



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ  
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO  
COORDENADORIA GERAL DE PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA REGIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E  
MEIO AMBIENTE (PRODEMA)  
MESTRADO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE (MDMA)  
SUBPROGRAMA PRODEMA/PRPG/UFPI**

**VANESSA MENEZES COSTA**

**AVALIAÇÃO DA GENOTOXICIDADE E MUTAGENICIDADE EM  
AMOSTRAS DE ESGOTOS TRATADOS POR LAGOAS DE  
ESTABILIZAÇÃO EM TERESINA-PIAUÍ**

**TERESINA**

**2017**

**VANESSA MENEZES COSTA**

**AVALIAÇÃO DA GENOTOXICIDADE E MUTAGENICIDADE EM  
AMOSTRAS DE ESGOTOS TRATADOS POR LAGOAS DE  
ESTABILIZAÇÃO EM TERESINA-PIAÚÍ**

Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós- Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Piauí (UFPI/PRODEMA/TROPEN), como requisito à obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de Concentração: Desenvolvimento do Trópico Ecotonal do Nordeste. Linha de Pesquisa: Políticas de Desenvolvimento e Meio Ambiente.

**Orientador:** Prof. Dr. Cleto Augusto Baratta Monteiro

**TERESINA-PI  
2017**

FICHA CATALOGRÁFICA  
Universidade Federal do Piauí  
Biblioteca Comunitária Jornalista Carlos Castello Branco  
Serviço de Processamento Técnico

C837a Costa, Vanessa Menezes.

Avaliação da genotoxicidade e mutagenicidade em amostras de esgotos tratados por lagoas de estabilização em Teresina-Piauí / Vanessa Menezes Costa. -- 2017.

91 f. : il.

Dissertação (Mestrado) – Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (UFPI/PRODEMA/TROPEN), Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2017.

“Orientação: Prof. Dr. Cleto Augusto Baratta Monteiro.”

1. Efluente - Tratamento. 2. *Allium cepa* - Teste. 3. Genotoxicidade. 4. Mutagenicidade. I. Título.

CDD 628.3

VANESSA MENEZES COSTA

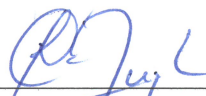
**AVALIAÇÃO DA GENOTOXICIDADE E MUTAGENICIDADE EM  
ESGOTOS TRATADOS POR LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO EM  
TERESINA-PIAUI**

Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós- Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Piauí (UFPI/PRODEMA/TROPEN), como requisito à obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de Concentração: Desenvolvimento do Trópico Ecotonal do Nordeste. Linha de Pesquisa: Políticas de Desenvolvimento e Meio Ambiente.

**Orientador:** Prof. Dr. Cleto Augusto Baratta Monteiro

APROVAÇÃO EM: 20 / 02 / 2017

**BANCA EXAMINADORA**



---

Prof. Dr. Cleto Augusto Baratta Monteiro  
Universidade Federal do Piauí (UFPI)  
(Orientador)



---

Prof. Dr. José de Ribamar de Sousa Rocha  
Universidade Federal do Piauí (UFPI)  
(Examinador Interno)



---

Prof. Dr. Nelson Jorge Carvalho Batista  
Faculdade Santo Agostinho  
(Examinador Externo)

“Tudo posso naquele que me fortalece.”  
(Filipenses 4:13)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por toda força e coragem concedida para a realização deste mestrado, por toda fé e amparo nos momentos difíceis, minha gratidão eterna.

A toda a minha família, em especial a minha mãe, Maria do Socorro pelo amor incondicional, e a minha tia Virginia Célia pelo exemplo e incentivo durante esta caminhada. Agradeço a todos por todo apoio e confiança, vocês são meu alicerce.

Ao meu noivo Jamilson, que foi fundamental nesta conquista, obrigada pelo incentivo, força, paciência, dedicação e carinho.

Ao meu orientador professor Dr. Cleto Augusto Baratta Monteiro, por toda ajuda, apoio e ensinamentos repassados para a conclusão desta pesquisa.

Meu especial agradecimento ao professor Dr. Nelson Jorge, por toda colaboração, ajuda, incentivo e parceria.

A empresa Água e Esgoto do Piauí S.A (AGESPISA), em especial a todos os técnicos e operadores da Estação de Tratamento de Esgoto Leste e Pirajá pelo apoio, acolhimento, disponibilidade e o treinamento oferecido para a realização da pesquisa.

Ao programa de Pós- Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, pela oportunidade de desenvolver este trabalho, e a Universidade Federal do Piauí por todo suporte institucional.

A todos os professores do programa (PRODEMA/UFPI) pelos conhecimentos repassados, que contribuíram para engrandecer esta pesquisa.

Aos amigos e colegas, que de alguma maneira me ajudaram, incentivaram e apoiaram durante esta jornada.

A CAPES pelo auxílio financeiro que muito ajudou na realização deste trabalho.

Muito obrigada a todos!

## RESUMO

Os esgotos domésticos e os efluentes industriais são as principais fontes de contaminação dos recursos hídricos, pois estes resíduos são frequentemente tóxicos e seu descarte inadequado pode degradar seriamente o ambiente. Os agentes poluidores podem causar danos aos organismos expostos, entre eles danos mutagênicos. Testes com plantas são frequentemente utilizados em monitoramento ambiental, e a espécie *Allium cepa* tem sido muito utilizada em avaliações do potencial tóxico de ambientes aquáticos. Os rios Poti e Parnaíba na cidade de Teresina-PI recebem expressivo volume de esgotos produzidos na zona urbana, além de serem receptores dos efluentes processados nas estações de tratamento de esgoto. A pesquisa teve como objetivo avaliar a toxicidade e o potencial genotóxico e mutagênico induzidos por efluentes de esgoto tratado por sistemas de lagoas de estabilização das Estações de Tratamento de Esgoto Leste e Pirajá da cidade de Teresina – PI com a utilização do teste *Allium cepa*, bem como comparar os resultados obtidos da Estação de Tratamento de Esgoto Leste que recebe além do esgoto doméstico, o esgoto proveniente dos veículos Limpa Fossas, com os da Estação de Tratamento de Esgoto do Pirajá que recebe apenas esgoto doméstico. 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. Os resultados detectados pelas análises físico-químicas revelaram que as amostras de 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 nas duas estações de tratamento de esgoto, os valores foram mais críticos no período seco. Todas as amostras do estudo apresentaram um potencial genotóxico e mutagênico, pois foram capazes de induzir alterações no material genético do organismo-teste utilizado, além da diminuição do índice mitótico e inibição do crescimento das raízes, evidenciado principalmente nos pontos, P1 e P2 do período seco, com danos maiores identificados na Estação de Tratamento de Esgoto Leste. Durante o período chuvoso o potencial genotóxico e mutagênico das amostras foram menores nas duas estações em relação ao período seco. Portanto, os resultados mais significativos encontrados na Estação de Tratamento de Esgoto Leste sugerem que possam ter sido induzidos em razão do lançamento de xenobióticos provenientes de outras fontes antropogênicas como as dos veículos Limpa Fossas, que descarregam os resíduos coletados nesta estação. Esses resíduos contém, possivelmente, uma mistura complexa de agentes causadores do efeito mutagênico, que possam estar comprometendo a eficiência do tratamento da Estação de Tratamento de Esgoto Leste.

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

## ABSTRACT

Domestic sewage and industrial effluents are the main sources of water resources contamination, because these wastes are often toxic and their inappropriate disposal can seriously degrade the environment. Polluting agents may cause damage to exposed organisms, including mutagenic damage. Plant tests have always been used in environmental monitoring, and the *Allium cepa* species has been widely used in assessing the toxic potential of certain environments, mainly the aquatic ones. The Poti and the Parnaíba Rivers in Teresina, PI receive an expressive volume of sewage produced in the urban zone, besides being receptors of the effluents processed in the sewage treatment plants. This research aims to evaluate the toxicity and the genotoxic and mutagenic potential induced by sewage effluents treated by stabilization lagoon systems from the Sewage Treatment Stations East and Pirajá in Teresina – PI using the *Allium cepa* test, as well as comparing the results obtained from the Sewage Treatment Station East sewage which receives, not only the domestic sewage, but also the sewage which comes from the clean cesspools vehicles, with those of the Sewage Treatment Station of Pirajá that receives only domestic sewage. The work was achieved in six collections contemplated by the dry and rainy period of the region in four sites, two of them in 2015 and four in 2016. P1-Raw sewage; P2-River upstream; P3-Final effluent and P4-River downstream. The results detected by the physicochemical analyzes revealed that the water and effluents samples presented high concentrations of electrical conductivity, detergents and phosphorus, mainly in the sites, P1 and P3, beyond the high levels of thermotolerant coliforms found in the microbiological analyzes in the the two Sewage Treatment Stations, the values were more critical in the dry period. All of the samples in the study showed a genotoxic and mutagenic potential, as they were able to induce changes in the genetic material of the test organism, as well as the reduction of mitotic index and inhibition of root growth which can be evidenced mainly in the following points, P1 and P2 of the dry period with greater damage identified in the Sewage Treatment Station East. During the rainy season the genotoxic and mutagenic potential of the samples was lower in both seasons in relation to the dry period. Therefore it is possible the most significant results found in the Sewage Treatment Station East may be induced due to the launching of xenobiotics which comes from other anthropogenic sources such as the clean cesspools vehicles which discharge the wastes collected at this sewage treatment station. These residues may contain a complex mixture of agents causing the mutagenic effect, which may be compromising the efficiency of the Sewage Treatment Station East.

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



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Mapa de localização do município em estudo, Teresina, PI.....	36
<b>Figura 2</b> - Estação de Tratamento de Esgoto Leste, Teresina, PI.....	41
<b>Figura 3</b> - Estação de Tratamento de Esgoto Pirajá, Teresina, PI.....	41
<b>Figura 4</b> – Identificação dos pontos de coleta do rio Poti, ETE-Leste, Teresina, PI.....	43
<b>Figura 5</b> – Identificação dos pontos de coleta rio Parnaíba, ETE-Pirajá, Teresina, PI....	44
<b>Figura 6</b> - Raízes de <i>A. cepa</i> cultivadas em amostras de água e efluente dos rios Poti e Parnaíba na estação seca.....	66

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Pontos de amostragem ETE-Leste, Teresina, Piauí.....	43
<b>Tabela 2</b> - Pontos de amostragem ETE-Pirajá, Teresina, Piauí.....	44
<b>Tabela 3</b> – Parâmetros físico-químicos das amostras de água e efluente tratado do Rio Poti (ETE-Leste) no período seco 2015/2016, Teresina-PI.....	50
<b>Tabela 4</b> – Parâmetros físico-químicos das amostras de água e efluente tratado do Rio Parnaíba (ETE-Pirajá) no período seco 2015/2016, Teresina-PI.....	51
<b>Tabela 5</b> – Parâmetros físico-químicos das amostras de água e efluente tratado do Rio Poti (ETE-Leste) no período chuvoso 2016, Teresina-PI.....	56
<b>Tabela 6</b> – Parâmetros físico-químicos das amostras de água e efluente tratado do Rio Parnaíba (ETE-Pirajá) no período chuvoso 2016, Teresina-PI.....	57
<b>Tabela 7</b> - Análise microbiológica das amostras de água e efluente tratado do Rio Poti (ETE-Leste) no período seco 2015/2016, Teresina-PI.....	59
<b>Tabela 8</b> - Análise microbiológica das amostras de água e efluente tratado do Rio Parnaíba (ETE-Pirajá) no período seco 2015/2016, Teresina-PI.....	60
<b>Tabela 9</b> - Análise microbiológica das amostras de água e efluente tratado do Rio Poti (ETE-Leste) no período chuvoso de 2016, Teresina-PI.....	61
<b>Tabela 10</b> - Análise microbiológica das amostras de água e efluente tratado do Rio Parnaíba (ETE-Pirajá) no período chuvoso de 2016, Teresina-PI.....	62
<b>Tabela 11</b> - Índice mitótico, aberrações cromossômicas, micronúcleos e comprimento da raiz em <i>A. cepa</i> expostos à água e efluente tratado do Rio Poti (ETE-Leste) no período seco 2015/2016, Teresina-PI.....	68
<b>Tabela 12</b> - Índice mitótico, aberrações cromossômicas, micronúcleos e comprimento da raiz em <i>A. cepa</i> expostos à água e efluente tratado do Rio Parnaíba (ETE-Pirajá) no período seco 2015/2016, Teresina-PI.....	69
<b>Tabela 13</b> - Índice mitótico, aberrações cromossômicas, micronúcleos e comprimento da raiz em <i>A. cepa</i> expostos à água e efluente tratado do Rio Poti (ETE-Leste) no período chuvoso 2016, Teresina-PI.....	71
<b>Tabela 14</b> - Índice mitótico, aberrações cromossômicas, micronúcleos e comprimento da raiz em <i>A. cepa</i> expostos à água e efluente tratado do Rio Parnaíba (ETE-Pirajá) no período chuvoso 2016, Teresina-PI.....	72

## **LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS**

AC – Aberrações Cromossômicas

AGESPISA - guas e Esgotos do Piauí S.A

APHA - American Public Health Association

ANOVA - Análise Unidirecional de Variância

CETESB – Companhia Ambiental de São Paulo

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CN – Controle Negativo

CP – Controle Positivo

DNA - cido Desoxirribonucleico

EPA - Agência de Proteo Ambiental

ETE - Estao de Tratamento de Esgoto

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IM – ndice Mitótico

MN – Micronúcleos

OMS – Organizao Mundial da Saúde

PEAD – Polietileno de Alta Densidade

RIDE - Região Integrada de Desenvolvimento da Grande Teresina

SEMPHAM - Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenao

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	15
2.1 Geral.....	15
2.2 Específicos.....	15
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	16
3.1 Poluição aquática.....	16
3.2 Desenvolvimento urbano, saneamento básico e lançamento de efluentes.....	18
3.3 Estação de Tratamento de Esgoto e Legislação Ambiental.....	20
3.4 Genotoxicidade e mutagenicidade da água.....	22
3.5 Teste <i>Allium cepa</i> .....	23
3.6 Parâmetros físico-químicos.....	27
3.6.1 Potencial hidrogeniônico – pH.....	27
3.6.2 Temperatura.....	28
3.6.3 Amônia.....	28
3.6.4 Condutividade elétrica.....	29
3.6.5 Cloretos.....	29
3.6.6 Detergentes.....	30
3.6.7 Demanda bioquímica de oxigênio – DBO.....	31
3.6.8 Demanda química de oxigênio – DQO.....	32
3.6.9 Fósforo total.....	32
3.6.10 Oxigênio dissolvido – OD.....	33
3.6.11 Nitrato.....	33
3.6.12 Sólidos sedimentáveis.....	34
3.7 Variáveis microbiológicas.....	35
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	36
4.1 Caracterização da área de estudo.....	36
4.2 Rios Poti e Parnaíba.....	37
4.3 Estação de Tratamento de Esgoto – ETE.....	40
4.4 Coleta das amostras de águas e efluente tratado.....	42
4.5 Pontos de Coleta.....	43
4.6 Análise de genotoxicidade e mutagenicidade com <i>Allium cepa</i> nas amostras de água e efluente tratado.....	45
4.7 Avaliação dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos.....	46
4.8 Análise estatística.....	47
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	48
5.1 Análise dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos.....	48
5.2 Estações de Tratamento de Esgoto – ETE-Leste e Pirajá.....	48
5.3 Testes microbiológicos.....	59
5.4. Teste <i>Allium cepa</i> .....	64
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	74
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	76

## 1 INTRODUÇÃO

Dentre os ambientes afetados pela poluição, um dos mais atingidos é o aquático, posto que, à 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 da água ser um solvente versátil, capaz de levar as substâncias químicas para longe dos focos de contaminação, o que pode comprometer outros ambientes (LEME, 2007).

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). Os esgotos domésticos e os efluentes industriais são as principais fontes responsáveis por esta contaminação, pois estes resíduos são frequentemente tóxicos e sua presença pode degradar seriamente o ambiente (WHITE; RASMUSSEM, 1998).

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, sendo que uma série de políticas e normas ambientais são implementadas visando definir critérios para locais de descarga e nível de tratamento exigido para garantir que os impactos ambientais da disposição desses efluentes tratados sejam aceitáveis (SPERLING, 2005).

Todo o esgoto coletado em Teresina é tratado em três estações de tratamento de esgotos: Estação de Tratamento de Esgoto (ETE)-Alegria, ETE-Leste e ETE-Pirajá. Após o tratamento adequado esse efluente de esgoto retorna para os rios Poti e Parnaíba (MONTEIRO, 2004). Estes rios recebem expressivo volume de esgotos produzidos na zona urbana de Teresina, além de serem os corpos receptores dos efluentes processados nas estações de tratamento (Lagoas de Estabilização). Na margem direita do rio Parnaíba, no bairro Pirajá, localiza-se a ETE-Pirajá, que atende a região Centro/Norte. O rio Poti é o principal corpo receptor dos efluentes tratados pela ETE-Leste, situada em sua margem direita, bem como dos efluentes da ETE-Alegria, localizada na margem esquerda.

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 construídos pelo homem e destinados a armazenar resíduos líquidos de natureza orgânica e, esgoto

sanitário bruto e sedimentado, despejos industriais orgânicos e oxidáveis ou águas residuárias oxidadas. O tratamento é feito através de processos naturais: físicos, biológicos e bioquímicos, denominados autodepuração ou estabilização (MONTEIRO, 2011).

Apesar da eficiência dos sistemas de lagoas de estabilização, especialmente quanto à remoção de patógenos e matéria orgânica, tem-se a necessidade de estudos sistemáticos que avaliam a dinâmica do real impacto dos efluentes das lagoas nos rios Parnaíba e Poti.

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

Por outro lado, 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 valores de inibição de crescimento de raízes e parâmetros microscópicos, quanto às aberrações celulares em metáfases ou anáfases e inibição de células em divisão (FISKESJÖ, 1988; VESNA *et al.*, 1996; BARBÉRIO *et al.*, 2011).

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).

A presente pesquisa tem como objetivo avaliar a toxicidade e o potencial genotóxico e mutagênico induzidas por amostras de efluentes de esgoto tratado pelas lagoas de estabilização das ETE's Leste e Pirajá com a utilização do teste *Allium cepa*, bem como comparar os resultados obtidos da ETE-Leste que recebe além do esgoto doméstico da rede coletora, o esgoto de características desconhecida transportado pelos veículos Limpa Fossas, com os da ETE-Pirajá que recebe apenas esgoto doméstico. Destaca-se também que nesta pesquisa, além da avaliação genotóxica e mutagênica, realizou-se a análise dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos das amostras de efluente tratado pelas referidas Estações de Tratamento de Esgoto, obtidos pelo Laboratório Central da empresa Águas e Esgotos do Piauí S.A (AGESPISA).

Nesse contexto, surge a pergunta norteadora da pesquisa: O efluente final, tratado pelas lagoas de estabilização nas Estações de tratamento possui potencial genotóxico e

mutagênico? E a recepção de esgotos oriundos de veículos Limpa Fossas compromete a eficiência do tratamento da ETE-Leste, e a qualidade da água do rio Poti?

Este cenário remete às seguintes hipóteses de estudo:

- É possível a existência de potencial genotóxico e mutagênico no efluente tratado na ETE-Leste, uma vez que a composição do esgoto proveniente dos veículos Limpa Fossas é desconhecido;
- Apesar de ser, um esgoto desconhecido, a estação ETE-Leste tem capacidade de tratá-lo;
- O nível de genotoxicidade e mutagenicidade da ETE-Leste é maior do que a da ETE-Pirajá.

Este trabalho justifica-se pela importância de conhecer o grau de genotoxicidade e eventual mutagenicidade, presente no efluente de esgoto tratado na ETE-Leste e Pirajá no município de Teresina, que são lançados no Rio Poti e Parnaíba, respectivamente, baseando-se na utilização de um bioindicador de qualidade ambiental, o *Allium cepa*, um bioensaio cientificamente reconhecido, de custos compatíveis com a simplicidade do método, capaz de identificar a toxicidade e o potencial mutagênico das concentrações de poluentes de origem orgânica encontradas no rio Poti.

Este trabalho é apresentado na forma de capítulos: 1 - Introdução; 2 – Objetivos Geral e Específicos; 3 - Referencial Teórico; 4 - Material e Métodos; 5 - Resultados e Discussões; 6 – Conclusão e 7- Referências.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1. Geral**

Avaliar a toxicidade e o potencial genotóxico e mutagênico induzidas por amostras de efluentes de esgoto tratado por sistemas de lagoas de estabilização na cidade de Teresina – PI.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Analisar os parâmetros físico-químicos e microbiológicos de amostras de efluente de esgoto tratado pela ETE-Leste e Pirajá, de acordo com as resoluções CONAMA N° 357/2005 e 430/2011;
- Analisar os efeitos genotóxicos e mutagênicos induzidas por amostras de água e esgoto tratados em quatro pontos distintos nos períodos chuvoso e seco na ETE-Leste e ETE-Pirajá através do teste *Allium cepa*;
- Comparar os resultados físico-químicos, microbiológicos e os do teste *Allium cepa* da ETE-Leste e ETE-Pirajá;



### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Poluição aquática

O crescente desenvolvimento urbano e industrial têm provocado diversos impactos negativos ao meio ambiente, dentre eles destaca-se a poluição dos ecossistemas aquáticos, sendo um dos mais afetados pela ação antrópica, principalmente através do lançamento de efluentes domésticos e industriais sem o tratamento adequado, comprometendo seriamente a qualidade ambiental desse ecossistema.

De acordo com a lei nº 6.938/1981 que diz respeito à Política Nacional do Meio Ambiente sob nº, a poluição ambiental pode ser definida como a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente, prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; afetem desfavoravelmente a biota; afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos (BRASIL, 1981). Desta forma, a utilização desordenada dos recursos naturais e o mau gerenciamento das atividades humanas têm provocado graves impactos aos ecossistemas, comprometendo seriamente a qualidade e a manutenção dos mesmos (YANG; GUO; SHEN, 2011).

A poluição ambiental pode ocorrer tanto em áreas rurais como em áreas urbanas; por disposições contínuas ou eventuais; por fontes localizadas ou por transportes a longas distâncias. Desta forma, os impactos podem promover severas alterações nos ecossistemas e danos graves aos organismos vivos, como por exemplo: acúmulo de poluentes orgânicos nos tecidos dos organismos de locais muito distantes da fonte poluidora, contaminação de corpos d'água superficiais e subterrâneos ou ainda contaminação de solos florestais por poluentes lançados nas regiões industrializadas (EUGRIS, 2013).

A poluição das águas é consequência principalmente de atividades humanas como: lançamento de efluentes domésticos e industriais sem tratamento prévio. Condições geoquímicas específicas, como chuvas e atividades vulcânicas, também podem elevar a concentração de alguns compostos em determinado ecossistema podendo causar problemas locais (ROSA *et al.*, 2012).

As fontes de poluição aquática podem ser classificadas de várias formas, considerando a origem, principais componentes, as propriedades e seus efeitos. Existem

três categorias diferentes de poluição: (i) descargas pontuais onde as substâncias químicas entram no ecossistema através de lançamentos locais, (ii) crônicos em que as descargas ocorrem ao longo do tempo, contaminando uma área mais extensa e (iii) lançamentos difusos nos quais as substâncias são lançadas por períodos (RICHARDSON, 2003).

Dentre os principais poluentes químicos lançados no meio aquático estão os fertilizantes (MIRLEAN *et al.*, 2002), os metais (VENKATRAMREDDY *et al.*, 2009), agrotóxicos (TREPÓS *et al.*, 2012), os químicos industriais (HENDRYX *et al.*, 2012), os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) (CELINO *et al.*, 2010), e os efluentes urbanos (CHEN *et al.*, 2013), sendo que muitos desses contaminantes atingem o ambiente aquático por meio de lançamento de efluentes que não recebem o tratamento adequado, antes de serem lançados nos corpos hídricos (KNIE; LOPES, 2004). Segundo Liu e Li (2010), em todos os núcleos urbanos quer sejam vilarejos ou grandes cidades, o lançamento de esgotos nos nossos rios é uma constante, sem que haja perspectivas de soluções.

Existem centenas, talvez milhares de poluentes que afetam o meio ambiente aquático e cujos efeitos são preocupantes (MATEUCA *et al.*, 2006). Os poluentes aquáticos mais frequentes são os patógenos, os resíduos orgânicos, os sedimentos, nutrientes e os poluentes químicos. Tais poluentes podem se espalhar pela superfície e/ou pela coluna d'água formando "soluções", que podem resultar em efeitos indesejáveis ao ecossistema. Poluentes orgânicos como os pesticidas, compostos químicos industriais, (Bifenilas Policloradas - PCBs), solventes, detergentes e os derivados de petróleo são prejudiciais para o ecossistema aquático (LEGAY *et al.*, 2010).

Além do alto grau de toxicidade dos produtos químicos lançados em ambientes aquáticos, esses também podem apresentar características genotóxicas e mutagênicas e que podem induzir alterações nas sequências de bases do DNA, aumentando o surgimento de mutações que, quando acumuladas, podem desencadear o aparecimento de doenças degenerativas e de processos neoplásicos nos organismos expostos (RIBEIRO; MARQUES, 2003).

### **3.2 Desenvolvimento urbano, saneamento básico e lançamento de efluentes**

A urbanização não resulta somente em impactos ambientais, mas também causa a chamada “pegada ecológica” em sua vizinhança, devido à exploração intensiva e extensiva dos recursos naturais, extração de recursos em larga escala e retirada excessiva de água, contribuindo para degradação dos sistemas naturais com danos irreversíveis a funções ecológicas como o ciclo hidrológico (MOTA, 2011).

O crescimento urbano desordenado gera riscos a saúde da população devido à falta de tratamento de efluente e serviços de coleta e a disposição de resíduos sólidos, que produz uma fonte de contaminação interna na cidade que ajuda a propagar doenças ou epidemias, aumento do risco e frequência de cheias, deterioração do meio ambiente, áreas degradadas por erosão; poluição dos rios e áreas costeiras, diminuindo a capacidade de recuperação destes ambientes devido às altas cargas poluentes (TUCCI, 2005).

Para Morais (2012), as atividades humanas, sejam elas domésticas, comerciais ou industriais, afetam direta ou indiretamente a qualidade dos corpos hídricos, devido cada tipo de atividade gerar poluentes específicos que, em determinadas concentrações no corpo receptor, podem comprometer seu uso frente às demandas previstas.

No mundo globalizado, o crescimento das atividades econômicas demanda maior abastecimento de água e saneamento, o que acaba por exercer uma maior pressão sobre os recursos hídricos e os ecossistemas naturais. Frente a essa realidade, a urbanização exige investimentos significativos em infraestrutura hídrica para o abastecimento e o esgotamento das águas residuais, como forma de evitar que as águas poluídas e não tratadas representem riscos à saúde pública (TUCCI, 2006).

A inadequada utilização dos recursos hídricos é responsável, direta ou indiretamente, por uma série de problemas ambientais que afetam o meio urbano e deteriora a qualidade de vida, principalmente em áreas periféricas, devido à insuficiente rede de esgotos, a existência de conexões clandestinas no sistema de águas pluviais e de lançamentos diretos nos rios (MAROTTA; SANTOS; ENRICH-PRAST, 2008).

Percebe-se que à medida que o desenvolvimento urbano acontece, surgem novas atividades e demandas antrópicas que intensificam a produção de resíduos que acabam por contaminar os cursos d’água, com o despejo inadequado de poluentes sem o devido tratamento, afetando toda a biodiversidade presente nesses ecossistemas.

Existe no Brasil aproximadamente 206.081.432 habitantes, com quase 90% dessa população vivendo no espaço urbano, o que conseqüentemente provoca impactos aos recursos hídricos, por não existirem na mesma proporção do aumento da população, investimentos em saneamento básico das áreas densamente povoadas (IBGE, 2016).

Observa-se que o Brasil atende 48,1% da população, com rede de esgotamento sanitário, e apenas 37,5% dos esgotos gerados são tratados. A Região Nordeste é a segunda maior, em termos populacionais, ficando atrás somente da Região Sudeste, contudo, acaba se tornando a segunda pior região do Brasil, em atendimento e tratamento de esgoto. Apenas 30% dos esgotos gerados são tratados e 21% da população é atendida. Teresina, assim como o Estado do Piauí, encontra-se com índices bem inferiores (BRASIL, 2011).

Nuvolari (2013) aponta o saneamento básico como o conjunto de soluções relativas a abastecimento de água, disposição do esgoto sanitário e dos resíduos sólidos gerados, entendendo que o termo adequado e mais amplo é “saneamento ambiental”, compreendido como um conjunto de ações para preservar o meio ambiente e melhorar a saúde e a qualidade de vida da população.

Em média, a composição do esgoto sanitário é de 99,9% de água e apenas 0,1% de sólidos, em que cerca de 75% desses sólidos são constituídos de matéria orgânica em processo de decomposição. Nesses sólidos, proliferam microrganismos, podendo ocorrer organismos patogênicos, dependendo da saúde da população contribuinte. Esses microrganismos são oriundos das fezes humanas. Podem, ainda, ocorrer poluentes tóxicos, em especial fenóis e os chamados “metais pesados”, da mistura com efluentes industriais (MONTEIRO, 2011).

Nagy *et al.*, (2013) sugerem que a presença de metais induz rupturas de DNA e que, embora este tipo de dano possa ser reparado em breve, exposições crônicas podem representar uma forma de lesões contínuas que podem realmente danificar o DNA irreversivelmente. Alguns metais pesados são considerados elementos essenciais para a vida, enquanto outros não têm uma função biológica definida. Estes metais são geralmente tóxicos para uma variedade de diferentes organismos e ecossistemas e têm uma capacidade limitada para receber esses metais sem efeitos tóxicos (MARET, 2016).

No que diz respeito ao conceito de saneamento básico, a Lei nº 11.445/07, em seu artigo 3º, inciso I, define que ele compreende o abastecimento de água potável, o esgotamento sanitário, a limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e a drenagem e o manejo das águas pluviais urbanas. Em outras palavras, trata-se do ciclo da água, desde

a sua captação, passando por seu tratamento e distribuição à população e encerrando-se no consumo final, que engloba o esgotamento sanitário – a coleta e tratamento nas estações de esgoto – além da coleta de lixo, drenagem urbana e manejo de águas pluviais (DUARTE, LAHOZ, 2015).

Dados apontam que aproximadamente metade da população do País dispõe esgotos domésticos em rede coletora de esgotos ou de águas pluviais. Mais de 20 milhões de brasileiros têm a fossa séptica como solução para seus dejetos. Dessa forma, o Brasil ainda conta com um contingente populacional numeroso sem acesso a essas práticas e serviços, nota-se que o nordeste representa quase a metade do déficit em afastamento dos esgotos sanitários no País (BRASIL, 2014).

Os esgotos domésticos, tratados ou não, quando lançados num corpo de água, irão provocar alteração nas suas características físicas, químicas e biológicas. Essa alteração será maior ou menor, dependendo do grau de tratamento a que se submete o esgoto, ou então do nível de diluição proporcionado pelo corpo receptor.

Oliveira (2012) aponta, que a baixa cobertura de tratamento de esgoto em Teresina, a falta de conscientização ambiental da população e a falta de investimentos em ações preventivas de poluição de seus corpos hídricos, deve ter atenção especial e ressalta a importância de realizar monitoramentos da qualidade das águas dos seus rios, como forma de subsidiar ações preventivas para controle da saúde dos recursos hídricos e também da população.

### **3.3 Estação de Tratamento de Esgoto e a Legislação Ambiental**

Estação de tratamento de esgoto (ETE) é o conjunto de técnicas associadas a unidades de tratamento, equipamentos, órgãos auxiliares (canais, caixas, vertedores, tubulações) e sistemas de utilidades (água potável, combate a incêndio, distribuição de energia, drenagem pluvial), cuja finalidade é reduzir cargas poluidoras do esgoto sanitário e condicionamento da matéria residual resultante do tratamento (MONTEIRO, 2004).

Nas unidades de tratamento, são realizadas as diversas operações e processos unitários que promovem a separação entre os poluentes em suspensão e dissolvidos e a água a ser descarregada no corpo receptor, bem como o condicionamento dos resíduos retidos (NUVOLARI *et al.*, 2003).

Diversas operações e processos são utilizados nas unidades de tratamento de esgoto, para separar os poluentes em suspensão e dissolvidos e a água a ser descarregada no corpo receptor, sendo, uma delas, a lagoa de estabilização, como é utilizado nas estações de tratamento de esgoto de Teresina.

Essas lagoas são biorreatores capazes de armazenar o esgoto sanitário bruto, resultando na estabilização da matéria orgânica, por meio de processos biológicos. Conforme a estabilização, por meio da matéria orgânica, as lagoas podem ser do tipo: facultativa, anaeróbica, facultativa aerada, de decantação e maturação (MONTEIRO, 2004).

Sperling (2005) descreve que 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. Assim, o estabelecimento de políticas e normas ambientais é necessário para definir critérios para locais de descarga e nível de tratamento exigido para garantir que os impactos ambientais da disposição desses efluentes tratados não comprometam a qualidade dos recursos hídricos.

Os usos preponderantes dos recursos hídricos estão estabelecidos na Resolução CONAMA nº 357/05 que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e define treze classes de qualidade para as águas doces, salobras e salinas do território nacional. No que tange à qualidade das águas superficiais, a resolução citada possui alguns padrões descritivos referentes aos ensaios ecotoxicológicos, por exemplo, o artigo 8º, inciso 4º, requer que as possíveis interações entre as substâncias e a presença de contaminantes não listados na mesma, passíveis de causar danos aos seres vivos, sejam investigadas utilizando-se ensaios ecotoxicológicos, como por exemplo, o teste *Allium cepa* (BRASIL, 2005).

Em relação às condições e padrões de lançamento de efluentes a Resolução CONAMA nº 430 de 2011, que complementou e alterou a Resolução nº 357 de 2005, diz em seu artigo 16, que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água, após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta resolução e em outras normas aplicáveis. A resolução supracitada afirma que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis (BRASIL, 2011).

Para uma melhor avaliação das amostras ambientais, que geralmente são caracterizadas por misturas complexas, é necessário realizar análises mais diversas, de modo que se possa estimar, de forma mais eficiente e rápida, a agressão e, assim, permitir uma ação efetiva para evitar mais danos que possam promover Agressão ao meio ambiente (OMS, 2001).

### **3.4 Genotoxicidade e Mutagenicidade da água**

A genética toxicológica investiga os mecanismos de ação de agentes tóxicos que são capazes de induzir interações altamente específicas com os ácidos nucléicos, podendo resultar em danos genéticos, como mutação de ponto, erros durante o mecanismo de replicação do DNA, irregularidade mitótica, dentre outros (MATSUMOTO; MARIN-MORALES, 2005).

A maioria dos testes genéticos busca agentes que possam afetar o genoma. Devido à universalidade do código genético, se um agente pode causar danos ao DNA têm potencial genotóxico em qualquer tipo de célula (animais, vegetais ou micro-organismos) (VILLELA *et al.*, 2003).

Os agentes genotóxicos são aqueles que interagem com o DNA, alterando a sua estrutura ou função. Quando essas alterações se fixam e adquirem a capacidade de serem transmitidas, passam a ser denominadas de mutações (UMBUZEIRO; ROUBICEK, 2003).

As mutações são convencionalmente classificadas em gênicas (ou pontuais) e cromossômicas. As mutações gênicas referem-se às mudanças de um ou poucos nucleotídeos do polímero de DNA, por deleções, duplicações e/ou alterações de pares de bases, que acabam modificando, portanto, o funcionamento de um gene. Já nas mutações cromossômicas, há uma reorganização na estrutura do DNA por translocação, inversão, deleção, duplicação, fusão e fissão dos cromossomos, alterando o complemento cromossômico em estrutura e/ou número (JUNDI; FREITAS, 2003).

De acordo com Mitchelmore e Chipman (1998), a genotoxicidade, atividade de um agente tóxico capaz de danificar a molécula de DNA, é consequência de alguns fatores como, a poluição ambiental, fatores naturais como, a influência dos metais presentes no ambiente na indução da quebra do DNA e também as fontes naturais de radioatividade.

Os compostos genotóxicos e mutagênicos encontram-se distribuídos nos ecossistemas aquáticos e terrestres (solo e ar), sendo transferidos e acumulados, podendo causar efeitos deletérios aos organismos expostos (UMBUZEIRO; ROUBICEK, 2003).

As alterações que ocorrem na molécula de DNA podem ser passíveis ou não de correção pelo sistema de reparo celular. Quando são passíveis de correção, o agente promotor é chamado de agente genotóxico, mas quando tais alterações não são corrigidas pelo sistema de reparo da célula, o agente promotor é chamado de mutagênico. Desta forma, as alterações no DNA resultantes de erros ocasionais, ocorridos durante a divisão celular, podem resultar no aparecimento de mutações (RIBEIRO; MARQUES, 2003).

Com o crescimento da população humana e da produção industrial houve um aumento das descargas poluidoras, que provocaram a deterioração do meio ambiente. Os ecossistemas aquáticos são os mais afetados, pois acabam de uma forma ou outra, servindo como receptores temporários ou definitivos, de uma enorme gama de substâncias, capazes de induzir danos no material genético dos organismos expostos e à população humana que interage com este ecossistema aquático (CLAXTON *et al.*, 1998; ANDRADE *et al.*, 2004; MATSUMOTO *et al.*, 2006; EGITO *et al.*, 2007).

Visto que a poluição aquática é uma das mais alarmantes, muitos estudos de biomonitoramento de águas de rios vêm sendo desenvolvidos, não só aqui no Brasil como em muitos lugares do mundo (MATSUMOTO *et al.*, 2006; PANTALEÃO *et al.*, 2006; SOUZA; FONTANETTI, 2006; EGITO *et al.*, 2007).

### **3.5 Teste *Allium cepa***

O biomonitoramento ambiental significa obter medidas através de algum organismo biológico, seja ele como um todo ou através de um determinado tecido. Existem três principais situações que levam a um biomonitoramento: (1) onde existem razões para se acreditar que espécies nativas estão sendo ameaçadas; (2) quando há implicações para a saúde humana quanto ao consumo de organismos potencialmente afetados; e (3) quando existe o interesse de conhecer a qualidade ambiental (DA SILVA *et al.*, 2003).

Muitas plantas servem como bioindicadores para avaliação de efeitos mutagênicos e para o monitoramento ambiental, pela alta sensibilidade que apresentam na detecção



dos fatores da poluição e para a toxicidade dos compostos químicos (LEME; MARIN-MORALES, 2009).

Os ensaios com vegetais são úteis para se testar amostras ambientais de misturas complexas como esgoto (GROVER; KAUR, 1999), águas de rios, açudes (RANK; NIELSEN, 1998) e solos contaminados (KOVALCHUCK *et al.*, 1998; COTELLE *et al.*, 1999).

A comprovação da eficiência dos ensaios genotóxicos realizados nos vegetais, para o monitoramento ambiental, deu-se pelos estudos internacionais colaborativos que receberam o apoio do Programa Ambiental das Nações Unidas (UNEP), da Organização Mundial de Saúde (OMS) e também da *E.U. Environmental Protection Agencia* (EPA dos Estados Unidos) (MA *et al.*, 1995). Estes testes permitem a observação de diferentes parâmetros genéticos, como as aberrações cromossômicas, que ocorrem a partir de mutações pontuais, tanto em células individuais como em órgãos (GRANT, 1994).

O uso de vegetais superiores no diagnóstico e no monitoramento da poluição ambiental tem sido utilizado por diversos autores. Dentre esses vegetais, o *Allium cepa* (cebola) tem sido utilizado na determinação dos efeitos citotóxicos, genotóxicos e mutagênicos de inúmeras substâncias (GRANT, 1994).

As plantas do gênero *Allium* têm sido usadas para avaliar a toxicidade de efluentes e de muitos compostos (ARAMBASIC *et al.*, 1995; RANK; NIELSEN, 1998; TIPIRDAMAZ *et al.*, 2003; TABREZ; AHMAD, 2011). Uma vez que o teste *Allium cepa* é um sistema eucariótico, pode proporcionar um maior grau de proximidade quando comparado com os efeitos prováveis sobre a biota exposta a substâncias tóxicas, como as descarregadas pelas indústrias têxteis, derramamentos de petróleo, etc. (HOSHINA; MARIN-MORALES, 2009; MAZZEO *et al.*, 2011).

Muitos estudos têm considerado o teste *Allium cepa*, como uma técnica muito eficaz para determinar a toxicidade e os níveis de poluição no meio ambiente (GROVER; KAUR, 1999; CHADRA *et al.*, 2005; FATIMA; AHAMAD, 2006; EGITO *et al.*, 2007; LEME; MARIN-MORALES, 2008; CARITÁ; MARIN-MORALES, 2008; LEME; MARIN-MORALES, 2009; BIANCH *et al.*, 2011; MAZZEO *et al.*, 2011; VENTURA-CAMARGO *et al.*, 2011). O teste faz uso do índice mitótico (IM) como indicador do nível de proliferação celular (LEME; MARIN-MORALES, 2009). Valores reduzidos ou aumentados deste parâmetro podem indicar a presença de agentes citotóxicos (FERNANDES *et al.*, 2007).

Além da sensibilidade na detecção dos efeitos citotóxicos, genotóxicos e mutagênicos, a espécie *A. cepa* tem sido indicada como um eficiente organismo-teste, graças às características que possui, como: conhecimento do seu ciclo celular; resposta à inúmeros mutágenos conhecidos; o rápido crescimento de suas raízes; o grande número de células em divisão; a sua alta tolerância às diversas condições de cultivo; a sua disponibilidade, pelo seu fácil manuseio e por possuir cromossomos em número reduzido ( $2n=16$ ) e de grande tamanho, fator fundamental para estudos de avaliação de danos cromossômicos e/ou de distúrbios do ciclo de divisão celular, incluindo riscos de aneuploidia (FISKEJÖ, 1985; QUINZANI-JORDÃO, 1987; GRANT, 1994; EVSEEVA et al., 2003; EGITO et al., 2007; MARIN-MORALES, 2009).

O uso de *A. cepa* como sistema teste foi originalmente introduzido por Levan, em 1938, quando este demonstrou que a colchicina poderia causar distúrbios no fuso mitótico, levando a uma poliploidização das células meristemáticas das raízes de *A. cepa*. Mais tarde, este mesmo autor mostrou que diferentes soluções de sais orgânicos induziam diversos tipos de aberrações cromossômicas nas células meristemáticas das raízes desse vegetal (LEVAN, 1945).

A utilização de *Allium cepa* L. (cebola comum) tem sido recomendada para análises de efluentes devido a sua elevada sensibilidade, baixo custo, rapidez, facilidade de manipulação e da utilização de amostras sem tratamento prévio, determinando-se a diminuição do índice mitótico e a formação de aberrações cromossômicas (LEME; MARIN- MORALES, 2009).

Substâncias genotóxicas são capazes de induzir danos em células parentais, surgindo fragmentos cromossômicos que resultam de quebras que não são incorporados no núcleo principal das células filhas após a mitose, definindo-se como pequenos corpos contendo DNA e localizados no citoplasma, chamados de Micronúcleos (MN) (SCHMID, 1975). Além de possibilitar a análise de aberrações cromossômicas, no teste *Allium cepa* é possível também identificar a presença de micronúcleos.

O teste de Micronúcleos (MN) tem sido recomendado para estudos de biomonitoramento, principalmente por sua capacidade de detectar agentes clastogênicos (quebra de cromossomos), e de agentes aneugênicos (segregação cromossômica anormal) requerendo, no entanto, proliferação celular para a observação do biomarcador de efeito (FENECH, 2000; RIBEIRO et al., 2003).

Os micronúcleos são pequenos corpúsculos nucleares representando o material genético que foi perdido pelo núcleo principal como consequência de um dano genético.

Após a separação das cromátides, no processo mitótico, dois núcleos são reconstituídos, um em cada polo. A membrana nuclear é refeita ao redor destes dois conjuntos cromossômicos. Mas se um cromossomo inteiro ou um fragmento cromossômico acêntrico não se integra ao novo núcleo (por não estar unido ao fuso), este também pode constituir um pequeno núcleo individual (IARMARCOVAI *et al.*, 2007; HOLLAND *et al.*, 2008).

O teste do MN é uma importante técnica usada no monitoramento ambiental, pois avalia a potencialidade mutagênica de agentes presentes no ambiente, sendo considerado um bioindicador que consegue avaliar a mutagenicidade do ecossistema (SOUZA; FONTANETTI, 2006). Logo, o teste do micronúcleo tem se mostrado uma técnica promissora *in vivo* e *in vitro* para avaliar a mutagenicidade e a qualidade da água (ALSABTI; METCALFE, 1995; GRISOLIA; STARLING, 2001).

Os bioensaios realizados com *A. cepa*, quando comparados com bioensaios realizados com animais, são considerados mais sensíveis para avaliações ambientais e de mais fácil execução (LEME; MARIN-MORALES, 2008), uma vez que a espécie *A. cepa* possui uma alta taxa de germinação e um comportamento cromossômico bem conhecido, o que permite a obtenção de resultados seguros e consistentes (ALVIM *et al.*, 2011).

As células meristemáticas de *A. cepa* constituem um material citogenético eficaz para analisar aberrações cromossômicas causadas pela poluição ambiental (KRISTEN, 1997), uma vez que podemos quantificar uma série de parâmetros morfológicos e citogenéticos, incluindo a morfologia e o crescimento da raiz, a determinação do índice mitótico, a indução de micronúcleos e de metáfases, anáfases e telófases aberrantes (GRANT, 1994; EVSEEVA *et al.*, 2003; EGITO *et al.*, 2007; LEME; MARIN-MORALES, 2009).

A incidência de anomalias durante a mitose nos cromossomos de células meristemáticas de *Allium cepa* é um método fácil para estudar os mecanismos de vários compostos genotóxicos e mutagênicos (KONUK *et al.*, 2007; LEME; MARIN-MORALES 2008; YILDIZ *et al.*, 2009; LIMAN *et al.*, 2010, 2011, 2012; ÖZKARA *et al.*, 2011); em ambientes diferentes, tais como aquático (BIANCHI *et al.* 2011; CARITÁ; MARIN MORALES 2008); bem como em habitats terrestres e na análise de solos (SOUSA *et al.*, 2009, 2013).

### 3.6 Parâmetros físico-químicos

As análises físico-químicas e microbiológicas são de grande relevância para a avaliação da qualidade da água, além disso, essas análises também são importantes na certificação dos resultados encontrados pelos testes biológicos utilizados na área de monitoramento ambiental. A seguir possui a descrição dos parâmetros utilizados na pesquisa junto a sua importância para avaliação da qualidade de água.

#### 3.6.1 pH (Potencial Hidrogeniônico)

A influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos naturais dá-se diretamente devido a seus efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies. Também o efeito indireto é muito importante podendo, em determinadas condições de pH, contribuir para a precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados; outras condições podem exercer efeitos sobre as solubilidades de nutrientes. Desta forma, as restrições de faixas de pH são estabelecidas para as diversas classes de águas naturais de acordo com a legislação federal, os critérios de proteção à vida aquática fixam o pH entre 6 e 9 (CETESB, 2013).

Nas condições padrões (25 °C e 1 atm), o pH igual a 7 corresponde à neutralidade, valores inferiores correspondem à faixa ácida e valores superiores a 7, à faixa básica (alcalina) (VILLANUEVA, 2012). Este se destaca por ser um fator de influência em grande parte das reações químicas (AGUIRRE-GONZÁLES *et al.*, 2011), sendo uma característica importante a ser controlada em um manancial, visto que influencia nos processos biológicos que ocorrem no meio aquático, bem como na toxicidade de alguns compostos nele presentes e no controle dos processos físico-químicos de tratamento de efluentes industriais, uma vez que são muitos os exemplos de reações dependentes de pH.

Nos sistemas biológicos formados nos tratamentos de esgotos, o pH é também uma condição que influi decisivamente no processo de tratamento. Normalmente, a condição de pH que corresponde à formação de um ecossistema mais diversificado e a um tratamento mais estável é a de neutralidade, tanto em meios aeróbios como nos anaeróbios.(CETESB, 2013). De acordo com Umbuzeiro (2012), o pH influencia no grau de solubilidade de diversas substâncias, na distribuição das formas livre e ionizada

de diversos compostos químicos, definindo inclusive o potencial de toxicidade de vários elementos.

### 3.6.2 Temperatura

A temperatura desempenha um papel crucial no meio aquático, condicionando as influências de uma série de variáveis físico-químicas. Em geral, à medida que a temperatura aumenta, de 0 a 30°C, viscosidade, tensão superficial, compressibilidade, calor específico, constante de ionização e calor latente de vaporização diminuem, enquanto a condutividade térmica e a pressão de vapor aumentam. Variações de temperatura são parte do regime climático normal e corpos de água naturais apresentam variações sazonais e diurnas, bem como estratificação vertical. A temperatura superficial é influenciada por fatores tais como latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade. A elevação da temperatura em um corpo d'água geralmente é provocada por despejos industriais (indústrias canavieiras, por exemplo) e usinas termoelétricas (CETESB, 2013).

A temperatura da água e dos fluidos em geral informa a magnitude da energia cinética do movimento aleatório das moléculas e sintetiza o fenômeno de transferência de calor à massa líquida, sendo diretamente proporcional à velocidade das reações químicas, à solubilidade das substâncias e ao metabolismo dos organismos presentes no ambiente aquático (KULKARNI; CHELLAN, 2010). De acordo com Molnar *et al.*, (2012), a temperatura é um fator que influencia quase todos os processos físicos, químicos e biológicos da água.

### 3.6.3 Amônia

A amônia ( $\text{NH}_3$ ) é a forma mais reduzida, seguida do íon nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e do íon nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). Em ambientes aeróbios provavelmente encontra-se a forma mais oxidada de íons nitrato enquanto que, em ambientes anaeróbios, existirão as formas reduzidas como nitrogênio ( $\text{N}_2$ ), amônia ( $\text{NH}_3$ ) e íons nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) (SHAH; MITCH, 2012). Ela é o maior resíduo nitrogenado produzido através do metabolismo dos aminoácidos, sendo, na água, reduzida a nitrito pela nitrificação bacteriana antes de ser convertida a nitrato (VILANUEVA *et al.*, 2012).

A amônia é um tóxico bastante restritivo à vida dos peixes, sendo que muitas espécies não suportam concentrações acima de 5 mg/L. Além disso, como visto anteriormente, a amônia provoca consumo de oxigênio dissolvido das águas naturais ao ser oxidada biologicamente, a chamada DBO de segundo estágio. Por estes motivos, a concentração de nitrogênio amoniacal é um importante parâmetro de classificação das águas naturais e é normalmente utilizado na constituição de índices de qualidade das águas (CETESB, 2013).

Águas com predominância de nitrogênio orgânico e amoniacal caracterizam poluição por descarga de esgoto recente. Já os nitratos indicam poluição remota, uma vez que estes são o produto final de oxidação do nitrogênio. O nitrogênio na forma de amônia livre é tóxico aos peixes, e dentro dos processos bioquímicos a conversão de amônio a nitrito e deste o nitrato consome o oxigênio dissolvido no meio, alterando a condição de vida aquática (MOULEY *et al.*, 2010; MOLNAR *et al.*, 2012).

#### **3.6.4 Condutividade Elétrica**

A condutividade é a expressão numérica da capacidade de uma água conduzir a corrente elétrica. Depende das concentrações iônicas e da temperatura e indica a quantidade de sais existentes na coluna d'água e, portanto, representa uma medida indireta da concentração de poluentes. Em geral, níveis superiores a 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  indicam ambientes impactados. A condutividade também fornece uma boa indicação das modificações na composição de uma água, especialmente na sua concentração mineral, mas não fornece nenhuma indicação das quantidades relativas dos vários componentes. A condutividade da água aumenta à medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados. Altos valores podem indicar características corrosivas da água (CETESB, 2013).

Segundo Yang, Guo e Shen (2011), a água possui potencial de ionização baixo e, portanto pequenas quantidades de soluções condutoras nelas dissolvidas (ácidos inorgânicos, bases e sais) incrementam a sua condutividade. Já soluções pouco ionizáveis como as formadas por compostos orgânicos apresentam baixa condutividade.

#### **3.6.5 Cloretos**

O cloreto é o ânion  $\text{Cl}^-$  que se apresenta nas águas subterrâneas, oriundo da percolação da água através de solos e rochas. Nas águas superficiais, são fontes

importantes de cloreto as descargas de esgotos sanitários, sendo que cada pessoa expele através da urina cerca 4 g de cloreto por dia, que representam cerca de 90 a 95% dos excretos humanos. O restante é expelido pelas fezes e pelo suor (WHO, 2014).

O cloreto na forma iônica é um dos principais anions inorgânicos presentes nas águas e efluentes, geralmente, provêm da dissolução de minerais ou da intrusão de águas do mar, podem também, advir dos esgotos domésticos ou industriais (química, tintas, explosivos, fósforos, papel, galvanoplastia, processamento de couro e de alimentos) em altas concentrações, conferindo sabor salgado à água ou propriedades laxativas (SHAH; MITCH, 2012).

A concentração de cloreto em águas de abastecimento público constitui um padrão de aceitação, já que provoca sabor “salgado” na água. Concentrações acima de 250 mg/L causam sabor detectável na água, mas o limite depende dos cátions associados. O cloreto provoca corrosão em estruturas hidráulicas, como, por exemplo, em emissários submarinos para a disposição oceânica de esgotos sanitários, que por isso têm sido construídos com polietileno de alta densidade (PEAD). Apresenta também influência nas características dos ecossistemas aquáticos naturais, por provocarem alterações na pressão osmótica em células de microrganismos (CETESB, 2013).

### **3.6.6 Detergentes**

Os detergentes são substâncias que reduzem a tensão superficial de um líquido, sendo estes compostos, também considerados tensoativos. Eles são produtos sintéticos produzidos a partir de derivados do petróleo, começaram a ser produzidos comercialmente a partir da segunda guerra mundial, devido à escassez de óleos e gorduras necessários para fabricação de sabões (SILVA *et al.*, 2011).

O principal tensoativo presente nos detergentes de uso doméstico é o aniônico, como o alquilbenzeno sulfonato (ABS), que teve uma grande aceitação no mercado por apresentar maior eficiência comparada aos sabões. Mas devido apresentar elevados problemas na estação de tratamento de rede de esgoto, com grandes formações de espuma, teve de ser substituído por tensoativos biodegradáveis como os alquilbenzeno sulfonato linear (LAS) (PENTEADO, 2006).

Devido ao fato de os tensoativos reduzirem a tensão superficial dos líquidos, há uma grande facilidade das bolhas se formarem e se multiplicarem, quando recebem fricção. E ao utilizar detergentes compostos por tensoativos não biodegradáveis, há

formação de espuma que não se degrada, e ficará imersa sobre lagos e rios, causando um grande impacto visual e prejudicando a saúde dos animais aquáticos podendo levá-los a morte (ROSA; AFONSO, 2008).

A concentração de detergentes nos recursos hídricos pode ocasionar diminuição de oxigênio dissolvido, por causa da tensão superficial; diminuição da permeabilidade da luz, devido o excesso de espuma sobre a água; aumento de compostos xenobióticos, compostos químicos estranhos a um organismo ou sistema biológico, dificultando sua degradação (PENTEADO, 2006).

A carga de poluição decorrente da presença de detergentes e sabões é muito pequena se comparada com outros poluentes presentes no esgoto, apesar disso, sabões e detergentes podem contribuir de maneira bastante desfavorável para a poluição das águas e dificultar os procedimentos de tratamento de esgoto residuais (ALMEIDA *et al.*, 2003).

### **3.6.7 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)**

A DBO de uma água é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável. A DBO é normalmente considerada como a quantidade de oxigênio que seria necessário fornecer às bactérias aeróbias, para consumirem a matéria orgânica presente em um líquido (água ou esgoto). A DBO é determinada em laboratório, observando-se o oxigênio consumido em amostras do líquido, durante 5 dias, à temperatura de 20 °C (CETESB, 2013).

A informação mais importante que esse teste fornece é sobre a fração dos compostos biodegradáveis presentes no efluente. Muito importante, inclusive, para trabalhos de tratabilidade de águas residuais. O teste de DBO é muito usado para avaliar o potencial de poluição de esgotos domésticos e industriais em termos do consumo de oxigênio. O teste também é utilizado para a avaliação e controle de poluição, além de ser utilizado para propor normas e estudos de avaliação da capacidade de purificação de corpos receptores de água (PESSOA; JORDÃO, 2009).

Os maiores aumentos em termos de DBO, num corpo d'água, são provocados por despejos de origem predominantemente orgânica. A presença de um alto teor de matéria orgânica pode induzir ao completo esgotamento do oxigênio na água, provocando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática. Um elevado valor da DBO



pode indicar um incremento da microflora presente e interferir no equilíbrio da vida aquática, além de produzir sabores e odores desagradáveis e, ainda, pode obstruir os filtros de areia utilizados nas estações de tratamento de água (CETESB, 2013).

### **3.6.8 Demanda Química de Oxigênio (DQO)**

A DQO corresponde à quantidade de oxigênio necessária para oxidar a fração orgânica de uma amostra que seja oxidável pelo permanganato ou dicromato de potássio em solução ácida. O valor obtido indica o quanto de oxigênio um determinado efluente líquido consumiria de um corpo d'água receptor após o seu lançamento, se fosse possível mineralizar toda a matéria orgânica presente, de modo que altos valores de DQO podem indicar um alto potencial poluidor (LINS, 2010).

Uma das grandes vantagens da DQO sobre a DBO é que permite respostas em tempo menor (duas horas com dicromato ou minutos em aparelhos específicos). Além disso, o teste de DQO não engloba somente a demanda de oxigênio satisfeita biologicamente (como na DBO), mas tudo o que é susceptível a demandas de oxigênio, em particular os sais minerais oxidáveis (PESSOA; JORDÃO, 2009).

Os valores da DQO normalmente são maiores que os da DBO, sendo o teste realizado num prazo menor, o aumento de sua concentração num corpo d'água deve-se principalmente a despejos de origem industrial. É um parâmetro indispensável nos estudos de caracterização de esgotos sanitários e de efluentes industriais, e muito útil quando utilizada conjuntamente com a DBO para observar a biodegradabilidade de despejos (CETESB, 2013).

### **3.6.9 Fósforo Total**

O fósforo é um importante nutriente para os processos biológicos e seu excesso pode causar a eutrofização das águas. Entre as fontes de fósforo destacam-se os esgotos domésticos, pela presença dos detergentes superfosfatados e da própria matéria fecal. A drenagem pluvial de áreas agrícolas e urbanas também é uma fonte significativa de fósforo para os corpos d'água. Entre os efluentes industriais destacam-se os das indústrias de fertilizantes, alimentícias, laticínios, frigoríficos e abatedouros (ANA, 2010).

O fósforo pode se apresentar nas águas sob três formas diferentes. Os fosfatos orgânicos são a forma em que o fósforo compõe moléculas orgânicas, como a de um detergente, por exemplo. Os ortofosfatos são representados pelos radicais, que se combinam com cátions formando sais inorgânicos nas águas e os polifosfatos, ou fosfatos condensados, polímeros de ortofosfatos. Assim como o nitrogênio, o fósforo constitui-se em um dos principais nutrientes para os processos biológicos, ou seja, é um dos chamados macro-nutrientes, por ser exigido também em grandes quantidades pelas células. Nesta qualidade, torna-se parâmetro imprescindível em programas de caracterização de efluentes industriais que se pretende tratar por processo biológico (CETESB, 2013).

### **3.6.10 Oxigênio Dissolvido (OD)**

O oxigênio dissolvido (OD) é de fundamental importância para sobrevivência de seres aquáticos aeróbios, por exemplo, peixes e micro-organismos que o utilizam no seu processo respiratório. É o critério mais importante na determinação das condições sanitárias das águas superficiais. Avalia o efeito de despejos oxidáveis de origem orgânica no recurso hídrico, serve como indicador das condições de vida na água e avalia o processo de alta purificação (HANSEN *et al.*, 2012). Ele é um parâmetro medido em campo, sendo que baixas concentrações de oxigênio estão relacionadas com altas concentrações de matéria orgânica (DBO), alta temperatura das águas, baixa vazão, ausência de corredeiras (USEPA, 1978, 1998, 1999).

A determinação do oxigênio dissolvido é essencial para avaliar o tipo de processo metabólico predominante no ecossistema aquático. As condições aeróbias favorecem a decomposição aeróbia da matéria orgânica, originando um produto final estabilizado ou mineralizado, e gerando produtos inodoros e não tóxicos como CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O. Um corpo aquático com baixa concentração de oxigênio apresenta odor desagradável devido ao estabelecimento de condições de anaerobiose que se caracterizam pelos processos de fermentação da matéria orgânica (BRASIL, 2005).

### **3.6.11 Nitrato**

O nitrato é encontrado de forma natural na água e no solo em baixas concentrações. A deposição de material orgânico no solo aumenta drasticamente a

quantidade de nitrogênio. Esse nitrogênio é bioquimicamente transformado e por fim se transforma em nitrato que possui grande mobilidade no solo alcançando o manancial subterrâneo e ali se depositando (CAMPOS; ROHLFS, 2011).

O nitrato ocorre naturalmente em águas subterrâneas, mas a sua presença em concentrações elevadas é geralmente resultante da atividade antrópica, dentre elas se destacam principalmente a aplicação de fertilizantes orgânicos e inorgânicos e o uso de sistemas de saneamento *in situ*. As substâncias nitrogenadas dos fertilizantes e dos resíduos orgânicos são transformadas e oxidadas por reações químicas e biológicas e o resultado é a presença de nitrato no solo. Sendo o nitrato extremamente solúvel em água, move-se com facilidade e contamina a água subterrânea (BARBOSA, 2005).

Valores elevados de nitrato na água de consumo humano estão associados à ocorrência de metahemoglobinemia infantil. O nitrato causa oxidação da hemoglobina normal à metahemoglobina, que não é capaz de transportar oxigênio para os tecidos. Em organismos adultos, tais compostos são responsáveis por elevados índices de câncer de estômago (CETESB, 2013).

### **3.6.12 Sólidos Sedimentáveis (SSed)**

Em saneamento, sólidos nas águas correspondem a toda matéria que permanece como resíduo, após evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma temperatura pré-estabelecida durante um tempo fixado. Nos estudos de controle de poluição das águas naturais, principalmente nos estudos de caracterização de esgotos sanitários e de efluentes industriais, as determinações dos níveis de concentração das diversas frações de sólidos resultam em um quadro geral da distribuição das partículas com relação ao tamanho (sólidos em suspensão e dissolvidos) e com relação à natureza (fixos ou minerais e voláteis ou orgânicos) (CETESB, 2013).

Para o recurso hídrico, os sólidos podem causar danos aos peixes e à vida aquática. Eles podem sedimentar no leito dos rios destruindo organismos que fornecem alimentos ou, também, danificar os leitos de desova de peixes. Os sólidos podem reter bactérias e resíduos orgânicos no fundo dos rios, promovendo decomposição anaeróbia. Altos teores de sais minerais, particularmente sulfato e cloreto, estão associados à tendência de corrosão em sistemas de distribuição, além de conferir sabor às águas (CETESB, 2013).

Sólidos Sedimentáveis (SSed), é a porção dos sólidos em suspensão que se sedimenta sob a ação da gravidade durante um período de uma hora, a partir de um litro de amostra mantida em repouso em um cone Imhoff. O nível de sólidos sedimentáveis nos efluentes finais descarregados pelas indústrias é também extremamente importante por se tratar de parâmetro da legislação. Na Resolução n° 357/05 do CONAMA aparece como padrão de emissão 1 mL/L de sólidos sedimentáveis.

### 3.7 Variáveis Microbiológicas

As bactérias do grupo coliforme são os principais indicadores de contaminação fecal e assume importância como parâmetro indicador da possibilidade da existência de microrganismos patogênicos (WHO, 2014).

O uso do grupo de coliforme e mais especificamente *Escherichia coli* como indicador de qualidade microbiológica data de seu primeiro isolamento de fezes no final do século XIX (WHITE; RASMUSSEN, 1998). Consolidou-se no meio técnico a tendência do emprego da análise de *E. coli* no monitoramento de água bruta e de coliformes totais para efluentes de estações de tratamento de água e da própria eficiência do tratamento realizado (CHU *et al.*, 2011).

Coliformes termotolerantes são definidos como microrganismos do grupo coliforme capazes de fermentar a lactose a 44-45°C, sendo representados principalmente pela *Escherichia coli* e, também por algumas bactérias dos gêneros *Klebsiella*, *Enterobacter* e *Citrobacter*. Dentre esses microrganismos, somente a *E. coli* é de origem exclusivamente fecal, sendo raramente encontrada na água ou solo que não tenham recebido contaminação fecal. Os demais podem ocorrer em águas com altos teores de matéria orgânica, como por exemplo, efluentes industriais, ou em material vegetal e solo em processo de decomposição. A *Escherichia coli*, é a principal bactéria do subgrupo dos coliformes termotolerantes, sendo de origem exclusivamente fecal, considerada o indicador mais adequado de contaminação fecal em águas doces. (CETESB, 2013).

A Agência Nacional de Águas (2010) destaca que as bactérias coliformes termotolerantes são indicadoras de poluição por esgotos domésticos e Alves (2011) enfatiza que sua presença indica risco da ocorrência de outros microrganismos patogênicos, responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica.

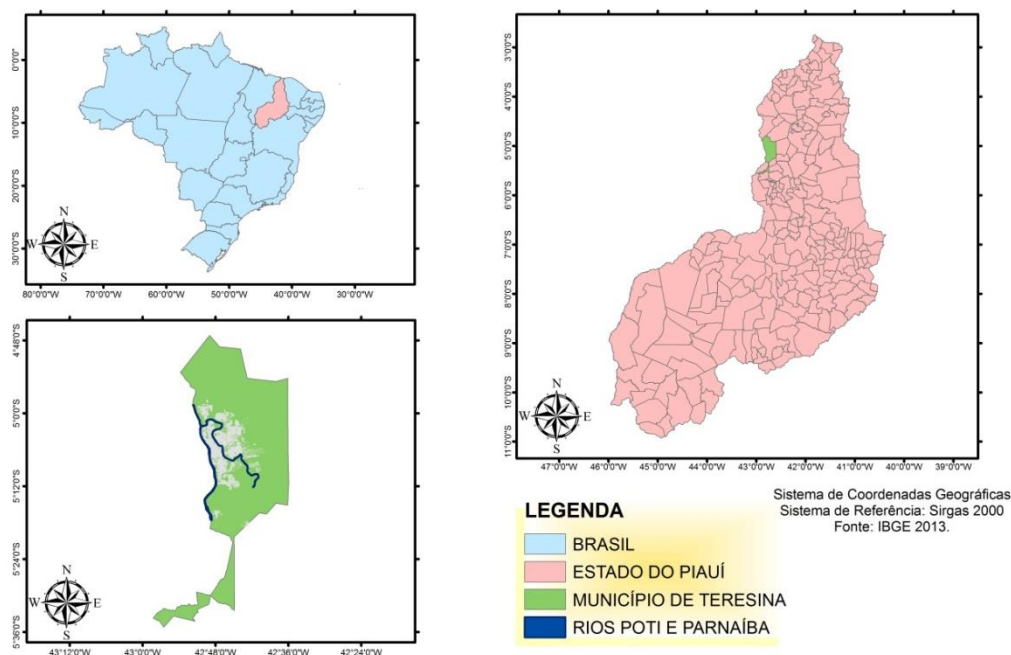
## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Caracterização da área de estudo

A capital piauiense, Teresina (Figura 1), está localizada na Mesorregião Centro-Norte piauiense, entre as coordenadas 5°08' de latitude sul e 42°8' 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).

Trata-se da primeira capital brasileira planejada, tendo sua fundação oficializada em 16 de agosto de 1852, se tornando capital por sua localização mais central, bem como pela navegabilidade dos rios Poti e Parnaíba. De acordo com a Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação de Teresina (SEAMPLAM), a capital tem 17% de sua área considerada urbana e 83% área rural (PMT, 2015).

**Figura 1** – Mapa de localização do município em estudo, Teresina – PI



**Fonte:** COSTA, 2016. Adaptado IBGE, 2013.

A área metropolitana da capital, Região Integrada de Desenvolvimento da Grande Teresina (RIDE), Teresina é composta pelos municípios de Teresina, Altos, Beneditinos, Coivaras, Curralinhos, Demerval Lobão, José de Freitas, Lagoa Alegre,

Lagoa do Piauí, Miguel Leão, Monsenhor Gil, Nazária, Pau D'arco e União, no Estado do Piauí, além do município de Timon, que pertence ao Estado do Maranhão e juntos totalizam 1.154.716 de habitantes segundo dados do Censo Demográfico (IBGE, 2011).

A temperatura média ao longo do ano no município de Teresina, assim como, em toda a região nordeste, sofre poucas alterações. Este fenômeno ocorre devido ao Estado do Piauí estar localizado próximo à linha do Equador, onde a incidência da radiação solar intensifica o calor sobre a região de Teresina no decorrer do ano (PMT, 2015).

A capital piauiense, Teresina, está localizada na confluência de dois importantes rios federais, o Parnaíba e o Poti, seu crescimento urbano desordenado nas últimas décadas, somado a uma gestão ineficaz dos seus recursos hídricos tem deixado-os vulneráveis ao aumento da poluição e a diversos impactos que podem trazer malefícios socioeconômicos e epidêmicos para a população local (OLIVEIRA, 2012).

Apresenta clima tropical e chuvoso (megatérmico) de savana, com inverno seco e verão chuvoso; o ar atmosférico apresenta temperatura anual de 26,8°C, podendo atingir temperaturas extremas de 38,6°C, o que causa certo grau de desconforto; possui precipitação média anual de 1.339mm, sendo a umidade relativa do ar (média anual) de 70% (MACHADO; PEREIRA; ANDRADE, 2010).

O relevo do município conta com uma das mais baixas altitudes do Estado (100-150m), formando uma área de chapada com relevo plano e suaves ondulações. A vegetação predominante em Teresina é a típica de Cerrado, com cobertura vegetal de médio porte e densa. Faz-se presente, também, na área do município, a vegetação de matas e de coqueirais que servem de matéria prima para diversas atividades (PMT, 2015).

#### **4.2 Rios Poti e Parnaíba**

O rio Parnaíba possui extensão aproximada de 1.485 km com sua nascente principal localizada na Chapada das Mangabeiras com o nome de riacho Água Quente a uma altitude de 700 m, entre os limites dos Estados de Tocantins, Maranhão e Piauí. Ele deságua no oceano Atlântico, apresentando uma foz do tipo delta onde concentra cerca de setenta ilhas, com áreas que variam de dezenas a centenas de metros quadrados (ARAÚJO, 2006).

O Rio Parnaíba, principal rio piauiense que apresenta regime perene em todo o seu curso e recebe contribuições de vários tributários importantes e do lençol freático,

desde sua nascente até a foz e o Rio Poti, um dos principais tributários do Rio Parnaíba de regime considerado intermitente, apresentando uma vazão média anual de 121 m<sup>3</sup>/s (PMT, 2015).

A Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba, uma das mais importantes bacias da Região Nordeste, apresenta uma área de 331.441 Km<sup>2</sup>, sendo 249.497 Km<sup>2</sup> no território piauiense, 65.492 Km<sup>2</sup> no Estado do Maranhão, 13.690 Km<sup>2</sup> no Ceará e, ainda, 2.762 Km<sup>2</sup> de área em litígio entre Piauí e Ceará (MMA, 2006).

Depois da bacia do rio São Francisco, a Região Hidrográfica do Parnaíba é hidrologicamente a segunda mais importante da Região Nordeste. Sua região hidrográfica é a mais extensa dentre as 25 bacias da Vertente Nordeste e abrange o Estado do Piauí e parte dos Estados do Maranhão e do Ceará. A região, no entanto, apresenta grandes diferenças inter-regionais tanto em termos de desenvolvimento econômico e social quanto em relação à disponibilidade hídrica. Os principais afluentes do Parnaíba são os rios: Balsas, situado no Maranhão; Poti e Portinho, cujas nascentes localizam-se no Ceará; e Canindé, Piauí, Uruçui-Preto, Gurguéia e Longa, todos no Piauí (ANA, 2015).

O Rio Parnaíba é um dos maiores rios do Nordeste tendo um importante papel socioeconômico. Constatamos este fato principalmente pela potencialidade de seus recursos naturais que propiciam aptidão para o desenvolvimento de inúmeras atividades: pesqueiras e agropastoris, de navegabilidade, de energia elétrica, de abastecimento urbano, de lazer, dentre outras (BRASIL, 2006).

A hidrografia do rio Poti está inserida na Bacia Hidrográfica do rio Parnaíba, a segunda maior em importância na região Nordeste brasileira, que representa a mais densa rede hidrográfica dessa região, abrangendo todo o Estado do Piauí, que corresponde a 75% da área total da bacia, terras do Estado do Maranhão (19%) e do Estado do Ceará (6%) (CODEVASF, 2006).

A Bacia do rio Poti localiza-se entre as coordenadas 4°06' e 6°56' de latitude sul e 40°30' e 42°50' de longitude oeste, mas no Piauí o limite da bacia ao norte está em 4°20' de latitude sul e o leste em 40°58' de longitude oeste. A área de drenagem da bacia do rio Poti abrange 24 municípios, compreendendo 52.370 km<sup>2</sup>, sendo 38.797 km<sup>2</sup> localizados no Estado do Piauí. O rio Poti possui como principais afluentes, pela margem esquerda, os rios Berlangas e Sambito e, pela margem direita, os rios Canudos e Capivara (BRASIL, 2004).

A Bacia Hidrográfica do Rio Poti, sub-bacia do Rio Parnaíba, compreende um território de aproximadamente 50.000 Km<sup>2</sup>, que corresponde a, aproximadamente, 16% da área total da Bacia do Rio Parnaíba. O Rio Poti tem regime intermitente, com vazão média anual de 121 m<sup>3</sup>/s (PMT, 2015).

O rio Poti, com 550 km de extensão, tem suas nascentes na região oeste do Estado do Ceará, na Serra dos Cariris Novos, na localidade Jatobá, a aproximadamente 800 metros de altitude. À semelhança dos seus tributários, o rio Poti é um rio que depende das chuvas, portanto suas águas evoluem conforme o desenrolar da estação chuvosa, como costuma acontecer com os rios do Semiárido (BRASIL, 2004).

Em Teresina, as águas do Rio Poti não estão disponibilizadas à população para abastecimento público. Em relação ao meio ambiente construído, o estabelecimento do comércio ao longo das avenidas implantadas em suas margens, valorizou as áreas ao seu redor. Ele tem importância para a população, pelo fornecimento de pescados, de minerais para a construção civil, como área de lazer (balneabilidade) e pela utilização de suas margens para a agricultura (MENDES-CÂMERA, 2011).

A maior densidade demográfica da bacia do rio Poti está na cidade de Teresina, o que torna importante a busca de dados e informações por meios da avaliação e monitoramento da qualidade da água deste rio, para se conhecer as condições e variações atuais do nível de poluição e seus efeitos ao meio ambiente e à população (SEMAR, 2004).

A baixa cobertura de tratamento de esgoto em Teresina, somada a uma insuficiente conscientização ambiental da população e poucos investimentos em ações preventivas da poluição dos seus corpos hídricos, chama atenção para a importância da realização do monitoramento da qualidade das águas de seus rios, como meio de subsidiar ações preventivas para controle da saúde dos recursos hídricos bem como da população (OLIVEIRA, 2012).

A melhoria da qualidade das águas dos corpos receptores é indispensável em virtude do seu uso pela população para atividades de lazer, haja vista Teresina apresentar elevadas temperatura durante o ano, em virtude de suas características climáticas, o que estabelece natural atração pela prática de esportes aquáticos e recreação de contato primário com o rio (MONTEIRO, 2004).



### 4.3 Estação de Tratamento de Esgoto – ETE

As Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) tem a função de diminuir a poluição dos esgotos sanitários e condicionar a matéria residual resultante do tratamento. Diversas operações e processos são utilizados nas unidades de tratamento de esgoto, para separar os poluentes em suspensão e dissolvidos e a água a ser descarregada no corpo receptor, sendo, uma delas, a lagoa de estabilização, como é utilizado nas estações de tratamento de esgoto de Teresina (PMT, 2015).

O tratamento de esgoto coletivo em Teresina teve início em 1969 e foi parcialmente concluído em 1972, com a implantação da primeira etapa da rede coletora de esgoto com 42 quilômetros, ampliada, depois, em mais seis quilômetros. Em 1974, foi implantada a primeira lagoa de estabilização na Estação de Tratamento de Esgoto do Pirajá (ETE Pirajá), para atender o tratamento de esgoto de 1.200 ligações. No ano de 1993, começaram as obras para implantação de outra lagoa na ETE Leste. Em 1995, foi implantada a ETE Alegria na zona Sul de Teresina, e, ainda assim, os esgotos domésticos coletados e tratados, até o ano de 1997, correspondiam a apenas 4% do total de ligações de água (PMT, 2015).

A Estação de Tratamento de Esgoto Leste está localizada na Rua Adalberto Correia Lima, no Bairro Ininga. Situa-se à margem direita do Rio Poti, a uma distância mínima de 200 metros das edificações residenciais. Tem 15 hectares de lagoas de tratamento, numa área total de 40 hectares.

A ETE-Leste trata os esgotos coletados nos bairros Iningá, Planalto Uruguai, Piçarreira, Santa Izabel, Morada do Sol, São Cristovão, Horto, Jóquei, Fátima, Noivos, entre outros, Enquanto que a ETE Pirajá trata os esgotos coletados nos bairros Pirajá, parte do Matadouro, parte do bairro Primavera, Matinha, Marquês, Centro, Ilhotas, Cabral, Cristo Rei, Aeroporto, São Joaquim, entre outros (ENGESOFT, 2013).

A ETE-Leste (Figura 2) possui sistema de gradeamento, desarenação e lagoas de estabilização, sendo uma lagoa facultativa aerada, duas lagoas facultativas e duas de maturação. Dispõe ainda, de uma laboratório físico-químico e um bacteriológico, onde são realizadas análises do efluente (PMT, 2015).

**Figura 2** - Estação de Tratamento de Esgoto Leste, Teresina, PI



**Fonte:** MONTEIRO, 2011. Adaptado MÜLLER, 2004.

A Estação de Tratamento de Esgoto Pirajá (Figura 3) é a mais antiga, localizada na Avenida Maranhão, margem direita do Rio Parnaíba. Foi projetada para atender à população da zona Norte e a uma pequena parcela da região central. Atualmente, a ETE possui sistema de gradeamento e desarenação, cujo tratamento se dá por meio de uma lagoa facultativa aerada e por uma lagoa de maturação (PMT, 2015).

**Figura 3** - Estação de Tratamento de Esgoto Pirajá, Teresina, PI



**Fonte:** MONTEIRO, 2011. Adaptado MÜLLER, 2004.

Sua atividade teve início em 1972, com tratamento primário, por meio de apenas uma lagoa. Em 1998, foram iniciadas obras de ampliação, foi construído um sistema de separação de sólidos grosseiros, alteração das dimensões da lagoa existente, instalação de dez aeradores e execução da lagoa de maturação (ROCHA *et al.*, 2001).

As estações de tratamento de esgoto, ETE-Pirajá, que despeja seu efluente final no rio Parnaíba e a ETE-Leste que despeja no rio Poti, 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 Fossas, que recolhem esgoto de fossas instaladas em regiões que não recebem cobertura do saneamento básico. De modo que, este volume de esgoto passou a ser lançado na ETE-leste, para não ser depositado no Aterro Controlado da cidade de Teresina.

Em 2012 a ETE-Leste recebia cerca de 20 caminhões de 7.000l em média (total de 140.000l/dia) de efluentes de fossas sépticas. Em 2014 este valor já atinge 45 caminhões de 7.000l cada o que totaliza cerca de 315.000l/dia. A ETE tem capacidade de receber estes caminhões, o problema está na carga orgânica proveniente desses efluentes e muitas vezes das características diversas que podem conter, com composições diferentes de um simples efluente doméstico, já que não se tem controle 100% da procedência dos efluentes (PMT, 2015).

#### **4.4 Coleta das amostras de águas e efluente tratado**

A coleta das amostras de água e efluente foi realizada com o uso de garrafas de plásticos de 1.500 mL (1,5 L), sendo feita 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), no período da manhã, primeiramente, os frascos de plástico foram submergidos nas águas do local de coleta, para uma lavagem prévia do mesmo com a água do ponto a ser coletado; logo após este procedimento, coletou-se as amostras nos pontos em estudo.

Após a coleta, os frascos foram, imediatamente, lacrados para o transporte, mantidos sob refrigeração até o momento dos testes. 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”.

#### 4.5 Pontos de Coleta

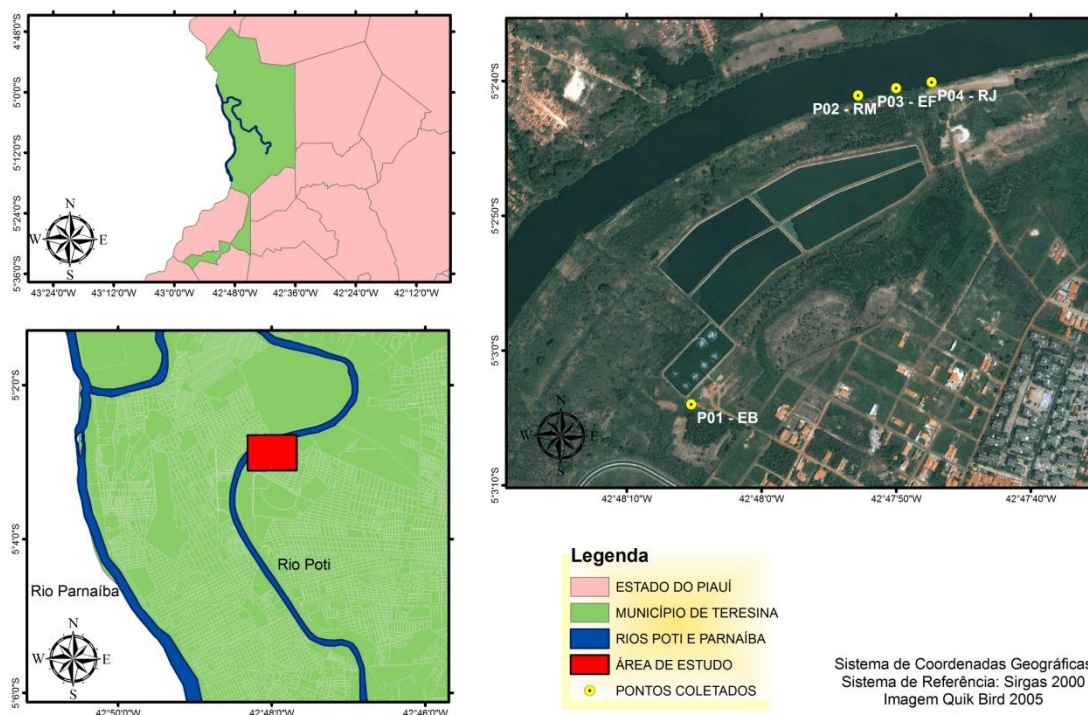
As amostras de água foram coletadas em quatro pontos distintos das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE's) em estudo: esgoto bruto, sem tratamento, rio montante, o rio jusante e o próprio efluente final, ponto de lançamento do esgoto tratado no rio (Tabelas 01 e 02).

**Tabela 1** - Pontos de amostragem ETE-Leste, Teresina, PI

ETE - LESTE			
Ponto	Nome	Latitude	Longitude
P1	Esgoto Bruto - EB	5° 3'5.41"S	42°48'6.71"
P2	Rio Montante – RM	5° 2'43.11"S	42°47'54.27"O
P3	Efluente Final - EF	5° 2'42.18"S	42°47'51.05"O
P4	Rio Jusante - RJ	5° 2'41.75"S	42°47'47.82"O

Fonte: COSTA, 2016.

**Figura 4** – Identificação dos pontos de coleta do rio Poti – ETE-Leste, Teresina, PI



Fonte: COSTA, 2016. Adaptado IBGE, 2013.



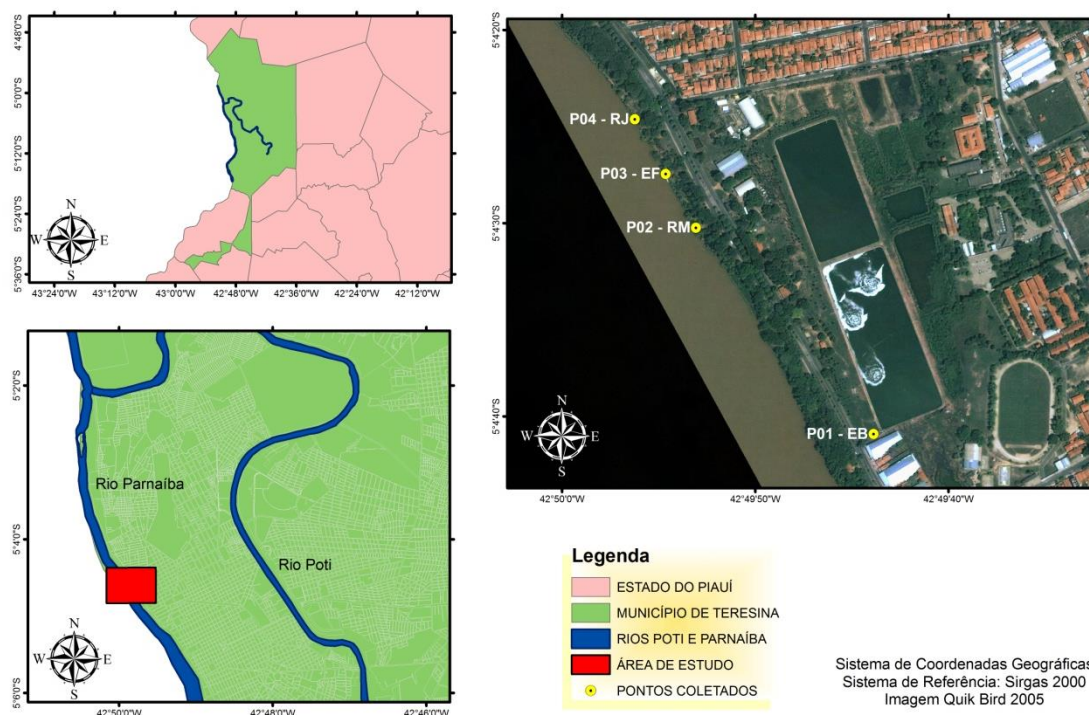
As coletas foram realizadas em dois períodos do ano, para contemplar as diferentes condições climáticas da região: estação seca e chuvosa. Foram realizadas seis coletas, sendo três no período seco, novembro, dezembro de 2015 e janeiro de 2016, e três no período chuvoso, fevereiro, março e abril de 2016.

**Tabela 2** - Pontos de amostragem ETE-Pirajá, Teresina, PI

ETE - PIRAJÁ			
Ponto	Nome	Latitude	Longitude
P1	Esgoto Bruto - EB	5° 4'42.30"S	42°49'45.31"O
P2	Rio Montante – RM	5° 4'31.26"S	42°49'54.50"O
P3	Efluente Final - EF	5° 4'28.31"S	42°49'55.71"O
P4	Rio Jusante - RJ	5° 4'25.55"S	42°49'57.86"O

Fonte: COSTA, 2016.

**Figura 5** – Identificação dos pontos de coleta rio Parnaíba – ETE-Pirajá, Teresina, PI



Fonte: COSTA, 2016. Adaptado IBGE, 2013.

#### **4.6 Análise de genotoxicidade e mutagenicidade com *Allium cepa* nas amostras de água e efluente tratado**

O teste *Allium cepa* foi realizado no Laboratório de Mecânica dos Flúidos, localizado no Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Piauí–UFPI. 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. Nos testes de toxicidade foram utilizadas cebolas de tamanho uniforme com aproximadamente 5,0 cm de diâmetro, com catafilos externos brancos e saudáveis. É recomendável o uso de cebolas pequenas, de mesma origem, não germinadas. Os bulbos foram adquiridos comercialmente sem agrotóxicos e mantidos em local livre de umidade e ao abrigo da luz.

Antes do experimento, os catáfilos externos secos foram removidos com bisturi, cuidando-se para que a área radicular não fosse danificada. Em seguida os bulbos foram expostos em água de torneira por vinte minutos para que se reduzissem os efeitos de possíveis inibidores do brotamento, e colocados para germinar sobre recipientes apropriados, com a parte inferior mergulhada na solução ou substrato em teste.

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 com o auxílio de régua sendo desprezadas aquelas muito curtas ou muito longas.

Após a mensuração, foram cortadas, sendo 1 cm do ápice das raízes, em um total de quatro raízes por bulbo, 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.

O teste foi conduzido em temperatura refrigerada de 20° C, sobre bancada sem vibrações e sem iluminação direta. Para o preparo das lâminas, 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 realizado a hidrólise com HCL 1N por 11 min, seguido de um novo banho em água destilada a temperatura ambiente. Após, com o auxílio de uma pinça de ponta fina, 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 (quanto mais límpida sair a água da lavagem, maior reatividade do Schiff e melhor coloração 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 feito o squash (esmagamento) com o dedo polegar, com razoável pressão nos locais onde estão dispostos os materiais seccionados.

Após isso 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. O material preparado foi então levado ao microscópio para observação, e posteriormente fotografado para melhor e mais eficiente leitura.

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), que corresponde à relação do número de células em divisão e total de células observadas, em porcentagem, sendo analisada a presença de metáfase, anáfase e telófase. Para a análise de AC, vários tipos de aberrações serão considerados (fragmentos cromossômicos, perdas de cromossomos, pontes, atrasos, entre outros) nas diferentes fases de divisão celular (metáfase, anáfase e telófase). A avaliação da toxicidade foi realizada pela medição do comprimento das raízes médias.

#### **4.7 Avaliação dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos**

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 NMP de coliformes totais e fecais foi realizada pela técnica Colilert que permite determinar o número mais provável de microrganismos na amostra (IDEXX, 2002).

#### **4.8 Avaliação dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos**

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 Prism, versão 5.0.



## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1 Análise dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos**

Os resultados obtidos para os parâmetros físico-químicos das amostras das estações de tratamento de esgoto e rios em estudo durante o período seco (novembro, dezembro de 2015 e janeiro de 2016) e chuvoso (fevereiro, março e abril de 2016) encontram-se nas tabelas 3, 4, 5 e 6. De acordo com o CONAMA 357/2005 enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas classe 2, portanto, as análises físico-químicas e microbiológicas dos dois rios em estudo são baseadas no que diz respeito a essa classificação.

### **5.2 Estações de Tratamento de Esgoto – ETE-Leste e Pirajá**

Em Teresina a temperatura média sofre pouca oscilação ao longo do ano, conforme se constata em toda a região nordeste. Esse fato é marcante devido à localização do estado do Piauí, próximo da linha do equador. Com essa localização, a incidência da radiação solar é quase perpendicular sobre Teresina, o que intensifica a convecção, difundindo o calor sobre toda a área urbana ao longo do ano (SEMPLAN, 2015).

Em relação ao pH das amostras tanto da ETE-Leste e Pirajá analisadas nessa pesquisa, durante o período seco e chuvoso, mantiveram-se dentro da normalidade prevista na Resolução do CONAMA 430/2011, para rios de água doce e efluente tratado, com valores na faixa de 6,9 a 7,8.

As variações de temperatura encontradas para as amostras de água e efluentes coletados durante os períodos seco e chuvoso permaneceram dentro do normal estabelecido pela legislação CONAMA 430/2011, variando entre 29 a 35°C, durante o período em estudo. De acordo com Molnar *et al.*, (2012), a temperatura é um fator que influencia quase todos os processos físicos, químicos e biológicos da água.

Comparando as duas estações de tratamento de esgoto, ETE-Leste e ETE-Pirajá, alguns parâmetros físico-químicos, obtidos a partir da avaliação das amostras de água, em ambas as coletas, apresentaram resultados alterados em relação aos parâmetros vigentes determinados para qualidade de água de acordo com o CONAMA para do rio de classe 2. Tais alterações foram evidenciadas para os valores de amônia, nitrato, condutividade elétrica, detergente, fósforo total, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), oxigênio

dissolvido (OD) e sólidos sedimentáveis, principalmente nos pontos P1 e P3, pontos estes referentes ao esgoto bruto e efluente final (tratado) das estações de tratamento (Tabelas 3, 4, 5 e 6).

Com relação às quantificações dos compostos nitrogenados (amônia e nitrato) mostraram em alguns pontos valores 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. Observou-se valores mais baixos no período chuvoso, e a redução de valores no P3 após o tratamento feito na estação. (Tabelas 3, 4, 5 e 6).

A presença de amônia orgânica ( $\text{NH}_3$ ) e amônio inorgânico ( $\text{NH}_4^+$ ) nos ambientes aquáticos caracterizam uma poluição recente por esgotos domésticos, enquanto a presença de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) caracteriza uma poluição remota, em função de o nitrogênio apresentar-se no seu último estágio. A forma livre de amônia ( $\text{NH}_3$ ) é tóxica, porém muito volátil. Sua conversão a nitrito e depois nitrato consome oxigênio dissolvido, alterando as condições bioquímicas do sistema aquático. A presença de substâncias como a amônia, pode caracterizar um fator limitante para o peixe, quando comparado com os efeitos tóxicos reconhecidos deste composto nesses organismos (CETESB, 2010). Nas duas estações a amônia teve seus valores alterados no P1 (Esgoto bruto) e no P3 (Efluente final), no entanto, no período seco a ETE-Pirajá teve valores bem menores em relação à ETE-Leste, nos pontos, P2 (Rio Montante) e P4 (Rio Jusante), sugerindo que no rio Parnaíba, os níveis de amônia antes e depois do lançamento do efluente tratado possivelmente estavam mais baixos. Já no período chuvoso a amônia teve valores menores encontrados na ETE-Leste.

Já o nitrato teve seus valores em média de acordo com a legislação, os únicos valores alterados foram observados no P1 nas duas estações, destacando valores menores encontrados durante o período chuvoso. Vivian *et al.*, (2010) afirmaram que lagoas de estabilização facultativa possuem elevada capacidade de remoção de nitrato devido ao processo de volatilização e às grandes áreas de superfícies.

Com base nas análises os valores de nitrato da ETE-Leste foram maiores do que a do Pirajá durante o período seco, embora após o tratamento do efluente apresentou valores menores (Tabelas 3 e 4).

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

<b>Parâmetros físico-químicos da água – RIO POTI</b>													
<b>Período de Coletas</b>	<b>Pontos</b>	<b>pH</b>	<b>T(°C)</b>	<b>Amônia (mg/L)</b>	<b>CE (µs/cm)</b>	<b>Cloretos (mg/L)</b>	<b>Detergentes (mg/L)</b>	<b>DBO<sub>5</sub> (mg/L)</b>	<b>DQO (mg/L)</b>	<b>Fósforo Total (mg/L)</b>	<b>OD (mg/L)</b>	<b>Nitrato (mg/L)</b>	<b>Sólidos Sdm. (mL/L/h)</b>
<b>Novembro 2015 (Seco)</b>	Ponto 1	7,3	31,0	46,5	467,5	90,0	5,0	300,0	485,0	5,7	N.D	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
<b>Dezembro 2015 (Seco)</b>	Ponto 1	7,3	35,0	47,3	495,4	82,0	8,0	408,0	549,0	7,2	N.D	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	N.D
	Ponto 4	7,0	30,0	11,8	381,9	89,0	1,4	36,0	195,0	2,9	0,0	4,3	4,0
<b>Janeiro 2016 (Seco)</b>	Ponto 1	7,4	34,0	43,2	472,2	92,0	N.D	405,0	541,0	5,8	N.D	N.D	4,5
	Ponto 2	6,6	30,0	3,0	261,9	67,0	N.D	15,0	60,0	0,8	0,0	N.D	0,8
	Ponto 3	7,7	31,0	34,6	497,3	153,0	N.D	115,0	148,0	5,3	6,0	N.D	ND
	Ponto 4	6,8	30,0	15,5	356,8	78,0	N.D	45,0	111,0	2,4	1,0	N.D	3,0
<b>Limites CONAMA 357/430</b>		<b>5 a 9</b>	<b>Até 40°C</b>	<b>≤ 20 mg/L</b>	<b>≤ 100 µS/cm</b>	<b>≤ 250 mg/L</b>	<b>≤ 0,5 mg/L</b>	<b>≤ 120 mg/L</b>	<b>≤ 700 mg/L</b>	<b>0,050 mg/L</b>	<b>≥ 5 mg/L</b>	<b>≤ 10 mg/L</b>	<b>≤ 1.0 mL/L/h</b>

**Fonte:** Águas e Esgotos do Piauí S/A – AGESPISA.

\*N.D – Não detectado

**Tabela 4** – Parâmetros físico-químicos das amostras de água e efluente tratado do Rio Parnaíba (ETE-Pirajá) no período seco 2015/2016, Teresina-PI

<b>Parâmetros físico-químicos da água - RIO PARNAÍBA</b>													
<b>Período de Coleta</b>	<b>Pontos</b>	<b>pH</b>	<b>T(°C)</b>	<b>Amônia (mg/L)</b>	<b>CE (µs/cm)</b>	<b>Cloretos (mg/L)</b>	<b>Detergentes (mg/L)</b>	<b>DBO<sub>5</sub> (mg/L)</b>	<b>DQO (mg/L)</b>	<b>Fósforo Total (mg/L)</b>	<b>OD (mg/L)</b>	<b>Nitrato (mg/L)</b>	<b>Sólidos Sdm. (mL/L/h)</b>
<b>Novembro 2015 (Seco)</b>	Ponto 1	7,4	34,0	44,3	296,9	71,0	3,0	372,0	388,0	6,6	N.D	10,4	4,0
	Ponto 2	6,8	30,0	0,6	15,4	1,0	1,0	1,0	31,0	0,4	6,0	0,3	N.D
	Ponto 3	7,5	30,0	38,8	373,7	67,0	1,0	127,0	240,0	4,8	2,0	9,0	1,1
	Ponto 4	7,1	30,0	0,6	27,5	2,0	1,0	14,0	39,0	0,1	5,0	0,6	N.D
<b>Dezembro 2015 (Seco)</b>	Ponto 1	7,1	36,0	31,0	367,3	82,0	4,0	288,0	526,0	5,0	N.D	N.D	4,0
	Ponto 2	6,9	32,0	1,2	17,8	7,0	1,0	9,0	90,0	0,2	6,0	N.D	N.D
	Ponto 3	7,4	32,0	27,7	389,5	83,0	4,0	127,0	263,0	4,4	3,0	N.D	0,5
	Ponto 4	6,9	32,0	2,3	48,5	14,0	1,0	12,0	75,0	0,6	7,0	N.D	N.D
<b>Janeiro 2016 (Seco)</b>	Ponto 1	7,0	31,0	16,4	185,1	34,0	4,5	210,0	238,0	3,0	N.D	N.D	3,0
	Ponto 2	6,8	29,0	1,0	25,5	1,0	3,0	7,0	15,0	0,5	6,0	N.D	0,5
	Ponto 3	7,4	29,0	27,4	332,9	71,0	1,0	171,0	185,0	3,9	3,0	N.D	N.D
	Ponto 4	7,2	29,0	3,5	51,5	8,0	3,5	16,0	N.D	0,6	5,0	-D	0,5
<b>Limites CONAMA 357/430</b>		<b>5 a 9</b>	<b>Até 40°C</b>	<b>≤ 20 mg/L</b>	<b>≤ 100 µS/cm</b>	<b>≤ 250 mg/L</b>	<b>≤ 0,5 mg/L</b>	<b>≤ 120 mg/L</b>	<b>≤ 700 mg/L</b>	<b>0,050 mg/L</b>	<b>≥ 5 mg/L</b>	<b>≤ 10 mg/L</b>	<b>≤ 1.0 mL/L/h</b>

**Fonte:** Águas e Esgotos do Piauí S/A – AGESPISA.

\*N.D – Não detectado

De acordo com as tabelas 3 e 4 durante o período seco a condutividade elétrica apresentou seus valores elevados em todos os pontos das amostras da ETE-Leste e na ETE-Pirajá os que se apresentaram acima do valor máximo permitido (100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  – CETESB, 2009) foram das amostras do P1 e P3.

Foi possível observar que, nas duas estações, os valores da condutividade diminuíram no período chuvoso, mantendo-se acima do permitido apenas nos pontos P1 e P3, porém, observou-se que os valores dos pontos P2 e P4 aumentaram em relação ao período seco.

Segundo Marinelli *et al.*, (2000), o aumento da condutividade elétrica ao longo de um rio é evidenciado devido a 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 este manancial encontra-se impactado pelo lançamento de efluentes, prejudicando todo o ecossistema nele presente. Outro fator observado foi que os valores observados no P4, do rio Parnaíba, também foram maiores do que o P2 no mês de janeiro, sugerindo que após o lançamento do efluente, os níveis de condutividade aumentaram.

As análises de condutividade elétrica das amostras coletadas no rio e nas estações de tratamento de esgoto foram relevantes para o estudo, visto que, a capacidade de uma amostra de água conduzir corrente elétrica é importante, pois está relacionado diretamente com a quantidade de sais existentes na coluna d'água e, portanto, representa uma medida indireta da concentração de poluentes. Assim, os valores registrados acima do permitido indicam também características corrosivas da água (CETESB, 2009).

Cada corpo d'água tende a ter um grau relativamente constante de condutividade. Mudanças significativas podem ser indicadores de que processos de poluição estão ocorrendo com a descarga de material na água. Um dos fatores que influencia a condutividade nos corpos d'água é a formação geológica da área em questão. Altos índices são ocasionados por fontes não pontuais como efluentes de áreas residenciais urbanas, águas de drenagem de sistemas de irrigação e escoamento superficial de áreas agrícolas, principalmente em regiões áridas e semiáridas, onde a evapotranspiração excessiva causa o acúmulo de sais. Efluentes industriais, como fontes localizadas, também liberam altos teores de íons dissolvidos. (MENDES-CÂMARA, 2011).

Pelas análises químicas realizadas nesta pesquisa, foi observado que os valores de cloretos mantiveram-se de acordo com a legislação ambiental nas duas estações de

tratamento, durante os períodos seco e chuvoso. 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).

No que diz respeito aos detergentes, observou-se que no período seco a maioria dos pontos estudados teve valores acima do permitido pela legislação nas duas estações de tratamento de esgoto, porém os índices foram maiores na ETE-Leste. No período chuvoso os valores permaneceram elevados nos pontos P1 e P3 nas duas estações de tratamento de esgoto, e foram menores para os pontos P2 e P4 (Tabelas 3, 4, 5 e 6).

Os esgotos sanitários possuem de 3 a 6 mg/L de detergentes. 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 ser ricos em fósforo, sabe-se que exercem efeito tóxico sobre o zooplâncton (PIVELE, 2006).

Dos constituintes de produtos de limpeza os mais importantes são os agentes tensoativos ou surfactantes. Tais compostos apresentam uma parte hidrofílica e outra hidrofóbica, conferindo, de forma simultânea, afinidade por gorduras e pela água. Essa classe de compostos orgânicos é, em todo mundo, uma das mais sintetizadas, e está presente em vários produtos rotineiramente usados nos lares, como detergentes, sabões e afins (GONZÁLEZ *et al.*, 2004). Também são amplamente empregados em produtos com funções higiênicas de cunho doméstico (TAVARES, 2008).

Foram observados nas análises da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), alguns pontos com valores acima do estabelecido pela resolução CONAMA 430/2011 que é de 120 mg/L no efluente final. Os altos índices foram nos pontos P1 e P3 das duas estações, observando valores menores no P2 e P4 da ETE-Leste no período chuvoso (Tabelas 3, 4, 5 e 6).

Já em relação aos níveis da Demanda Química de Oxigênio (DQO) foram observados nas análises que todos os valores permaneceram dentro do limite estabelecido, permanecendo valores maiores nos pontos P1 e P3 nas duas estações durante os períodos seco e chuvoso (Tabelas 3, 4, 5 e 6). O teste de DQO tem sido utilizado para a caracterização de efluentes industriais e no monitoramento de estações de tratamento de efluentes em geral. Normalmente a DQO dos esgotos varia entre 200 e 800 mg/l (LINS, 2010).

Com as análises de DBO e DQO das amostras de efluentes e dos rios em estudo, foi possível perceber que nas duas estações os valores alterados foram no P1 e P3 para DBO, porém, os valores dos pontos P2 e P4 da ETE-Pirajá foram menores do que a Leste durante o período seco, podendo esse resultado ser justificado pelo fato da maior vazão e capacidade de diluição do rio Parnaíba ser maior do que a do rio Poti.

Observou-se também que no período seco após o tratamento o valor da DBO decresceu consideravelmente nas duas estações, e os valores do P4 (a jusante) ficou maior após o lançamento do efluente. Os altos valores de DBO significa presença de muita matéria orgânica e muitas bactérias para decompor essa matéria que vão concorrer com outros organismos que habitam nesse ecossistema, o oxigênio da água, favorecendo para a falta desse composto. Em relação os valores da DQO foram maiores do que a DBO em todos os pontos das duas estações, durante os meses do período seco e chuvoso.

Vários trabalhos correlacionam a Demanda Química de Oxigênio (DQO) e a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO<sub>5</sub>) com níveis de qualidade de água no Brasil, como um estudo apresentando os indicadores da qualidade da água na sub-bacia do igarapé São Francisco no município de Rio Branco - AC – mostrando oscilação do oxigênio significativa, tanto no período seco como no período chuvoso (THEBALDI *et al.*, 2011; SANTI *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2012).

Segundo a CETESB (2010), quando os valores de DQO são maiores que os valores registrados para DBO, é indicativo de alta carga de matéria quimicamente oxidável, mas de difícil biodegradação. O aumento de DBO num corpo d'água se dá devido ao lançamento de efluente de origem predominantemente orgânica. Segundo Guerra (2009), o alto teor de matéria orgânica em um ambiente aquático pode induzir à saída de moléculas de oxigênio do sistema.

No que diz respeito às análises do Fósforo total no período seco a ETE-Leste teve todos os valores acima do estabelecido pelas resoluções ambientais, que estabelece valor máximo permitido de até 0,050 mg/L (BRASIL, 2005). Nesse mesmo período a ETE-Pirajá os pontos acima do limite foram os pontos P1 e P3. No período chuvoso os valores de Fósforo foram menores e os pontos que ficaram com valores elevados foram P1 e P3 nas duas estações, sendo que houve redução do P3 após o tratamento feito na estação (Tabelas 3, 4, 5 e 6).

A presença de fósforo em excesso nos rios contribui para 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 fósforo aparece em águas naturais devidos, principalmente, às descargas de esgotos sanitários, efluentes industriais e águas drenadas de áreas agrícolas e urbanas. O excesso de fósforo presente em esgotos sanitários e efluentes industriais conduz aos processos de eutrofização das águas naturais (CETESB, 2009).

Valores acima do permitido de fósforo podem caracterizar poluição por dissolução de compostos do solo, decomposição de matéria orgânica, esgotos domésticos e industriais, fertilizantes, detergentes e excrementos de animais (MOTA, 2010).

Segundo a Resolução do CONAMA 357/2005, o Oxigênio Dissolvido (OD) deve apresentar valores superiores a 5 mg/L para rios de classe 2. No que diz respeito às análises de OD, observou-se que na ETE-Leste durante o período seco P3 foi o único a apresentar valor de oxigênio dissolvido (Tabelas 3, 4, 5 e 6).

Águas poluídas por esgotos apresentam baixa concentração de oxigênio dissolvido, pois o mesmo é consumido no processo de decomposição da matéria orgânica, enquanto que as águas limpas apresentam concentrações de oxigênio dissolvido mais elevadas, geralmente superiores a 5 mg L<sup>-1</sup> (ANA, 2010).

Vale ressaltar que durante esse período o rio Poti estava com alto índice de eutrofização, provocado por alto teor de nitrogênio e fósforo, além da matéria orgânica, o alto índice de aguapés recobriu toda a superfície do rio dificultando a passagem de luz e esgotando o oxigênio necessário para os organismos aquáticos realizarem suas funções.

Tendo em vista esses fatores, pode ser considerado com uma das justificativas para os índices de OD ficarem zero no rio Poti, o que dar indícios de que nesse período a qualidade de suas águas possa ter sido comprometida em quase todo o seu curso, devido aos impactos decorrentes dos descartes de efluentes.

Já na ETE-Pirajá no período seco todos os pontos do rio, P2 e P4, foram observados valores adequados de OD, exceto no P3 que apresentou valores abaixo do estabelecido na legislação. Nas tabelas 5 e 6, referentes ao período chuvoso, podemos perceber que os valores de OD para a ETE-Leste estão todos de acordo com o estabelecido, exceto no P2 do mês de fevereiro, e na ETE-Pirajá apenas o P3 ficou abaixo do estabelecido pela legislação.



## Parâmetros físico-químicos da água – RIO POTI

Período de Coletas	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)
<b>Fevereiro 2016</b> (Chuvoso)	Ponto 1	7,5	32,0	38,2	487,7	242,0	3,0	480,0	580,0	10,1	N.D	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	N.D
<b>Março 2016</b> (Chuvoso)	Ponto 1	7,4	32,0	N.D	400,1	87,0	N.D	450,0	519,0	4,8	N.D	11,8	5,0
	Ponto 2	7,1	30,0	N.D	51,6	7,0	N.D	15,0	53,0	1,4	5,0	1,5	N.D
	Ponto 3	7,8	31,0	N.D	350,9	78,0	N.D	47,0	61,0	3,5	5,0	2,5	0,3
	Ponto 4	7,2	30,0	N.D	60,6	8,0	N.D	14,0	61,0	0,2	5,0	1,0	N.D
<b>Abril 2016</b> (Chuvoso)	Ponto 1	7,4	32,0	46,1	366,8	118,0	1,8	234,0	400,0	4,9	N.D	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	N.D
	Ponto 3	7,8	31,0	29,3	343,4	106,0	0,8	36,0	92,0	3,3	6,0	1,3	N.D
	Ponto 4	7,4	30,0	0,6	63,4	21,0	0,3	15,0	31,0	0,1	5,0	1,9	N.D
<b>Limites CONAMA 357/430</b>		<b>5 a 9</b>	<b>Até 40°C</b>	<b>≤ 20 mg/L</b>	<b>≤ 100 µS/cm</b>	<b>≤ 250 mg/L</b>	<b>≤ 0,5 mg/L</b>	<b>≤ 120 mg/L</b>	<b>≤ 700 mg/L</b>	<b>0,050 mg/L</b>	<b>≥ 5 mg/L</b>	<b>≤ 10 mg/L</b>	<b>≤ 1.0 mL/L/h</b>

Fonte: Águas e Esgotos do Piauí S/A – AGESPISA.

N.D – Não detectado

**Tabela 6** – Parâmetros físico-químicos das amostras de água e efluente tratado do Rio Parnaíba (ETE-Pirajá) no período chuvoso 2016, Teresina-PI**Parâmetros físico-químicos da água - RIO PARNAÍBA**

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)
<b>Fevereiro 2016</b> (Chuvoso)	Ponto 1	7,3	31,0	26,6	258,5	47,0	4,0	420,0	N.D	3,2	N.D	N.D	1,2
	Ponto 2	7,0	29,0	1,2	29,5	6,0	0,7	24,0	N.D	2,0	6,0	N.D	0,2
	Ponto 3	7,5	30,0	27,0	288,9	61,0	6,0	140,0	N.D	2,7	2,0	N.D	N.D
	Ponto 4	6,9	29,0	0,9	43,6	8,0	0,7	22,0	N.D	0,1	7,0	N.D	0,5
<b>Março 2016</b> (Chuvoso)	Ponto 1	7,1	31,0	35,3	328,7	58,0	3,0	324,0	382,0	4,3	N.D	3,8	2,0
	Ponto 2	7,2	29,0	0,1	34,5	10,0	0,8	8,0	31,0	0,3	8,0	1,7	N.D
	Ponto 3	7,3	30,0	25,6	284,5	58,0	3,5	167,0	237,0	3,2	2,0	4,0	N.D
	Ponto 4	7,1	29,0	0,6	73,1	12,0	1,1	12,0	38,0	0,5	7,0	4,4	N.D
<b>Abril 2016</b> (Chuvoso)	Ponto 1	7,0	32,0	49,3	329,8	80,0	N.D	330,0	531,0	3,7	-	8,4	2,5
	Ponto 2	7,4	30,0	0,6	30,6	10,0	N.D	5,0	31,0	0,4	7,0	1,4	N.D
	Ponto 3	7,4	30,0	34,0	306,9	87,0	N.D	137,0	141,0	3,8	2,0	7,0	N.D
	Ponto 4	7,2	30,0	1,2	63,7	18,0	N.D	10,0	39,0	0,5	6,0	2,1	0,5
<b>Limites CONAMA 357/430</b>		<b>5 a 9</b>	<b>Até 40°C</b>	<b>≤ 20 mg/L</b>	<b>≤ 100 µS/cm</b>	<b>≤ 250 mg/L</b>	<b>≤ 0,5 mg/L</b>	<b>≤ 120 mg/L</b>	<b>≤ 700 mg/L</b>	<b>0,050 mg/L</b>	<b>≥ 5 mg/L</b>	<b>≤ 10 mg/L</b>	<b>≤ 1.0 mL/L/h</b>

Fonte: Águas e Esgotos do Piauí S/A – AGESPISA.

N.D – Não detectado

A baixa concentração de OD encontrada nas amostras de água é preocupante, uma vez que pode comprometer a manutenção e sobrevivência da biota aquática deste 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).

Sólidos totais é o conteúdo total de sólidos em uma amostra de esgotos, é definido como o resíduo remanescente após evaporação a 103°C de um volume conhecido da amostra. Os sólidos totais podem ser subdivididos em sólidos em suspensão e dissolvidos ou sólidos fixos e voláteis, já os sólidos, para efeito de controle da operação de sedimentação, costumam ser classificados em sedimentável e não sedimentável (LINS, 2010).

Na estação de tratamento de esgoto Leste, são feitas as análises de todos os sólidos, entretanto, nesta pesquisa utilizou-se somente os resultados das análises de sólidos sedimentáveis, adequados à investigação programada. Sólido sedimentável é aquele que sedimenta num período de decantação de 1 hora no Cone Imhoff, e encontra-se tipicamente cerca de 5 a 20 ml/l no esgoto doméstico. A quantidade de matéria sedimentável é uma indicação da quantidade de lodo que poderá ser removida por sedimentação nos decantadores, é um importante parâmetro, pois está relacionado ao assoreamento do corpo receptor, caso a sua remoção não seja eficiente (LINS, 2010).

Na quantificação dos sólidos sedimentáveis, foram observados alguns valores acima dos níveis aceitáveis pela legislação (1,0 mL/L/h) tanto na estação de tratamento de esgoto Leste como na estação de tratamento de esgoto do Pirajá durante os períodos seco e chuvoso, principalmente no P1 (Tabelas 3, 4, 5 e 6).

Embora a presença de sólidos no esgoto constitua uma parcela ínfima, (0,08% de sólidos e 99,92% de água) uma vez separados na estação de tratamento, poderão representar uma quantidade muito elevada, de difícil destinação final e com possíveis implicações ambientais (PESSOA e JORDÃO, 2009).

### 5.3 Testes microbiológicos

No que diz respeito aos resultados das análises microbiológicas do período seco para a ETE-Leste, percebeu-se que todos os valores de Coliformes Termotolerantes estavam alterados, índices acima do que é estabelecido pela legislação CONAMA 430/2011 ( $\leq 4 \times 10^3$ ). Após o tratamento do efluente, observou-se que houve decréscimo nos valores. Em relação aos resultados da ETE-Pirajá, apenas o P2 (rio montante) no período do mês de novembro e dezembro/2015 teve resultado dentro do permitido pela legislação ambiental em relação aos coliformes tolerantes (Tabelas 7 e 8).

**Tabela 7** - Análise microbiológica das amostras de água e efluente tratado do Rio Poti (ETE-Leste) no período seco 2015/2016, Teresina-PI

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

**Fonte:** Águas e Esgotos do Piauí S/A – AGESPISA.

**Tabela 8** - Análise microbiológica das amostras de água e efluente tratado do Rio Parnaíba (ETE-Pirajá) no período seco 2015/2016, Teresina-PI

Período de Coleta	Pontos	Coliformes Totais (100 ml)	Coliformes Termotolerantes ( <i>Escherichia coli</i> - 100ml)
<b>RIO PARNAÍBA - ETE-PIRAJÁ</b>			
<b>Novembro/2015</b> (Seco)	Ponto 01	$>2,4 \times 10^3$	$2,2 \times 10^7$
	Ponto 02	$>2,4 \times 10^3$	$1,1 \times 10^3$
	Ponto 03	$>2,4 \times 10^3$	$3,4 \times 10^5$
	Ponto 04	$>2,4 \times 10^3$	$7,8 \times 10^3$
<b>Dezembro/2015</b> (Seco)	Ponto 01	$>2,4 \times 10^3$	$2,8 \times 10^7$
	Ponto 02	$>2,4 \times 10^3$	$3,5 \times 10^3$
	Ponto 03	$>2,4 \times 10^3$	$2,2 \times 10^5$
	Ponto 04	$>2,4 \times 10^3$	$2,6 \times 10^4$
<b>Janeiro/2016</b> (Seco)	Ponto 01	$>2,4 \times 10^3$	$1,1 \times 10^7$
	Ponto 02	$>2,4 \times 10^3$	$8,2 \times 10^3$
	Ponto 03	$>2,4 \times 10^3$	$7,7 \times 10^4$
	Ponto 04	$>2,4 \times 10^3$	$1,4 \times 10^4$
<b>Limites</b> <b>CONAMA 430/2011</b>		$\leq 10^3$	$\leq 4 \times 10^3$

**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 e 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 através dos indicadores de monitoramento microrganismos, uma vez que o monitoramento de todos os seres vivos da água seria uma tarefa difícil (LIBÂNIO, 2010).

O mais utilizado como microrganismo indicador é uma espécie do grupo coliforme *Escherichia coli* (*E. coli*), uma vez que é primariamente de origem fecal,

raramente capaz de crescer em ambientes naturais não poluídos e é libertado em grandes quantidades nas fezes de animais (LIBÂNIO, 2010).

Em relação aos resultados das análises microbiológicas do período chuvoso para a ETE-Leste, percebeu-se que apenas o P4 (rio jusante) no período do mês de abril/2016 teve resultado dentro do permitido pela legislação CONAMA 430/2011 ( $\leq 4 \times 10^3$ ). E no que diz respeito à ETE-Pirajá apenas o P2 permaneceu dentro do estabelecido pela legislação supracitada, durante os três meses do período chuvoso. Observou-se também que os valores em geral dos testes microbiológicos aumentaram no período chuvoso (Tabelas 9 e 10).

**Tabela 9** - Análise microbiológica das amostras de água e efluente tratado do Rio Poti (ETE-Leste) no período chuvoso de 2016, Teresina-PI

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

**Fonte:** Águas e Esgotos do Piauí S/A – AGESPISA.

**Tabela 10** - Análise microbiológica das amostras de água e efluente tratado do Rio Parnaíba (ETE-Pirajá) no período chuvoso de 2016, Teresina-PI

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

**Fonte:** Águas e Esgotos do Piauí S/A – AGESPISA.

A maior concentração de coliformes termotolerantes no período chuvoso pode ser atribuída à poluição difusa, formada pelas águas pluviais, que ao escoarem pelo solo carregam impurezas dispersas na bacia de drenagem para os corpos hídricos superficiais, ocasionando a degradação da qualidade da água (OLIVEIRA, 2012).

Nas análises microbiológicas, a maioria das amostras apresentaram os níveis de coliformes termotolerantes e totais muito acima do permitido. A presença das bactérias *Escherichia coli* em uma porcentagem grande de amostras é preocupante, pois, além de estar em desacordo com a legislação vigente, esse agente patogênico pode envolver casos até mesmo letais.

A maioria das doenças associadas à água é transmitida por patógenos fecais e o controle dessas águas é através dos indicadores de monitoramento microrganismos, uma

vez que o monitoramento de todos os seres vivos da água seria uma tarefa difícil (LIBÂNIO, 2010).

O mais utilizado como microrganismo indicador é uma espécie do grupo coliforme *Escherichia coli* (*E. coli*), uma vez que é primariamente de origem fecal, raramente capaz de crescer em ambientes naturais não poluídos e é libertado em grandes quantidades nos animais das fezes (LIBÂNIO, 2010). 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 (BERNARDO; PAZ, 2010). As bactérias heterotróficas também podem ser usadas para controlar a qualidade da água, especialmente em sistemas de distribuição. A grande presença de bactérias heterotróficas na água inibe o crescimento de bactérias coliformes, o que pode causar resultados falsamente negativos (PÁDUA; FERREIRA, 2006).

Os resultados observados para os padrões físico-químicos e microbiológicos durante a pesquisa mostraram uma grande contribuição de cargas poluentes, em maior parte, obtidos no P1 (esgoto bruto), que sempre vai estar fora dos padrões, e no P3 (efluente final), da ETE-Leste e Pirajá, evidenciando-se maiores índices da ETE-Leste durante o período seco, que poderá ter sido por conta da descarga de efluentes desconhecidos oriundos de veículos Limpa Fossas na estação e, dessa forma, estar influenciando na qualidade de seu tratamento, pois mesmo após o tratamento oferecido ao efluente este ainda retorna para o rio com altos de teores de compostos físico-químicos e microbiológicos, que possam estar interferindo na qualidade da água deste manancial.

Devido à importância da qualidade da água para a saúde, muitos testes de toxicidade e genotoxicidade foram utilizados em combinação com análises físicas e químicas para avaliar a qualidade da água e do meio ambiente (SMAKA-KINCL *et al.*, 1996; CLAXTON *et al.*, 1998, UMBUZEIRO *et al.*, 2001, VARGAS *et al.*, 2001, OHE *et al.*, 2003).

Os parâmetros observados pelas análises físico-químicas apontam para a necessidade de atenção especial aos rios 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, DBO pode resultar em mudanças nos níveis de oxigênio necessários para manter 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*.



#### 5.4 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 quanto aberrações celulares em metáfases ou anáfases e inibição de células em divisão (FISKESJÖ, 1988; VESNA *et al.*, 1996; BARBÉRIO *et al.*, 2011).

Todas as amostras coletadas durante o período seco e chuvoso induziram toxicidade, verificada pela inibição do crescimento das raízes e inibição do índice mitótico, como também induziram mutagenicidade como se constata pela indução de micronúcleos e aberrações cromossômicas (Tabelas 11, 12, 13 e 14). O controle positivo e negativo apresentaram resultados esperados e, portanto, validam os resultados obtidos em testes com as amostras. Os resultados estão de acordo com os dados da literatura que demonstram relação entre contaminação urbana e aumento de danos no DNA (BIANCHI; ESPINDOLA; MARIN-MORALES, 2011; GEREMIAS *et al.*, 2012).

Nas análises do teste *Allium cepa* realizado com a água e efluente dos rios Poti e Parnaíba, 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, para as duas Estações de Tratamento de Esgoto durante o período seco (Tabelas 11 e 12). Em relação aos pontos, P3 e P4, os níveis de toxicidade foram bem menores para as duas estações, quando comparadas com o controle negativo (CN).

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).

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 que 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.

As análises relacionadas aos tamanhos das raízes dos organismos expostos foram condizente com a redução do IM durante o período seco, o que vem constatar 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, com os valores mais alterados nos pontos da ETE-Leste (Tabelas 11 e 12).

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 reduziram, juntamente com a diminuição da frequência de micronúcleos e as citoquineses falhadas (células binucleadas) nos pontos P2, P3 e P4 nas duas estações de tratamento de esgoto (Tabelas 13 e 14). O ponto P1 continuou sendo o mais crítico tanto em relação à toxicidade quanto a mutagenicidade, o que já era aguardado, pois é o esgoto bruto sem nenhum tratamento, com alto teor de carga orgânica e inorgânica.

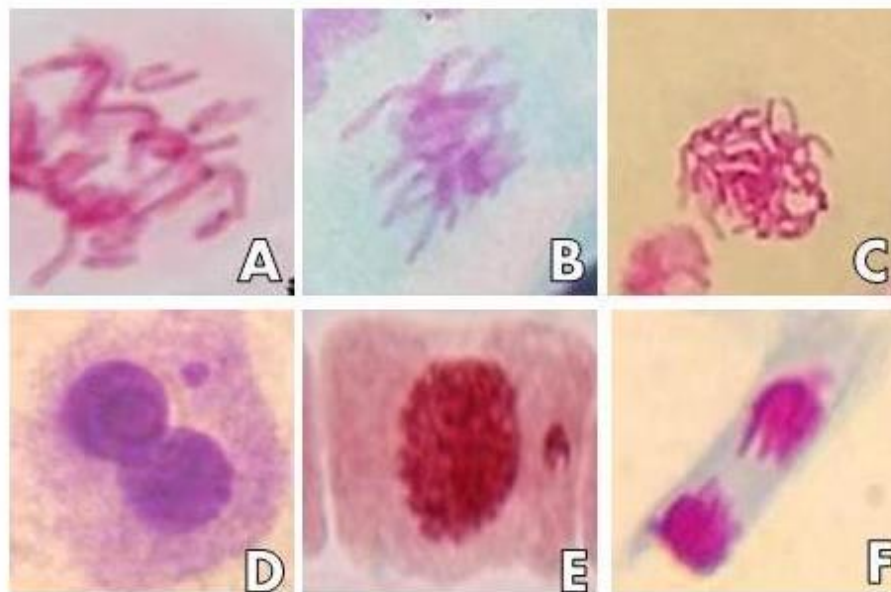
As aberrações cromossômicas (ACs) são alterações caracterizadas por uma mudança na estrutura ou no número normal de cromossomos de uma espécie, podendo ocorrer de maneira espontânea ou ainda como resultado da exposição a agentes químicos ou físicos (RUSSEL, 2002). Verificou-se nesse estudo que a mutagênese também foi observada através do aumento significativo na frequência de aberrações cromossômicas (AC) e micronúcleos (MN) ( $P < 0,05$ , ANOVA) para todos os pontos do período seco. Foram observadas diferenças entre as médias do potencial mutagênico das amostras coletadas durante os períodos seco e chuvoso e nos quatro locais de amostragem.

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) e Parnaíba (ETE-Pirajá) foram pontes anafásicas, C-metáfases, células binucleadas e com micronúcleos, quebra e atraso cromossômicos (Figura 06). E durante o período chuvoso as aberrações mais frequentes foram pontes e atrasos anafásicos e C-metáfases.

**Figura 06** - Raízes de *A. cepa* cultivadas em amostras de água e efluente dos rios Poti e Parnaíba na estação seca. (A) Anáfase com ponte e fragmento; (B e C) C-metáfase; (D) Binucleada com micronúcleo; (E) Interfase com micronúcleo; (F) Telófase com atraso.



**Fonte:** COSTA, 2016.

Cromossomos em atraso são resultantes de um atraso devido à falha no deslocamento para um dos polos da célula. Cromossomos soltos podem ser resultado de cromossomos inteiros, com origem aneugênica, que permaneceram como retardatários. Fragmentos podem ser oriundos da ação de agentes químicos que induzem quebras cromossômicas (clastogênicos) e sua interferência nos cromossomos está associada a quebras na molécula de DNA (TURKOGLU, 2008).

Segundo Fiskesjö (1993), quebras cromossômicas podem causar fragmentos e pontes anafásicas, esta última sendo originada por translocações ou simplesmente por terminações coesivas. Uma ponte anafásica pode resultar, segundo Hall (1994), de quebras que ocorrem no período G<sub>2</sub> do ciclo celular, após a replicação cromossômica.

Os micronúcleos (MN) são originados de fragmentos acêntricos ou tardios, os quais são excluídos do próprio núcleo durante a mitose (HOLLAND *et al.*, 2011; GUPTA; AHMAD, 2012). O teste de micronúcleos detecta mutagênese em organismos eucariotos do tipo clastogênese, aneugênese e danos no fuso mitótico (SILVA *et al.*, 2011).

As pontes anafásicas consistem em pontes cromatídicas entre porções cromossômicas que se separam durante a anáfase. Essas pontes, quando quebradas, podem resultar em perda de material genético, como os micronúcleos (FISKESJÖ, 1985; FISKESJÖ, 1993; NIELSEN, 1994; MATSUMOTO; MARIN-MORALES, 2004).

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, mas também induziram mutagenicidade, evidenciada pela indução de micronúcleos e aberrações cromossômicas. 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).

Os resultados apresentados nas tabelas 11 e 12 mostram que os pontos, P1 (esgoto bruto) e P2 (rio montante), apresentaram atividade mutagênica (AC e MN) significativa durante todo o período seco, comparado ao CP tanto na ETE-Leste como na ETE-Pirajá.

A elevação da mutagenicidade no P2 sugere que os rios Poti e Parnaíba possivelmente ocorre por receber despejos *in natura* antes de ser submetido ao processo de tratamento nas estações de tratamento de esgoto, principalmente o rio Poti, onde os valores encontrados foram mais significativos.

Segundo Fenech (2000), os contaminantes são capazes de induzir aberrações cromossômicas por diversos mecanismos, sendo a ação clastogênica e a aneugênica as mais comumente observadas. A ação clastogênica é caracterizada pela quebra de cromossomo durante a divisão celular, e a ação aneugênica ocorre quando um agente promove a inativação de uma estrutura citoplasmática, por exemplo, o fuso mitótico, levando a perda de um ou mais cromossomos.

**Tabela 11** - 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***£	0,74 ± 0,32***#£	5,36 ± 1,34***#
Dezembro 2015	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***£	1,52 ± 0,37***#£	5,62 ± 1,13***#
	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***£	0,63 ± 0,31***#£	5,84 ± 1,23***#
Janeiro 2016	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***£	0,58 ± 0,24***#£	6,04 ± 1,28***#
	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***#£	0,43 ± 0,31***#	1,86 ± 1,31***	0,30 ± 0,18***£	3,24 ± 1,14***	0,52 ± 0,24***#	5,83 ± 0,48***
	Ponto 04	388,24 ± 6,13***#	0,42 ± 0,12***#£	0,35 ± 0,13***#	0,76 ± 1,23***	0,23 ± 0,32***£	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 poço; <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); £ Diferença significativa do Ponto 2 ao nível de P<0,05 (ANOVA).

**Tabela 12** - Índice mitótico, aberrações cromossômicas, micronúcleos e comprimento da raiz em *A. cepa* expostos à água e efluente tratado do Rio Parnaíba (ETE-Pirajá) 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>	458,4 ± 1,82	0,26 ± 0,13	0,18 ± 0,14	0,62 ± 0,13	0,18 ± 0,24	0,28 ± 0,36	0,21 ± 0,32	7,14 ± 1,38
	Ponto 01	56,4 ± 13,24***	3,20 ± 1,34	1,34 ± 0,61	3,23 ± 1,16**	0,76 ± 0,52	4,08 ± 0,34***	1,14 ± 0,42	2,53 ± 1,32***
	Ponto 02	52,84 ± 22,36***#	2,21 ± 1,14	1,02 ± 0,6*#	2,04 ± 1,53***	0,48 ± 0,87	3,20 ± 0,43***	0,86 ± 0,26	3,56 ± 1,47***#
	Ponto 03	284,32 ± 15,16***#	0,78 ± 0,82***#	0,53 ± 0,25	1,12 ± 1,35***	0,33 ± 0,12	1,21 ± 0,32***£	0,61 ± 0,25***#£	5,45 ± 1,13***#
Dezembro 2015	Ponto 04	361,16 ± 11,28***#	0,61 ± 0,26***#	0,43 ± 0,21	0,82 ± 1,52***	0,20 ± 0,14	0,78 ± 0,25***£	1,31 ± 0,26***#£	5,82 ± 1,28***#
	Ponto 01	64,4 ± 12,26***	2,05 ± 1,32	1,22 ± 0,17	3,15 ± 1,52**	0,63 ± 0,13	3,21 ± 0,96***	1,06 ± 0,13	4,84 ± 1,34***
	Ponto 02	60,14 ± 18,16***#	2,15 ± 1,35	0,98 ± 0,6*#	1,82 ± 1,42***	0,42 ± 0,11	3,34 ± 0,75***	0,61 ± 0,25	5,92 ± 1,63***#
	Ponto 03	370,15 ± 10,16***#	0,81 ± 0,63***#	0,41 ± 0,32	1,21 ± 1,32***	0,30 ± 0,72	1,21 ± 0,37***£	0,51 ± 0,17***#£	5,98 ± 1,35***#
Janeiro 2016	Ponto 04	388,57 ± 13,23***#	0,38 ± 0,47***#	0,28 ± 0,8	0,75 ± 1,73***	0,18 ± 0,32	0,66 ± 0,74***£	0,42 ± 0,86***#£	6,26 ± 1,52***#
	Ponto 01	78,5 ± 11,27***	1,27 ± 0,31	1,06 ± 0,13*	3,52 ± 1,73***	0,52 ± 0,83	3,02 ± 1,37***	1,04 ± 0,93	5,08 ± 0,46***
	Ponto 02	71,15 ± 6,42***#	1,48 ± 0,13*	0,87 ± 0,26***#	3,12 ± 1,22***	0,42 ± 0,63	2,04 ± 0,63***	1,02 ± 0,57***#	5,43 ± 0,54***
	Ponto 03	375,48 ± 6,64***#	0,51 ± 0,64***#£	0,38 ± 0,92***#	1,41 ± 1,32***	0,26 ± 0,62***£	3,12 ± 1,84***	0,44 ± 0,15***#	6,46 ± 0,21***
	Ponto 04	372,56 ± 6,82***#	0,36 ± 0,82***#£	0,31 ± 0,7***#	0,63 ± 1,74***	0,17 ± 0,41***£	2,11 ± 1,53***	0,38 ± 0,26***#	6,85 ± 0,14***
	Controle Positivo <sup>b</sup>	38,25 ± 11,13***	3,40 ± 0,26*	0,84 ± 0,14**	3,25 ± 0,83*	0,76 ± 0,32	6,24 ± 0,43***	2,47 ± 0,41***	1,46 ± 1,6***

<sup>a</sup> Controle Negativo= água desclorada; <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 01 ao nível de P<0,05 (ANOVA); £ Diferença significativa do Ponto 02 ao nível de P<0,05 (ANOVA).

A elevação da mutagenicidade no P2 durante o período seco sugere que os rios Poti e Paraíba possivelmente podem estar recebendo efluentes antes de receber o efluente tratado, proveniente das estações de tratamento de esgoto, principalmente o rio Poti, onde os valores encontrados foram mais significativos (Tabelas 11 e 12).

Thomas *et al.* (2009), sugerem que o número de células binucleadas pode ser um biomarcador importante de falhas na citocinese e pode causar uma maior proporção de aneuploidia. A presença de tais anomalias é indicativa de altos níveis de toxicidade que promovem danos irreversíveis à célula, conduzindo, portanto, à morte celular (TÜRKOĞLU, 2012).

A frequência de AC e MN nas análises sofreram uma redução depois do tratamento do efluente nas estações. Os pontos P3 e P4 tiveram valores próximos ao CN, resultando em um baixo potencial mutagênico durante o período seco e chuvoso (Tabelas 11, 12, 13 e 14). Após o tratamento, o potencial genotóxico e mutagênico sofreu uma redução nos níveis de toxicidade, possivelmente reduzindo o impacto nas águas dos rios após o recebimento do efluente.

Altas concentrações de xenobióticos em áreas urbanas, resíduos agrícolas e industriais têm contribuído para o aumento da atividade genotóxica em ambientes aquáticos. Atualmente, sabe-se que uma das principais fontes de poluição dos ecossistemas aquáticos de água doce são os resíduos sólidos urbanos (VILLELA *et al.*, 2003).

Fatores como a sazonalidade, índice de chuva e vazão podem influenciar a concentração de poluentes na água. A variação de sazonalidade é um fator que pode influenciar significativamente a frequência de danos genéticos e promover alterações fisiológicas nos organismos expostos (OLIVEIRA *et al.*, 2011). Alguns estudos como no Rio Paraíba do Sul, em São Paulo, sugerem a influência da sazonalidade na indução dos efeitos genotóxicos (MN) (SOUZA; FONTANETTI, 2006).

No entanto, durante o período chuvoso a indução a atividade genotóxica e mutagênica foi menor, acredita-se ser por conta da diluição das cargas orgânicas e inorgânicas nessa estação. Percebeu-se uma redução de micronúcleos e células binucleadas nas duas estações, exceto no ponto 01, considerado o mais crítico. E observou-se também uma redução da mutagenicidade para o ponto 02 (rio montante), que estava bem crítico no período seco (Tabelas 13 e 14).

**Tabela 13** - 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***	2,63 ± 1,36	1,6 ± 0,3	2,8 ± 1,12**	0,6 ± 0,3	3,24 ± 0,32***	1,13 ± 0,32	4,25 ± 1,14***
	Ponto 02	64,21 ± 22,12***#	2,4 ± 1,2	0,96 ± 0,14*#	1,82 ± 1,11***	0,54 ± 0,13	2,96 ± 0,34***	0,82 ± 0,21	6,14 ± 1,62***#
	Ponto 03	284,13 ± 11,42***#	0,74 ± 0,21***#	0,43 ± 0,13	1,23 ± 1,3***	0,36 ± 0,15	1,26 ± 0,14***£	0,66 ± 0,31***#£	7,23 ± 1,12***#
Março 2016	Ponto 04	396,22 ± 18,34***#	0,52 ± 0,23***#	0,48 ± 0,25	0,82 ± 1,8***	0,22 ± 0,11	0,73 ± 0,13***£	1,21 ± 0,26***#£	7,94 ± 1,42***#
	Ponto 01	65,13 ± 11,16***	1,86 ± 1,43	1,32 ± 0,16	2,85 ± 1,26**	0,66 ± 0,13	2,64 ± 0,26***	1,12 ± 0,6	5,26 ± 1,51***
	Ponto 02	72,27 ± 12,42***#	1,74 ± 1,25	1,11 ± 0,8	1,52 ± 1,62***	0,46 ± 0,16	2,26 ± 0,8***	0,52 ± 0,12	6,92 ± 1,43***#
	Ponto 03	336,23 ± 12,48***#	0,63 ± 0,25***#	0,32 ± 0,16	1,13 ± 0,7***	0,21 ± 0,9	1,18 ± 0,9***£	0,56 ± 0,24***#£	7,42 ± 1,33***#
Abril 2016	Ponto 04	362,12 ± 14,34***#	0,35 ± 0,8***#	0,24 ± 0,7	0,6 ± 0,3***	0,16 ± 0,8	0,62 ± 0,16***£	0,42 ± 0,12***#£	7,62 ± 1,15***#
	Ponto 01	68,63 ± 13,25***	1,24 ± 0,12	1,11 ± 0,4*	2,32 ± 1,14***	0,34 ± 0,12	2,14 ± 1,8***	1,2 ± 0,6	6,25 ± 0,28***
	Ponto 02	78,12 ± 8,32***#	1,12 ± 0,6*	1,5 ± 0,5***#	2,54 ± 1,26**	0,42 ± 0,8	2,14 ± 0,33***	1,3 ± 0,3***#	7,33 ± 0,54***
	Ponto 03	288,24 ± 5,27***#	0,38 ± 0,14***#£	0,15 ± 0,7***#	1,28 ± 1,4***	0,12 ± 0,6***£	2,16 ± 1,4***	0,42 ± 0,14***#	7,64 ± 0,84***
	Ponto 04	372,28 ± 7,25***#	0,25 ± 0,5***#£	0,24 ± 0,7***#	0,61 ± 1,12***	0,18 ± 0,7***£	1,18 ± 1,7***	0,25 ± 0,12***#	7,62 ± 0,88***
	Controle Positivo <sup>b</sup>	46,25 ± 16,4***	2,42 ± 0,12*	0,64 ± 0,8**	1,88 ± 0,63*	0,52 ± 0,34	4,24 ± 0,32***	1,21 ± 0,24***	1,94 ± 1,8***

<sup>a</sup> Controle Negativo= água dessclorada; <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); £ Diferença significativa do Ponto 2 ao nível de P<0,05 (ANOVA).



**Tabela 14** - Índice mitótico, aberrações cromossômicas, micronúcleos e comprimento da raiz em *A. cepa* expostos à água e efluente tratado do Rio Parnaíba (ETE-Pirajá) 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>	472,5 ± 1,25	0,19 ± 0,4	0,12 ± 0,6	0,52 ± 0,12	0,8 ± 0,4	0,22 ± 0,8	0,16 ± 0,8	7,63 ± 1,53
	Ponto 01	68,5 ± 16,13***	2,1 ± 0,9	1,26 ± 0,13	2,02 ± 1,8**	0,26 ± 0,8	3,33 ± 0,15***	1,2 ± 0,6	5,34 ± 1,55***
	Ponto 02	72,24 ± 33,13***#	2,06 ± 1,32	0,9 ± 0,3*#	1,68 ± 1,12***	0,32 ± 0,13	2,56 ± 0,36***	0,52 ± 0,26	6,27 ± 1,53***#
	Ponto 03	294,26 ± 18,26***#	0,28 ± 0,12***#	0,32 ± 0,11	1,06 ± 1,2***	0,18 ± 0,9	1,6 ± 0,3***£	0,52 ± 0,18***#£	7,68 ± 1,64***#
Março 2016	Ponto 04	322,12 ± 14,43***#	0,32 ± 0,14***#	0,26 ± 0,13	0,46 ± 1,4***	0,12 ± 0,6	0,42 ± 0,12***£	1,21 ± 0,7***#£	7,93 ± 1,74***#
	Ponto 01	76,5 ± 16,32***	1,43 ± 1,13	1,14 ± 0,7	2,86 ± 1,16**	0,38 ± 0,4	2,45 ± 0,13***	0,86 ± 0,43	6,24 ± 1,16***
	Ponto 02	83,14 ± 19,12***#	1,26 ± 1,3	0,64 ± 0,8*#	1,36 ± 1,14***	0,24 ± 0,7	3,12 ± 0,8***	0,48 ± 0,12	6,88 ± 1,52***#
	Ponto 03	298,12 ± 11,24***#	0,43 ± 0,15***#	0,23 ± 0,7	1,14 ± 1,7***	0,12 ± 0,6	1,08 ± 0,4***£	0,23 ± 0,6***#£	7,46 ± 1,63***#
Abril 2016	Ponto 04	314,24 ± 11,26***#	0,27 ± 0,14***#	0,16 ± 0,4	0,62 ± 1,14***	0,11 ± 0,5	0,28 ± 0,12***£	0,26 ± 0,13***#£	7,84 ± 1,72***#
	Ponto 01	82,23 ± 15,22***	1,16 ± 0,8	0,84 ± 0,8*	2,26 ± 1,14***	0,38 ± 0,23	2,56 ± 1,22***	0,96 ± 0,13	6,93 ± 0,85***
	Ponto 02	96,22 ± 8,32***#	1,16 ± 0,8*	0,52 ± 0,14***#	2,35 ± 1,8***	0,18 ± 0,8	0,76 ± 0,42***	0,26 ± 0,7***#	7,24 ± 0,73***
	Ponto 03	276,23 ± 5,32***#	0,46 ± 0,14***#£	0,21 ± 0,7***#	1,14 ± 1,7***	0,12 ± 0,6***£	2,58 ± 1,26***	0,36 ± 0,13***#	7,32 ± 0,58***
	Ponto 04	316,36 ± 7,43***#	0,15 ± 0,6***#£	0,26 ± 0,9***#	0,34 ± 1,12***	0,9 ± 0,3***£	1,52 ± 1,7***	0,23 ± 0,9***#	7,63 ± 0,22***
	Controle Positivo <sup>b</sup>	42,54 ± 10,08***	2,98 ± 0,23*	0,78 ± 0,16**	2,88 ± 0,64*	0,65 ± 0,15	5,84 ± 0,52***	1,92 ± 0,13***	1,23 ± 1,3***

<sup>a</sup> Controle Negativo= água desclorada; <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 01 ao nível de P<0,05 (ANOVA); £ Diferença significativa do Ponto 02 ao nível de P<0,05 (ANOVA).

A contaminação atual dos recursos hídricos em consequência de descargas antropogênicas está se tornando um grande problema com o crescimento de regiões urbanas. Esta mudança na composição da água, obviamente, tem efeitos deletérios sobre os organismos que habitam essas áreas, além da saúde humana. Entre os efeitos letais e sub letais causados por essas misturas complexas em água, estão os problemas de fertilidade, bem como alterações celulares, metabólicas e no DNA (VILLELA *et al.*, 2003).

Um desafio associado à biomonitorização é a identificação de vários compostos que podem ser responsáveis pelos possíveis efeitos adversos associados à exposição a agentes ambientais. As amostras obtidas de ambientes de origem são misturas complexas de compostos orgânicos e inorgânicos, com milhares de componentes individuais que podem interagir para produzir efeitos aditivos, sinérgicos ou antagonísticos (WEAVER *et al.*, 2009).

Este estudo gerou dados químicos e biológicos de áreas expostas a muitas fontes de poluição. Embora não específicas, as relações de causa e efeito foram estabelecidas, com dados indicando que podem haver associação entre fatores físico-químicos, elementos inorgânicos e biomonitores diferentes (BATISTA *et al.*, 2016).

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 nos rios Poti (ETE-Leste) e Parnaíba (ETE-Pirajá) 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 na ETE-Leste (rio Poti) durante o período seco, sugerindo a presença de xenobióticos nos locais de estudo. Ainda pode-se destacar uma situação mais crítica no período seco, o que é esperado devido à concentração de poluentes neste período pela falta de chuva.

## 6 CONCLUSÃO

No âmbito desta pesquisa destacou-se a importância de se realizar um monitoramento ambiental dos corpos d'água que recebem uma grande demanda de efluentes tratados e não tratados, pois os compostos químicos presentes nesses efluentes podem constituir um perigo para todo o ecossistema. Ensaio que utilizam plantas como organismo teste, dentre eles a espécie *A. cepa*, têm se mostrado muito eficiente para esse tipo de monitoramento e são considerados excelentes ferramentas para avaliar a qualidade dessas águas. Sendo assim, no presente estudo, o teste *Allium cepa* se mostrou um eficiente organismo-teste para avaliação dos potenciais genotóxico e mutagênico das águas e dos efluentes dos rios Poti e Parnaíba.

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho concluímos que as águas e efluentes coletados apresentaram elevadas concentrações de condutividade elétrica, detergentes e fósforo, principalmente nos pontos, P1 e P3, da ETE-Leste detectado pelas análises físico-químicas, além dos altos teores de coliformes termotolerantes encontrados nas análises microbiológicas nas duas estações de tratamento de esgoto, principalmente no período seco, considerado o mais crítico, indicando que os cursos d'água dos afluentes em estudo estão sendo atingidos por diferentes xenobióticos, caracterizando um impacto negativo ao meio ambiente.

Por outro lado, com os resultados do teste *Allium cepa*, podemos inferir que o tratamento do efluente das estações de tratamento de esgoto Leste e Pirajá apresentaram um potencial genotóxico e mutagênico comprovado pelas alterações induzidas nas células, após a exposição das mesmas nas amostras de água e efluente, com resultados mais significativos no período seco na estação Leste, fato este que pode ter ocorrido devido ao lançamento de xenobióticos provenientes de outras fontes antropogênicas como as dos veículos Limpa Fossas, que descarregam o efluente coletado, nesta estação, ao contrário da ETE-Pirajá que recebe apenas o esgoto doméstico. Os resíduos provenientes desses veículos Limpa fossas, contém, possivelmente, uma mistura complexa de agentes causadores do efeito mutagênico, que está comprometendo a eficiência do tratamento da ETE-Leste.

Portanto, a título de sugestão é determinante que as estações de tratamento de esgoto estejam preparadas para receber apenas resíduos cuja origem e composição estejam adequadas à tecnologia de tratamento que é utilizada, pois o complexo de

tratamento da zona Leste (ETE) não possui esta característica, razão pela qual apresentou valores mais indutores de toxicidade, genotoxicidade e mutagenicidade.

Finalmente, conclui-se que o monitoramento ambiental feito no presente estudo foi importante e demonstrou resultados significativos para esta pesquisa. Entretanto, destaca-se também a necessidade de mais análises de biomonitoramento ambiental dos rios e respectivos efluentes tratados como forma de avaliar a real situação desses ecossistemas nos corpos receptores, e propor medidas mitigadoras visando à melhoria da qualidade desses mananciais e efluentes tratados neles lançados.

## REFERÊNCIAS

ANA. Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: Informe 2015**. Brasília, 2015.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Indicadores da qualidade da água**. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/IndicadoresQA/IndiceQA.aspx>>. Acesso em: jan. 2010.

AGUIRRE-GONZÁLES, M.; TABORDA-OCAMPO, G.; DUSSAN-LUBERT, C.; NERIN, C.; ROSERO-MOREANO, M. Optimization of the HS-SPME technique by-products by GC in drinking water. *J. Braz. Chem. Soc.* v. 12, 2330-36. 2011.

ALMEIDA A.F.S *et al.* **UEL** v. 24. 2003. p. 87.

AL-SABTI, K.; METCALFE, C. Fish micronuclei for assessing genotoxicity in water. **Mutation Research**, Amsterdam, v. 343, p.121-135, 1995.

ALVES, R. **Coliformes Termotolerantes e Escherichia coli**. Disponível em: <<http://www.webartigos.com/articles/28006/1/Coliformes-Termotolerantes-e-Escherichia-Coli/pagina1.html#ixzz1Pw6J1Nr4>>. Acesso em: jun. 2011.

ALVIM, L. B.; KUMMROW, F.; BEIJO, L. A.; LIMA, C. A. A.; BARBOSA, S. Avaliação da citogenotoxicidade de efluentes têxteis utilizando *Allium cepa* L. **Revista Ambiente & Água**, v. 6, n. 2, p. 255-265, 2011.

ANDRADE, V.M.; FREITAS, T.R.O.; SILVA, J. Comet assay using mullet (*Mugil* sp.) and sea catfish (*Netuma* sp.) erythrocytes for the detection og genotoxic pollutants in aquatic environment. **Mutation Research**, Amsterdam, v. 560, p.57-67, 2004.

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

ARAMBASIC, M. B.; BJELIC, S.; SUBAKOV, G. Acute toxicity of heavy metals, phenol and sodium on *Allium cepa* L., *Lepidium sativum* L. and *Daphnia magna* St.: comparative investigation and the practical applications. **Water Research**, v. 29, p. 497-503, 1995.

ARAÚJO, J. L. L. **Atlas escolar do Piauí**. João Pessoa: Grafset, 2006. p.52-57.

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.

- BARBOSA, C. F. **Hidrogeoquímica e a contaminação por nitrato em água subterrânea no bairro Piranema, Seropédica – RJ.** 2005. (Dissertação Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br>>. Acesso em: 21 set. 2014.
- BATISTA, N.J.C., CAVALCANTE, A.A.C.M., OLIVEIRA, M.G., MEDEIROS, E.C.N., MACHADO, J.L., EVANGELISTA, S.R., DIAS, J.F., DOS SANTOS, C.E.I., DUARTE, A., DA SILVA, F.R., DA SILVA, J. 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.
- BERNARDO, L. DI; PAZ, L. P. S. **Seleção de tecnologias de tratamento de água.** São Carlos: LDiBe, 2010. p. 868.
- 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. **Plano Nacional de Saneamento Básico.** Ministério das Cidades. Secretária Nacional de Saneamento Básico. Brasília, 2014. Disponível em: <[http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/PlanSaB/plansab\\_texto\\_editado\\_para\\_download.pdf](http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/PlanSaB/plansab_texto_editado_para_download.pdf)>. Acesso em 12 de set de 2016.
- BRASIL. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS): Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos.** Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. 2014. Brasília. Disponível em: <[http://www.epsjv.fiocruz.br/upload/Diagnostico\\_AE2014.pdf](http://www.epsjv.fiocruz.br/upload/Diagnostico_AE2014.pdf)>. Acesso em: 10 set. 2016.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio ambiente (CONAMA). **Resolução n° 430, de 13 de maio de 2011.** Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n° 357, de 17 de mar de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio ambiente (CONAMA). **Resolução n° 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.
- BRASIL. **Caderno da Região Hidrográfica do Parnaíba.** Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. – Brasília: MMA, 2006. Disponível em: [http://www.mma.gov.br/estruturas/161/\\_publicacao/161\\_publicacao03032011023605.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/161/_publicacao/161_publicacao03032011023605.pdf). Acesso em: 20 de mar 2016.

BRASIL. Agência Nacional de Águas; PIAUÍ. Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado do Piauí. **Atlas de abastecimento de água do Estado do Piauí – abastecimento de sedes municipais com menos de 5.000 habitantes**. ANA/SAS, Brasília: 2004.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de Agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.oas.org/dsd/fida/laws/legislation/brazil/brazil\\_6938.pdf](http://www.oas.org/dsd/fida/laws/legislation/brazil/brazil_6938.pdf)>. Acesso em: 14 set. 2016.

CAMPOS, T. DE S.; ROHLFS, D.B. **Avaliação dos valores de nitrato em águas subterrâneas e sua correlação com atividades antrópicas no município de Águas Lindas de Goiás**. Goiânia. PUC, 2011. Disponível em: <<http://www.cpgls.ucg.br/arquivosUpload/1/File/.../SAUDE/86.pdf>>. Acesso em: 02 abr 2014.

CARITÁ, R.; MARIN-MORALES, M. A. Induction of chromosome aberrations in the *Allium cepa* test system caused by the exposure of seeds to industrial effluents contaminated with azo dyes. **Chemosphere**, v. 72, p.722–725, 2008.

CELINO, J. J.; CORSEUIL, H. X.; FERNANDES, M.; GARCIA, K. S. Distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in the aquatic environment: a multivariate analysis. **REM: R Esc Minas**, v. 63, n. 2, p. 211-218, 2010.

CETESB (COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL DE SÃO PAULO). **Apêndice D - Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade**. São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/wpcontent/uploads/sites/32/2013/11/Ap%C3%AAndice-D-Significado-Ambiental-e-Sanit%C3%A1rio-das-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2016.

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/Águas-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.

CHANDRA, S.; CHAUHAN, L. K.; MURTHY, R. C.; SAXENA, P. N.; PANDE, P. N.; GUPTA, S. K. Comparative biomonitoring of leachates from hazardous solid waste of two industries using *Allium* test. **Science of the Total Environment**, v. 347, p. 46–52, 2005.

CHEN, Y.; NIU, Z.; ZHANG, H. Eutrophication assessment and management methodology of multiple pollution sources of a landscape lake in North China. **Environ Sci Pollut Res**, v. 20, p. 3877-3889, 2013.

CLAXTON, L.D., HOUCK, V.S., HUGLES, T.J. Genotoxicity of industrial wasted and effluents. **Mutation Research**, v. 410, p. 237-243, 1998.

CODEVASF. Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba. **Plano de Ação para o Desenvolvimento Integrado da Bacia do Parnaíba (PLANAP): Atlas da Bacia do Parnaíba**. Brasília, DF: TDA Desenho & Arte Ltda., 2006.

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

COTELLE, S.; MASFARAUD, J.F.; FÉRARD, J.F. Assessment of the genotoxicity of contaminated soil with the *Allium/Vicia*-micronucleus and the *Tradescantia* micronucleus assays. **Mutation Research – Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis**, Amsterdam, v.426, p.167-171, 1999.

CHU, W.; GAO, N.; DENG, Y. Templeton MR, Yin D. Formation of nitrogenous disinfection by-products from pre-chloramination. **Chem**. 85:1187-1191, 2011.

DA SILVA, J. *et al.* Evaluation of the genotoxic effect of rutin and quercetin by comet assay and micronucleus test. **Food and Chemical Toxicology**, n. 40, p. 941-947, 2003.

DE SILVA, F. C; BARROS, M.A.B; VIANA, R.R; ROMÃO, N.F; OLIVEIRA, M.S; MENEGUETTI, D.U.O. Avaliação de mutagênese provocada por sulfato de ferro através do teste micronúcleo em células da medula óssea de camundongos. **Revista científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente**, 2 (1) :13-22, 2011.

DUARTE, F. C; LAHOZ, R.A.L. Saneamento básico e direito à saúde: considerações a partir do princípio da universalização dos serviços públicos. **Revista de Estudos Constitucionais, Hermenêutica e Teoria do Direito (RECHTD)**. Rio Grande do Sul, v. 7, n. 1, p. 62-69, abr. 2015.

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

ENGESOFT. Engenharia e Consultoria LTDA. **Elaboração de Estudo de Concepção, Projeto Básico e Projeto Executivo do Sistema de Esgotamento Sanitário da Cidade de Teresina-PI**, v. 2, Tomo I – Diagnóstico do Sistema de Esgotamento Sanitário Existente, 2013. Tomo IB – Diagnóstico do Sistema de Abastecimento de água Existente, 2013.

EUGRIS. Portal for soil and water management in Europe. **Contaminated land**. Reino Unido, 2013. Disponível em: <<http://www.eugris.info/eugris-soil-water-encyclopedia.asp>>. Acesso em: 04 jun. 2013.



EVSEEVA, T.I.; GERAS'KIN, S.A.; SHUKTOMOVA, II. 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.

FISKEJÖ, G. The *Allium* test as a standart in environmental monitoring. **Hereditas**, Lund, v.102, p.99-112, 1985.

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., BARTOLOTTI, 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. **Ecot and Envir Saf**. 2012; 79:116-121.

GONZÁLES, S; PETROVIC, M; BARCELÓ, D. Simultaneous extraction and fate of linear alkylbenzene sulfonates, coconut diethanol amides, nonylphenol ethoxylates and their degradation products in wastewater treatment plants, receiving coastal waters and sediments in the Catalanian area (NE Spain). **Journal of Chromatography A**, v.1052, p.111-120, 2004.

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 de Doutorado) – 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.

GRISOLIA, C. K.; STARLING, F. L. R. M. Micronuclei monitoring of fishes from Lake Paranoá, under influence of sewage treatment plant discharges. **Mutation Research**, Amsterdam, v. 491, p.39-44, 2001.

GROVER, I. S., KAUR, S. Genotoxicity of wastewater samples from sewage and industrial effluent detected by the *Allium* root anaphase aberration and micronucleus assays. **Mutation Research**, v. 426, 183 – 188. 1999.

GUPTA, A.K., AHMAD, M. **Assessment of cytotoxic and genotoxic potential of refinery waste effluent using plant, animal and bacterial systems**. J. Hazard. Mater. 201 e 202, 92 e 99. 2012.

HALL, J.B. DNA strand breaks and chromosomal aberrations. **Radiobiology for the radiologist**, 4 ed., Lippincott Company, Philadelphia, p. 15-27, 1994.

HANSEN, K. M. S.; WILLACH, S.; MOSBACK, H.; ANDERSEN, H. R. Particles in swimming pool filters – Does pH determine the DBP formation? **Chem**, 87: 241-47. 2012.

HENDRYX, M.; CONLEY, P., FEDORKO, E.; LUO, J.; ARMISTEAD, M. Permitted water pollution discharges and population cancer and non-cancer mortality: toxicity weights and upstream discharge effects in US rural-urban areas. **International Journal of Health Geographics**, v. 11, n. 9, p. 1-15, 2012.

HOLLAND, N., FUCIC, A., MERLO, D.F., SRAM, R., KIRSCH-VOLDERS, M. Micronuclei in neonates and children: effects of environmental, genetic, demographic and disease variables. **Mutagenesis** 26, 51 - 56. 2011.

HOLLAND, N. et al. The micronucleus assay in human buccal cells as a tool for biomonitoring DNA damage: the HUMN project perspective on current status and knowledge gaps. **Mutation Research**, v. 659, p. 93-108, 2008.

HOSHINA, M. M., MARIN-MORALES, M. A. Micronucleus and chromosome aberrations induced in onion (*Allium cepa*) by a petroleum refinery effluent and by river water that receives this effluent. **Ecotoxicol. Environ. Saf.** 72, 2090b e 2095. 2009.

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, Rio Claro, SP. 2002.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativas da População Residente no Brasil e Unidades da Federação**. 2015. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas\_de\_Populacao/Estimativas\_2015/estimativa\_dou\_2015\_20150915.pdf>. Acesso em: 30 set. 2016.

- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2010: Piauí. 2011.** Disponível em: <[http://www.censo2010.ibge.gov.br/dados\\_divulgados/index.php](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/64063001.pdf](https://www.idexx.com/pdf/en_us/water/64063001.pdf)>. Acesso em: 20 mar. 2015.
- IARMARCOVAI, G., BONASSI, S., BOTTA, A., BAAN, R. A., ORSIERE, T. Genetic polymorphisms and micronucleus formation: a review of the literature. **Mutat. Res.** 658 215–233. 2007.
- JUNDI, T.A.R.E.; FREITAS, T.R.O. Toxicologia Evolutiva. In: ERDTMANN, B.; HENRIQUES, J.A.P.; DA SILVA, J. **Genética Toxicológica**. Porto Alegre: Alcance, , p.101-113. 2003.
- KNIE, J. L. W.; LOPES, E. W. B. **Testes ecotoxicológicos: métodos, técnicas e aplicações**. Florianópolis: FATMA / GTZ, p. 289, 2004.
- KOVALCHUK, O., KOVALCHUK, I, ARKHIPOV, A., TELYUK, P., HOHN, B. The *Allium cepa* chromosome aberration test reliably measures genotoxicity of soils of inhabited areas in the Ukraine contaminated by the Chernobyl accident. **Mutation Research**, 415, 47-57. 1998.
- KONUK, M.; LIMAN, R.; CÍĜERCI, İ. H. Determination of genotoxic effect of boron on *Allium cepa* root meristematic cells. **Pakistan Journal of Botany**, 39, 73–79. 2007.
- KRISTEN, U. Use of higher plants as screens for toxicity assessment. **Toxicology in vitro**, United Kingdom, v. 11, p. 181-191, 1997.
- KULKARNI, P.; CHELLAN, S. Disinfection by product formation following chlorination of drinking water: artificial neural network models and changes in speciation with treatment. **Scie of the Tot Envir**. 2010; 408:4202-10.
- LEGAY, C.; RODRIGUEZ, M.; SERODES, J.; LEVALLOIS, P. Estimation of chlorination by-products presence in drinking water in epidemiological studies on adverse reproductive outcomes: a review. In: **Scie of the Tot Envir**. 408:456-72. 2010.
- LEME, D. M. **Avaliação do potencial genotóxico e mutagênico de águas e de sedimentos do Rio Guacá, São Sebastião – SP, após impacto do vazamento de oleoduto da região**. Dissertação (Mestrado em Biologia Celular e Molecular). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2007.
- 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.
- LEME, D. M.; MARIN-MORALES, M. A. Chromosome aberration and micronucleus frequencies in *Allium cepa* Test in environmental monitoring: a review on its application. **Mutation Research**, v. 682, p.71-81, 2009.

- LEMOS, C. T.; ERDTMANN, B. Cytogenetic evaluation of aquatic genotoxicity in human cultured lymphocytes. **Mutation Research**, Leiden, v. 467, n. 1, p. 1-9, 2000.
- LEVAN, A. The effect of colchicine on root mitoses in *Allium*. **Hereditas**, Lund, v. 24, n. 4 p. 471-486, 1938.
- LEVAN, A. Cytological reactions induced by inorganic salt solutions. **Nature**, London, v. 156, p. 751-752, 1945.
- LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3 Ed. Campinas: Átomo, 2010. p. 496.
- LIMAN, R.; AKYIL, D.; EREN, Y.; KONUK, M. Testing of the mutagenicity and genotoxicity of metolcarb by using both Ames/Salmonella and *Allium* test. **Chemosphere**, 80, 1056–1061. 2010.
- LIMAN, R.; CIĞERCI, İ. H.; AKYIL, D.; EREN, Y.; KONUK, M. Determination of genotoxicity of Fenaminosulf by *Allium* and Comet tests. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, 99, 61–64. 2011.
- LIMAN, R.; GÖKÇE, U. G.; AKYIL, D.; EREN, Y.; KONUK, M. Evaluation of genotoxic and mutagenic effects of aqueous extract from aerial parts of *Linaria genistifolia* sub. sp. *genistifolia*. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, 22, 541–538. 2012.
- 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.
- MA, T. H.; XU, C.; MCCONNELL, H.; RABAGO, E. V.; ARREOLA, G. A. The improved *Allium/Vicia* root tip micronucleous assay for clastogenicity of environmental pollutants. **Mutation Research**, v. 334, p. 185-195, 1995.
- MACHADO, R.R.B.; PEREIRA, E.C.G.; ANDRADE, L.H.C. Evolução temporal (2000- 2006) da cobertura vegetal da zona urbana do município de Teresina - Piauí - Brasil. **REVSBAU**. Piracicaba, n.3, v.5, p.97-112. 2010.
- MARET, W. The metals in the biological periodic system of the elements: concepts and conjectures wolfgang. **Int. J. Mol. Sci.** 17, 1-8, 2016.
- MARIN-MORALES, M. A.; LEME, D. M.; MAZZEO, D. E. C. A review of the Hazardous effects of polycyclic aromatic hydrocarbons on living organisms. In: HAINES, P. A.; HENDRECKSON, D. M. Polycyclic aromatic hydrocarbons – Pollution, health effects and chemistry. **Nova Science Publishers**, Inc, p.1-49, 2009.

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.

MAROTTA, H; SANTOS, R. O. dos; ENRICH-PRAST, A. Monitoramento limnológico: um instrumento para a conservação dos recursos hídricos no planejamento e na gestão urbanoambientais. **Rev. Ambiente e sociedade**. v. 11. n 1. Campinas, jan./jun, 2008.

MATEUCA R, L. N.; AKA, P. V.; DECORDER, I.; KIRSCH-VOLDERS, M. Chromosomal changes: induction, detection methods and applicability in human biomonitoring. In: **Biochim**. 88:1515:31. 2006.

MATSUMOTO, S.T.; MARIN-MORALES, M.A. Toxic and genotoxic effects of trivalent and hexavalent chromium – a review. **Revista Brasileira de Toxicologia**, v. 18, n. 1, p.77-85, 2005.

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.

MATSUMOTO, S.T.; MANTOVANI, M.S.; MALAGUTTI, M.I.A.; DIAS, A.L.; FONSECA, I.C.; MARIN-MORALES, M.A. Genotoxicity and mutagenicity of water contaminated with tannery effluents, as evaluated by the micronucleus test and comet assay using the fish *Oreochromis niloticus* and chromosome aberrations in onion root-tips. **Genetics Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v.29, n.1, p.148-158, 2006.

MAZZEO, D.E.C., FERNANDES, T.C.C., MARIN-MORALES, M.A. Cellular damages in the *Allium cepa* test system, caused by BTEX mixture prior and after biodegradation process. **Chemosphere**, 85, 13-18. 2011.

MENDES-CÂMARA, F. M. **Avaliação da Qualidade da Água do Rio Poti na Cidade de Teresina, Piauí**. 2011. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2011. Disponível em: [http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/104342/camara\\_fmm\\_dr\\_rcla.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/104342/camara_fmm_dr_rcla.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 10 jun. 2016.

MIRLEAN, N.; CASARTELLI, M. R.; GARCIA, M. R. D. Propagação da poluição atmosférica por flúor nas águas subterrâneas e solos de regiões próximas às indústrias de fertilizantes (Rio Grande, RS). **Quim Nova**, v. 25, n. 2, p. 191-195, 2002.

MITCHELMORE, C. L.; CHIPMAN, J. K. DNA strand breakage in aquatic organisms and the potencial value of the comet assay in environmental monitoring. **Mutation Research**, Amsterdam, v. 399, p. 135-147, 1998.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Caderno da Região Hidrográfica do Parnaíba**. Brasília: MMA, 2006. Disponível em: [http://www.mma.gov.br/estruturas/161/\\_publicacao/161\\_publicacao03032011023605.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/161/_publicacao/161_publicacao03032011023605.pdf). Acesso em: 24 set. 2013.

- MOLNAR, J. J.; AG BABA, J. R.; DALMACIJA, B. D.; KLASNJA, M. T.; DALMACIJA, M. B.; KRAGULJ, M. M. 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.; FERETTI, D.; COLLIVIGNARELLI, C.; GUZZELLA, L.; ZERBINI, I.; BERTANZA, G.; PEDRAZZANI, R. 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 de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) pela 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 de Doutorado. Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Ceará, 2011.
- MORAIS, R. C. de S. **Diagnóstico Socioambiental do Balneário Curva São Paulo-Teresina-Pi**. Dissertação do Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2012.
- MOTA, S. **Urbanização e meio ambiente**. 4. ed. Rio de Janeiro; Fortaleza. ABES, 2011. p.49-53.
- MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental**. 4 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2010. p.388.
- MOULY, D.; JOULIN, E.; ROSIN, C.; BEAUDEAU, P.; ZEGHNOUN, A.; OLSZEWSKI-ORTAR, A.; MUNOZ, J. F.; WELTÉ, B.; JOYEUX, M.; SEUX, R.; MONTIEL, A.; RODRIGUEZ, M. J. Variations in trihalomethane levels in three French water distribution systems and the development of a predictive model. **Mutat Res**. 28:1-12. 2010.
- NAGY, A.; HOLLINGSWORTH, J.A.; HU, B.; STEINBRÜCK, A.; STARK, P.C.; RIOS VALDEZ, C.; VUYISICH, M.; STEWART, M.H.; ATHA, D.H.; NELSON, B.C.; IYER, R. Functionalization-dependent induction of cellular survival pathways by CdSe quantum dots in primary normal human bronchial epithelial cells. **ACS Nano**. 7, 8397-411, 2013.
- NIELSEN, M.H.; RANK, J. Screening of toxicity and genotoxicity in wastewater by the use of the Allium test. **Hereditas**. 121, 249-254. 1994.
- NUNES, E.A., DE 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 e 53. 2011.
- NUVOLARI, Ariovaldo et al. **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. 1. ed., São Paulo: Edgard Blücher, 2003. p.35.

NUVOLARI, A. **Dicionário de saneamento ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 336 p.

OHE, T., WHITE, P.A., DEMARINI, D.M. Mutagenic characteristics of river waters flowing through large metropolitan areas in North America. **Mutat. Res. Genet. Toxicol. Environ. Mutagen.** 534, 101-112. 2003.

OLIVEIRA, N. DE L. **Estudo da Variabilidade Sazonal da Qualidade da Água do Rio Poti em Teresina e Suas Implicações na População Local**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) pela Universidade Federal do Piauí, 2012. p. 113.

OLIVEIRA, L. M.; VOLTOLINE, J. C.; BARBÉRIO, A. Potencial mutagênico dos poluentes da água do Rio Paraíba do Sul em Tremembé, SP, Brasil, utilizando o teste *Allium cepa*. **Revista Ambiente e Água**. v. 6, n. 1, 2011.

OMS. Organização Mundial de Saúde. A saúde mental pelo prisma da saúde pública. **Relatório sobre a saúde no mundo 2001**. Genebra: OPAS/OMS, p.1-16, 2001.

ÖZKARA, A.; AKYIL, D.; ERDOĞMUŞ, S. F.; KONUK, M. Evaluation of germination, root growth and cytological effects of wastewater of sugar factory (Afyonkarahisar) using *Hordeum vulgare* bioassays. **Environmental Monitoring and Assessment**, 183, 517–524. 2011.

PÁDUA, V. L. DE; FERREIRA, A. C. DA S. **Qualidade da água para consumo humano**. In: **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: UFMG, 2006. p. 153-221.

PANTALEÃO, S.M.; ALCÂNTARA, A.V.; ALVES, J.P.H.; SPANÓ, M.A. The piscine micronucleus test to asses the impacto f pollution on the Japaratuba River in Brazil. **Environmental and Molecular Mutagenesis**, New York, v.47, p.219-224, 2006.

PENTEADO, C. J. P. **Química Nova**, v.29, 2006.

PESSOA,C.A; JORDÃO, E.P. - **Tratamento de Esgotos Domésticos**, 4a. 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.

PMT. Prefeitura Municipal de Teresina. **Plano Municipal de Saneamento Básico**. Produto 02 – Diagnóstico da situação do Saneamento Básico. Teresina, 2015. Disponível em: [http://semplan.teresina.pi.gov.br/wp-content/uploads/2015/05/PMSB-DIAGN%C3%93STICO--ATUALIZADO\\_ABRIL.pdf](http://semplan.teresina.pi.gov.br/wp-content/uploads/2015/05/PMSB-DIAGN%C3%93STICO--ATUALIZADO_ABRIL.pdf). Acesso em: 20 abr. 2016.

QUINZANI-JORDÃO, B. **Ciclo celular em meristemas. La formación de intercâmbios entre cromátidas hermanas**. 1987. 276f. Tese (Doutorado) - Universidade de Complutense, Madrid, 1987.

RANK, J.; NIELSEN, M.H. Genotoxicity testing of wastewater sludge using the *Allium cepa* anaphase-telophase chromosome aberration assay. **Mutation Research**, v. 418, p. 113-119, Amsterdam, 1998.

RIBEIRO, L. R.; SALVADORI, D. M. F.; MARQUES, E. K. **Mutagênese ambiental**. Canoas: ULBRA, 2003. p.90.

RICHARDSON, S.D. Disinfection by products and other emerging contaminants in drinking water. *Tren in Anal In: Chem*, 22:666-84. 2003.

ROCHA, M. E. S. da. et al. Avaliação Preliminar da ETE Pirajá – Teresina – PI. In: 21 CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2001, João Pessoa. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2001, p. 1-6. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/brasil/ii-110.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2013.

ROSA, A.H.; FRACETO, L.F.; CARLOS, M.V. **Meio Ambiente e sustentabilidade**. Porto Alegre: Bookman, 2012. p.48-55.

ROSA, E.; AFONSO L. **Ciência Viva**, 2008. p.77.

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

SANTI, G. M.; FURTADO, C.; MENEZES, R. S.; KEPPELER, E. C. Variabilidade espacial de parametros e indicadores de qualidade da água em subcuenca hidrográfica del igarape Sao Francisco, Rio Branco, Acre, Brasil. **Ecologia Aplicada**. v. 11, n. 1, p. 23-31, 2012.

SEMAR. **Bacia do rio Poti**. Atlas de abastecimento de água do Estado do Piauí, 2004. CD-ROM 1.

SEAMPLAM. **Caracterização do Município de Teresina**. Secretária Municipal de Planejamento e Coordenação. Teresina, 2015. Disponível em: <http://semplan.teresina.pi.gov.br/wp-content/uploads/2015/02/TERESINA-Caracteriza%C3%83%C2%A7%C3%83%C2%A3o-do-Munic%C3%83-pio-2015.pdf>. Acesso em: 10 de set de 2016.

SCHMID, W. The micronuclei test. **Mutation Research**, v. 31, p. 1-15, 1975.

SHAH, A. D.; MITCH, W. A. Halonitroalkanes, halonitiles, haloamides, an N-nitrosamines: a critical review of nitrogenous disinfection byproduct formation pathways. **Envir Sci Tech**, 46 : 119-131. 2012.

SILVA, I. M.; TAU-K-TORNISIELO, S. M.; SANTOS, A. A. O.; MALAGUTTI, E. N. Avaliação da qualidade de água dos pesque-pague localizados na Bacia do Rio Corumbataí, SP (Brasil). **Holos Environment**, v. 12, n. 2, p. 179. 2012.



SILVA, P. P. Da.; ALVES, D. M.; NUNCIO, F.; WILLIAN, G.; NUNES, R. C.; TORQUIM, V.; FERREIRA, D. C. **Avaliação da Biodegradabilidade de Detergentes Comerciais**. VII Encontro de Tecnologia da UNIUBE. Minas Gerais, 2011.

SMAKA-KINCL, V. *et al.* The evaluation of waste and ground water quality using the Allium test procedure. **Mutation Research**, v. 368, p. 171-179, 1996.

SOUZA, T.S.; FONTANETTI, C.S. Micronucleus test and observation of nuclear alterations in erythrocytes of Nile tilapia exposed to waters affected by refinery effluent. **Mutation Research – Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis**, Amsterdam, v.605, p.87-93, 2006.

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.

SOUZA, T. S.; HENCKLEIN, F. A.; ANGELIS, D. F.; GONÇALVES, R. A.; FONTANETTI, C. S. The Allium cepa bioassay to evaluate landfarming soil, before and after the addition of rice hulls to accelerate organic pollutants biodegradation. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, 72, 1363–1368. 2009.

SOUZA, T. S.; HEINCKLEIN, F. A.; DE ANGELIS, D. F.; FONTANETTI, C. S. Clastogenicity of landfarming soil treated with sugar cane vinasse. **Environmental Monitoring and Assessment**, 185, 1627–1636. 2013.

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. Assess.** 187, 13 e 26. 2015.

TABREZ, S., AHMAD, M. Oxidative stress-mediated genotoxicity of wastewaters collected from two different stations in northern India. **Mutat. Res**, 726, 15-20. 2011.

TAVARES, F.V.F.2008. **Remoção de surfactantes aniônicos em filtros biológicos percoladores com diferentes meios suporte aplicados ao pós-tratamento de efluentes de reatores UASB**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, 2008.

THEBALDI, M. S.; SANDRI, D.; FELISBERTO, A. B.; ROCHA, M. S.; NETO, S. A. Qualidade da água de um córrego sob influência de efluente tratado de abate bovino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 15, n.3, p. 302-309. 2011.

THOMAS, P., HOLLAND, N., BOLOGNESI, C., KIRSCH-VOLDERS, M., BONASSI, S., ZEIGER, E., KNASMUELLER, S., FENECH, M., Buccal micronucleus cytomeassay. **Nat. Protoc.**4, 825 e 837. 2009.

TIPIRDAMAZ, R., G€OMÜRGEN, A.N., OLANKAYA, D., DOGAN, M. Determination of toxicity of pulp-MIII effluents by using *Allium* test. **Tarım Bil. Der.**, 9, 93-97. 2003.

TRÉPOS, R.; MASSON, V.; CORDIER, M. O.; GASCUEL-ODOUX, C.; SALMON-MONVIOLA, J. Mining simulation data by rule induction to determine critical source areas of stream water pollution by herbicides. **Comput Electron Agric**, v.86, p. 75-88, 2012.

TUCCI. C. E. M. Águas urbanas: interfaces no gerenciamento. In: PHILIPPI Jr., A. **Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. Barueri- SP: Manole, p. 375-411, 2005.

TUCCI. C. E. M. Água no meio urbano. In: REBOUÇAS, A. da C., et al (org.). **Águas doces no Brasil**. 3 ed. São Paulo: Escrituras, 2006. p.399-432.

TURKOGLUS. et al. Evaluation of genotoxic effects of sodium propionate, calcium propionate and potassium propionate on the root meristem cells of *Allium cepa*. **Food and Chemical Toxicology** p.1-7, 2008.

TÜRKOĞLU, S. Determination of genotoxic effects of chlorfenvinphos and fenbuconazole in *Allium cepa* root cells by mitotic activity, chromosome aberration, DNA content, and comet assay. **Pestic. Biochem. Phys.** 103, 224-230. 2012.

UMBUZEIRO, G.D., ROUBICEK, D.A., SANCHEZ, P.S., SATO, M.I.Z. The Salmonella mutagenicity assay in a surface water quality monitoring program based on a 20-year survey. **Mutat. Res. Genet. Toxicol. Environ. Mutagen.** 49, 119-126. 2001.

UMBUZEIRO, G.A.; ROUBICEK, D.A.; Genotoxicidade Ambiental. In: ZAGATTO, P.A.; BERTOLETTI, E. **Ecotoxicologia Aquática – Princípios e Aplicações**. São Carlos: Rima, 2003, p.327-344.

UMBUZEIRO, G. A (Org.). **Guia de potabilidade para substâncias químicas**. São Paulo: Limiar, 2012. 148 p.

USEPA. **Alternative disinfectants and oxidants guidance**. 815R99014. 1999.

USEPA. **Federal register**, vol 63, n. 241, 16/12/1998, Rules and Regulations. 1998.

USEPA. **National organics monitoring survey**. USEPA, Cincinnati, USA. 1978.

VARGAS, V.M.F., MIGLIAVACCA, S.B., MELO, A.C., HORN, R.C., GUIDOBONO, R.R., FERREIRA, I.C.F.S., PESTANA, M.H.D. Genotoxicity assessment in aquatic environments under the influence of heavy metals and organic contaminants. **Mutat. Res.** 490, 141e158. 2001.

VENKATRAMREDDY, V.; VUTUKURU, S.S.; TCHOUNWOU, P.B. Ecotoxicology of Hexavalent Chromium in Freshwater Fish: A Critical Review. **Rev Environ Health**, v. 24, n. 2, p. 129–145, 2009.

VENTURA-CAMARGO, B. C.; MALTEMPI, P. P. P; MARIN-MORALES, M. A. The use of the cytogenetic to identify mechanisms of action of an azo dye in *Allium cepa* meristematic cells. **Journal of Environmental and Analytical Toxicology**, v. 1, n. 3, p. 1-12, 2011.

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.

VILLANUEVA, C. M.; CASTAÑO-VINYALS, G.; MORENO, V.; CARRASCO-TURIGAS, G.; ARAGONÉS, N.; BOLDO, E.; ARDANAZ, E.; TOLEDO, E.; ALTZIBAR, J. M.; ZALDUA, I.; AZPIROZ, L.; GOÑI, F.; TARDÓN, A.; MOLINA, A. J.; MARTÍN, V.; LÓPEZ-ROJO, C.; JIMÉNEZ-MOLEÓN, C. R.; GÓMEZ-ACEBO, I.; PEIRÓ, R.; RIPOLL, M.; GARCIA-LAVEDAN, E.; NILUWENHUIJSEN, M. J.; RANTAKOKKO, P.; GOSLAN, E. H.; POLLÁN, M.; KOGEVINAS, M. Concentrations and correlations of disinfection by-products in municipal drinking water from an exposure assessment perspective. **Environ Res**, 114:1-11. 2012.

VILLELA, I.V.; LAU, A.; SILVEIRA, J.; PRÁ, D.; ROLLA, H.C.; SILVEIRA, J.D. **Bioensaios para monitoramento de genotoxicidade ambiental**. In: Da Silva, J. et al (Ed.). *Genética Toxicológica*. Porto Alegre: Alcance, 2003. p. 147-163.

VIVIAN, M.; KUNZ, A.; STLBERG, J.; PERDOMO, C.; TECHIO, V. H. Eficiência da interação biodigestor e lagoas de estabilização na remoção de poluentes em dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.320-325, 2010.

WEAVER, C.P. et al. A preliminary synthesis of modeled climate change impacts on U.S. regional ozone concentrations. **Bull. Amer. Meteorol. Soc.**, 90, 1843-1863, 2009.

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

WHO. **Boron in drinking water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality**. 2003. Disponível em : <[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/boron.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/boron.pdf)>. Acesso em: 31 mar.2014.

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.

YANG, X.; GUO, W.; SHEN, Q. Formation of disinfection by products from chlor(am)ination of algal organic matter. **Jour of Haza Mat**, 197:378-88. 2011.

YILDIZ, M.; CİĞERCI, İ. H.; KONUK, M.; FIDAN, A. F.; TERZI, H. Determination of genotoxic effects of copper sulphate and cobalt chloride in *Allium cepa* root cells by chromosome aberration and comet assays. **Chemosphere**, 75, 934-938. 2009.