

AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL TOXICOGENÉTICO PELO MÉTODO ALLIUM CEPHA EM LAGOAS DA ZONA NORTE DE TERESINA-PI

Andressa Maria Silva Leite Esteves¹

Leonel Vitório Esteves²

Antônio Luiz Gomes Junior³

Leonardo Madeira Martins⁴

RESUMO: A ecotoxicologia avalia os efeitos de agentes químicos e físicos nos organismos vivos, podendo alterar os genes e o metabolismo das células, na qual afeta diretamente no desenvolvimento e no funcionamento dos mesmos. As ações antrópicas por lançamento adequado de resíduos sólidos e ligações clandestinas de esgoto na drenagem urbana agravou a qualidade de água das lagoas em Teresina-PI, obras de revitalização parcial foram realizadas para recuperar o corpo hídrico, porém estudos foram realizados para monitorar a qualidade da água. Portanto, esse artigo tem por objetivo avaliar os possíveis efeitos tóxicos, verificando o potencial citotóxico e mutagênico em regiões com e sem revitalização em lagoas da zona norte de Teresina. Para o estudo foi utilizada a metodologia *allium cepa* com a avaliação do desenvolvimento das raízes em contato com a água analisada e análise da divisão celular e aberrações cromossômica da cebola, com observação no período chuvoso e seco. Para o tratamento dos resultados, foi utilizado teste estatístico com o programa Graphpad Prism teste Neuman-Keuls como post-hoc teste com significância de $p < 0,005$ a utilização 1.000 células por bulbo. No período seco, com exceção dos pontos P₁, P₂ e P₁₀, todos os outros foram capazes de induzir algum dano, seja ele de toxicidade, citotoxicidade ou aberrações cromossômicas, no período chuvoso somente o ponto P₃ não apresentou alterações. Concluiu-se que autoridades e especialistas devem averiguar e atuar os lançamentos de esgoto bruto clandestinamente e investir na educação ambiental para a população residente e assim mitigar as ações antrópicas provocadas por estes.

1287

Palavras-chave: Citotoxicidade. Ecotoxicidade. Mutagenicidade. Poluição Ambiental. Toxicidade

¹Mestranda em Engenharia Civil e Ambiental pela UFPE (PPGCAM), campus Agreste.

²Mestrando em Engenharia Civil e Ambiental pela UFPE (PPGCAM), campus Agreste.

³ Coautor.

⁴ Coautor.

ABSTRACT: Ecotoxicology evaluates the effects of chemical and physical agents on living organisms, which can alter genes and cell metabolism, which directly affects their development and functioning. The anthropic actions for proper release of solid waste and clandestine sewage connections in the urban drainage worsened the water quality of the ponds in Teresina-PI, partial revitalization works were carried out to recover the water body, but studies were carried out to monitor the quality of the water. Therefore, this article aims to evaluate the possible toxic effects, verifying the cytotoxic and mutagenic potential in regions with and without revitalization in lakes in the north of Teresina. For the study, the allium cepa methodology was used with the evaluation of the development of the roots in contact with the analyzed water and analysis of cell division and chromosomal aberrations of the onion, with observation in the rainy and dry season. To treat the results, a statistical test was used with the Graphpad Prism program, Neuman-Keuls test as a post-hoc test with significance of $p < 0.005$ using 1,000 cells per bulb. In the dry period, with the exception of points P₁, P₂ and P₁₀, all the others were capable of inducing some damage, be it toxicity, cytotoxicity or chromosomal aberrations, in the rainy period only the P₃ point did not present alterations. It was concluded that authorities and specialists should investigate and prosecute the clandestine releases of raw sewage and invest in environmental education for the resident population and thus mitigate the anthropic actions caused by them.

Keywords: Cytotoxicity. Ecotoxicity. Mutagenicity. Environment pollution. Toxicity.

INTRODUÇÃO

A degradação dos recursos hídricos afeta a saúde e a qualidade de vida da população, no Brasil se enfatiza pelos lançamentos de águas servidas nos mananciais, que ocorrem de três maneiras: pontuais, ao logo do tempo e períodos determinados. Os principais efluentes despejados são urbanos, industriais e agrícolas que podem acumular substâncias nocivas (como sedimentos, resíduos orgânicos e químicos) e acarretar efeitos tóxicos capaz de abranger longas extensões afetando a biota. Inclusive, seres humanos que utilizam a água e/ou pescados contaminados. Outros fatores ambientais que alteram o grau tóxico propagado, são as quantidades de matéria orgânica, oxigênio dissolvido (OD), pH, temperatura, radiação ultravioleta, balanço hídrico e a geologia do local (QUEIROZ; DA SILVA; DE PAIVA, 2017; TAVARES et al., 2019)

A exposição a um agente tóxico pode danificar irreversivelmente o DNA, na qual variam em concentrações e tempos diferentes, assim sendo aguda quando a carga tóxica é rapidamente liberada e absorvida ou crônica quando liberada de forma sucessiva por temporada, mesmo em concentrações menores. Isso afeta diretamente no desenvolvimento e no funcionamento do organismo vivo e de seus descendentes, diminuindo a sobrevivência, desenvolvendo câncer, tumores e até causar mortes, devido a modificações no material

genético, como anomalias cromossômicas, distúrbios no ciclo mitótico e fragmentação do DNA, além de alterações metabólicas, como inibição, defeito ou retardo da divisão celular (FROTA, 2019; MERCADO; CALEÑO, 2020)

Leis foram implementadas para o controle e monitoramento das águas com o intuito de prevenir e mitigar os impactos gerados ao meio ambiente, dentre elas, a Resolução CONAMA nº 357/05 que estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes nos corpos hídricos. No artigo 8º discorre dos parâmetros de qualidade de água que deverá ser monitorado pelo Poder Público, e no inciso 4º, as possíveis interações, mesmo que não listados na Resolução, se for capaz de causar danos aos seres vivos, devem ser investigadas por meio de ensaios ecotoxicológicos, toxicológicos, ou outros métodos cientificamente reconhecidos. Ela foi complementada e alterada pelo CONAMA nº 430/2011, na qual o artigo 18º comenta que o efluente não poderá ocasionar ou ter potencial que causem efeitos tóxicos aos organismos aquáticos do corpo receptor.

Mesmo com leis que buscam reduzir as ocorrências de doenças vinculadas pela contaminação dos corpos hídricos, faz-se necessário estabelecer padrões e punir os agentes de poluição do meio ambiente. Visto isso é necessário traçar estratégias para um maior monitoramento da qualidade da água, para que possam ser tomadas medidas de preservação e conservação. Na ecotoxicologia existe os bioensaios e entre eles serão enfatizados os ensaios toxicogenéticos, que avaliam os efeitos, em conjunto ou não, de agentes químicos e físicos que afetam o material genético e o metabolismo celular, já que os parâmetros físico, químicos e microbiológicos não são capazes de avaliar a toxicidade dos contaminantes (BERTANHA, 2021).

A expansão dessa área de estudo é de relevância para a averiguação de ambientes que possam estar contaminados e para a recuperação dessas áreas. Dentre os bioensaios, o teste *Allium cepa* L. é um dos mais indicados para o monitoramento ambiental com alta porcentagem de confiabilidade, uma vez que aceito e validado internacionalmente para pesquisas, logo são altamente sensíveis para detectar lesões do DNA e alterações metabólicas, portanto pode-se analisar a toxicidade, a mutagenicidade, genotoxicidade e a citotoxicidade de substâncias e de amostras de água (SOARES; COLDEBELLA; FRIGO, 2021).

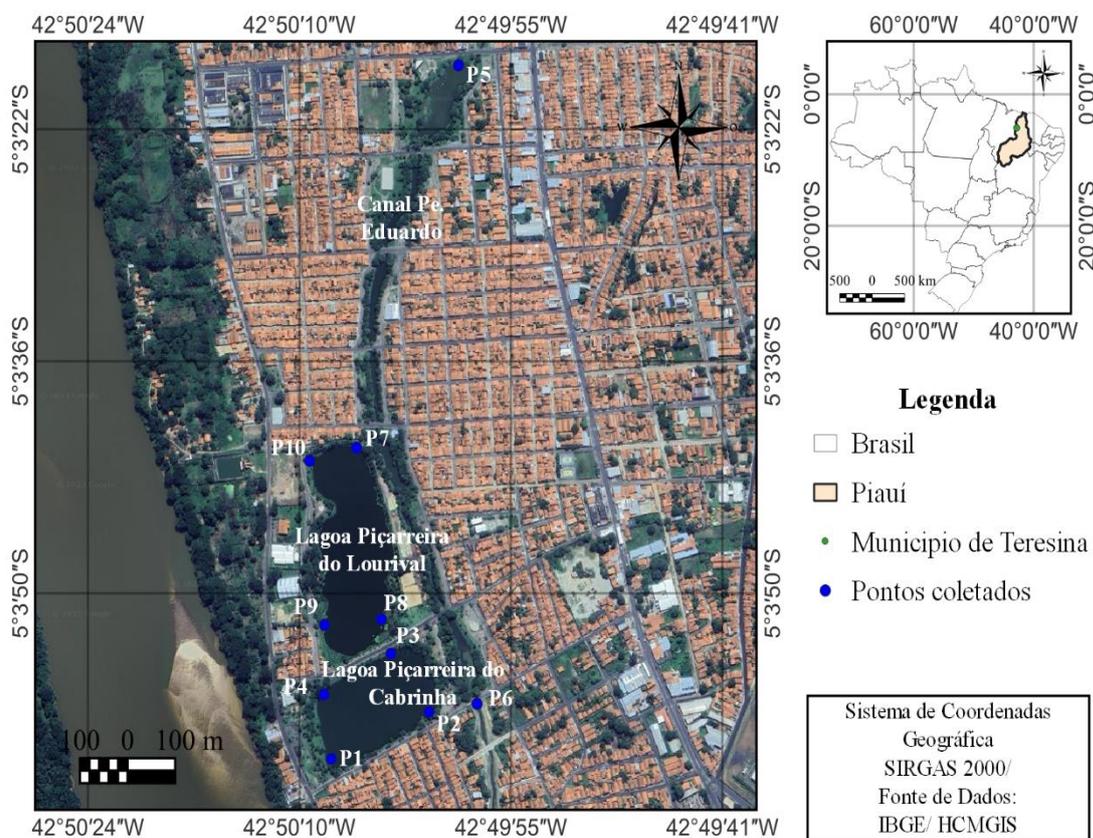
Algumas lagoas em Teresina foram realizadas obras de despoluição parcial para recuperação do corpo hídrico, construção de áreas verdes, melhorias nas infraestruturas de

saneamento básico em pontos de ligações inadequadas de esgoto doméstico na drenagem urbana da região e disposição inadequadas de resíduos. Porém necessita-se verificar os impactos ambientais devido as ações antrópicas na qualidade da água. Portanto, esse artigo tem por objetivo avaliar os possíveis efeitos tóxicos, verificando o potencial citotóxico e mutagênico em regiões com e sem revitalização em lagoas da zona norte de Teresina.

Metodologia e procedimentos

A pesquisa foi realizada em lagoas na cidade de Teresina, capital do Estado do Piauí, situada na região Nordeste do país e Centro-Norte piauiense. O corpo hídrico encontra-se no setor norte da cidade com altitude de 68 metros e coordenadas $05^{\circ} 03' 16.74''$ a $05^{\circ} 04' 1.74''$ latitude sul e a $42^{\circ} 50' 7.66''$ a $42^{\circ} 49' 57.75''$ longitude oeste. As coletas foram realizadas em uma escala temporal para abranger o período seco e chuvoso, respectivamente, setembro de 2018 e março de 2019. Associado a isto, implementado uma escala espacial com 10 pontos de coleta, distribuídos da seguinte forma: 4 pontos na lagoa da Piçarreira do Cabrinha, 4 pontos na Piçarreira do Lourival e 2 pontos no Canal do Padre Eduardo (Figura 1).

Figura 1 - Localização da lagoa e dos pontos analisados.



Fonte: autores (2023).

Somente o canal Padre Eduardo não houve obras de revitalização, porém a Lagoa Piçarreira do Cabrinha ainda possui pontos de lançamento de esgoto não tratado devido a conexão com o canal e ligações clandestinas, conforme a Tabela 1.0.

Tabela 1 – Caracterização dos pontos de coleta

Pontos	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Com revitalização ?	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	SIM	SIM	SIM	SIM
Efluentes não tratados próximos?	SIM	SIM*	SIM*	SIM*	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
* Proveniente do canal **Devido ao ponto P1										

Fonte: autores (2023).

A metodologia de coleta foi desenvolvida com base nas prevenções específicas de acordo com a norma ABNT NBR 9898/ 1987 “Preservação e Técnicas de Amostragem de Efluentes Líquidos e Corpos Receptores”, como o uso de garrafas de plásticos esterilizadas de 500 mL (0,5 L), ambientados pela água do manancial. Submergiu-se as garrafas até estarem totalmente cheias, então foram lacradas e identificadas. Imediatamente, conduzidas para a refrigeração, utilizando uma caixa térmica no transporte até o local de armazenagem, este com temperaturas abaixo de 10⁰C, sem congelar por no máximo 48h.

O bioensaio foi embasado de acordo com estudos apresentados de Fiskesjö (1985). Com isso, utilizou-se 5 bulbos de cebola branca com tamanho pequeno, uniforme, sem traumas, deformidades e fungos, para cada amostra, mais 5 para controle positivo (análise com sulfato de cobre 0,006 mg/mL) e 5 para controle negativo (verificação do crescimento natural dos bulbos, em água destilada). Inicialmente foi retirado a escama foliácea protetora e a base do bulbo (prato e raízes secos) manuseando bisturi e água corrente. As cebolas foram mantidas, por 48 horas numa câmara escura a 25⁰C com uma variação de ± 1⁰C, com seus pratos submersos na água coletada dos pontos em recipientes identificados (Figura 2), para então, promover o crescimento adequado das raízes. E após as primeiras 24 horas, preenchidos novamente para que as raízes não percam o contato com as amostras.

Figura 2 - Bulbos em contato com a água coletada.



Fonte: autores (2019).

Após o tempo determinado, verificou-se o crescimento das raízes de cada bulbo e contabilizou-se, medindo-as unitariamente, com auxílio de uma régua, e excluindo as que apresentaram excesso de curvatura e deformações, que impeçam de serem avaliadas. Em seguida, removeu-as da base do bulbo para inseri-las em um frasco âmbar com solução fixadora Carnoy na proporção 3:1 v/v de álcool etílico e ácido acético. Posteriormente, efetuou a preparação das lâminas onde as raízes foram lavadas para a retirada do fixador com água destilada em 3 banhos de 5 min cada, depois realizou-se a hidrólise com 1N HCl a 60 °C por 11 min, feito isto, outro banho com água destilada a temperatura ambiente. Com o auxílio de uma pinça de ponta fina, fez-se a secagem das raízes com papel filtro para transferi-las aos frascos âmbar contendo o reativo de Schiff por 2 a 24 horas, logo após o tempo decorrido as raízes foram lavadas em água destilada até retirar completamente o excesso do corante.

Sobre a lâmina foram colocadas a região meristemática de três raízes e uma gota de carmim acético 2% e a lamínula, e em seguida foi pressionado o material levemente até ser esmagado. O excesso de carmim foi removido e a lamínula selada com esmalte para evitar ressecamento. Para análise da divisão celular e aberrações cromossômica empregou-se para cada amostra coletada 5 lâminas e 100 imagens com o uso do microscópio, não foi necessário o uso de todas, logo o modelo matemático estatístico depende da quantidade de células analisadas, sendo 1000 a referência por bulbo.

As células analisadas quanto a citotoxicidade, estimando o índice mitótico (IM), indicam as interferências metabólicas do crescimento do organismo, verificadas pela equação 1.0, na qual são denominadas letais quando o IM, em referência ao controle negativo, encontrando-se abaixo de 22% e os efeitos subletais a partir desse índice e inferior a 50%. Já para análise genotóxica é verificada a potencialidade em causar lesões ao DNA, quebras, atrasos, binucleações, erros na replicação genética e perdas no material genético levando a processos carcinogênicos, que significa o potencial da substância em causar câncer. Essas alterações são passíveis de correção pelo sistema de reparo celular, esse item é calculado através do índice de alterações cromossômicas (IAC), de acordo com a equação 2.0 (KIKUDA; DE PAULA SILVA, 2017).

$$IM = \frac{\text{Número de células em divisão}}{\text{Total de células observadas}} \times 100 \quad (1.0)$$

$$IAC = \frac{\text{Número de células alteradas}}{\text{Total de células observadas}} \times 100 \quad (2.0)$$

O potencial mutagênico é estimado pela frequência de micronúcleos, que geram induções de mutações genéticas, as quais, sendo implantadas, poderão ser transmitidas durante a divisão celular, que acontece com maior velocidade nesse tipo de célula, desta forma causando doenças tanto nos indivíduos como nos seus descendentes. As mutações parecem estar ligadas ao desenvolvimento de efeitos nocivos à saúde, porém é provável que uma única mutação não seja capaz de transformar a célula em defeituosa. A estatística dos dados adquiridos foi feita pelo programa Graphpad Prism, teste Newman-Keuls como post-hoc teste com significância de $p < 0,005$ e com utilização de 1.000 células por bulbo e as equações (1) e (2).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A poluição ambiental dos corpos hídricos é um item preocupante que vem tomando proporções acentuadas, principalmente em centros urbanos devido o maior índice de produtos químicos industriais, agrícolas e domésticos despejados. Essa caga poluidora pode possuir potencial toxicogenético, na qual as análises mais usuais não conseguem mensurar os reais efeitos sobre o ecossistema local. Sendo necessários o uso de bioensaios para avaliar a toxicidade dos mananciais, a fim de haver o controle e o monitoramento ambiental adequado, além disso, se ocorrerem mutações no material genético e não for reparado pelo

sistema celular, pode levar até processos carcinogênicos (DE CRISTO; PEREIRA; 2017; QUEIROZ; DA SILVA; DE PAIVA, 2017).

A abordagem adotada nessa pesquisa, permite a avaliação dos impactos globais dos componentes presentes na água, inclusive, efeitos que separadamente seriam desconsiderados, mas ação em comum dos mesmos seria preocupante para o ambiente, além de fatores com causas desconhecidas, mas que seu potencial resulta em fins adversos ao meio ambiente.

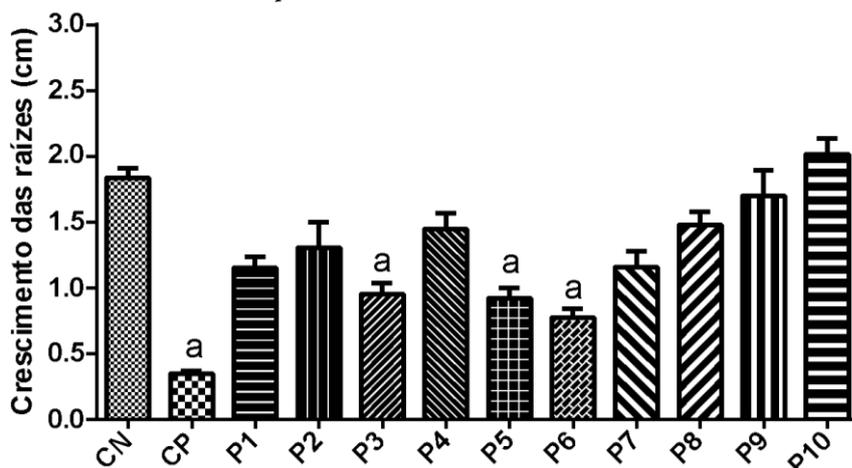
Toxicidade

Período seco

Neste estudo, os efeitos tóxicos foram avaliados analisando o crescimento radicular por meio do teste A. cepa, onde, houve inibição do crescimento das raízes, no período seco e chuvoso, nas amostras de água coletadas nas lagoas e no canal. A primeira coleta, período seco, demonstrou que em alguns pontos obtiveram desenvolvimento significativamente menor em relação ao controle negativo (CN), como podemos visualizar no gráfico 1, sendo um ponto, P3, situado na lagoa Piçarreira do Cabrinha e outros dois no canal Padre Eduardo, o P5 a montante do P6. A redução de crescimento das radículas das cebolas desses pontos podem estar relacionados às descargas de efluentes urbanos vindos a montante do canal já que o mesmo está conectado com a lagoa dos Cabrinha, próximo ao ponto P3, além disto ainda está passando por intervenções que serão realizadas pelo PLN).

1294

Gráfico 1 – Toxicidade do período seco



Fonte: autores (2019).

Os valores representam a média \pm erro padrão, em centímetros, diferença significativa em relação ao grupo controle negativo (CN). (ANOVA seguido do teste *Neuman-Keuls*

como *post-hoc* teste). Desta forma demonstrando a toxicidade dos pontos como pode ser ressaltado também na Tabela 2.

Tabela 2 – Toxicidade do período seco

	CN	CP	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Média	1,837	0,347	1,151	1,306	0,956	1,449	0,924	0,773	1,159	1,481	1,7	2,015
Erro Padrão	0,072	0,022	0,087	0,196	0,08	0,118	0,078	0,07	0,122	0,1	0,196	0,122

Fonte: autores (2019).

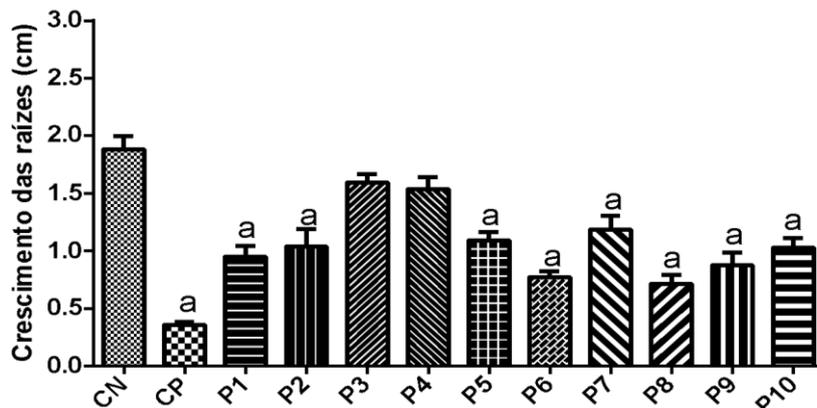
Os valores representam a média \pm erro padrão, em centímetros, diferença significativa em relação ao grupo controle negativo (CN). (ANOVA seguido do teste *Neuman-Keuls* como *post-hoc* teste).

Período chuvoso

Já no período chuvoso o cenário foi evidenciado, como mostra no gráfico 2, os pontos que diminuíram seu desenvolvimento em relação ao controle negativo foram dois pontos da lagoa dos Cabrinhas, P1 e P2 que estão próximos a lançamentos de efluentes de bairros vizinhos e os dois pontos do canal, P5 e P6, essas alterações podem ter sido carregadas através do canal.

Todos os pontos da lagoa do Lourival, P7, P8, P9 e P10, apresentaram alterações no qual deve ser devido as águas pluviais que são drenadas para a lagoa. Neste caso, além do lançamento de esgoto e resíduos, um dos motivos prováveis é a carreamento de matéria orgânica e poluentes causado pelas chuvas deste período, deste modo agindo como intensificador dos impactos (QUEIROZ; DA SILVA; DE PAIVA, 2017).

Gráfico 2 - Toxicidade do período chuvoso.



Fonte: autores (2019).

Os valores representam a média \pm erro padrão, em centímetros, diferença significativa em relação ao grupo controle negativo (CN). (ANOVA seguido do teste *Neuman-Keuls* como *post-hoc* teste).

Na Tabela 3 mostra os valores médios do crescimento das raízes, em centímetros, de cada ponto de coleta e seus respectivos erro padrão, podemos perceber, com o auxílio do gráfico 2, os bulbos que tiveram uma diminuição no crescimento das raízes, comparando ao controle negativo, no que mostra que existem substâncias na água que inibem o crescimento das mesmas.

Tabela 3 - Toxicidade do período chuvoso.

	CN	CP	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀
Média	1,882	0,358	0,951	1,036	1,597	1,535	1,09	0,769	1,188	0,713	0,877	1,03
Erro Padrão	0,114	0,026	0,092	0,154	0,074	0,105	0,073	0,056	0,118	0,078	0,109	0,079

Fonte: autores (2019).

Os valores representam a média \pm erro padrão, com “a” $p < 0.05$: diferença significativa em relação ao grupo controle negativo (CN). (ANOVA seguido do teste *Neuman-Keuls* como *post-hoc* teste).

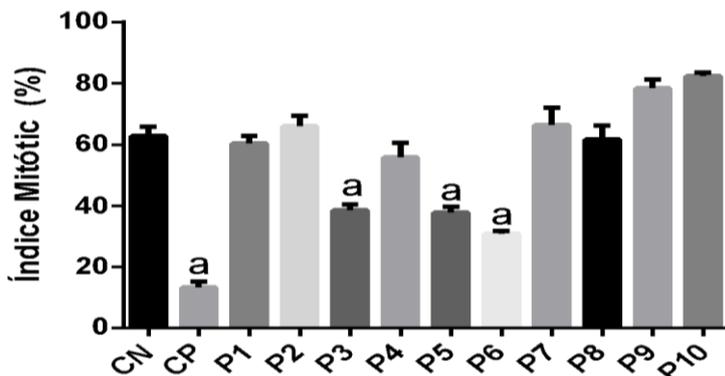
Citotoxicidade

Período seco

A citotoxicidade dos pontos estudados foi dada através do índice mitótico, IM, ou seja, a porcentagem das células em divisão. Quando este índice é significativamente menor que o controle negativo, indica citotoxicidade apresentadas nas amostras P₃, P₄ e P₅, como as sugeridas no gráfico 3, esse resultado é devido, provavelmente, a modificações geradas por compostos químicos no desenvolvimento das células.

Alguns pontos como o P₉ e P₁₀ resultaram em IM maior que do controle negativo, ou seja, teve o número maior na razão células em divisão por total de células em análise, o que pode gerar a multiplicação desordenada e até causar a formação de tumores (LEME; MARIN-MORALES, 2008). Altos índices de DBO, Demanda Bioquímica de Oxigênio, e de DQO, Demanda Química de Oxigênio, no que sugerem a presença de poluição orgânica, podem estimular o crescimento meristemático apical, assim, elevando os índices do IM (DÜSMAN et al, 2014).

Gráfico 3 - Índice mitótico do período seco



Fonte: autores (2019).

A análise do índice mitótico expresso na Tabela 4, foi possível verificar que as amostras P3, P5 e P6 ($38,45 \pm 1,95$, $37,73 \pm 1,80$, $30,75 \pm 0,89$ %, respectivamente) apresentaram diminuição ($p < 0,05$) do índice mitótico comparado ao grupo controle negativo ($62,90 \pm 3,00$).

Tabela 4 - Índice mitótico do período seco

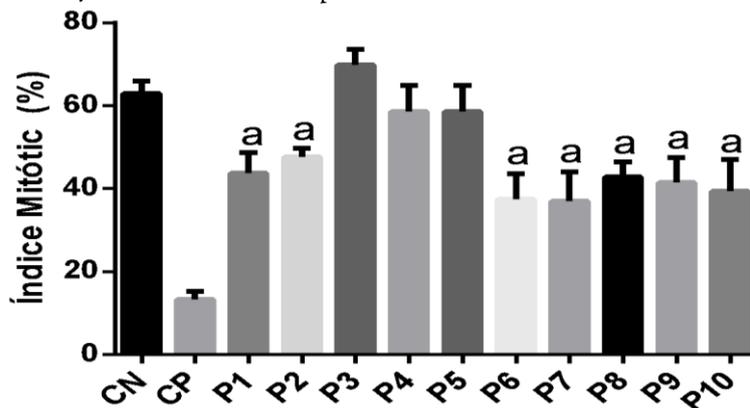
ÍNDICE MITÓTICO	CN	CP	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Média	62,9	13,3	60,38	66,05	38,45	55,88	37,73	30,75	66,45	61,7	78,38	82,28
Erro Padrão	3,005	1,865	2,451	3,37	1,954	4,625	1,806	0,891	5,521	4,408	2,798	1,241

Fonte: autores (2019).

Período chuvoso

Na segunda coleta teve diminuição do índice mitótico em relação ao controle negativo nos pontos P1, P2, P6, P7, P8, P9 e P10, mostrado no gráfico 4, servindo assim como alerta para o monitoramento dos níveis de poluentes do ambiente local, já que expõe a presença de contaminantes, podendo ser sinérgicos e inclusive, ser resultantes da ação de componentes químicos presente na água (GALVÃO et al., 2015).

Gráfico 4 - Índice mitótico do período chuvoso



Fonte: autores (2019).

A citotoxicidade das amostras de água no período chuvoso foi ressaltada devido a diminuição do índice mitótico, contido na tabela 5, em P₁ (43,73±1,86%), P₂ (47,60±2,12%), P₆ (37,43±6,06%), P₇ (36,90±7,05%), P₈ (42,78±3,56%), P₉ (41,48±6,11%) e P₁₀ (39,33±7,66%) em relação ao controle negativo (62,90±3,00%).

Tabela 5 - Índice mitótico do período chuvoso

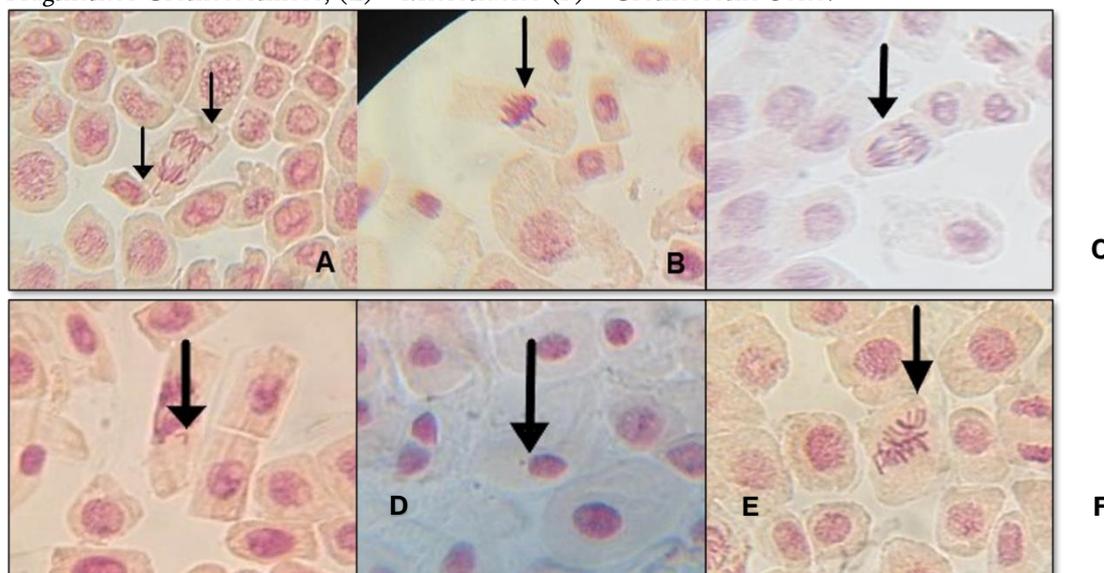
ÍNDICE MITÓTICO	CN	CP	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀
Média	62,9	13,3	43,73	47,6	69,78	58,55	58,55	37,43	36,9	42,78	41,38	39,33
Erro Padrão	3,005	1,865	4,985	2,122	3,785	6,322	6,322	6,084	7,055	3,563	6,114	7,663

Fonte: autores (2019).

Genotoxicidade

Para avaliação das aberrações cromossômicas foi observado pontes, atrasos, fragmentos e cromossomos soltos, evidenciadas durante a anáfase da divisão mitótica (Figura 3).

Figura 3 - aberrações cromossômica. (A) e (B) - Atrasos Cromossômicos; (C) - Ponte Cromossômica, (D) - Fragmentos Cromossômicos, (E) - Micronúcleo (F) - Cromossomo Solto.

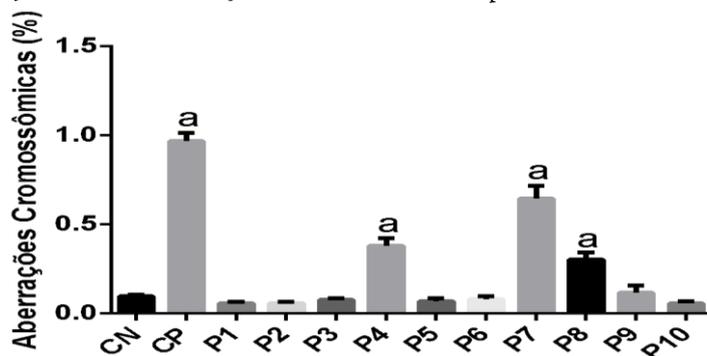


Fonte: autores (2019).

Período seco

Conforme o gráfico 5, houve um aumento do índice de aberrações cromossômicas (IAC) nos pontos P₄, lagoa dos Cabrinhas, P₇ e P₈, lagoa do Lourival, indicando o potencial genotóxico das amostras para promover lesões no material genético, o que pode levar à morte celular, comprometendo a qualidade da água e afetando saúde humana.

Gráfico 5 - Índice de aberrações cromossômicas do período seco



Fonte: autores (2019).

Foi verificado conforme, a Tabela 6, o aumento significativo ($p < 0,05$) dessas alterações no CP ($0,96 \pm 0,01\%$), P4 ($0,38 \pm 0,04\%$), P7 ($0,64 \pm 0,06\%$) e P8 ($0,30 \pm 0,03\%$) em comparação com grupo controle negativo ($0,09 \pm 0,01\%$).

Tabela 6 - Índice de aberrações cromossômicas do período seco

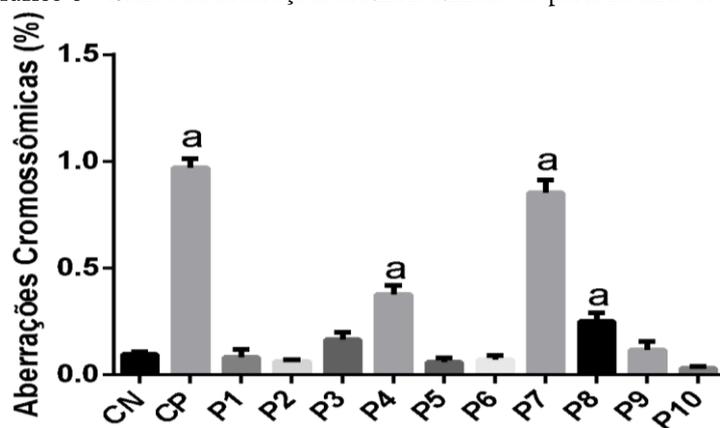
IAC	CN	CP	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Média	0,096	0,968	0,054	0,056	0,076	0,38	0,068	0,078	0,646	0,302	0,116	0,056
Erro Padrão	0,009	0,043	0,009	0,007	0,007	0,041	0,015	0,016	0,068	0,039	0,039	0,011

Fonte: autores (2019).

Período chuvoso

Agentes genotóxicos como substâncias químicas, são causadores da genotoxicidade, muitas vezes esses agentes são o reflexo da poluição ambiental, sendo assim, as anomalias cromossômicas encontradas nos pontos, P4, P7 e P8 podem indicar ação genotóxica. Os demais pontos que tiveram diminuição no IM mas, que não apresentaram alterações significativas no IAC, podem ser genotóxicos porém, não foram relevantes devido a citotoxicidade inibir a divisão mitótica e as aberrações serem evidenciadas nessa fase.

Gráfico 6 - Índice de aberrações cromossômicas do período chuvoso.



Fonte: autores (2019).

Durante o período chuvoso foi verificado, de acordo com a tabela 7, o aumento de aberrações cromossômicas nas amostras de P₄ (0,37±0,04%), P₇ (0,85±0,05%) e P₈ (0,24±0,04%) em relação ao controle negativo (0,09±0,01%). Não sendo verificado o aumento ($p < 0,05$) nas aberrações cromossômicas nos demais pontos.

Tabela 7 - Índice de aberrações cromossômicas do período chuvoso

IAC	CN	CP	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀
Média	0,1	0,97	0,08	0,06	0,16	0,37	0,06	0,07	0,85	0,25	0,12	0,03
Erro Padrão	0,01	0,04	0,04	0,01	0,03	0,04	0,02	0,02	0,06	0,04	0,04	0,01

Fonte: Própria autora, 2019.

Os micronúcleos foram observados em alguns pontos, porém não se comportou como estatisticamente relevante. Vale ressaltar à importância de novos estudos para verificar sua formação, já que podem ser originados de forma espontânea (PARVAN et al.,2020).

CONCLUSÃO

Neste estudo, demonstra os efeitos tóxico, citotóxico, genotóxico e mutagênico da água de lagoas da zona norte de Teresina – PI. Diante os resultados apresentados sugerem-se que alguns pontos estão ainda sofrendo contaminações antrópicas por substâncias que podem gerar danos genéticos. No período seco, com exceção dos pontos P₁, P₂ e P₁₀, todos os outros foram capazes de induzir algum dano, seja ele de toxicidade, citotoxicidade ou aberrações cromossômicas, no período chuvoso somente o ponto P₃ não apresentou alterações.

Tais estudos são importantes para avaliação de corpos hídricos como também ocorreram no rio Guaribas (E SOUSA et al., 2017), são necessários para mostrar a importância de diretrizes para o controle da poluição em relação a parâmetros ecotoxicológicos, já que, a utilização de organismos bioindicadores para monitoramento ambiental são relevantes devido expor resultados referente também a poluentes sinérgicos. Além disso, autoridades e especialistas devem averiguar e autuar os lançamentos de esgoto bruto clandestinamente e investir na educação ambiental para a população residente para mitigar as ações provocadas por estes.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR-9.898 de junho de 1987. **Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores**. Rio de Janeiro, 1987.

BERTANHA, C. F. Políticas da toxicidade. *Civitas - Revista de Ciências Sociais*, v. 21, n. 2, p. 320–333, 24 ago. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.15448/1984-7289.2021.2.35559>

BRASIL. Resolução CONAMA n. 357/2005: **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**. Diário Oficial da União, 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Nº430/2011- **Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA** – Publicação Diário Oficial da União nº 92, de 16/05/2011, 2011. 89p.

DE CRISTO, N. P. Avaliação Ecotoxicológica da Água do Igarapé 2 de Abril Utilizando o Lambari (*Astyanax Sp*) Como Organismo Bioindicador. *South American Journal of Basic Education, Technical and Technological*, v. 4, n. 2, 2017.

DÜSMAN, et al. *Allium cepa* L. as a bioindicator to measure cytotoxicity of surface water of the Quatorze River, located in Francisco Beltrão, Paraná, Brazil. **Environmental monitoring and assessment**, v. 186, n. 3, p. 1793-1800, 2014.

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

FROTA, R. G. et al. Citotoxicidade, genotoxicidade e mutagenicidade da infusão de *Plectranthus barbatus* – Lamiaceae (malva-santa) avaliada pelo sistema teste *Allium cepa*. **Revista de Ciências Médicas e Biológicas**, v. 18, n. 1, p. 67, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.9771/cmbio.v18i1.27020>

GALVÃO, Messias et al. Potencial mutagenico em águas coletadas em diferentes pontos no perímetro urbano no município de Alta Floresta–MT através do teste *Allium* (*Allium cepa*). Enciclopédia. Enciclopédia Biosfera, v. 11, n. 21, p. 2373-83, 2015.

KIKUDA, Renata; DE PAULA SILVA, Junilson Augusto. Análise Preliminar do Potencial Genotóxico da Água do Lago dos Buritis de Goiatuba–Go. **Anais SNCMA**, v. 8, n. 1, 2017.

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.

MERCADO, S.A.S.; CALEÑO, J.D.Q. Cytotoxic evaluation of glyphosate, using *Allium cepa* L. as bioindicator. **Science of The Total Environment**, v. 700, n. 134452, pág. 134452, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134452>.

PARVAN, L. G. et al. Bioensaio com *Allium cepa* revela genotoxicidade de herbicida com flumioxazina. **Revista Pan-Amazônica de Saúde**, v. 11, n. 0, set. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5123/S2176-6223202000544>.

QUEIROZ, Lucas Gonçalves; Da SILVA, Flávio Teixeira; De PAIVA, Teresa Cristina Brazil. Seasonal characterization of the physical, chemical, biological and ecotoxicological variables in a stretch of the Paraíba do Sul River, SP, Brazil. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, n. 2, p. 238-248, 2017.

SOARES, L. M.; COLDEBELLA, P. F.; FRIGO, J. P. Avaliação da qualidade da água de rios brasileiros utilizando células meristemáticas de *allium cepa* como bioindicador: uma revisão integrativa. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, p. 6983-6999, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n1-473>

TAVARES, R. G. et al. Avaliação da toxicidade do lodo de estação de tratamento de água e esgoto, antes e após vermicompostagem, usando teste de germinação com semente de alface (*Lactuca sativa*). **Revista DAE**, v. 67, n. 218, p. 156-167, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.4322/dae.2019.040>