

Potencial citotóxico, genotóxico e mutagênico de águas subterrâneas localizadas no Mato Grosso do Sul, Brasil

O acesso a água subterrânea ocorre principalmente por meio da perfuração de poços, sendo estes denominados cacimba ou tubulares. Estudos na literatura indicam que características relacionadas ao tipo e a profundidade de poços podem implicar na qualidade da água subterrânea. Nesse sentido, o objetivo do trabalho foi avaliar se o tipo e profundidade de poços influenciam nos efeitos citotóxicos, genotóxicos e mutagênicos de águas subterrâneas em células meristemáticas de *Allium cepa*. Dessa maneira, sementes de *A. cepa* foram submetidas a bioensaios com águas provenientes de 63 poços com diferentes tipos (cacimba e tubular) e profundidades (<5 até >15 m). Para avaliação dos efeitos citotóxicos foram calculados os Índice de Morte Celular (IMC) e Índice Mitótico (IM), e, para os genotóxicos e mutagênicos foram calculados o Índice de Alterações Cromossômicas (IAC) e o Índice de Mutagenicidade (IMT), respectivamente. Em relação ao tipo dos poços, foi observado efeito citotóxico para o parâmetro IM ($p=0,02$) para água proveniente de poço cacimba quando comparado com o tubular. Entretanto não foi observado efeito genotóxico quando os dois tipos foram comparados. É relevante destacar que a água oriunda de poços do tipo tubular induziu maior mutagenicidade ($p=0,01$) quando comparada aos poços cacimbas. Para a profundidade dos poços foi observado aumento de micronúcleos diretamente proporcional ao aumento da profundidade, sendo observada diferença significativa para os poços com >15 m. Dessa maneira, foi possível concluir que a água proveniente de poços cacimbas apresentou maior citotoxicidade e a de poços tubulares e mais profundos (>15 m) apresentou maior mutagenicidade em células meristemáticas de *A. cepa*.

Palavras-chave: Bioensaio; Genotoxicidade; Micronúcleo; Consumo humano.

Cytotoxic, genotoxic and mutagenic potential of groundwater located in Mato Grosso do Sul, Brazil

Access to groundwater occurs mainly through the drilling of wells, which are called dug well or drilled well. Studies in the literature indicate that characteristics related to the type and depth of wells can affect the quality of groundwater. In this sense, the objective was to evaluate whether the type and depth of wells influence the cytotoxic, genotoxic, and mutagenic effects of groundwater on meristematic cells of *Allium cepa*. In this way, *A. cepa* seeds were submitted to bioassays with water from 63 wells with different types (dug and drilled well) and depths (<5 to >15 m). To evaluate the cytotoxic effects were calculated the Cell Death Index (CDI) and Mitotic Index (MI), and for the genotoxic and mutagenic were calculated the Chromosome Alterations Index (CAI) and the Mutagenicity Index (MTI), respectively. Regarding the type of wells, a cytotoxic effect was observed for the MI parameter ($p=0.02$) for water from a dug well when compared to the drilled well. However, no genotoxic effect was observed when the two types were compared. It is worth noting that water from drilled wells induced more mutagenicity ($p=0.01$) when compared to dug wells. For the depth of the wells, an increase in micronuclei directly proportional to the increase in depth was observed, with a significant difference being observed for the wells with >15 m. Thus, it was possible to conclude that the water from dug wells showed more cytotoxicity and that drilled and deeper wells (>15 m) showed more mutagenicity in meristematic cells of *A. cepa*.


Keywords: Bioassay; Genotoxicity; Micronucleus; Human consumption.

Topic: Engenharia Ambiental

Received: 06/08/2021

Approved: 27/08/2021


Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Felipe Mendes Merrey 
Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/2251164371560894>
<http://orcid.org/0000-0002-1804-7929>
felipemmerrey@gmail.com


Milena Perez de Melo 
Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0616539781138275>
<http://orcid.org/0000-0003-0553-8099>
milenabio16@gmail.com

Bruno do Amaral Crispim 
Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0788886244198151>
<http://orcid.org/0000-0003-0606-4905>
brunocrispim.bio@gmail.com

Luiza Flávia Veiga Francisco
Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4884496518307847>
luizaveiga10@hotmail.com

Lucilene Finoto Viana 
Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5072812072291543>
<http://orcid.org/0000-0002-6654-0355>
lucilenefinoto@hotmail.com

Nayara Halimiy Maran
Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/2489101701586521>
nayaramaran@ufgd.edu.br

Kelly Mari Pires de Oliveira 
Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5737574588414921>
<http://orcid.org/0000-0002-9897-7770>
kellyoliveira@ufgd.edu.br

Alexeia Barufatti 
Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4212280532558083>
<http://orcid.org/0000-0001-8789-2117>
barufattialexeia@gmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.008.0021

Referencing this:

MEREY, F. M.; MELO, M. P.; CRISPIM, B. A.; FRANCISCO, L. F. V.; VIANA, L. F.; MARAN, N. H.; OLIVEIRA, K. M. P.; BARUFATTI, A. A. Potencial citotóxico, genotóxico e mutagênico de águas subterrâneas localizadas no Mato Grosso do Sul, Brasil. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.12, n.8, p.222-231, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.008.0021>

INTRODUÇÃO

A contaminação dos recursos hídricos é um problema mundial oriundo de ações antrópicas, principalmente devido a descarga de efluentes industriais, uso excessivo de agrotóxicos, escoamento de produtos químicos e aterros sanitários, afetando diretamente os ecossistemas aquáticos, comprometendo assim a qualidade da água e tornando-a imprópria para o consumo humano (MACEDA et al., 2015; SELVAKUMAR et al., 2017; GUIMARÃES et al., 2019).

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2010), a captação de água para abastecimento da população nas cidades brasileiras é 44% proveniente de águas subterrâneas e 56% de águas superficiais. As águas subterrâneas por estarem confinadas e passarem por um processo natural de filtração podem estar menos expostas a contaminação quando comparadas com águas superficiais, que estão diretamente expostas a agentes poluentes (MALYAN et al., 2019). Dessa maneira, a crescente utilização das águas subterrâneas para uso doméstico torna-se um indicativo para a realização de técnicas de biomonitoramento que avaliem a qualidade dessas águas.

O acesso a água subterrânea ocorre principalmente pela perfuração de poços. Os tipos de poços podem ser nomeados como cacimba (perfurado utilizando ferramentas manuais e revestido por tijolos ou manilhas de concreto) e tubular (perfurado com máquinas e obrigatoriamente revestidos por tubos de Policloreto de Vinila - PVC ou aço) (VASCONCELOS, 2014).

O consumo de água contaminada pode causar riscos à saúde humana, não apenas como fonte de transmissão de doenças ocasionadas por organismos patogênicos, mas também por meio de contaminantes emergentes ou metais que podem promover efeitos toxicogenéticos por meio da bioacumulação (BATISTA et al., 2016; KAUR et al., 2017).

Pesquisas recentes realizadas nas cidades de Caarapó e Itaporã – Mato Grosso do Sul, demonstraram contaminação microbiológica por *Escherichia coli* em 65% dos poços cacimba e 10,25% dos poços tubulares (MARAN et al., 2016). Em ambas as cidades também foi detectado presença dos metais Co, Mn, Cr e Ni acima dos limites permitidos pela legislação brasileira CONAMA 396 (2008), bem como a detecção e quantificação de contaminantes emergentes (FRANCISCO et al., 2019). Esses dados esses comprovam o risco para a saúde humana.

Diante disso, a realização de bioensaios, como o teste de *Allium cepa* é importante para a avaliação de efeitos toxicogenéticos em águas subterrâneas. O teste *A. cepa* apresenta vantagens devido as características de proliferação celular, número reduzido de cromossomos, facilidade de cultivo, sendo muito utilizado na avaliação de danos celulares causados por xenobióticos (LEME et al., 2009; FRANCISCO et al., 2018).

Tendo em vista a importância do uso da água subterrânea como fonte de abastecimento humano, este estudo teve como objetivo avaliar se o tipo e profundidade de poços influenciam nos efeitos citotóxicos, genotóxicos e mutagênicos de águas subterrâneas em células meristemáticas de *A. cepa*.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

Os poços de águas subterrâneas utilizados no estudo eram pertencentes às cidades de Caarapó (latitude 22° 37' 47" S; longitude 54°49'30"W; altitude média 471 m) e Itaporã (latitude 22° 04' 44" S; longitude 54° 47' 22" W; altitude média 390 m) – Mato Grosso do Sul – Brasil. Foram selecionados poços particulares localizados em residências onde os moradores consumiam essa água. É relevante destacar que as cidades de Caarapó e Itaporã - MS possuem como principal fonte de abastecimento, água tratada provenientes de poços profundos fornecida pela empresa concessionária de tratamento e distribuição. Entretanto, devido ao baixo custo e facilidade na obtenção, muitos moradores dessas localidades optam por utilizar poços particulares como fonte de água potável, sem tratamento prévio adequado.

Caracterização dos poços e coleta de amostras

Os poços foram caracterizados de acordo com o tipo (cacimba ou tubular) e as profundidades em faixas que variam de ≤ 5 até >15 m (Figura 1).

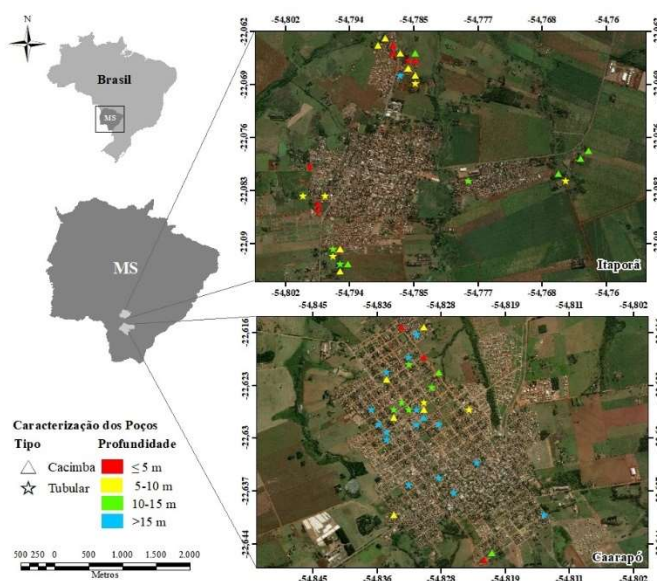


Figura 1: Mapa de localização dos poços amostrados nas cidades de Itaporã e Caarapó no estado de Mato Grosso do Sul, demonstrando o tipo (cacimba ou tubular) e a profundidade (variação de ≤ 5 a ≥ 15 m) de acordo com os símbolos e colorações.

O número amostral foi composto de 63 poços de acordo com os critérios de avaliação de tipo (cacimba ou tubular) e profundidade (≤ 5 até >15 m) (Tabela 1).

Tabela 1: Caracterização dos tipos e profundidades dos poços avaliados.

Características	Nº de poços	
Tipo de poço	Cacimba	27
	Tubular	36
Profundidades dos poços (m)	<5	9
	>5-10	20
	>10-15	16
	>15	18

Nº - número amostral; < - menor; > - maior; m – metros

As coletas de águas foram realizadas em frascos estéreis de 50 mL, durante o período de julho a outubro de 2014. Para os tubulares, o cano/torneira da primeira saída de água foi desinfetado com álcool 70% (v/v) e houve um escoamento inicial por 5 min para liberação da água presente na tubulação, e, posteriormente a coleta foi realizada. Para as cacimbas, o frasco estéril foi submerso diretamente na abertura do poço.

Parâmetros físico-químicos

Os parâmetros físico-químicos foram analisados *in situ*, sendo o cloro e o flúor mensurados pela técnica colorimétrica Alfakit (APHA, 2005), a temperatura e o pH foram medidas com auxílio da sonda multiparamétrica YSI Professional Plus (YSI Incorporated, Yellow Springs, OH, EUA).

Teste de *A. cepa*

O ensaio de *A. cepa* foi realizado de acordo com Fiskejô (1985) com adaptações. Sementes de *A. cepa* foram colocadas para germinação em papel germitest, sob condições controladas de temperatura (23 ± 2 °C) e fotoperíodo (12:12 h claro/escuro). Para cada tratamento, as sementes foram expostas a 3 mL de água dos poços amostrados, além do controle negativo - CN (água destilada) e controle positivo (Trifuralina 0,84 mg/L). Após o período de exposição (96 h), as raízes foram coletadas e fixadas em Carnoy 3:1 (etanol: ácido acético), e posteriormente hidrolisadas em HCl 1N a 60° em banho maria por 10 min. Após este período, as raízes ficaram submersas em reativo de Schiff de um dia para outro para o processo de coloração (CARITÁ et al., 2008). Para montagem das lâminas, cortou-se a região meristemática das raízes e adicionou-se Carmim acético 2%, posteriormente foram cobertas com lamínulas e cuidadosamente esmagadas. Foram confeccionadas 10 lâminas por tratamento, sendo analisadas 500 células por lâmina, totalizando 5000 células por tratamento. As análises foram realizadas em microscópio óptico Nikon (Eclipse, E200) no aumento total de 400x. Os efeitos citotóxicos foram avaliados por meio do cálculo do Índice de Morte Celular (IMC) e Índice Mitótico (IM), e os genotóxicos e mutagênicos foram avaliados utilizando o Índice de Alterações Cromossômicas (IAC) e o Índice de Mutagenicidade (IMT), respectivamente. Para calcular esses índices foram utilizadas fórmulas descritas em Francisco et al. (2018).

Análise estatística

Os dados dos efeitos citotóxicos, genotóxicos e mutagênicos foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk, por não apresentarem distribuição normal foi utilizado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, com posteriori de Dunn, considerando um nível de significância de 5% ($p\leq 0,05$). Foi aplicado a correlação de Spearman entre os tipos de poços e profundidades em relação às alterações citotóxicas, genotóxicas e mutagênicas em células de *A. cepa*. Os testes foram realizados usando a plataforma R (R CORE TEAM, 2019).

RESULTADOS

Parâmetros físico-químicos

Os valores mensurados de cloro, flúor e pH foram comparados com os valores estabelecidos pela Portaria de Consolidação (PRC) n° 5, de 28 de setembro de 2017 - Anexo XX (PRC5), que dispõe sobre o controle da qualidade da água para consumo humano e padrão de potabilidade. Para a temperatura não apresenta valor de referência (Tabela 2).

Tabela 2: Médias e desvio padrão dos parâmetros físico-químicos das águas dos poços caracterizados por tipo e profundidade em comparação com a PRC5.

Parâmetros	Tipos		Profundidades (m)				VR
	Físico-Químicos	Cacimba	Tubular	≤5	>5-10	>10-15	
Cloro (mg/L)	0,07±0,27	0,02±0,07	0,14±0,40	0,00±0,00	0,05±0,18	0,03±0,09	0,2-2,0
Flúor (mg/L)	0,01±0,06	0,09±0,17	0,01±0,03	0,06±0,12	0,09±0,18	0,06±0,15	≤1,5
pH	5,65±0,64	5,48±0,52	5,52±0,78	5,60±0,54	5,75±0,52	5,35±0,53	6,0-9,5
Temperatura (°C)	24,04±1,10	24,53±0,82	24,44±0,98	24,04±1,00	24,44±1,13	24,51±0,81	-

VR – Valor de Referência estabelecidos pela Portaria de Consolidação (PRC) n° 5, de 28 de setembro de 2017 - Anexo XX (PRC5); Os valores em negrito apresentam desconformidade com os parâmetros estabelecidos pela PRC5.

Para todas as caracterizações de tipo e profundidade dos poços os parâmetros cloro e pH estão em desconformidade com o estabelecido pela PRC5, ambos apresentam médias abaixo do mínimo permitido para o padrão de potabilidade.

Avaliação citotóxica, genotóxica e mutagênica em células de *A. cepa*

Foram observados efeitos citotóxicos em relação ao parâmetro IM para ambos os tipos de poços (cacimba e tubulares), por apresentarem médias significativamente ($p \leq 0,05$) maiores que a observada no CN. Na comparação entre os dois tipos de poços, as cacimbas foram mais citotóxicas que os tubulares para o IM ($p=0,02$), por apresentarem proliferação celular descontrolada (Tabela 3). Para o IMC não foi observada diferença significativa entre os dois tipos de poços avaliados.

Tabela 3: Mediana e desvio interquartilico do índice mitótico (IM), índice de morte celular (IMC), índice de alterações cromossômicas (IAC) e índice de mutagenicidade (IMT) observados em células de *A. cepa*.

		IM	IMC	IAC	IMT
Tipo	CN	53,04 3,51	0,00 0,00	0,28 0,11	0,00 0,00
	CP	17,89 6,76*	0,00 0,35*	5,83 2,38*	0,17 0,00*
	Cacimba	67,20 7,18 ^{AB}	0,01 0,09	1,24 0,89 ^{AB}	0,05 0,09 ^{AB}
	Tubular	61,47 8,71 ^{AB}	0,00 0,03	1,14 0,68 ^{AB}	0,13 0,16 ^{AB}
Profundidade (m)	CN	53,04 3,51	0,00 0,00	0,28 0,11	0,00 0,00
	CP	17,89 6,76*	0,00 0,35*	5,83 2,38*	0,17 0,00*
	≤5	67,07 8,02 ^{AB}	0,00 0,05	1,14 0,84 ^{AB}	0,02 0,08 ^{AB}
	5-10	65,15 13,62 ^{AB}	0,00 0,13	1,50 0,75 ^{AB}	0,05 0,19 ^{AB}
	10-15	65,35 18,71 ^{AB}	0,00 0,01	0,93 0,59 ^{AC}	0,09 0,07 ^{AB}
>15	60,11 6,89 ^{AC}	0,00 0,03	1,32 0,84 ^{AB}	0,17 0,20 ^{AB}	

CN - Controle negativo; CP – Controle positivo; * Diferença significativa ($p \leq 0,05$) do CN; Letras diferentes representam diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre as características de tipo e profundidade dos poços.

Os efeitos genotóxicos e mutagênicos foram observados em ambos os tipos de poços quando comparados com o CN (Tabela 3), indicando que os efeitos das águas subterrâneas independem do tipo do

poço. Quando comparados os dois tipos, não houve diferença significativa entre eles para o parâmetro IAC. Entretanto, em relação ao IMT os tubulares apresentaram maior mutagenicidade ($p=0,01$).

Em relação à correlação entre os tipos de poços com as alterações em células de *A. cepa* o IM e IMT apresentaram correlação negativa significativa ($p<0,05$) (Figura 2). Sendo assim, essa correlação significativa indica que quanto maior a capacidade de divisão das células de *A. cepa* menor foi o efeito mutagênico observado, sendo assim as células em divisão não apresentaram danos genéticos durante o ciclo mitótico.

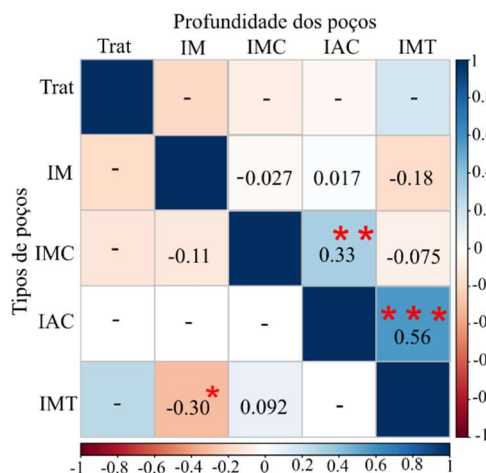


Figura 2: Tipos e profundidades dos poços correlacionados com a citotoxicidade, genotoxicidade e mutagenicidade avaliadas em células de *A. cepa*. Os números nos quadrantes representam os coeficientes de correlação de Spearman (r); * significância de $p<0,05$; ** significância de $p<0,04$; *** significância de $p<0,01$ entre os

Em relação a característica de profundidade foi observado efeito citotóxico para o parâmetro IM em todas as profundidades (≤ 5 até >15 m) indicando maior proliferação celular significativa ($p\leq 0,05$) em relação ao CN. Para o parâmetro IMC não foi observado efeito citotóxico para nenhuma das profundidades avaliadas (Tabela 3).

Na avaliação do efeito genotóxico foi observada diferença significativa do IAC e IMT em todas as profundidades avaliadas (≤ 5 até >15 m) quando comparados com o CN. A comparação entre as profundidades demonstrou aumento da frequência de micronúcleos conforme o aumento de profundidade dos poços, sendo observada diferença significativa em poços com >15 m comparado às demais profundidades avaliadas (Tabela 3).

Para a correlação entre as diferentes profundidades dos poços, o IMC e IAC demonstraram correlação positiva com diferença significativa ($p<0,04$). O IMT e IAC apresentaram alto valor de significância ($p<0,01$) positiva, indicando que a incidência de alterações genotóxicas e mutagênicas apresentaram aumento proporcional entre ambos (Figura 2).

DISCUSSÃO

Em relação aos parâmetros físico-químicos, os valores médios de cloro estão em desconformidade com os valores mínimos estabelecidos pela PRC5. É relevante destacar que possivelmente o cloro encontrado nos poços analisados é oriundo da adição de Hipoclorito de Sódio (NaClO) realizada por agentes de saúde, que realizam tal procedimento. Entretanto, essa adição de NaClO não ocorreu de forma eficiente, pois de

acordo com a PRC5 é recomendado que após a cloração, seja detectado no mínimo 0,2 mg/L de cloro residual livre nas águas de reservatório, e valores inferiores a esse foram detectados em todos os poços analisados. Dessa maneira, o uso incorreto de cloro não foi eficaz na eliminação de microrganismos patogênicos comumente transmitidos pela água (LETTERMAN, 1999; OMS, 2001; MARAN et al., 2016; ONYANGO et al., 2018). Apesar dos valores obtidos em todas as caracterizações em relação ao tipo e profundidade estarem abaixo do estabelecido pela PRC5, foi possível verificar uma maior concentração de cloro residual nos poços do tipo cacimba e mais rasos (≤ 5 m). Esse fato pode ser explicado devido a facilidade de acesso dos agentes de saúde para cloração da água, pois os poços cacimbas possuem superfícies abertas, enquanto os poços tubulares são lacrados e inviabilizam a adição do NaClO no tratamento da água.

Os valores de flúor, para todas as caracterizações de tipo e profundidade dos poços, apresentaram concentrações entre 0,01 e 0,09 mg/L. De acordo com Jha et al. (2011), água potável com o flúor em concentrações menores que 0,5 mg/L está relacionado com problemas dentários, como a falta de formação de esmalte, redução de minerais ósseos e cárie, principalmente em crianças. Essa baixa concentração de flúor ocorre devido à falta de adição desse componente nas águas subterrâneas amostradas no estudo. Quando realizada a comparação dos tipos e profundidades dos poços, foi observado maiores quantidades de flúor nos poços tubulares e que possuíam profundidades a partir de ≥ 10 m, apesar de ainda estarem abaixo da concentração ideal para consumo de acordo com a literatura (JHA et al., 2011; FRANCISCO et al., 2019). A origem do flúor em maiores quantidades em poços mais profundos pode estar relacionada com a interação água-rocha, que ocorre de forma natural em águas subterrâneas (NANNI, 2006).

Os valores de pH, para todas as caracterizações de poços, apresentaram valores abaixo do mínimo permitido estabelecido pela PRC5, apresentando água com pH ácido. As características químicas das águas subterrâneas são reflexos dos ambientes por onde elas percolam, dessa maneira, existe uma relação direta com os tipos de solo e rochas presentes e, também, com os produtos das atividades humanas expostos ao longo de seu trajeto (SILVA et al., 2017; RODRIGUES et al., 2019). As cidades de Caarapó e Itaporã, localizadas no estado de Mato Grosso do Sul, apresentam solos do tipo Latossolo, sendo esse tipo de solo caracterizado por apresentar pH ácido (KER, 1997). Outro fator que corrobora para o pH ácido encontrado nos poços dessas cidades, pode ser a ampla utilização de fertilizantes na agricultura (JEYARUBA et al., 2009; WONGSASULUK et al., 2018). Esse efeito pode ter sido observado devido as grandes áreas agrícolas existentes nas proximidades das regiões de Caarapó e Itaporã (FRANCISCO et al., 2019).

Os poços cacimbas e tubulares em todas as profundidades (≤ 5 até >15 m) apresentaram IM maiores que o CN, resultantes do aumento da divisão celular. Essa proliferação celular aumentada ocasionada pelas amostras provenientes das águas subterrâneas em relação ao CN caracteriza o efeito citotóxico observado, podendo resultar na proliferação celular descontrolada (CARITÁ et al., 2008). Os poços cacimbas apresentaram IM significativamente maior que os poços tubulares, esse fato pode estar relacionado com o diâmetro que esses poços possuem, pois, como observado no trabalho de Maran et al. (2016) os poços cacimbas apresentam maior diâmetro que os poços tubulares, e essa característica pode determinar maior possibilidade de entrada de matéria orgânica e nutrientes que podem ter auxiliado na divisão celular de A.

cepa. Em relação aos dados de citotoxicidade os parâmetros IM e IMC são considerados importantes para estimar efeitos da ação de agentes químicos no ciclo de divisão celular de *A. cepa* (LEME et al., 2009; SOBRAL et al., 2013).

Os poços cacimbas e tubulares em todas as profundidades (≤ 5 m até >15 m) apresentaram diferença significativa do CN em relação ao IAC, porém não foi observada diferença significativa entre os tipos de poços para esse mesmo parâmetro, indicando que esses efeitos genotóxicos podem estar sendo causados por contaminantes presentes nas águas subterrâneas, provenientes de atividades humanas e/ou resíduos urbanos e industriais nas proximidades da região dos municípios de Caarapó e Itaporã (MARAN et al., 2016; FRANCISCO et al., 2019). Outro fator que corrobora para a ocorrência dos danos genéticos observados nas células meristemáticas de *A. cepa* são possivelmente das atividades agrícolas existentes nas proximidades dessas localidades que utilizam pesticidas (inseticidas e herbicidas), nas manutenções de diferentes culturas de lavouras. Cavalcante et al. (2019) observaram que região de Caarapó e Itaporã apresentam extensas áreas de atividades agrícolas, principalmente culturas de soja, milho e cana, que proporcionam a redução de área de cobertura vegetal nativa, e conseqüentemente diminuindo a proteção do solo. Esse fato promove infiltrações de contaminantes nas águas subterrâneas, principalmente no período de maiores pluviosidades.

Os poços tubulares apresentaram maior mutagenicidade (IMT) nas células meristemáticas de *A. cepa* quando comparados com as cacimbas. Os poços tubulares são lacrados, o que dificulta seu acesso para realizar manutenções e limpeza, essa condição pode estar relacionada com os efeitos mutagênicos observados. Pois, devido à falta de manutenção destes poços tubulares, pode ser mais frequente a contaminação de xenobióticos, como metais não essenciais, agroquímicos e compostos decorrentes do lançamento de efluentes industriais e domésticos (MASCHIO, 2009; PERON et al., 2009). Outro fator que pode corroborar para a elevação da mutagenicidade das águas dos poços tubulares é a possibilidade do seu revestimento ser constituído de policloreto de vinila (PVC), tendo como componente o Bisfenol A 2,2-bis (4-hidroxifenil) (BPA) (BERNARDO et al., 2015). O BPA possivelmente liberado na água poderia estar correlacionado a efeitos genotóxicos e mutagênicos (FASANO et al., 2012; BERNARDO et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2017), sendo um possível agente responsável pelo efeito mutagênico observado em células de *A. cepa* expostas as águas dos poços tubulares. Nos poços com >15 m foi observada maior mutagenicidade quando comparados com as demais profundidades, esse fato pode estar relacionado à engenharia dos poços, uma vez que foi observado que os poços mais profundos são poços do tipo tubular, onde a falta de manutenção e as condições de acesso e revestimento podem estar influenciando com presença de materiais considerados mutagênicos.

CONCLUSÕES

Os poços do tipo cacimbam apresentaram maiores efeitos citotóxicos quando comparados com os poços tubulares em células meristemáticas de *A. cepa*. Em relação aos efeitos mutagênicos, os poços tubulares e mais profundos (>15 m) apresentaram maior frequência de micronúcleos quando comparados com os demais.

Além das influências observadas devido as características de tipo e profundidade dos poços, destacamos que para todos os parâmetros de citotoxicidade, genotoxicidade e mutagenicidade nas águas subterrâneas das cidades de Caarapó e Itaporã foram observadas diferenças significativas do CN, indicando um potencial dano destas águas no organismo teste avaliado. Nesse sentido, torna-se necessário a realização de medidas de controle quanto ao uso dessa água para o consumo humano, para evitar desta maneira possíveis danos à saúde pública.

REFERÊNCIAS

- ANA. Agência Nacional de Águas Brasil. **Atlas Brasil: Abastecimento Urbano De Água; Panorama Nacional/Agência Nacional de Águas; Engecorps/Cobrape.** Brasília: ANA, 2010.
- APHA. American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 21 ed. American Public Health Association. Washington: APHA, 2005.
- BATISTA, N. J. C.; CAVALCANTE, A. A. D. C. M.; OLIVEIRA, M. G.; MEDEIROS, E. C. N.; MACHADO, J. I.; EVANGELISTA, S. R.; SILVA, J.. Genotoxic and mutagenic evaluation of water samples from a river under the influence of different anthropogenic activities. **Chemosphere**, v.164, p.134-141, 2016. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.08.091>
- BERNARDO, P. E. M.; NAVAS, S. A.; MURATA, L. T. F.; ALCÂNTARA, M. R. D. S.. Bisfenol A: o uso em embalagens para alimentos, exposição e toxicidade—Uma Revisão. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v.74, n.1, p.1-11, 2015.
- 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, n.9, p.722-725, 2008. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.03.056>
- CAVALCANTE, D. N. C.; CRISPIM, B. A.; GRISOLIA, B. B.; VIANA, L. F.; MARAN, N. H.; SOLÓRZANO, J. C. J.; OLIVEIRA, K. M. P.; BARUFATTI, A.. Effects of age, sex, medication, and environmental conditions on genetic alterations in oral mucosa cells. **Heliyon**, v.5, n.6, p.e01840, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019. e01840>
- CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução no 396.** Brasília: CONAMA, 2008.
- FASANO, E.; BONO-BLAY, F.; CIRILLO, T.; MONTUORI, P.; LACORTE, S.. Migration of phthalates, alkylphenols, bisphenol A and di (2-ethylhexyl) adipate from food packaging. **Food Control**, v.27, n.1, p.132-138, 2012. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.03.005>
- FISKEJÖ, G.. The *Allium* teste as a standard in environmental monitoring. **Hereditas**, v.102, p. 99-112.1985. DOI: <http://doi.org/10.1111/j.1601-5223.1985.tb00471.x>
- FRANCISCO, L. F. V.; CRISPIM, B. A.; SPÓSITO, J. C. V.; SOLÓRZANO, J. C. J.; MARAN, N. H.; KUMMROW, F.; NASCIMENTO, V. A.; MONTAGNER, C. C.; OLIVEIRA, K. M. P.; BARUFATTI, A.. Metals and emerging contaminants in groundwater and human health risk assessment. **Environmental Science and Pollution Research**, v.26, n.24, p.24581-24594, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11356-019-05662-5>
- FRANCISCO, L. F. V.; CRISPIM, B. A.; VIANA, L. F.; NASCIMENTO, H. D. S.; RAPOSO JUNIOR, J. L.; GRISOLIA, A. B.. Cytotoxicity, genotoxicity and mutagenicity of Aluminum, Manganese and Lead in Meristematic Cells of Root *Allium cepa*. **Orbital: The Electronic Journal of Chemistry**, v.10, n.1, p.60-65, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.17807/orbital.v10i1.1037>
- GUIMARÃES, I.; GUILHERMINO, I.; AFONSO, M. J.; MARQUES, J. M.; CHAMINÉ, H. I.. Assessment of urban groundwater: towards integrated hydrogeological and effects-based monitoring. **Sustainable Water Resources Management**, v.5, n.1, p.1-17, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1007/s40899-019-00301-w>
- JEYARUBA, T.; THUSHYANTHY, M.. The effect of agriculture on quality of groundwater: A case study. **Middle-East Journal of Scientific Research**, v.4, n.2, p.110-114, 2009.
- JHA, S. K.; MISHRA, V. K.; SHARMA, D. K.; DAMODARAN, T.. Fluoride in the environment and its metabolism in humans. **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology**, v.211, p.121-142, 2011. DOI: http://doi.org/10.1007/978-1-4419-8011-3_4
- KAUR, T.; BHARDWAJ, R.; ARORA, S.. Assessment of groundwater quality for drinking and irrigation purposes using hydrochemical studies in Malwa region, southwestern part of Punjab, India. **Applied Water Science**, v.7, n.6, p.3301-3316, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1007/s13201-016-0476-2>
- KER, J. C.. Latossolos do Brasil: uma revisão. **Revista Geonomos**, v.5, n.1, 1997. DOI: <http://doi.org/10.18285/geonomos.v5i1.187>
- LEME, D. M.; MARIN-MORALES, M. A.. *Allium cepa* test in environmental monitoring: a review on its application. **Mutation Research/Reviews in Mutation Research**, v.682, n.3, p.71-81, 2009. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.mrrev.2009.06.002>
- LETTERMAN, R. D.. **Water quality and treatment.** American water works association, 1999.
- MACEDA, E. B.; GRISOLIA, A. B.; VAINI, J. O.; CANDIDO, I. S.. Uso de biomarcadores para monitoramento das águas do

Córrego Arara no município de Rio Brilhante, MS, Brasil.

Revista Ambiente e Água, v.10, n.1, p.117-129, 2015. DOI:

<http://doi.org/10.4136/ambi-agua.1500>

MALYAN, S. K.; SINGH, R.; RAWAT, M.; KUMAR, M.; PUGAZHENDHI, A.; KUMAR, A.; KUMAR, V.; KUMAR, S. S.. An overview of carcinogenic pollutants in groundwater of India.

Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, v.21, p.101288, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101288>

MARAN, N. H.; CRISPIM, B. D. A.; IAHHN, S. R.; ARAÚJO, R. P. D.; GRISOLIA, A. B.; OLIVEIRA, K. M. P. D.. Depth and well type related to groundwater microbiological contamination.

International Journal of Environmental Research and Public Health, v.13, n.10, p.1036, 2016. DOI:

<http://doi.org/10.3390/ijerph13101036>

MASCHIO, L. R.. **Assessment of the mutagenic, genotoxic and cytotoxic potential of the waters of the Preto River in the area influenced by São José do Rio Preto, São Paulo, Brasil**. 2009.

NANNI, A. S.. O Flúor em águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul: origem e condicionamento geológico. In: SEMANA ACADÊMICA DOS ALUNOS DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIA. **Anais**. 2006. p.101-104.

OLIVEIRA, G. D. C.; ARAÚJO, J. V. S.; JUNIOR, A. M. C.; PALOMBIT, K.. Bisfenol A: possíveis efeitos e danos ao organismo-revisão de literatura. **Jornal Interdisciplinar de Biociências**, v.2, n.2, p.11-16, 2017. DOI:

<http://doi.org/10.26694/jibi.v2i2.5699>

OMS. Organização Mundial de Saúde. **Água e Saúde**. Brasília: OMS, 2001.

ONYANGO, A. E.; OKOTH, M. W.; KUNYANGA, C. N.; ALIWA, B. O.. Microbiological quality and contamination level of water sources in Isiolo County in Kenya. **Journal of Environmental and Public Health**, v.2018, 2018. DOI:

<http://doi.org/10.1155/2018/2139867>

PERON, A. P.; CANESIN, E. A.; CARDOSO, C. M. V.. Mutagenic

potential of the Pirapo River (Apucarana, Paraná, Brazil)

water in meristematic root cells of *Allium cepa* L. **Revista**

Brasileira de Biociências, v.7, n.2, p.155-159, 2009.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2019.

RODRIGUES, L. F.; MELO, L. P.; SOUZA, W. B.; PATRICIO, P. R..

Mapeamento e estudo da potabilidade de água de fontes alternativas localizadas em dois Distritos da Zona da Mata Mineira-MG. **Águas Subterrâneas**, v.33, n.2, 2019. DOI:

<http://doi.org/10.14295/ras.v33i2.29521>

SEIVAKUMAR, S.; CHANDRASEKAR, N.; KUMAR, G..

Hydrogeochemical characteristics and groundwater contamination in the rapid urban development areas of

Coimbatore, India. **Water Resources and Industry**, v.17, p.26-33, 2017. DOI:

<http://doi.org/10.1016/j.wri.2017.02.002>

SILVA, A. B.; BRITO, J. M.; SILVA, R. A.; BRAZ, A. S.; SILVA FILHO, E. D.. Parâmetros físico-químicos da água utilizada para consumo em poços artesianos na cidade de Remigio-PB. **Águas Subterrâneas**, v.31, n.2, p.109-118, 2017. DOI:

<http://doi.org/10.14295/ras.v31i2.28807>

SOBRAL, O.; MARIN-MORALES, M. A.; RIBEIRO, R.. Could contaminant induced mutations lead to a genetic diversity overestimation?. **Ecotoxicology**, v.22, n.5, p.838-846, 2013. DOI:

<http://doi.org/10.1007/s10646-013-1079-4>

VASCONCELOS, M. B.. Poços para captação de águas subterrâneas: revisão de conceitos e proposta de nomenclatura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 18. **Anais**. 2014. p.1-12.

WONGSASULUK, P.; CHOTPANTARAT, S.; SIRIWONG, W.; ROBSON, M.. Using hair and fingernails in binary logistic regression for bio-monitoring of heavy metals/metalloid in groundwater in intensively agricultural areas, Thailand. **Environmental Research**, v.162, p.106-118, 2018. DOI:

<http://doi.org/10.1016/j.envres.2017.11.024>