foi realizada pela medição do comprimento das raízes médias.

As análises dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos foram realizadas pelos laboratórios físico-químicos e microbiológicos da Estação de Tratamento de Esgoto - Leste da empresa Águas e Esgotos do Piauí (Agespisa). Foram analisados os seguintes parâmetros: temperatura, pH, amônia, condutividade elétrica, cloretos, detergentes, DBO (demanda bioquímica de oxigênio), DQO (demanda química de oxigênio), fósforo total, nitrato, OD (oxigênio dissolvido) e sólidos sedimentáveis. A determinação do número mais provável (NMP) de coliformes totais e fecais foi realizada pela técnica Colilert, que permite determinar o número mais provável de microrganismos na amostra (IDEXX, 2002).

A análise estatística foi realizada com a Análise Unidirecional de Variância (ANOVA). A normalidade das variáveis foi avaliada com o teste Kolmogorov-Smirnov. Quando a ANOVA apresentou diferenças significativas, uma análise *post hoc* foi realizada utilizando o teste de Tukey, quando foi observada a

distribuição anormal, as comparações foram feitas utilizando o teste de Kruskal-Wallis com o teste de Dunn's como *post hoc*. O nível de significância foi de 0,05. Todas as análises foram realizadas no software GraphPad Prism, versão 5.0

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Teste *Allium cepa*

O teste *Allium cepa* é utilizado para avaliar a qualidade de águas de fundo, superfícies e efluentes, como uma forma simples de estudo de parâmetros macroscópicos, tanto para valores de inibição de crescimento de raízes e parâmetros citológicos como para aberrações celulares em metáfases ou anáfases e inibição de células em divisão (FISKESJÖ, 1988; VESNA et al., 1996; BARBÉRIO et al., 2011).

Neste estudo, todas as amostras, exceto o ponto 04 (rio jusante), coletadas durante o período seco e chuvoso, induziram toxicidade, verificada pela inibição do crescimento radicular e inibição do índice mitótico, e também induziram a mutagenicidade, evidenciada pela indução de micronúcleos e aberrações cromossômicas (Tabelas 1 e 2). Os controles positivo e negativo apresentaram resultados esperados e, portanto, validam os resultados obtidos em testes com as amostras. Nossos resultados são consistentes com os resultados encontrados na literatura mostrando a relação entre poluição urbana e aumento de danos no DNA (BIANCHI et al., 2011; GEREMIAS et al., 2012; TABET et al., 2015)

Observou-se a ação de toxicidade pela redução do índice mitótico (IM) e a redução no tamanho das raízes em todos os testes, nas diferentes amostras coletadas durante todo o período seco. Percebeu-se que comparado ao controle positivo (CP) para o IM, os valores mais significativos foram dos pontos, P1 e P2 durante o período seco.

**Tabela 1** - Índice mitótico, aberrações cromossômicas, micronúcleos e comprimento da raiz em *A. cepa* expostos à água e efluente tratado do Rio Poti (ETE-Leste) no período seco 2015/2016, Teresina-PI.

Período de Coleta (Seco)	Grupo	Índice mitótico (células em divisão/2000)	Aberrações Cromossômicas				MN/2000	Binucleadas/2000	Comprimento da raiz (cm)
			Pontes Anafásicas	Fragmentos Cromossômicos	Atrasos Anafásicos	C-metáfases			
Novembro 2015	Controle Negativo <sup>a</sup>	434,3 ± 1,70	0,30 ± 0,71	0,26 ± 0,54	0,80 ± 0,21	0,12 ± 0,28	0,23 ± 0,47	0,26 ± 0,42	7,62 ± 1,26
	Ponto 01	42,1 ± 17,78***	3,60 ± 1,42	1,80 ± 0,42	3,60 ± 1,43**	0,80 ± 0,82	4,30 ± 0,67***	1,25 ± 0,33	2,64 ± 1,42***
	Ponto 02	52,40 ± 31,46***#	2,80 ± 1,21	1,10 ± 0,5*#	2,40 ± 1,26***	0,60 ± 0,42	3,80 ± 0,24***	0,92 ± 0,34	4,43 ± 1,72***#
	Ponto 03	228,80 ± 12,24***#	0,82 ± 0,24***#	0,62 ± 0,32	1,83 ± 1,21***	0,43 ± 0,23	1,64 ± 0,56***E	0,74 ± 0,32***#E	5,36 ± 1,34***#
	Ponto 04	342,80 ± 14,26***#	0,68 ± 0,36***#	0,52 ± 0,38	0,94 ± 1,21***	0,28 ± 0,26	0,82 ± 0,24***E	1,52 ± 0,37***#E	5,62 ± 1,13***#
Dezembro 2015	Ponto 01	58,1 ± 14,26***	2,13 ± 1,48	1,61 ± 0,14	3,42 ± 1,26**	0,78 ± 0,23	3,88 ± 0,36***	1,13 ± 0,15	3,36 ± 1,14***
	Ponto 02	65,30 ± 23,14***#	2,26 ± 1,14	1,08 ± 0,4*#	2,64 ± 1,24***	0,54 ± 0,12	3,74 ± 0,16***	0,72 ± 0,23	4,67 ± 1,16***#
	Ponto 03	352,18 ± 14,32***#	0,92 ± 0,36***#	0,54 ± 0,23	1,52 ± 1,14***	0,32 ± 0,21	1,51 ± 0,17***E	0,63 ± 0,31***#E	5,84 ± 1,23***#
	Ponto 04	383,25 ± 16,23***#	0,43 ± 0,13***#	0,36 ± 0,12	0,88 ± 1,13***	0,21 ± 0,13	0,78 ± 0,13***E	0,58 ± 0,24***#E	6,04 ± 1,28***#
Janeiro 2016	Ponto 01	62,9 ± 15,12***	1,64 ± 0,51	1,23 ± 0,26*	3,88 ± 1,28***	0,64 ± 0,42	3,63 ± 1,23***	1,08 ± 0,62	4,82 ± 0,34***
	Ponto 02	72,24 ± 7,27***#	1,53 ± 0,25*	1,14 ± 0,32***#	3,25 ± 1,32***	0,52 ± 0,12	2,73 ± 0,61***	1,02 ± 0,52***#	5,05 ± 0,25***
	Ponto 03	364,36 ± 4,14***#	0,74 ± 0,26***#E	0,43 ± 0,31***#	1,86 ± 1,31***	0,30 ± 0,18***E	3,24 ± 1,14***	0,52 ± 0,24***#	5,83 ± 0,48***
	Ponto 04	388,24 ± 6,13***#	0,42 ± 0,12***#E	0,35 ± 0,13***#	0,76 ± 1,23***	0,23 ± 0,32***E	2,86 ± 1,21***	0,46 ± 0,23***#	6,25 ± 0,43***
	Controle Positivo <sup>b</sup>	32,70 ± 13,1***	2,60 ± 0,42*	0,90 ± 0,10**	2,30 ± 0,72*	0,60 ± 0,41	5,40 ± 0,62***	1,70 ± 0,32***	1,88 ± 1,2***

<sup>a</sup> Controle Negativo= água de sclorada; <sup>b</sup> Controle positivo= sulfato de cobre (0.0002 g/L); \* Diferença significativamente diferente do controle negativo ao nível de P<0,05; \*\* P<0,01; \*\*\* P<0,001 (Anova); # Diferença significativa do ponto 1 ao nível de P<0,05 (Anova); E Diferença significativa do Ponto 2 ao nível de P<0,05 (Anova).

Alterações no IM podem indicar a presença de agentes com ação citotóxica, sendo um parâmetro confiável para a avaliação da citotoxicidade de amostras ambientais e, portanto, aplicáveis em monitoramento ambiental (FERNANDES et al., 2007).

Segundo Hoshina (2002), IMs menores que o controle negativo (CN) podem indicar alterações decorrentes da ação de um dado agente sobre o crescimento e desenvolvimento dos organismos expostos, enquanto IMs superiores aos observados no CN são decorrentes de um aumento na divisão celular, que pode levar a uma proliferação desordenada de células e até mesmo à formação de tecidos tumorais. Portanto, tanto a redução como o aumento do IM são indicadores importantes a serem considerados nas avaliações de contaminação ambiental.

No teste realizado, a análise do tamanho das raízes dos organismos expostos foi condizente com a redução do IM durante o período seco, o que vem consi-

tatar que a redução do IM induziu uma redução no crescimento das raízes, principalmente nos pontos P1 e P2, no mês de novembro/2015, considerado o período mais crítico (estação seca) para todos os pontos.

Já no período chuvoso percebeu-se que houve um aumento do índice mitótico e do comprimento radicular para todos os pontos das amostras. Em relação à mutagenicidade, as aberrações cromossômicas se reduziram e houve diminuição da frequência de micronúcleos e citoquineses falhadas (células binucleadas) nos pontos P2, P3 e P4 (Tabelas 1 e 2). O ponto 01 continuou sendo o mais crítico tanto em relação à toxicidade como à mutagenicidade, o que já era aguardado, pois é o esgoto bruto sem nenhum tratamento, com alto teor de carga orgânica e inorgânica.

As aberrações mais frequentes durante o período seco foram pontes anafásicas, fragmentos cromossômicos, atrasos anafásicos e C-metáfase (anáfase desorgani-

zada). Durante o período chuvoso, as aberrações mais frequentes foram pontes anafásicas e atrasos anafásicos (Tabelas 1 e 2). Ainda foram observadas em níveis aumentados de forma significativa células com micronúcleos e células binucleadas no período seco.

As aberrações cromossômicas (ACs) são alterações caracterizadas por uma mudança na estrutura ou no número normal de cromossomos de uma espécie, podendo ocorrer de maneira espontânea ou ainda como resultado da exposição a agentes químicos ou físicos (RUSSEL, 2002).

Barbério (2009) detectou efeito genotóxico significativo observado no Rio Paraíba do Sul, sendo que a presença de micronúcleos, pontes cromossômicas, c-metáfases, anáfase com multipolaridades, outras aberrações cromossômicas e número total de células anômalas apresentaram aumento significativo.

A ocorrência dos micronúcleos representa uma resposta integrada de instabilidade de cromossomos,

fenótipos e alterações celulares causadas por defeitos genéticos e/ou exposição exógena a agentes genotóxicos, refletindo inúmeras alterações cromossômicas importantes para a carcinogênese (FENECH, 2000; FENECH, 2006; FERNANDES et al., 2007).

As aberrações mais frequentes durante o período seco do rio Poti (ETE-Leste) foram pontes anafásicas, fragmentos cromossômicos, atrasos anafásicos e C-metáfase. Durante o período chuvoso, as aberrações mais frequentes foram pontes anafásicas e atrasos anafásicos (Tabelas 1 e 2).

Neste estudo, todas as amostras, exceto o ponto 04 (rio jusante), coletadas durante o período seco e chuvoso, induziram toxicidade (tabelas 1 e 2), verificada pela inibição do crescimento radicular e inibição do índice mitótico, mas também induziram mutagenicidade, evidenciada pela indução de micronúcleos e aberrações cromossômicas.

**Tabela 2** - Índice mitótico, aberrações cromossômicas, micronúcleos e comprimento da raiz em *A. cepa* expostos à água e efluente tratado do Rio Poti (ETE-Leste) no período chuvoso 2016, Teresina-PI.

Período de Coleta (Seco)	Grupo	Índice mitótico (células em divisão/2000)	Aberrações Cromossômicas				MN/2000	Binucleadas/2000	Comprimento da raiz (cm)
			Pontes Anafásicas	Fragmentos Cromossômicos	Atrasos Anafásicos	C-metáfases			
Fevereiro 2016	Controle Negativo <sup>a</sup>	486,3 ± 2,6	0,24 ± 0,42	0,21 ± 0,23	0,68 ± 0,13	0,9 ± 0,3	0,18 ± 0,4	0,18 ± 0,6	8,35 ± 1,8
	Ponto 01	52,3 ± 2,24 <sup>***</sup>	2,63 ± 1,36	1,6 ± 0,3	2,8 ± 1,12 <sup>**</sup>	0,6 ± 0,3	3,24 ± 0,32 <sup>***</sup>	1,13 ± 0,32	4,25 ± 1,14 <sup>***</sup>
	Ponto 02	64,21 ± 22,12 <sup>***#</sup>	2,4 ± 1,2	0,96 ± 0,14 <sup>*#</sup>	1,82 ± 1,11 <sup>***</sup>	0,54 ± 0,13	2,96 ± 0,34 <sup>***</sup>	0,82 ± 0,21	6,14 ± 1,62 <sup>***#</sup>
	Ponto 03	284,13 ± 11,42 <sup>***#</sup>	0,74 ± 0,21 <sup>***#</sup>	0,43 ± 0,13	1,23 ± 1,3 <sup>***</sup>	0,36 ± 0,15	1,26 ± 0,14 <sup>***#</sup>	0,66 ± 0,31 <sup>***#</sup>	7,23 ± 1,12 <sup>***#</sup>
	Ponto 04	396,22 ± 18,34 <sup>***#</sup>	0,52 ± 0,23 <sup>***#</sup>	0,48 ± 0,25	0,82 ± 1,8 <sup>***</sup>	0,22 ± 0,11	0,73 ± 0,13 <sup>***#</sup>	1,21 ± 0,26 <sup>***#</sup>	7,94 ± 1,42 <sup>***#</sup>
Março 2016	Ponto 01	65,13 ± 11,16 <sup>***</sup>	1,86 ± 1,43	1,32 ± 0,16	2,85 ± 1,26 <sup>**</sup>	0,66 ± 0,13	2,64 ± 0,26 <sup>***</sup>	1,12 ± 0,6	5,26 ± 1,51 <sup>***</sup>
	Ponto 02	72,27 ± 12,42 <sup>***#</sup>	1,74 ± 1,25	1,11 ± 0,8	1,52 ± 1,62 <sup>***</sup>	0,46 ± 0,16	2,26 ± 0,8 <sup>***</sup>	0,52 ± 0,12	6,92 ± 1,43 <sup>***#</sup>
	Ponto 03	336,23 ± 12,48 <sup>***#</sup>	0,63 ± 0,25 <sup>***#</sup>	0,32 ± 0,16	1,13 ± 0,7 <sup>***</sup>	0,21 ± 0,9	1,18 ± 0,9 <sup>***#</sup>	0,56 ± 0,24 <sup>***#</sup>	7,42 ± 1,33 <sup>***#</sup>
	Ponto 04	362,12 ± 14,34 <sup>***#</sup>	0,35 ± 0,8 <sup>***#</sup>	0,24 ± 0,7	0,6 ± 0,3 <sup>***</sup>	0,16 ± 0,8	0,62 ± 0,16 <sup>***#</sup>	0,42 ± 0,12 <sup>***#</sup>	7,62 ± 1,15 <sup>***#</sup>
Abril 2016	Ponto 01	68,63 ± 13,25 <sup>***</sup>	1,24 ± 0,12	1,11 ± 0,4 <sup>*</sup>	2,32 ± 1,14 <sup>***</sup>	0,34 ± 0,12	2,14 ± 1,8 <sup>***</sup>	1,2 ± 0,6	6,25 ± 0,28 <sup>***</sup>
	Ponto 02	78,12 ± 8,32 <sup>***#</sup>	1,12 ± 0,6 <sup>*</sup>	1,5 ± 0,5 <sup>***#</sup>	2,54 ± 1,26 <sup>**</sup>	0,42 ± 0,8	2,14 ± 0,33 <sup>***</sup>	1,3 ± 0,3 <sup>***#</sup>	7,33 ± 0,54 <sup>***</sup>
	Ponto 03	288,24 ± 5,27 <sup>***#</sup>	0,38 ± 0,14 <sup>***#</sup>	0,15 ± 0,7 <sup>***#</sup>	1,28 ± 1,4 <sup>***</sup>	0,12 ± 0,6 <sup>***#</sup>	2,16 ± 1,4 <sup>***</sup>	0,42 ± 0,14 <sup>***#</sup>	7,64 ± 0,84 <sup>***</sup>
	Ponto 04	372,28 ± 7,25 <sup>***#</sup>	0,25 ± 0,5 <sup>***#</sup>	0,24 ± 0,7 <sup>***#</sup>	0,61 ± 1,12 <sup>***</sup>	0,18 ± 0,7 <sup>***#</sup>	1,18 ± 1,7 <sup>***</sup>	0,25 ± 0,12 <sup>***#</sup>	7,62 ± 0,88 <sup>***</sup>
	Controle Positivo <sup>b</sup>	46,25 ± 16,4 <sup>***</sup>	2,42 ± 0,12 <sup>*</sup>	0,64 ± 0,8 <sup>**</sup>	1,88 ± 0,63 <sup>*</sup>	0,52 ± 0,34	4,24 ± 0,32 <sup>***</sup>	1,21 ± 0,24 <sup>***</sup>	1,94 ± 1,8 <sup>***</sup>

<sup>a</sup> Controle Negativo= água de sclorada; <sup>b</sup> Controle positivo= sulfato de cobre (0.0002 g/L); \* Diferença significativamente diferente do controle negativo ao nível de P<0,05; \*\* P<0,01; \*\*\* P<0,001 (Anova); # Diferença significativa do ponto 1 ao nível de P<0,05 (Anova); E Diferença significativa do Ponto 2 ao nível de P<0,05 (Anova).

Os resultados apresentados nas tabelas 1 e 2 mostram que os pontos P1 e P2 apresentaram atividade mutagênica (AC e MN) significativa durante todo o período seco, se comparados ao CP. A elevação da mutagenicidade no P2 sugere que o rio Poti possivelmente pode estar recebendo efluentes sem tratamento antes de receber o efluente tratado, proveniente da estação de tratamento de esgoto. No entanto, durante o período chuvoso a indução à atividade genotóxica e mutagênica foi menor, acredita-se que isso tenha ocorrido por conta da diluição das cargas orgânicas e inorgânicas nessa estação. Percebeu-se uma redução de micronúcleos e células binucleadas, exceto no ponto 01. E observou-se também uma redução da mutagenicidade para o ponto 02.

Com as observações dos resultados das análises com *A. cepa*, pode-se sugerir que a mistura complexa de agentes causadores do efeito mutagênico observado nos pontos P1 e P2 das amostras coletadas no rio Poti em Teresina é formada por agentes tanto clastogênicos como aneugênicos, e ainda causam toxicidade e mutagenicidade. Os valores mais significativos comparados ao CP foram observados durante o período seco, devido à concentração de poluentes neste período pela falta de chuva, sugerindo a presença de xenobióticos nos locais de estudo.

### 3.2 Análise dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos

O pH e a variação de temperatura encontrados para as amostras de água e efluentes coletadas durante o período seco e chuvoso mantiveram-se dentro da normalidade prevista na Resolução do Conama 430/2011. O pH tem valores entre 6,9 e 7,8, e a temperatura varia entre 29 °C e 35°C durante o período em estudo (Tabela 3 e 4). De acordo com Molnar et al., (2012), a temperatura é um fator que influencia quase todos os processos físicos, químicos e biológicos da água.

As quantificações dos compostos nitrogenados (amônia e nitrato) mostraram em alguns pontos va-

lores acima do que é permitido pela resolução. De acordo com Conama 357/2005, o valor aceitável da amônia é de até 20 mg/L e do Nitrato  $\leq$  10 mg/L. A amônia teve valores elevados no P1 e P3 durante todo o período seco e chuvoso nas duas estações em estudo. Já o nitrato mostrou valores, em média, de acordo com a legislação. Os únicos valores alterados foram observados no P1, destacando-se valores menores encontrados durante o período chuvoso para os dois parâmetros, e a redução de valores no P3 após o tratamento feito na estação (Tabela 3 e 4).

A presença de substâncias como a amônia pode caracterizar um fator limitante para o peixe, quando comparado aos efeitos tóxicos reconhecidos desse composto nesses organismos (CETESB, 2010). O nitrato é considerado uma substância com baixa toxicidade, sendo o produto final da nitrificação solúvel em água, porém pode causar efeitos letais em diferentes organismos ou atuar sinergicamente com as outras formas nitrogenadas (OSTRENSKY, 1997).

De acordo com a Cetesb (2010), os rios são considerados pouco poluídos quando apresentam cerca de 100  $\mu$ S/cm (micro Siemens/cm - unidade de medida de condutividade). Quando os rios recebem despejo doméstico e/ou industrial, esse valor é geralmente aumentado. A condutividade elétrica apresentou seus valores elevados em todos os pontos das amostras durante o período seco. Foi possível observar que os valores diminuíram no período chuvoso, mantendo-se acima do permitido apenas nos pontos P1 e P3 (Tabelas 3 e 4).

Segundo Marinelli et al., (2000), o aumento da condutividade elétrica ao longo de um rio é evidenciado devido à presença de materiais dissolvidos e pode contribuir para o comprometimento da qualidade da água do rio. O alto teor de condutividade elétrica presente nas amostras do rio Poti é um índice de que esse manancial encontra-se impactado pelo lançamento de efluentes, prejudicando todo o ecossistema que nele vive.



**Tabela 3** – Parâmetros físico-químicos das amostras de água e efluente tratado do Rio Poti (ETE–Leste) no período seco 2015/2016, Teresina-PI.

Parâmetros físico-químicos da água – RIO POTI													
Período de Coleta	Pontos	pH	T(°C)	Amônia (mg/L)	CE (µs/cm)	Cloretos (mg/L)	Detergentes (mg/L)	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	DQO (mg/L)	Fósforo Total (mg/L)	OD (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Sólidos Sdm. (mL/L/h)
Novembro 2015 (Seco)	Ponto 1	7,3	31,0	46,5	467,5	90,0	5,0	300,0	485,0	5,7	-	10,7	5,0
	Ponto 2	6,8	30,0	13,5	350,3	60,0	2,0	20,0	98,0	2,0	0,0	2,7	0,4
	Ponto 3	7,7	31,0	38,8	477,8	89,0	3,0	97,0	182,0	4,8	6,0	7,6	0,5
	Ponto 4	6,9	30,0	15,3	334,2	97,0	1,0	39,0	129,0	2,4	0,0	4,2	2,0
Dezembro 2015 (Seco)	Ponto 1	7,3	35,0	47,3	495,4	82,0	8,0	408,0	549,0	7,2	-	13,03	8,0
	Ponto 2	6,9	29,0	11,6	391,3	87,0	1,2	36,0	165,0	3,4	0,0	5,8	11,0
	Ponto 3	7,8	31,0	36,0	521,0	120,0	6,0	137,0	233,0	5,3	5,0	8,0	V.A
Janeiro 2016 (Seco)	Ponto 1	7,4	34,0	43,2	472,2	92,0	-	405,0	541,0	5,8	-	-	4,5
	Ponto 2	6,6	30,0	3,0	261,9	67,0	-	15,0	60,0	0,8	0,0	-	0,8
	Ponto 3	7,7	31,0	34,6	497,3	153,0	-	115,0	148,0	5,3	6,0	-	-
	Ponto 4	6,8	30,0	15,5	356,8	78,0	-	45,0	111,0	2,4	1,0	-	3,0
Limites CONAMA 357/430		5 a 9	Até 40°C	≤ 20 mg/L	≤ 100 µs/cm	≤ 250 mg/L	≤ 0,5 mg/L	≤ 120 mg/L	≤ 700 mg/L	0,050 mg/L	≥ 5 mg/L	≤ 10 mg/L	≤ 1,0 mL/L/h

Fonte: Águas e Esgotos do Piauí S/A - Agespisa.

Foi observado que os valores de cloretos se mantiveram de acordo com a resolução Conama 357/2005  $\leq 250$  mg/L durante os períodos seco e chuvoso (Tabelas 3 e 4). Os cloretos podem ser originados pela dissolução de minerais e do solo, por intrusão de águas salinas, por despejos industriais ou lixiviação de áreas agrícolas. Estão presentes no esgoto pela contribuição das excretas humanas (PESSOA; JORDÃO, 2009).

Segundo Conama 357/2005, o valor aceitável para detergentes é  $\leq 0,5$  mg/L. Foram observados valores acima do estabelecido nos pontos P1 e P3, destacando que no período chuvoso os valores dos pontos P2 e P3 foram menores. Já em relação ao Fósforo total no período seco, todos os valores ficaram acima do estabelecido, valor máximo permitido de até 0,050 mg/L (CONAMA, 2005). No período chuvoso, os valores foram menores e os pontos que ficaram com valores elevados foram P1 e P3 (Tabelas 3 e 4).

As descargas indiscriminadas de detergentes nas águas naturais levam a prejuízos de ordem estética, provocados pela formação de espuma. Os detergentes têm sido responsabilizados também

pela aceleração da eutrofização. Além da maioria dos detergentes comerciais serem ricos em fósforo, sabe-se que exercem efeito tóxico sobre o zooplâncton (PIVALI, 2005).

A presença de fósforo em excesso nos rios contribui para a proliferação de algas, que consomem uma alta taxa de oxigênio, diminuindo as taxas do mesmo no ambiente aquático, provocando vários fatores negativos para o ecossistema, como a mortandade de peixes. O excesso de fósforo presente em esgotos sanitários e efluentes industriais conduz aos processos de eutrofização das águas naturais (MOTA, 2010).

Foram observados altos índices da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) nos pontos P1 e P3, observando-se valores menores no P2 e P4 no período chuvoso. Já em relação aos níveis da Demanda Química de Oxigênio (DQO), todos os valores permaneceram dentro do limite estabelecido, permanecendo valores maiores nos pontos P1 e estações durante os períodos seco e chuvoso (Tabelas 3 e 4). O aumento de DBO num corpo d'água se dá devido ao lançamento de efluente de origem predominantemente orgânica. Segun-

do Guerra (2009), o alto teor de matéria orgânica em um ambiente aquático pode induzir à saída de moléculas de oxigênio do sistema.

Observou-se que durante o período seco o P3 foi o único a apresentar valor de oxigênio dissolvido. Já no período chuvoso, os valores de OD estão todos de acordo com o estabelecido, (CONAMA 357/2005  $\geq 5$  mg/L), exceto no P2 do mês de fevereiro, (Tabelas 3 e 4). A baixa concentração de OD encontrada nas amostras de água é preocupante, uma vez que pode comprometer a manutenção e a sobrevivência da biota aquática desse corpo d'água. O oxigênio dissolvido constitui um importante parâmetro físico-químico de análise da qualidade de águas, uma vez que indica a capacidade de um corpo d'água natural manter a sua biota endêmica (CETESB, 2009).

Os baixos valores de OD encontrados nas amostras do rio Poti, inferiores ao mínimo essencial para a manutenção da vida aquática, são indicativos de que a água desse corpo hídrico está sofrendo um desequilíbrio ambiental. Quando os níveis de oxigênio dissolvido estão baixos, há o comprometimento da qualidade da água, pois não há concentração suficiente para biodegradar a matéria orgânica (BELLANGER et al., 2004).

Para os sólidos sedimentáveis, foram observados alguns valores acima dos níveis aceitáveis pela legislação (1,0 mL/L/h) durante os períodos seco e chuvoso, principalmente no P1. Durante o período chuvoso, vários pontos deram virtualmente ausente (Tabelas 3 e 4). A quantidade de matéria sedimentável é um importante parâmetro, pois está relacionado ao assoreamento do corpo receptor, caso a sua remoção não seja eficiente (LINS, 2010).

**Tabela 4** – Parâmetros físico-químicos das amostras de água e efluente tratado do Rio Poti (ETE-Leste) no período chuvoso 2016, Teresina-PI.

Parâmetros físico-químicos da água – RIO POTI													
Período de Coleta	Pontos	pH	T(°C)	Amônia (mg/L)	CE (µs/cm)	Cloretos (mg/L)	Detergentes (mg/L)	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	DQO (mg/L)	Fósforo Total (mg/L)	OD (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Sólidos Sdm. (mL/L/h)
Fevereiro 2016 (Chuvoso)	Ponto 1	7,5	32,0	38,2	487,7	242,0	3,0	480,0	580,0	10,1	-	8,6	20,4
	Ponto 2	7,0	31,0	0,8	62,7	49,0	0,8	14,0	61,0	0,3	5,0	1,6	V.A
	Ponto 3	7,5	30,0	30,7	330,5	73,0	24,0	75,0	221,0	4,7	4,0	3,3	2,2
	Ponto 4	6,8	31,0	0,0	64,1	36,0	0,8	11,0	84,0	0,4	5,0	1,9	AUSENTE
Março 2016 (Chuvoso)	Ponto 1	7,4	32,0	-	400,1	87,0	-	450,0	519,0	4,8	-	11,8	5,0
	Ponto 2	7,1	30,0	-	51,6	7,0	-	15,0	53,0	1,4	5,0	1,5	AUSENTE
	Ponto 3	7,8	31,0	-	350,9	78,0	-	47,0	61,0	3,5	5,0	2,5	0,3
	Ponto 4	7,2	30,0	-	60,6	8,0	-	14,0	61,0	0,2	5,0	1,0	AUSENTE
Abril 2016 (Chuvoso)	Ponto 1	7,4	32,0	46,1	366,8	118,0	1,8	234,0	400,0	4,9	-	6,7	3,0
	Ponto 2	7,2	30,0	0,2	59,2	18,0	0,2	16,0	69,0	0,7	5,0	1,9	V.A
	Ponto 3	7,8	31,0	29,3	343,4	106,0	0,8	36,0	92,0	3,3	6,0	1,3	V.A
	Ponto 4	7,4	30,0	0,6	63,4	21,0	0,3	15,0	31,0	0,1	5,0	1,9	V.A
Limites CONAMA 357/430		5 a 9	Até 40°C	≤ 20 mg/L	≤ 100 µs/cm	≤ 250 mg/L	≤ 0,5 mg/L	≤ 120 mg/L	≤ 700 mg/L	0,050 mg/L	≥ 5 mg/L	≤ 10 mg/L	≤ 1,0 mL/L/h

Fonte: Águas e Esgotos do Piauí S/A - Agespisa.

No que diz respeito aos resultados das análises microbiológicas no período seco, percebeu-se que todos os valores de Coliformes Termotolerantes estavam alterados, com índices acima do que é estabelecido pela legislação Conama 430/2011 ( $\leq 4 \times 10^3$ ) (Tabela 5).

**Tabela 5.** Análise microbiológica das amostras de água e efluente tratado do Rio Poti (ETE-Leste) no período seco 2015/2016, Teresina-PI.

RIO POTI - ETE-LESTE			
Período de Coleta	Pontos	Coliformes Totais (100 ml)	Coliformes Termotolerantes ( <i>Escherichia coli</i> -100ml)
Novembro/ 2015 (Seco)	Ponto 01	$>2,4 \times 10^3$	$3,9 \times 10^7$
	Ponto 02	$>2,4 \times 10^3$	$3,1 \times 10^4$
	Ponto 03	$>2,4 \times 10^3$	$1,1 \times 10^5$
	Ponto 04	$>2,4 \times 10^3$	$3,4 \times 10^4$
Dezembro/ 2015 (Seco)	Ponto 01	$>2,4 \times 10^3$	$2,2 \times 10^7$
	Ponto 02	$>2,4 \times 10^3$	$2,4 \times 10^5$
	Ponto 03	$>2,4 \times 10^3$	$3,5 \times 10^4$
	Ponto 04	$>2,4 \times 10^3$	$1,5 \times 10^4$
Janeiro/ 2016 (Seco)	Ponto 01	$>2,4 \times 10^3$	$2,1 \times 10^7$
	Ponto 02	$>2,4 \times 10^3$	$5,3 \times 10^3$
	Ponto 03	$>2,4 \times 10^3$	$1,3 \times 10^5$
	Ponto 04	$>2,4 \times 10^3$	$3,7 \times 10^4$
Limites CONAMA 430/2011		$\leq 10^3$	$\leq 4 \times 10^3$

Fonte: Águas e Esgotos do Piauí S/A - Agespisa.

A preservação da qualidade das águas é uma necessidade universal que exige séria atenção por parte das autoridades sanitárias, sendo indispensável à realização de exames bacteriológicos para a avaliação da qualidade da água a ser consumida (FÁTIMA, 2006).

As bactérias do grupo coliforme são os principais indicadores de contaminação fecal, que assume importância como parâmetro indicador da possibilidade da existência de micro-organismos patogênicos (WHO, 1993).

A maioria das doenças associadas à água é transmitida por patógenos fecais e o controle dessas águas é feito por meio dos indicadores de monitoramento de microorganismos, uma vez que o monitoramento de todos os seres vivos da água seria uma tarefa difícil (LIBÂNIO, 2010).

No período chuvoso, apenas o P4 (rio jusante) no período do mês de abril/2016 teve resultado dentro do permitido pela legislação (Tabela 6). O monitoramento de coliformes totais também é feito com o objetivo principal de verificar a eficiência de desinfecção no tratamento e a integridade do sistema de distribuição de água (DI BERNARDO; PAZ, 2010).

**Tabela 6.** Análise microbiológica das amostras de água e efluente tratado do Rio Poti (ETE-Leste) no período chuvoso 2016, Teresina-PI.

RIO POTI - ETE-LESTE			
Período de Coleta	Pontos	Coliformes Totais (100 ml)	Coliformes Termotolerantes ( <i>Escherichia coli</i> -100ml)
Fevereiro/ 2016 (Chuvoso)	Ponto 01	$>2,4 \times 10^3$	$2,6 \times 10^7$
	Ponto 02	$>2,4 \times 10^3$	$7,3 \times 10^4$
	Ponto 03	$>2,4 \times 10^3$	$2,4 \times 10^4$
	Ponto 04	$>2,4 \times 10^3$	$6,5 \times 10^4$
Março/ 2016 (Chuvoso)	Ponto 01	$>2,4 \times 10^3$	$2,6 \times 10^7$
	Ponto 02	$>2,4 \times 10^3$	$1,2 \times 10^4$
	Ponto 03	$>2,4 \times 10^3$	$8,9 \times 10^4$
	Ponto 04	$>2,4 \times 10^3$	$1,3 \times 10^4$
Abril/ 2016 (Chuvoso)	Ponto 01	$>2,4 \times 10^3$	$2,2 \times 10^7$
	Ponto 02	$>2,4 \times 10^3$	$9,3 \times 10^3$
	Ponto 03	$>2,4 \times 10^3$	$1,3 \times 10^5$
	Ponto 04	$>2,4 \times 10^3$	$1,0 \times 10^4$
Limites CONAMA 430/2011		$\leq 10^3$	$\leq 4 \times 10^3$

Fonte: Águas e Esgotos do Piauí S/A - Agespisa.

Os parâmetros observados pelas análises físico-químicas apontam para a necessidade de atenção especial ao rio em estudo, uma vez que os resultados sugerem uma possível interferência na biota e na de qualidade de vida associada a esses ambientes. Altas taxas de amônia, fósforo, OD e DBO podem resultar em mudanças nos níveis de oxigênio necessários para manter as condições favoráveis de vida aquática. É importante ressaltar que as análises dos parâmetros físico-químicos da água corroboram os resultados biológicos observados neste estudo com a utilização do teste *Allium cepa*.

#### 4 CONCLUSÕES

Todos os pontos do estudo apresentaram uma potencialidade genotóxica e mutagênica, pois foram capazes de induzir alterações no material genético do organismo-teste utilizado, além da diminuição do Índice Mitótico e inibição do crescimento radicular, evidenciado principalmente nos pontos, P1 e P2, no período seco.

As análises físico-químicas revelaram que as águas e efluentes coletados apresentaram elevadas concentrações de condutividade elétrica, detergentes e fósforo, principalmente nos pontos, P1 e P3, além dos altos teores de coliformes termotolerantes encontrados nas análises microbiológicas.

Acredita-se que os resultados mais significativos possam ter sido induzidos pelo lançamento de xenobióticos provenientes de outras fontes antropogênicas, como as dos carros limpa-fossa, que descarregam o efluente coletado nesta estação. Esse efluente, proveniente dos carros limpa-fossa, contém, possivelmente, uma mistura complexa de agentes causadores do efeito mutagênico, que pode estar comprometendo a eficiência do tratamento da ETE-Leste.

## 5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio recebido da Águas e Esgotos do Piauí S.A (Agespisa), pela disponibilidade do Laboratório Central da ETE Leste, na realização de análises necessárias para esta pesquisa, bem como ao Centro de Tecnologia - CT da Universidade Federal do Piauí (UFPI), por disponibilizar o Laboratório de Saneamento e Mecânica dos Fluidos para a realização das análises complementares. Ao Núcleo de Referência em Ciências Ambientais do Trópico Ecotonal do Nordeste (Tropen) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), agradecemos o importante apoio a este trabalho.

## REFERÊNCIAS

APHA (American Public Health Association, Washington). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 20<sup>th</sup> ed. USA: Washington, 2005.

BARBÉRIO, A.; VOLTOLINI, J.C.; MELLO, M.L.S. Standardization of bulb and root sample sizes for the *Allium cepa* test. **Ecotoxicology**, Londres, v. 20, n. 4, p. 927-935, 2011.

BARBÉRIO, A.; BARROS, L.; VOLTOLINI, J.C.; MELLO, M.L.S. Evaluation of the cytotoxic and genotoxic potential of water from the

River Paraíba do Sul, in Brazil, with the *Allium cepa* L. test. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 69, n. 3, p. 837-842, 2009.

BATISTA, N. J. C. et al. Genotoxic and mutagenic evaluation of water samples from a river under the influence of different anthropogenic activities. **Chemosphere** 164, 134-141, 2016.

BELANGER, K. D. et al. The karyopherin Msn5/Kap142 requires Nup82 for nuclear export and performs a function distinct from translocation in RPA protein import. **J Biol. Chem** 279, 42: 43530-9, 2004.

BIANCHI, J. ; ESPINDOLA, E. L. G.; MARIN-MORALES, M. A. Genotoxicity and mutagenicity of water samples from the Monjolinho River (Brazil) after receiving untreated effluents. **Ecotoxicol Environ Saf**, v. 74, n. 4, p. 826-33, 2011.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - Conama.

COTELLE, S.; FERARD, J.F. Comet assay in genetic ecotoxicology: a review. **Environmental and Molecular Mutagenesis**, v. 34, p.246-255. 1999.

CETESB (COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL DE SÃO PAULO). **Variáveis de qualidade das águas**. São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/Aguas-Superficiais/34-Variáveis-de-Qualidade-das-águas>> Acesso em: 10 jun. 2016.

CETESB (COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL DE SÃO PAULO). **Relatório de qualidade das águas interiores no estado de São Paulo 2009**. São Paulo: CETESB, 2009. 288p.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio ambiente. **Resolução nº 357, 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.

DI BERNARDO, L.; PAZ, L. P. S. **Seleção de tecnologias de tratamento de água**. São Carlos: LDiBe, 2010. p. 868.

EGITO, L.C.M.; MEDEIROS, M.G.; MEDEIROS, S.R.B.; AGNEZ-LIMA, L.F. Cytotoxic and genotoxic potential of surface water from the Pitimbu river, northeastern/RN Brazil. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v.30, n.2, p.435-441, 2007.

EVSEEVA, T. I.; GERAS'KIN, S. A.; SHUKTOMOVA, I. I. Genotoxicity and toxicity assay of water sampled from a radium production industry storage cell territory by means of *Allium* test. **Journal of Environmental Radioactivity**, Oxford, v. 68, p. 235-248, 2003.

FATIMA, R. A.; AHMAD, M. Genotoxicity of industrial wastewaters obtained from two different pollution sources in northern India: A comparison of three bioassays. **Mutation Research**, v.609, p.81-91, 2006.

- FENECH, M. The in vitro micronucleus technique. **Mutation Research**, v.455, p.81-95, 2000.
- FENECH M. Cytokinesis-block micronucleus assay evolves into a “cytome” assay of chromosomal instability, mitotic dysfunction and cell death, **Mutat. Res.** v. 600, p.58-66, 2006
- FERNANDES, T.C.C.; MAZZEO, D.E.C.; MARIN-MORALES, M.A. Mechanism of micronuclei formation in polyploidized cells of *Allium cepa* exposed to trifluralin herbicide. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 88, n.3, p.252-259, 2007.
- FISKESJÖ, G. The *Allium* test - an alternative in environmental studies: the relative toxicity of metal ions. **Mutation Research, Leiden**, v. 197, n. 1, p. 243-260, 1988.
- FISKESJÖ, G. The *Allium* test in wastewater monitoring. *Environmental Toxicology and Water Quality: An international journal*, v. 8, p. 291-298, 1993.
- GEREMIAS, R.; BARTOLOTO, T.; WILHELM-FILHO, D.; PEDROSA, R. C.; FÁVERE, V. T. Efficacy assessment of acid mine drainage treatment with coal mining waste using *Allium cepa* L. as a bioindicator. **Ecotand Envir Saf**, 79:116-121, 2012.
- GUERRA, R. C. **Estudos do lodo gerado em reator biológico, pelo tratamento da água de produção do petróleo, no Terminal Marítimo Almirante Barroso, município de São Sebastião, SP. Visando sua disposição final.** 126p. Tese (Doutorado em Microbiologia Aplicada) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro/SP, 2009.
- GRANT, W. F. The present status of higher plant bioassays for detection of environmental mutagens. **Mutation Research**, Amsterdam, v. 310, n.2, p. 175-185, 1994.
- GRISOLIA, C.K.; OLIVEIRA, A.B.B.; BONFIM, H.; KLAUTAU-GUIMARÃES, M.N. Genotoxicity evaluation of domestic sewage in a municipal wastewater treatment plant. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v.28, n.2, p.334-338, 2005.
- GROVER, I.S.; KAUR, S. Genotoxicity of wastewater samples from sewage and industrial effluent detected by the *Allium* root anaphase aberration and micronucleus assay. **Mutation Research**, Amsterdam, v.426, p.183-188, 1999.
- HOSHINA, M.M. **Avaliação da possível contaminação das águas do Ribeirão Claro, município de Rio Claro, pertencente à Bacia do Rio Corumbataí, por meio de testes de mutagenicidade em *Allium cepa*.** 52 f. Monografia, Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, 2002.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2010: Piauí. 2011.** Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br/dados\_divulgados/index.php>. Acesso em: 18 de jan. de 2011.
- IDEXX. **Idexx Laboratories.** Métodos Padrão para Exames de Água e Esgoto - Colilert. 2002. Disponível em: <https://www.idexx.com/pdf/en\_us/water/6406300l.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2015
- LEME, D. M.; MARIN-MORALES, M. A.; Chromosome aberration and micronucleus frequencies in *Allium cepa* cells exposed to petroleum polluted water - A case study. **Mutation Research**, v. 650, p.80-86, 2008.
- LEVAN, A. The effect of colchicine on root mitoses in *Allium*. **Hereditas**, Lund, v. 24, n. 4 p. 471-486, 1938.
- LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água.** 3. ed. Campinas: Átomo, 2010. p. 496.
- LINS, G. A. **Impactos Ambientais em Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs).** 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://dissertacoes.poli.ufrj.br/dissertacoes/dissertpoli491.pdf>. Acesso em: 15 set. 2016.
- LIU, J. L.; Li, X.Y. Biodegradation and biotransformation of the wastewater organics as precursors of disinfection byproducts in water. In: **Chem**, 81:1075-83. 2010.
- MARINELLI, C. E.; MORETTO, E. M.; BRUCHA, G.; LUCCA, J. V. Limnologia. In: ESPÍNDOLA, E.L.G.; SILVA, J. S. V.; MARINELLI, C. E.; ABDON, M. M. (Eds) **A Bacia Hidrográfica do rio Monjolinho.** São Carlos, RiMa, 2000. Cap.11, p 133-149.
- MATSUMOTO, S.T.; MARIN-MORALES, M.A. Mutagenic potential evaluation of the water of a river that receives tannery effluents using the *Allium cepa* test system. **Cytologia**, Tokyo, v.69, n.4, p.399-408, 2004.
- MOLNAR, J. J. et al.. A comparative study of the effects of ozonation and TiO<sub>2</sub> - catalyzed ozonation on the selected chlorine disinfection by-product precursor content and structure. **Scie of the Tot Envir**, 425:169-75, 2012.
- MONARCA, S. et al. The influence of different disinfectants on mutagenicity and toxicity of urban wastewater. **Wat Res**, 34:4261-69, 2000.
- MONTEIRO, C. A. B. **Caracterização do esgotamento Sanitário de Teresina: Eficiência, Restrições e Aspectos Condicionantes.** Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Piauí, 2004.
- MONTEIRO, C.A.B. **Avaliação da Piscicultura em Esgoto Doméstico Tratado: Aspectos Zootécnicos, Ambientais e de Qualidade do Pescado Produzido.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, 2011.
- MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental.** 4.ed. Rio de Janeiro: ABES, 2010. 388 p.
- NUNES, E. A.; LEMOS, C. T.; GAVRONSKI, L.; MOREIRA, T. N.; OLIVEIRA, N. C. D.; DA SILVA, J. Genotoxic assessment on river water using different biological systems. **Chemosphere** 84, 47- 53, 2011.
- OSTRENSKY, A. **Estudos para urbanização tecnológica dos cultivos de camarões marinhos no litoral do Paraná,** Brasil. Curitiba. 122 p. 1977. Tese (Doutorado) – UFPR, 1977.

PESSOA, C. A.; JORDÃO, E. P. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 4.ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

PIVALI, R. P.; KATO, M. T. **Qualidade das Águas e Poluição: Aspectos Físico-Químicos**. São Paulo: ABES, 2005. p. 121-252.

RUSSEL, P.J. Chromosomal mutation. In: CUMMINGS, B. (Org.), **Genetics**. San Francisco: Pearson Education Inc, p. 595-621. 2002.

SOUZA, T.S.; HENCKLEIN, F.A.; ANGELIS, D.F. GONÇALVES, R.A.; FONTANETTI, C.S. Avaliação da biorremediação e da biodegradação de hidrocarbonetos em solo contaminado, por meio do teste de aberrações cromossômicas em *Allium cepa*. In: **X Congresso Brasileiro de Ecotoxicologia**, Bento Gonçalves - RS, 2008.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3ª ed. Belo Horizonte. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 243p.

TABET, M.; ABDA, A.; BENOURETH, D. E.; LIMAN, R.; KONUK, M.; KHALLEF, M.; TAHER, A. Mutagenic and genotoxic effects of Guelma's urban wastewater, Algeria. **Environ. Monit** 187, 13-26, 2015.

VESNA, S.; STEGNAR, P.; LOVKA, M.; TOMAN, M. J. The evaluation of waste, surface and ground water quality using the *Allium* test procedure. **Mutation Research**, Amsterdam, v. 368, n. 3-4, p.171-179, 1996.

WHITE, P. A.; RASMUSSEN, J. B. The genotoxic hazards of domestic wastes in surface waters. **Mutation Research**, Amsterdam, v. 410, p.223-236, 1998.

W.H.O. World Health Organization. **International Program on Chemical Safety (IPCS)**. Environmental Health Criteria 155. Biomarkers and Risk Assessment: Concepts and Principles. Geneva. 1993.