

Universidade do Estado do Pará
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Centro de Ciências Naturais e Tecnologia
Pós-Graduação em Ciências Ambientais – Mestrado



Letícia Magalhães da Silva

**QUALIDADE AMBIENTAL DAS ÁGUAS DOS
MANANCIAIS DO UTINGA E DOS RIOS GUAMÁ E AURÁ,
BELÉM, PARÁ**

Belém
2014

Letícia Magalhães da Silva

Qualidade ambiental das águas dos mananciais do Utinga e dos rios Guamá e Aurá, Belém, Pará

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Ciências Ambientais no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais.
Universidade do Estado do Pará.
Orientador: Prof. Dr. Gundisalvo Piratoba Morales.

Belém
2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP),
Biblioteca do Centro de Ciências Naturais e Tecnologia, UEPA, Belém - PA.

S586q Silva, Leticia Magalhães da

Qualidade ambiental das águas dos mananciais do Utinga e dos rios
Guamá e Aurá, Belém, Pará. / Leticia Magalhães da Silva; Orientador
Gundisalvo Piratoba Morales. -- Belém, 2014.

52 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade do
Estado do Pará, Centro de Ciências Naturais e Tecnologia, Belém, 2014.

1. Água – qualidade. 2. Água - poluição 3. Esgotos. I. Morales,
Gundisalvo Piratoba. II. Título.

CDD 628.161

Letícia Magalhães da Silva

Qualidade ambiental das águas dos mananciais do Utinga e dos rios Guamá e Aurá, Belém, Pará

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Ciências Ambientais no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. Universidade do Estado do Pará.
Orientador: Prof. Dr. Gundisalvo Piratoba Morales.

Data da aprovação: 28/02/2014

Banca Examinadora

_____ – Orientador

Prof. Dr. Gundisalvo Piratoba Morales
Doutor em Geologia e Geoquímica
Universidade do Estado do Pará

_____ - Membro Interno

Prof. Dra. Lucy Anne Cardoso Lobão Gutierrez
Doutora em Geologia e Geoquímica
Universidade do Estado do Pará

_____ - Membro Externo

Prof. Dr. Carlos Alberto Machado da Rocha
Doutor em Neurociências e Biologia Celular
Instituto Federal do Pará - IFPA

_____ - Membro Externo

Prof. Dra. Aline Maria Meiguins de Lima
Doutora em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido
Universidade Federal do Pará - UFPA

_____ - Suplente

Prof. Dr. Altem Nascimento Pontes
Doutor em Ciências
Universidade do Estado do Pará – UEPA

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de mestrado.

À Gerencia do Parque Estadual do Utinga (PEUt) por autorizar a pesquisa e disponibilizar transporte para realização das coletas.

Ao Batalhão de Polícia Ambiental de Belém pelo apoio durante a campanha.

Ao professor Carlos Rocha pela imensa contribuição durante minha formação inicial; por apresentar-me o teste *Allium cepa* e pela confiança depositada.

À professora Lurdinha por disponibilizar o Laboratório de Microbiologia da Universidade do Estado do Pará para a realização da pesquisa.

À professora Aline Meiguins pela parceria e apoio.

Ao professor Gundisalvo pela parceria, dedicação, confiança e por acreditar no meu trabalho.

Ao professor Altem, pelas palavras de carinho e apoio nos momentos difíceis, pela dedicação aos seus alunos e ao PPGCA.

À turma 2012 do PPCA pelos momentos de união, pelas gargalhadas e pelas amizades construídas.

Aos amigos, em especial Glauce Vitor e Sarah Batalha, por todos os momentos vividos intensamente nos últimos dois anos. Obrigada pela amizade e apoio de vocês.

À minha amada família (meus pais e irmãos) pelo amor incondicional, apoio, carinho, dedicação e por compreenderem minha ausência em alguns momentos. Vocês são minhas fontes de inspiração e força.

Ao meu melhor amigo, companheiro e cúmplice, Luis Marques, por todo seu amor, carinho, dedicação, e apoio; por alegrar meus dias; e por sempre conseguir me tranquilizar nos momentos conturbados da minha vida.

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”

Charles Chaplin

RESUMO

O monitoramento da qualidade das águas é uma ação determinante para indicar o estado de um corpo hídrico. Para isso, análises físicas, químicas, físico-químicas, biológicas e ecotoxicológicas, utilizadas de forma conjunta e interdisciplinar, servem para identificar o estado de deterioração que se encontra o ambiente aquático, seja aqueles causados por ação antrópica, em maior escala, como por fatores naturais, em menor escala. Os esgotos domésticos e industriais quando lançados no ambiente aquático, podem provocar graves desequilíbrios ecológicos, como alterações comportamentais, malformações, mudanças nas taxas de crescimento, reprodução, alterações bioquímicas e fisiológicas. Uma ferramenta para a avaliação da qualidade de água dos mais variados corpos hídricos é o IQA, que converte várias informações físico-químicas em um único resultado numérico. O IQA desta pesquisa variou entre aceitável e ótimo. Dentre os resultados encontrados, destacamos os valores de Fósforo total, que excederam o limite estabelecido pelo CONAMA nº 357/2005, para ambientes lênticos e lóticos. Entretanto, vale ressaltar que muitas vezes, corpos de água que estão de acordo com a legislação, podem apresentar condições inadequadas para a manutenção da vida. Portanto, teste ecotoxicológicos são necessários para complementar o IQA. E o sistema teste *Allium cepa* é atualmente um dos mais adequados e indicados para o monitoramento ambiental no ambiente aquático, devido à forma simples de estudo que apresenta parâmetros macroscópicos, por exemplo, crescimento irregular de raízes e parâmetros microscópicos, como, alterações cromossômicas, micronúcleos e índice mitótico. Dentre as alterações, foram encontradas anáfases com pontes cromossômicas, metáfase com viscosidade, anáfase multipolar, micronúcleo, entre outras. Foram observadas taxas estatisticamente significativas do índice mitótico, de alterações cromossômicas e micronúcleo com o controle negativo. Portanto, fatores indicativos de citotoxicidade e genotoxicidade.

Palavras-chave: bioindicadores, IQA, *Allium cepa*, contaminação, citogenotoxicidade.

ABSTRACT

The monitoring of water quality is a determinant action to indicate the status of a water body. For this, physical, chemical, physicochemical, biological and ecotoxicological analysis, used in joint and interdisciplinary way, serve to identify the state of deterioration in the aquatic environment, whether those caused by human action, on a larger scale, such as natural factors, on a smaller scale. Domestic and industrial sewers when thrown into environment water, can cause serious ecological imbalances, such as behavioral changes, bad formations, changes in growth rates, reproduction, biochemical and physiological changes. A tool for assessing the water quality of various water bodies is the IQA, which converts various physicochemical information into a single numerical result. The IQA of this research ranged from acceptable to great. Among the results found, include the values of total phosphorus, which exceed the limit established by CONAMA n°. 357/2005, for lentic and lotic environments. However, it is noteworthy that many times, bodies of water that are in accordance with the legislation, may have inadequate conditions for sustaining life. Therefore, ecotoxicological tests are needed to complement the IQA. The system *Allium cepa* test is currently one of the most appropriate and suitable for environmental monitoring in the aquatic environment due to the simple form of study that presents macroscopic parameters, for example, irregular growth of roots and microscopic parameters, such as, chromosomal abnormalities, micronuclei and mitotic index. Among the changes, anaphases with chromosome bridges, viscosity metaphase, multipolar anaphase, micronucleus, and others were found. Statistically significant rates of mitotic, chromosomal aberrations and micronucleus and the negative control were observed. Therefore, factors indicating cytotoxicity and genotoxicity.

Keywords: bioindicators, IQA, *Allium cepa*, contamination, citogenotoxicity.

LISTA DE TABELAS DO ARTIGO 1

- Tabela 1 Valores obtidos “*in situ*” de transparência da coluna d’água (m) e profundidade (m) nos diferentes pontos.
- Tabela 2 Valores da condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), obtidos “*in situ*”, nas amostras coletadas levando em consideração profundidades diferentes.
- Tabela 3 Valores obtidos “*in situ*” de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) nas amostras coletadas levando em consideração profundidades diferentes.
- Tabela 4 Resultados analíticos dos parâmetros utilizados no cálculo do Índice de Qualidade da Água
- Tabela 5 Valores de Fósforo Total nas amostras coletadas levando em consideração profundidades diferentes.
- Tabela 6 Classificação de qualidade da água, das áreas estudadas, considerando as profundidades, segundo a CETESB (1988).

LISTA DE TABELAS DO ARTIGO 2

- Tabela 1 Análise descritiva e ANOVA do comprimento das raízes de *Allium cepa* cultivadas em amostras de água coletadas nos Lagos Bolonha, Água preta e nos Rios Guamá e Aurá, nas profundidades de 20% e 80% da coluna d’água.

LISTA DE QUADROS DO ARTIGO 1

- Quadro 1 Identificação das metodologias utilizadas para determinar parâmetros físico-químicos
- Quadro 2 Identificação das faixas de variação dos Índices de Qualidade segundo a CETESB

LISTA DE FIGURAS DO ARTIGO 1

- Figura 1 Mapa de localização da área de estudo
- Figura 2 Chuva acumulada mensal e número de dias com chuva em Belém, Pa, de Janeiro a 22 de Agosto de 2013
- Figura 3 Correlação entre Sólidos Totais Dissolvidos e Condutividade elétrica
- Figura 4 Mapa de superfície de isovalores para o IQA com a utilização do interpolador Krigagem pelo *software Surfer 10*

LISTA DE FIGURAS DO ARTIGO 2

- Figura 1 Mapa de localização da área de estudo
- Figura 2 Variação do comprimento das raízes de *Allium cepa*, cultivadas com águas brutas dos lagos Bolonha e Água Preta e dos rios Guamá e Aurá.
- Figura 3 Concentração das taxas de Índice Mitótico encontradas nas células meristemáticas radiculares de *Allium cepa*, que foram cultivadas com águas brutas dos lagos Bolonha e Água Preta e dos rios Guamá e Aurá.
- Figura 4 Concentração das taxas de Alterações cromossômicas encontradas nas células meristemáticas radiculares de *Allium cepa*, que foram cultivadas com águas brutas dos lagos Bolonha e Água Preta e dos rios Guamá e Aurá.
- Figura 5 Concentração das taxas de Micronúcleo encontradas nas células meristemáticas radiculares de *Allium cepa*, que foram cultivadas com águas brutas dos lagos Bolonha e Água Preta e dos rios Guamá e Aurá.
- Figura 6 Gráfico 2D Line Plot elaborado no *Software Statistica 7* identificando a variação das taxas de IM, MN e AC nos tratamentos estudados
- Figura 7 Taxa das alterações cromossômicas (AC) e de micronúcleos (MN) expostas às águas brutas em relação ao controle negativo (CN)

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APA	Área de Proteção Ambiental
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDESP	Instituto de Desenvolvimento Econômico Social do Pará
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCS	Programa Internacional de Segurança Química
IQA	Índice de Qualidade da Água
NSF	National Sanitation Foundation
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PEUt	Parque Estadual do Utinga
RMB	Região Metropolitana de Belém
UNEP	Programa Ambiental das Nações Unidas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	12
1.2	REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO GERAL	14
2	ARTIGO 1 – AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DOS MANANCIAIS DO UTINGA E DOS RIOS GUAMÁ E AURÁ, BELÉM, PARÁ	16
	RESUMO	16
	ABSTRACT	16
	INTRODUÇÃO	17
	ÁREA DE ESTUDO	18
	MATERIAL E MÉTODOS	18
	Localização dos pontos de amostragem	18
	Coleta das amostras	19
	RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
	CONCLUSÕES	31
	REFERÊNCIAS	31
3	ARTIGO 2 – USO DO SISTEMA-TESTE <i>ALLIUM CEPA</i> COMO BIOINDICADOR DE CITOTOXICIDADE E GENOTOXICIDADE NO MANANCIAL DO UTINGA E NOS RIOS GUAMÁ E AURÁ, BELÉM, PA	34
	RESUMO	34
	ABSTRACT	35
	INTRODUÇÃO	35
	MATERIAL E MÉTODOS	36
	Localização dos pontos de amostragem	36
	Coleta e análise das amostras	37
	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
	CONCLUSÕES	44
	REFERÊNCIAS	44

4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
	ANEXO	
	NORMAS DA REVISTA (ARTIGO 1)	48
	Revista Enciclopédia Biosfera	
	NORMAS DA REVISTA (ARTIGO 2)	50
	Revista Ambiente & Água	
	APÊNDICE	52

1. INTRODUÇÃO GERAL

A degradação dos recursos hídricos e as perspectivas de escassez trazem à tona a necessidade de uma interpretação eficaz da qualidade das águas (MENEZES, 2009), pois o propósito primário para a exigência dessa qualidade é a proteção à saúde pública, assegurando o consumo adequado.

Portanto, para a manutenção dessa integridade ambiental, é de suma importância a correta identificação dos efeitos das ações antropogênicas sobre os sistemas biológicos (CAIRNS et al, 1993).

O monitoramento da qualidade das águas é uma ação determinante para indicar o estado de integridade ambiental de um corpo hídrico (INEA, 2013). Desta forma as análises físicas, químicas, físico-químicas, biológicas e ecotoxicológicas, utilizadas de forma interdisciplinar, servem para identificar a deterioração causada tanto por influência antrópica sobre os ambientes aquáticos, em maior escala, como por fatores naturais, em menor escala.

Desta forma, o presente estudo visa realizar uma análise integradora das condições ambientais dos mananciais do Parque Estadual do Utinga (PEUt) e dos rios Guamá e Aurá, utilizando parâmetros físico-químicos (Índice de Qualidade da Água – IQA) e ensaio ecotoxicológico (teste do *Allium cepa* – cebola), haja vista que, a poluição dos ambientes aquáticos acontece frequentemente pela presença de patógenos, resíduos orgânicos, sedimentos, nutrientes e poluentes químicos (PEREIRA, 2004; VILCHES, 2009). Enquanto que, os objetivos específicos são: determinar o IQA das áreas estudadas; classificar de acordo com a normatização vigente o IQA; analisar o potencial citotóxico e genotóxicos através do sistema *Allium cepa*, dos diferentes pontos de coleta.

O PEUt atualmente encontra-se na Zona de Ambiente Natural 1 (ZAN 1) que corresponde à área delimitada pela Área de Proteção Ambiental – APA - na Região Metropolitana de Belém – RMB – (PARÁ, 2013), e é formado pelos Lagos Bolonha e Água Preta.

O entorno da APA, de acordo com Sodré (2007), sofre com os problemas decorrentes de resíduos sólidos acumulados, lixiviação do solo, erosão e assoreamento dos mananciais. Além disso, o lançamento de esgoto sanitário foi comprovado pelo Plano de Manejo do PEUt, em que foi identificado vinte e um pontos de lançamento nas cabeceiras dos lagos Bolonha e Água Preta (PARÁ, 2013).

Os esgotos domésticos e efluentes industriais advindos de áreas urbanas e sem tratamento, constituem-se em um dos maiores agravantes à depreciação da qualidade da água utilizada no abastecimento público, levando ao desequilíbrio ambiental dos ecossistemas afetados e a anormalidades e alterações, que inibem a capacidade desses ecossistemas em manter os seus processos autodepurativos, ocasionando graves problemas ambientais e de saúde.

Os mananciais do PEUt são um dos principais responsáveis pelo armazenamento e abastecimento da RMB (IDESP, 1991). Entretanto, os lagos não são capazes de abastecer toda a população, haja vista que, de acordo com os dados do último Censo Demográfico, há cerca de 2.100.319 habitantes na região (IBGE, 2010). Portanto, a empresa responsável pelo tratamento e distribuição das águas dos lagos, realiza a adução das águas do rio Guamá (RIBEIRO, 1992; MORALES et al. 2002).

O rio Aurá, que é o principal afluente do rio Guamá e a terceira maior bacia em extensão da RMB (SIQUEIRA e APRILE, 2013), desemboca próximo à captação de água do Guamá, feita pela concessionária local.

As áreas estudadas se enquadram, segundo o CONAMA n° 357/2005, na Classe 2 para águas doces, que podem ser destinadas: “ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional, à proteção das comunidades aquáticas, à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA n° 274, de 2000, à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campo de esporte e lazer, com as quais o público possa vir a ter contato direto, e à aquicultura e à atividade de pesca” (CONAMA n° 357/2005).

Desta forma, temos a seguinte problemática: os mananciais da APA/Belém, os rios Guamá e Aurá apresentam degradação ambiental significativa e diminuição considerável na disponibilidade de água doce de qualidade?

O trabalho foi estruturado em dois artigos para submissão em periódicos indexados.

O primeiro artigo visa avaliar a qualidade da água dos mananciais do Parque Estadual do Utinga (PEUt), dos Rios Guamá e Aurá, utilizando o Índice de Qualidade da Água (IQA), com a finalidade de classificá-las de acordo com a normatização vigente, o CONAMA n° 357/2005, para água doce de Classe II. Os procedimentos adotados foram baseados na metodologia da *‘Standards Methods for the*

Examination of Water and Wastewater'. Foi utilizado o *Software Surfer 10* para a confecção de mapas de isovalores, através do método de Krigagem, identificando a variação do IQA das áreas estudadas.

O segundo artigo busca investigar a citotoxicidade e a genotoxicidade dos lagos Bolonha e Água Preta e dos rios Guamá e Aurá por meio do sistema teste *Allium cepa* (cebola) usado como bioindicador de danos causados em células meristemáticas radiculares.

1.2. REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO GERAL

BRASIL, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Demográfico, 2010.

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE [CONAMA]. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005: dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília (DF); Diário Oficial da União. Gráfica e Editora Itamarati, 2005.

CAIRNS, JR., J.; McCORMICK, P. V.; NIEDERLEHNER, B. R. A proposed framework for developing indicator of ecosystem health. *Hydrobiologia*, v. 263, p. 1-44, 1993.

INEA – Instituto Estadual do Ambiente. Qualidade da água. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/fma/qualidade-agua.asp>> Acesso em: 15 de Jun de 2013.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SOCIAL DO PARÁ - IDESP. Estudo Ambiental do Utinga. Vida Útil do Sistema de Abastecimento de Água de Belém, 1991, 118p. (Relatório de Pesquisa).

MENEZES, Juliana Magalhães. Índice de água subterrânea aplicado em área de aquíferos cristalinos com uso agrícola: Bacia do Rio São Domingos. Rio de Janeiro. UFRJ/PPGI, 2009.

MORALES, G. P. Avaliação ambiental dos resíduos hídricos, solo e sedimentos na área da abrangência do depósito sólidos do Aurá – Belém. 2002. 240p Tese (Doutorado em Geoquímica e Petrologia) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, 2002.

PARÁ, SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE. Revisão do Plano de Manejo do Parque Estadual do Utinga. 376p. Belém: SEMA; Belém: IMAZON, 2013.
PEREIRA, R. S. Identificação e caracterização das fontes de poluição em sistemas hídricos. Revista Eletrônica de Recursos Hídricos: IPH-UFRGS. V.1, n,1, p. 20-36. 2004.

RIBEIRO, H. M. C. Avaliação atual da qualidade das águas superficiais dos lagos Bolonha e Água Preta situados na área fisiográfica do Utinga (Belém- Pa). Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 1992.

SIQUEIRA, G. W.; APRILE, F. Avaliação do risco ambiental por contaminação metálica e material orgânico em sedimentos da bacia do Rio Aurá, Região Metropolitana de Belém – Pa. Acta Amazônica. Vol. 43(1) p. 51 – 62, 2013.

SODRÉ, S. do S. V. Hidroquímica dos lagos Bolonha e Água Preta, mananciais de Belém – PA. 114p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Museu Emílio Goeldi e EMBRAPA, Belém, 2007.

VILCHES, Melissa. Análise genotóxica do rio Cadeia/RS através do ensaio cometa e teste de micronúcleo e anormalidades nucleares utilizando peixes como bioindicadores, 2009 (Dissertação de Mestrado).

AValiação DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DOS MANANCIAIS DO UTINGA E DOS RIOS GUAMÁ E AURÁ, BELÉM, PARÁ

Letícia Magalhães da Silva¹, Gundisalvo Piratoba Morales², Aline Maria Meiguins de Lima³

1. Mestranda em Ciências Ambientais da Universidade do Estado do Pará. Belém, Brasil (leticia.magalhaes@live.com)
2. Doutor em Geologia e Geoquímica, Universidade do Estado do Pará
3. Pesquisadora Doutora em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido, Universidade Federal do Pará

RESUMO:

A degradação dos recursos hídricos e a possibilidade de escassez trazem à tona a necessidade de um monitoramento eficaz da qualidade das águas. No caso da região Amazônica, uma das mais ricas em relação à disponibilidade de água doce, a manutenção da qualidade da água captada e distribuída precisa ser avaliada e monitorada. O objetivo deste estudo visa avaliar a qualidade da água dos mananciais do Parque Estadual do Utinga (PEUt), dos Rios Guamá e Aurá, utilizando o Índice de Qualidade da Água (IQA), com a finalidade de classificá-las de acordo com a normatização vigente. Os procedimentos adotados foram baseados na metodologia da *'Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater'*. Foi utilizado o *Software Surfer 10* para a confecção de mapas de isovalores, através do método de Krigagem. Dentre os resultados encontrados, destacamos os valores de OD, que oscilaram de 0,5 mg/L a 5,4 mg/L, portanto, apenas os pontos 3 e 5 do Lago Água Preta estavam dentro do limite estabelecido pelo órgão ambiental competente; os valores STD variaram significativamente nos diferentes pontos, de 4,2 mg/L a 136,7 mg/L; e os resultados de Fósforo total excederam o limite estabelecido pelo CONAMA n° 357/2005, para ambientes lênticos e lóticos. O IQA variou entre aceitável e ótimo.

Palavras-chave: Efluentes domésticos e industriais, recursos hídricos, contaminação, parâmetros físico-químicos, SURFER.

QUALITY ASSESSMENT OF SURFACE WATER OF UTINGA'S SPRINGS AND THE GUAMÁ AND AURA RIVERS, BELÉM, PARA

ABSTRACT

The degradation of water resources and the shortage possibility brings up the necessity of an effective monitoring of water quality. In the case of the Amazon region, one of the richest in relation to the availability of fresh water, the collected and distributed' water quality maintenance and must be evaluated and monitored. This study aims to evaluate the water quality of the Parque Estadual do Utinga' (PEUt)

springs, the Guamá and Aurá rivers, using the Water Quality Index (WQI), in order to classify them according to current standards. The procedures adopted were based on the methodology of Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater. Software Surfer 10 was used for mapping the isovalue, through the method of Kriging. Among the result found, include OD values, which ranged from 0.5 mg / L to 5.4 mg / L, so only the points 3 and 5 of Água Preta lake were within the limits established by the competent environmental agency; the STD values varied significantly in different parts of 4.2 mg / L to 136.7 mg / L; and the results of total phosphorus exceeded the limit set by CONAMA No. 357/2005, for lentic and lotic environments. The WQI ranged from acceptable to great.

Keywords: Industrial and domestic effluent, hydric resources, contamination, physico-chemical parameters, SURFER.

INTRODUÇÃO

A água utilizada para sanar as necessidades humanas em seus mais variados aspectos é em sua maior parte, proveniente de corpos hídricos superficiais (Vilches, 2009). O Brasil possui extensas redes fluviais, por onde fluem cerca de 257.790 m³s⁻¹ de águas passíveis de utilização, correspondendo a aproximadamente 18% do potencial hídrico superficial utilizável do planeta (Setti, 1998), além de possuir amplos aquíferos subterrâneos, com cerca de 112.000 km³ de volume de água (Motta, 1997).

A região Amazônica é uma das regiões do Brasil e do mundo, mais ricas em relação à disponibilidade de água, portanto, a manutenção da qualidade da água distribuída precisa ser avaliada e monitorada, através das “condições e padrões adotados para o controle de lançamentos de efluentes no corpo receptor” (Resolução CONAMA nº357/2005).

Segundo documento da Organização das Nações Unidas (ONU), *Agenda 21* (CNUMAD, 1992:333), “a utilização da água deve ter como prioridades a satisfação das necessidades básicas e a preservação dos ecossistemas”. Dessa forma, é de fundamental importância o desenvolvimento de estudos para um diagnóstico atualizado dos recursos hídricos, aplicando metodologias que permitam o estabelecimento de planos de ações e de investimentos para atender às metas de qualidade (Souza e Fontanetti, 2007).

De acordo com Arias et al. (2007) nos últimos anos o nível de compostos xenobióticos nos ecossistemas aquáticos vem crescendo de forma assustadora como resultado da atividade antropogênica sobre o meio ambiente. O planejamento urbano desordenado e inadequado ocasiona no ambiente várias alterações, dentre elas, a veiculação de poluentes que podem alcançar águas subterrâneas e superficiais (MIRANDA et al, 2009).

Essas atividades, como afirmam Leite et al. (2013), “causam a deterioração da qualidade da água, e muitas vezes, os mananciais servem de depósito para dejetos indesejáveis e esgotos”.

Tal fato contribui para a redução da qualidade ambiental e, conseqüentemente, compromete a saúde dos seres vivos que habitam e dependem direta ou indiretamente desses ecossistemas.

Em Belém, os lagos Bolonha e Água Preta formam os mananciais de águas superficiais que abastecem a Região Metropolitana, sendo composta pelos municípios de Belém, Ananindeua, Marituba, Benevides, Santa Bárbara do Pará e Santa Izabel do Pará, totalizando cerca de 2.100.319 habitantes segundo dados do último Censo Demográfico realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística em 2010 (IBGE, 2010).

Portanto, este estudo visa avaliar a qualidade da água dos mananciais do Parque Estadual do Utinga (PEUt), dos Rios Guamá e Aurá, utilizando o Índice de Qualidade da Água (IQA), com a finalidade de classificá-las de acordo com a normatização vigente. Segundo Alves *et al.*, (2012), este índice dá “relevância a poluição por esgoto doméstico, que é a principal fonte de poluição nas bacias hidrográficas”.

Assim, a problemática que envolve o PEUt acontece pelo crescimento desordenado dos centros urbanos, que de maneira geral, têm gerado graves impactos aos ecossistemas aquáticos, principalmente no que diz respeito à destinação de efluentes domésticos e industriais, desmatamentos, assoreamento, introdução de descargas de agrotóxicos, gerando preocupação em relação à escassez, deterioração e uso ineficiente da água doce.

ÁREA DE ESTUDO

Caracterização da área

A Região Metropolitana de Belém (RMB) abrange os municípios de Belém, Ananindeua, Marituba, Benevides, Santa Bárbara do Pará e Santa Izabel do Pará, além dos distritos de Icoaraci e Mosqueiro (IBGE, 2010; Bahia *et al.*, 2011). Apresentam em grande parte sedimentos areno-argilosos da unidade Pós-barreiras (Farias *et al.*, 1992).

Os Rios Guamá, Aurá e o Parque Estadual do Utinga (PEUt) são as áreas de estudo deste trabalho (Figura 1). Localizado dentro da Área de Proteção Ambiental (APA) na Região Metropolitana de Belém, o PEUt é formado pelos Lagos Bolonha e Água Preta que são os mananciais responsáveis pelo armazenamento de água que abastece a região (IDESP, 1991). Entretanto, os lagos não são capazes de abastecer toda a população, tornando-se necessário a adução das águas brutas do rio Guamá, afluente do Rio Pará (RIBEIRO, 1992; MORALES *et al.* 2002).

O Rio Aurá, por sua vez é afluente do Rio Guamá e exerce forte influência sobre os mananciais do PEUt, devido ser a terceira maior bacia em extensão da RMB, segundo Siqueira e Aprile (2013), e por desembocar próximo à captação de água do rio Guamá feita pela concessionária local.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização dos pontos de amostragem

As coletas foram realizadas em 14 pontos distribuídos entre as áreas pesquisadas. No Lago Bolonha foi realizada a coleta em 4 pontos. No Lago Água Preta, devido sua extensão, as coletas foram realizadas em 6 pontos. Já no Rio Guamá, as coletas foram realizadas em 3 pontos perto da adução de água pela concessionária local responsável pela captação da mesma para tratamento e distribuição. Portanto, o primeiro ponto localiza-se à montante, o segundo em frente e o terceiro a jusante da captação. Enquanto que no Rio Aurá, foi realizada a coleta em apenas um ponto. (Figura 1).

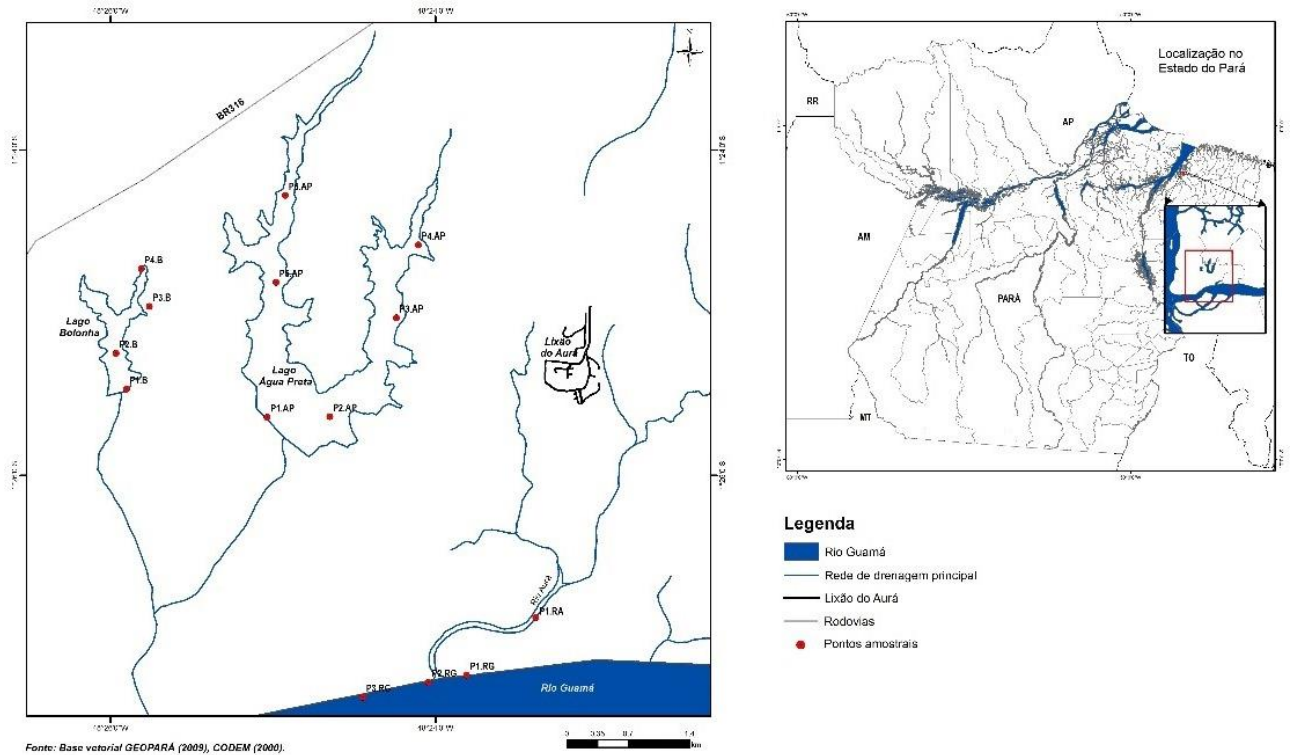


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo

Coleta das amostras

Foi realizada uma campanha no mês de Abril de 2013, um dos períodos mais chuvosos na região (figura 2) segundo informações do INMET (2013). As amostras de água foram coletadas em dois níveis, a 20% e 80% da profundidade, com exceção do ponto P4 do Bolonha, sendo a coleta realizada na margem.

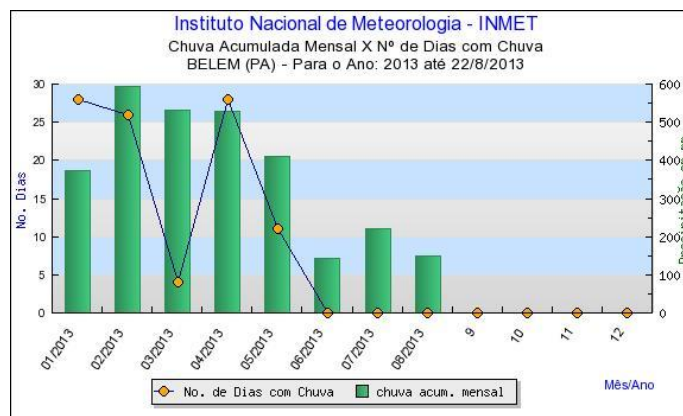


Figura 2: Chuva acumulada mensal e número de dias com chuva em Belém, Pa, de Janeiro a 22 de Agosto de 2013

Fonte: INMET, 2013

Em campo, foi observado a presença de materiais flutuantes (garrafas de polietileno, sacolas plásticas, entre outros), espumas e odor em alguns pontos de coleta nos lagos Água Preta e Bolonha, e em todos os pontos dos rios Guamá e Aurá. Durante os três dias de coleta, as condições climáticas eram boas com céu parcialmente nublado, sem chuva no horário da coleta, porém é importante ressaltar que houve chuva 24 horas antes do primeiro dia de coleta.

Após as coletas, as amostras de água foram encaminhadas para laboratório, a fim de se analisar os parâmetros físico-químicos. Foram utilizadas as seguintes metodologias (Quadro 1).

Quadro 1: Identificação das metodologias utilizadas para determinar parâmetros físico-químicos.

Metodologia Utilizada para cada Parâmetro Analisado	
PARÂMETROS	METODOLOGIA
Transparência	Disco de Secchi
Condutividade elétrica	Condutivímetro
STD	Condutivímetro
pH	pHmetro portátil
Turbidez	Turbidímetro
Fósforo total	Ácido ascórbico
Sólidos Totais	Método Gravimétrico
Temperatura da água	Termômetro
DBO	Oxigênio Consumido
Oxigênio Dissolvido	Método de Winkler
Coliformes Termotolerantes*	Sistema colilert
Nitrogênio Total*	Método de Kendall

*Parâmetros terceirizados.

Fonte: Autores.

Com os resultados obtidos foi calculado o valor do Índice de Qualidade da Água (IQA) – estabelecido pela *National Sanitation Foundation* (NSF) e adaptado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), que é ligada à Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo – e classificado o nível de qualidade de acordo com a faixa de variação do índice.

O *Software Surfer 10* foi utilizado para a interpolação de dados na construção de mapas de isovalores em cada área de estudo, através do método da *Krigagem*, considerado o mais recomendado na minimização do erro. Para isso, os dados foram tabulados no programa Microsoft *Excel*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O valor do IQA é calculado pelo produto ponderado das seguintes variáveis: Temperatura da amostra, pH, Sólidos Totais, Fósforo, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Oxigênio Dissolvido (OD), Turbidez, Coliformes Termotolerantes e Nitrogênio Total (CETESB, 2003). Outros parâmetros também foram analisados: Transparência, Profundidade, Condutividade, Sólidos Totais Dissolvidos (STD), Sódio (Na), Cálcio (Ca) e Potássio (K), com o objetivo de investigar possíveis alterações relacionadas diretamente com a influência antrópica.

Durante a coleta foi realizada a medição de profundidade e transparência dos pontos estudados (Tabela 1). A profundidade oscilou de 1,50 m, no Ponto 2 do Lago Água Preta, à 8,50 m, nos Pontos 1 e 2 do Rio Guamá. Com relação aos valores da coluna de transparência da água, os resultados mostram variação de 0,32 m, no Ponto 4 do Rio Aurá, à 1,11 m no Ponto 4 do Lago Água Preta.

A turbidez, verificada através do Turbidímetro, oscilou de 4,21 UNT, no Ponto 6 do Lago Água Preta, à 27,4 UNT, no Ponto 1 do Rio Guamá. O limite de turbidez

estabelecido pela legislação vigente para corpos d'água de Classe 2 é de até 100 UNT, para água doce (CONAMA n° 357/2005), portanto, nenhuma das amostras analisadas tiveram resultado excedido (Tabela 4).

Tabela 1: Valores obtidos “*in situ*” de transparência da coluna d'água (m) e profundidade (m) nos Diferentes Pontos.

Valores de Transparência e Profundidade dos Pontos aas Áreas Estudadas				
Área de estudo	de	Amostra	Transparência (m)	Profundidade (m)
Lago Bolonha		P1.B	1,02	4
		P2.B	1,1	6
		P3.B	0,8	4
		P4.B-MARGEM	margem	margem
Lago Água Preta		P1.AP	0,46	4,5
		P2.AP	0,48	1,5
		P3.AP	0,56	3,5
		P4.AP	1,11	3
		P5.AP	0,55	3,8
		P6.AP	0,65	3,5
Rio Guamá		P1.RG	0,37	8,5
		P2.RG	0,39	8,5
		P3.RG	0,37	6
Rio Aurá		P1.RA	0,32	2,5

Fonte: Autores.

A transparência da água e a turbidez podem sofrer alterações, segundo Albanez e Matos (2007), devido à presença de materiais em suspensão como “partículas de solo e resíduos orgânicos, que geralmente entram no corpo hídrico em razão da ocorrência de processos erosivos no solo; material orgânico e inorgânico presente devido o lançamento de esgotos domésticos ou industriais na água e a presença de algas e pequenos animais”.

Os resultados analisados de pH, oscilaram entre 5,9, no Ponto 2 do Rio Guamá, a 7,56 no Ponto 1 do Lago Água Preta. De acordo com o CONAMA n° 357/2005, o pH da água doce de Classe 2 deve estar na faixa entre 6,0 a 9,0, portanto, os valores encontrados estão dentro dos padrões de qualidade legal das águas (Tabela 4).

Já a temperatura da água, verificada diretamente nos corpos d'água, com o uso de um termômetro digital, variou entre 28° C a 31,3° C levando em consideração profundidades diferentes, com exceção do Ponto 4 do Lago Bolonha, haja vista que a coleta foi realizada na margem.

Com relação aos valores da condutividade elétrica (tabela 2), os resultados mostram variação entre 20 µS/cm, no Ponto 1 do Rio Guamá, até 306 µS/cm, verificado no Ponto 4 do Lago Bolonha, onde a coleta foi realizada na margem do corpo d'água. De acordo com Feitosa e Manoel Filho (2000), a condutividade elétrica tende a aumentar por diversos fatores, como, elevação de temperatura e maior concentração de íons dissolvidos. A partir da análise estatística (coeficiente de Pearson), foi possível verificar correlação entre os parâmetros supracitados, a temperatura apresentou boa correlação negativa com a condutividade elétrica (-0,6286), portanto, quanto maior a temperatura menor a condutividade elétrica dos

corpos d'água e vice-versa. Em relação aos íons, Esteves (1998), afirma que, aqueles que mais influenciam nas variações da condutividade são os macronutrientes, por exemplo, Sódio (Na), Cálcio (Ca) e Potássio (K). No Ponto 1 do Rio Guamá, onde foi identificado o menor valor de condutividade, também foi verificado os menores valores de Na e K, 0,6 e 0,4 ppm, respectivamente, e não foi encontrado a presença de cálcio. Já no Ponto 4 do Lago Bolonha, onde o valor da condutividade foi elevado, obtivemos os maiores valores do Na, Ca e K, 15.5, 6.9 e 3.7, respectivamente.

Tabela 2: Valores da condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), obtidos “*in situ*”, nas amostras coletadas levando em consideração profundidades diferentes.

Concentração de Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{Cm}$) nas amostras de água coletadas					
Área de estudo	de	Amostras	Nível de profundidade de coleta da amostra		
			Superfície da água	20% da coluna d'água	80% da coluna d'água
Lago Bolonha		P1.B	-	57,2	62,6
		P2.B	-	57,2	84,5
		P3.B	-	58,9	56,1
		P4.B-			
		MARGEM	306	-	-
Lago Preta	Água	P1.AP	-	39	50,8
		P2.AP	-	40,4	29,7
		P3.AP	-	49	51,06
		P4.AP	-	49,9	55,6
		P5.AP	-	39,6	55,1
		P6.AP	-	42,2	50,5
Rio Guamá		P1.RG	-	20	22,3
		P2.RG	-	25,9	24,4
		P3.RG	-	24,1	24,7
Rio Aurá		P1.RA	-	153,3	169,4
CONAMA n° 357/2005		Classe 2 (água doce)		Não referenciado	

Fonte: Autores.

Os valores de Sólidos Totais Dissolvidos, verificados “*in situ*”, variaram significativamente nos diferentes pontos, por exemplo, no Ponto 1 do Rio Guamá, o valor encontrado foi 4,2 mg/L, enquanto que, no Ponto 4 do Lago Bolonha, foi 136,7 mg/L (tabela 3). Essa variação está diretamente ligada à condutividade elétrica, pois, após análise estatística verificou-se excelente correlação positiva (gráfico 01) entre os dois parâmetros (0,949758).

Outra correlação verificada foi entre a temperatura e os STD, no qual apresentou boa correlação negativa (-0,70411), ou seja, quanto maior a temperatura do corpo d'água menor a quantidade dos sólidos totais dissolvidos. Contudo, os resultados estão de acordo com a legislação vigente, haja vista que a mesma determina um valor máximo para STD que é 500 mg/L (CONAMA n° 357/2005), portanto, nenhuma das amostras tiveram resultados excedidos.

Tabela 3: Valores obtidos “*in situ*” de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) nas amostras coletadas levando em consideração profundidades diferentes.

Concentração de STD (Mg/L) nas amostras de água coletadas				
Área de estudo	de Amostras	Nível de profundidade de coleta da amostra	Superfície da coluna d'água	
			20% da coluna d'água	80% da coluna d'água
LAGO BOLONHA	P1.B	-	16,87	23,6
	P2.B	-	16,89	22
	P3.B	-	27,6	15,74
	P4.B-	-	-	-
LAGO ÁGUA PRETA	MARGEM	136,7	-	-
	P1.AP	-	27,1	17,49
	P2.AP	-	14,01	8,64
	P3.AP	-	16,79	19,32
RIO GUAMÁ	P4.AP	-	18,46	20,3
	P5.AP	-	11,85	18,92
	P6.AP	-	13,88	58,5
	P1.RG	-	5,78	4,2
RIO AURÁ	P2.RG	-	5,36	5,55
	P3.RG	-	4,95	5,02
CONAMA n° 357/2005	P1.RA	-	66,3	70,6
Classe 2 (água doce)			500 mg/L	

Fonte: Autores.

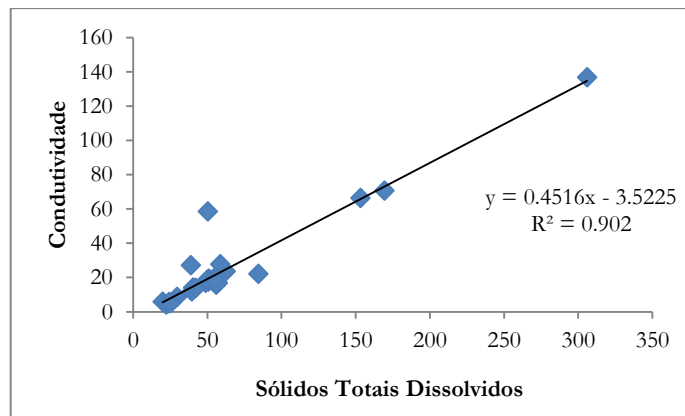


Figura 3: Correlação entre Sólidos Totais Dissolvidos e Condutividade elétrica. Fonte: Autores.

Já os valores de Oxigênio Dissolvido (OD), oscilaram de 0,5 mg/L, no Ponto 1 do Rio Aurá, a 5,4 mg/L no Ponto 5 do lago Água Preta (tabela 4). Levando em consideração o CONAMA n° 357/2005, apenas os pontos 3 e 5 do Lago Água Preta estavam dentro do limite estabelecido pelo órgão ambiental competente, os demais pontos excederam a legislação, haja vista que a mesma determina, para qualquer amostra em águas doces de Classe 2, o limite não inferior a 5 mg/L O₂. A diminuição dos teores de OD nos corpos d'água pode estar relacionada com o crescimento populacional no entorno do Manancial do Utinga, lançamento de esgotos domésticos e industriais, além do “próprio resíduo sólido oriundo de lixões em contato direto com a água superficial” (Chapman, 1992). Portanto, o decréscimo de OD é um indicador de poluição orgânica de um corpo d'água.

A Demanda Bioquímica de Oxigênio, por sua vez, apresentou dados que variaram de 0,9 mg/L, nos Pontos 2 e 4 do Lago Bolonha, à 5,6 mg/L no Ponto 1 do Rio Aurá (Tabela 4). Apenas este último ponto excedeu a legislação que determina o limite de até 5 mg/L O₂. O aumento de DBO no corpo hídrico é provocado por despejos de origem, predominantemente, orgânica, que pode induzir à completa extinção do oxigênio na água, já que o mesmo será consumido pela matéria orgânica mediante aos processos bioquímicos aeróbicos.

Os resultados de Sólidos Totais, realizados em duplicata nas duas profundidades, oscilaram entre 75,8439 mg/L, no Ponto 2 do Lago Água Preta, e 87,9348 mg/L no Ponto 3 do mesmo lago (tabela 4). Segundo a Agência Nacional das Águas (2005), denomina-se sólido total para “a matéria que permanece em suspensão mesmo após a evaporação, secagem da amostra de água durante um determinado tempo e temperatura”, portanto, é o que resta na cápsula após a evaporação.

Em relação ao Fósforo Total, vale ressaltar que é um dos principais nutrientes para os processos biológicos, portanto, o excesso do fósforo nos corpos d’água, resultante das descargas de esgotos sanitários e efluentes industriais (Vilches, 2009), conduz ao crescimento acelerado da eutrofização das águas brutas. Assim, percebemos que a variação dos resultados de fósforo total no Manancial do Utinga (ambiente lântico) ficou entre 0,004218 mg/L P, no Ponto 3 do Lago Bolonha à 80% da coluna d’água, e 1,348879 mg/L P no Ponto 5 do Água Preta, a uma profundidade de 20% da coluna d’água. Desta forma, de acordo com o CONAMA n° 357/2005, que determina o valor máximo de fósforo em ambientes lânticos para águas doces de Classe 2, até 0,030 mg/L P, percebemos que todos os pontos excederam o limite determinado pela legislação, com exceção do Ponto 3 do Bolonha à 80% da coluna d’água. Já os Rios Guamá e Aurá, oscilaram seus valores entre 0,777072 mg/L P, no Ponto 1 do Rio Aurá, e 1,153074 mg/L P no Ponto 3 do Rio Guamá, desta forma, concluímos que todos os pontos também excederam o limite estabelecido pela legislação supracitada, que determina para ambientes lóticos o máximo de até 0,1 mg/L P, para águas doces do Classe 2 (tabela 5).

Contudo, os resultados de Nitrogênio Total para os lagos não excederam o limite estabelecido pela referida legislação que é de 3,7 mg/L N, para corpos hídricos com pH menor ou igual a 7,5, com exceção do Ponto 4 do Bolonha, onde se verificou o valor 9,566 mg/L. Entretanto, o mesmo não foi observado nos pontos dos rios Guamá e Aurá, onde se verificou que todos excederam o CONAMA, variando de 5,664 mg/L no Ponto 2 do rio Guamá a 9,076 mg/L no Ponto 1 do rio Aurá.

Por ser um macronutriente importante nos processos biológicos, o nitrogênio, juntamente com o fósforo e outros nutrientes, ao serem descarregados em grandes quantidades nos corpos d’água causam o crescimento exacerbado de algas e macrófitas, prejudicando o abastecimento público, a recreação e a preservação da vida aquática. Figueiredo et al. (2007), atribuem a causa pela proliferação de macrófitas em lagos brasileiros a despejos de descargas domésticas e/ou industriais.

Tabela 5: Valores de Fósforo Total nas amostras coletadas levando em consideração profundidades diferentes.

		Concentração de Fósforo (Mg/L) nas amostras de água coletada					CONAMA n° 357/2005 (Classe 2 – águas doces)	
Área de estudo	Amostras	Nível de profundidade de coleta da amostra			da	Ambientes lênticos	Ambientes lóticos	
		Superfície da coluna d'água	20% da coluna d'água	80% da coluna d'água				
LAGO BOLONHA	P1.B	-	1,19151	0,966089		-		
	P2.B	-	1,153074	0,953208		-		
	P3.B	-	1,232596	0,004218		-		
	P4.B-MARGEM	0,229137	-	-		-		
LAGO ÁGUA PRETA	P1.AP	-	1,19151	1,083191	até 0,030 mg/L P	-		
	P2.AP	-	1,276618	1,153074		-		
	P3.AP	-	0,904944	1,153074	-			
	P4.AP	-	1,299829	1,276618	-			
	P5.AP	-	1,348879	1,171977	-			
	P6.AP	-	1,254221	0,68741	-			
RIO GUAMÁ	P1.RG	-	1,134771	1,134771	-			
	P2.RG	-	1,117041	1,117041	-			
	P3.RG	-	1,153074	1,134771	-	até 0,1 mg/L		
RIO AURÁ	P1.RA	-	0,785611	0,777072	-			

Fonte: Autores

Os resultados das análises de Coliformes Termotolerantes variaram de 3,6 NMP no Ponto 1 do Bolonha a 36 NMP no Ponto 1 do Água Preta. Foi constatado a ausência de coliformes termotolerantes nos seguintes pontos: P3 – B, P2 – AP, P3 – AP, P4 – AP e P6 – AP. Portanto, as concentrações se apresentaram em conformidade com os limites estabelecidos no CONAMA 357/2005 para águas doces de classe II, que determina o limite de até 1.000 NMP/100 mL.

Após as análises físico-químicas, foram calculadas as médias dos parâmetros por ponto, a fim de obter o valor do Índice de Qualidade da Água – IQA, que adota faixas de qualidade. Os valores variam de 0 a 100 (imprópria a ótima).

Calculado pelo produtório ponderado das qualidades de água correspondente aos parâmetros analisados (CETESB, 2008), o IQA apresenta a seguinte fórmula:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{wi} = q_1^{0,17} \cdot q_2^{0,10} \cdot q_3^{0,15} \cdot q_4^{0,12} \cdot q_5^{0,10} \cdot q_6^{0,10} \cdot q_7^{0,10} \cdot q_8^{0,08} \cdot q_9^{0,08}$$

Onde:

q: é a qualidade obtida, e

w: é o peso correspondente à variável.

Desta forma, é gerado um índice com valores variando de 0 a 100 conforme especificado no Quadro 2, que correspondem aos níveis de qualidade da água.

Quadro 2: Identificação das faixas de variação dos Índices de Qualidade segundo a CETESB

Referência	Nível de Qualidade	Faixa de variação do IQA
CETESB	Ótima	$79 < IQA \leq 100$
	Boa	$51 < IQA \leq 79$
	Aceitável	$36 < IQA \leq 51$
	Imprópria para tratamento convencional	$19 < IQA \leq 36$
	Imprópria	$IQA \leq 19$

Fonte: CETESB (1988)

Após a determinação do IQA, classificamos os níveis de acordo com a faixa de variação encontrada nos pontos analisados. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Classificação de qualidade da água, das áreas estudadas, considerando as profundidades, segundo a CETESB (1988).

	CETESB			
	IQA (20%)		IQA (80%)	
P1.B	61	Boa	62	Boa
P2.B	60	Boa	62	Boa
P3.B	67	Boa	82	Ótima
P4.B	54	Boa		
P1.AP	64	Boa	65	Boa
P2.AP	69	Boa	68	Boa
P3.AP	85	Ótima	70	Boa
P4.AP	67	Boa	66	Boa
P5.AP	64	Boa	64	Boa
P6.AP	64	Boa	68	Boa
P1.RG	56	Boa	55	Boa
P2.RG	54	Boa	54	Boa
P3.RG	54	Boa	54	Boa
P1.RA	41	Aceitável	41	Aceitável

Fonte: Autores

Para a verificação da distribuição do IQA, os resultados foram apresentados usando gráficos produzidos pelo *Software Surfer 10*, através do método de interpolação por krigagem, permitindo uma melhor visualização deste índice ao longo das áreas estudadas (Figura 3).

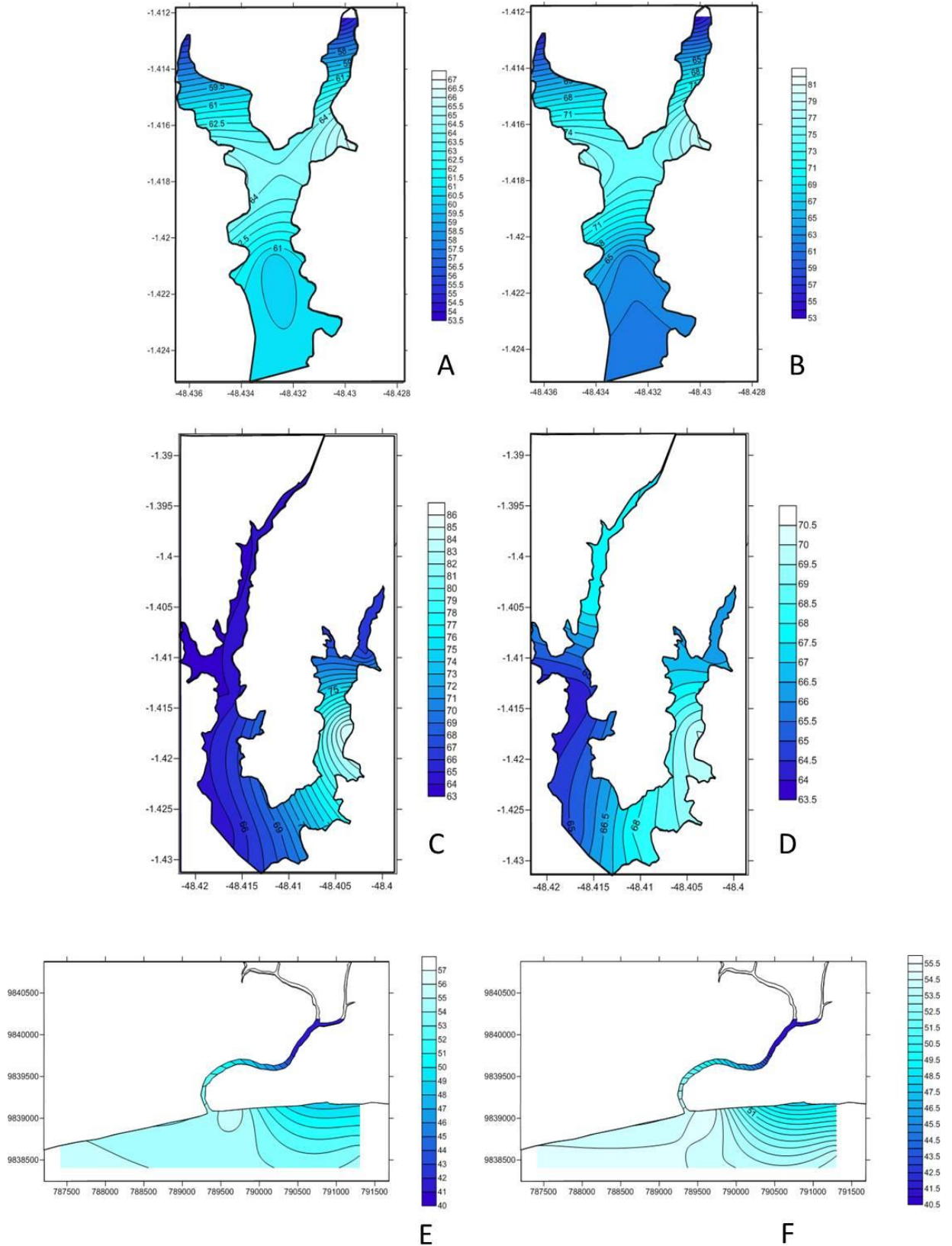


Figura 4: Mapa de superfície de isovalores para o IQA com a utilização do interpolador Krigagem pelo software Surfer 10. (A) IQA do Lago Bolonha na profundidade de 20% da coluna d'água; (B) IQA do Lago Bolonha na profundidade de 80% da coluna d'água; (C) IQA do Lago Água Preta na profundidade de 20% da coluna d'água; (D) IQA do Lago Água Preta na profundidade de 80% da coluna d'água; (E) IQA dos rios Guamá e Aurá na profundidade de 20% da coluna d'água; (F) IQA dos rios Guamá e Aurá na profundidade de 80% da coluna d'água. Fonte: Autores.

Embora tenha sido realizada apenas uma campanha para o estudo das águas superficiais dos Lagos Bolonha, Água Preta e Rios Guamá e Aurá, e 14 amostras analisadas, os resultados analíticos dos parâmetros, permitem algumas considerações de caráter geral.

A avaliação apresentada para os Índices de Qualidade das Águas nos diversos pontos amostrados variaram de 41 (aceitável) a 85 (ótima). Essa variação pode refletir o fato das coletas ocorrerem no período de maior pluviosidade, contribuindo para a maior diluição dos agentes contaminantes nas águas e conseqüentemente aumento nos valores dos parâmetros analisados.

Outro fator que contribuiu para estes resultados é a intensa presença de macrófitas aquáticas nos pontos amostrados, pois as mesmas possuem papel significativo na adsorção e absorção de substâncias tóxicas, ou seja, desempenham atividades filtradoras modificando a qualidade da água.

Diniz et al. (2005), estudaram o efeito das macrófitas nas águas do açude de Bodocongó (Campina Grande/PB) e comprovaram uma redução na concentração de nitrogênio, fósforo, de matéria orgânica (DBO_5) e de coliformes termotolerantes e estreptococos fecais nos pontos com descargas de esgotos.

Tabela 4: Resultados analíticos dos parâmetros utilizados no cálculo do Índice de Qualidade da Água

Parâmetros	T		pH		Turbidez		DBO		O.D.	
Unidades	C°		—		UNT		mg/L		mg/L	
Nível de Profundidade	20%	80%	20%	80%	20%	80%	20%	80%	—	
Lago Bolonha	P1 - B	30,7	29,9	6,74	6,56	7,1	10,74	0,4	0,4	3,2
	P2 - B	29,9	29,2	6,47	6,41	7,46	6,29	0,3	0,4	3,3
	P3 - B	30,2	31,1	6,5	6,45	12,86	13,86	0,4	0,4	4,5
	P4 - B	28		7,04		16,8		0,3		1,6
Lago Água Preta	P1 - AP	30,8	30,3	7,56	6,97	20,1	13,6	0,6	0,5	4,9
	P2 - AP	30,7	30	6,7	6,29	15,26	21,9	0,5	0,5	4,7
	P3 - AP	30,6	29,4	6,32	6,18	12	10,82	0,4	0,5	5,2
	P4 - AP	30,1	29,2	6,29	6,17	5,9	5,05	0,4	0,4	4,2
	P5 - AP	31,3	29,2	6,7	6,2	17,83	11,47	0,6	0,5	5,4
	P6 - AP	30,2	28,1	6,34	6,09	10,84	4,21	0,5	0,5	3,8
Rio Guamá	P1 - RG	30,1	30	5,94	6,08	24,2	27,4	0,5	0,5	3,8
	P2 - RG	30,3	30,2	5,9	6,1	24,5	25,3	0,5	0,6	3,8
	P3 - RG	29,4	30,3	6,13	6,09	23,6	25,4	0,5	0,5	3,5
Rio Aurá	P1 - RA	29	28,4	6,75	6,85	14,42	15,74	0,8	0,7	0,5
CONAMA n° 357/2005 - Classe 2 (Água doce)		Nr		6,0 a 9,0		Até 100 UNT		≤ 5 mg/L		≥ 5 mg/L

Nr: Não referenciado.

Fonte: Autores.

Continuação

Parâmetros		Sólidos Totais		Coliformes Termotolerantes	Nitrogênio
Unidades		mg/L		NMP/100 ml	mg/L
Nível de Profundidade		20%	80%	—	—
Lago Bolonha	P1 - B	87,3608	79,6660	3,6	1,840
	P2 - B	78,7882	80,6099	3,6	2,789
	P3 - B	80,7814	78,8574	Ausente	3,192
	P4 - B	81,843		14	9,566
Lago Água Preta	P1 - AP	81,0508	81,6074	36	0,435
	P2 - AP	75,8439	81,7564	Ausente	0,447
	P3 - AP	84,5564	87,9348	Ausente	0,332
	P4 - AP	81,8792	87,6530	Ausente	0,230
	P5 - AP	79,1351	78,9805	30	0,344
	P6 - AP	81,7845	81,8182	Ausente	0,281
Rio Guamá	P1 - RG	84,1224	82,5463	20,3	5,985
	P2 - RG	78,6226	87,1447	30	5,664
	P3 - RG	76,2194	81,9261	14,4	5,803
Rio Aurá	P1 - RA	81,1546	81,1207	31,2	9,076
CONAMA n° 357/2005 - Classe 2 (Água doce)		Nr		Limite de 1.000 coliformes termotolerantes/100 mL	3,7mg/L N, para pH ≤ 7,5

Nr: Não referenciado.

Fonte: Autores.

CONCLUSÕES

Pode-se concluir que os parâmetros de qualidade da água revelaram que a maior parte dos pontos analisados excederam os limites máximos ou mínimos estabelecidos pela legislação vigente, o CONAMA nº 357/2005. Entretanto, o Índice de Qualidade da água dos pontos amostrados foi classificado em aceitável, bom e ótimo para abastecimento humano. Porém, fatores como o elevado índice pluviométrico, intensa presença de macrófitas aquáticas, e/ou o fato de o IQA não demonstrar tanta eficiência quando se trata de Amazônia, devem ser levados em consideração. Alguns parâmetros do índice são restringidos, portanto, o mesmo deve ser adaptado com valores mais flexíveis, haja vista as condições específicas das águas amazônicas.

A utilização do *Software Surfer 10* como ferramenta para a espacialização de informações, é de fundamental importância, uma vez que a problemática visualizada por meio de produtos cartográficos a tomada de decisões é facilitada.

Fatores como ocupação urbana desordenada ao entorno do Parque Estadual do Utinga, despejo de esgoto doméstico e industrial, que foram observados durante a coleta das amostras, principalmente próximo à margem do Lago Bolonha, comprometem a qualidade das águas superficiais que são utilizadas para abastecimento público. Uma hipótese que deve ser discutida é a proximidade dos Mananciais e dos Rios Guamá e Aurá com o Depósito de resíduos sólidos do Aurá, haja vista que o mesmo “apresenta características de um lixão a céu aberto, pois os resíduos são depositados diretamente sobre o solo, sem aplicação de técnicas de controle e proteção ambiental” (Monteiro *et al.*, 2001).

Portanto, se faz necessário um constante monitoramento das águas dos Lagos e dos Rios estudados para inibir o despejo indiscriminado de resíduos, sejam eles sólidos ou líquidos, e diminuir a contaminação dos recursos hídricos por elementos tóxicos.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão de bolsa de mestrado ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

ALBANEZ, J. R e MATOS, A. T. Aquicultura. In: MACEDO, J. A. B. **Águas & Águas**. Belo Horizonte – MG: CRQ – MG, 2007.

ALVES, I. C. C.; EL-ROBRINI, M.; SANTOS, M. de L. S.; MONTEIRO, S. de M.; BARBOSA, L. P. F.; GUIMARÃES, J. T.F. Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do rio Arari (Ilha de Marajó, Norte do Brasil). **Acta Amazônica**, vol. 42 (1): 115 – 124; 2012.

ARIAS, A. R. L.; BUSS, D. F.; ALBURQUERQUE, C. de.; INÁCIO, A. F.; FREIRE, M. M.; EGLER, M.; MUGNAI, R.; BAPTISTA, D. F. Utilização de bioindicadores na avaliação de impacto e no monitoramento da contaminação de rios e córregos por agrotóxicos. **Ciência & saúde coletiva**, 12(1): 61 – 72; 2007.

BAHIA, V. E.; FENZL, N.; LEAL, L. R. B.; MORALES, G. P.; LUÍZ, J. G. Caracterização Hidrogeoquímica das Águas Subterrâneas na área de abrangência do reservatório de abastecimento público do Utinga Belém (PA). **Águas Subterrâneas**, v.25, n. 1, p. 43-56, 2011.

BRASIL, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico**, 2010.

BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Chuva acumulada mensal versus número de dias com chuva**. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/sim/gera_graficos.php; acesso em 23 de Agosto de 2013.

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE [CONAMA]. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005: dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília (DF); **Diário Oficial da União. Gráfica e Editora Itamarati**, 2005.

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Panorama do enquadramento dos corpos d'água. Brasília: **Cadernos de Recursos Hídricos**, 44 p., 2005.

CETESB. Relatório de qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo. **Série Relatórios**, 537p., 2008.

CETESB (Companhia de Tecnologia Ambiental do estado de São Paulo). Guia de coleta e preservação de amostras de água. São Paulo, CETESB, 1988.

CHAPMAN, D. Selection of water quality variables. In: Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring. 2 ed. London: **E & FN Spon**, 1992, 605 p.

CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO (CNUMAD). **Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento**: Agenda 21. Brasília: 1992. Senado Federal.

DINIZ, C. R.; CEBALLOS, S. O. de; BARBOSA, J. E. de L.; KONING, A. Uso de macrófitas aquáticas como solução ecológica para a melhoria da qualidade de água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Suplemento, p. 226 – 230, 2005.

ESTEVES, Francisco de Assis. Fundamentos de Limnologia. 2. Ed. Rio de Janeiro: **Interciência**, FINEP, 1998.

FIGUEIREDO, M. C. B. de; TEIXEIRA, A. S.; ARAÚJO, L. DE F. P.; ROSA, M. F.; PAULINO, W. D.; MOTA, S. et al. Avaliação da vulnerabilidade ambiental de reservatórios à eutrofização. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 12, n. 4, p. 399-409, out./dez. 2007. doi: 10.1590/S1413-41522007000400006.

FARIAS, E. dos S.; NASCIMENTO, F. S. DO; FERREIRA, M. A. A. Mapeamento da área Belém – Outeiro. **Relatório Final**. Belém, UFFPA, 1992.

FEITOSA, FERNANDO A. C.; MANOEL FILHO, JOAO. Hidrologia: Conceitos e aplicações. 2. ed. Fortaleza: **CPRM: REFO, LABHID-UFPE**, 2000.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SOCIAL DO PARÁ - IDESP. Estudo Ambiental do Utinga. Vida Útil do Sistema de Abastecimento de Água de Belém, 1991, 118p. (Relatório de Pesquisa).

LEITE, M. S. B; BARROS, F. M.; SILVA, D. P. da.; JESUS, F. W. A. de.; CARVALHO, S. R. de. Coleta de água: Amostragem em ambientes lóticos. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer** – Goiânia, v. 9, n. 16; p. 2136 – 2153; 2013.

MIRANDA, R. G; PEREIRA, S. de F.; ALVES, D. T. V.; OLIVEIRA, G. R. F. Qualidade dos recursos hídricos da Amazônia – Rio Tapajós: avaliação de caso em relação aos elementos químicos e parâmetros físico-químicos. **Revista Ambiente & Água**. Taubaté, v.4, n.2, p.75-92, 2009.

MONTEIRO, J. H. P.; FIGUEIREDO, C. E. M.; MAGALHÃES, A. F.; MELO, M. A. F. de.; BRITO, J. C. X de. ALMEIDA, T. P. F. de; MANSUR, G. L. Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: **IBAM**, 2001.

MORALES, G. P. Avaliação ambiental dos resíduos hídricos, solo e sedimentos na área da abrangência do depósito sólidos do Aurá – Belém. 2002. 240p Tese (**Doutorado em Geoquímica e Petrologia**) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, 2002.

MOTTA, S. Introdução à Engenharia Ambiental. 1a edição. Editora: **ABES**, Rio de Janeiro, 280p, 1997.

RIBEIRO, H. M. C. Avaliação atual da qualidade das águas superficiais dos lagos Bolonha e Água Preta situados na área fisiográfica do Utinga (Belém- Pa). **Dissertação** (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 1992.

SIQUEIRA, G. W.; APRILE, F. Avaliação do risco ambiental por contaminação metálica e material orgânico em sedimentos da bacia do Rio Aurá, Região Metropolitana de Belém – Pa. **Acta Amazônica**. Vol. 43(1) p. 51 – 62, 2013.

SETTI, A. A. Diagnóstico sobre a situação dos mananciais dos 20 municípios selecionados dos Estados do Acre, Pará, Ceará, Pernambuco, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Paraná, Rio Grande do Sul, Mato Grosso do Sul e Goiás e Proposta de Estruturação do Programa de Preservação e Conservação de Mananciais. **Relatório Técnico: PNMA**, Contrato nº96/9596, 383 p., 1998.

SOUZA, T. S., FONTANETTI, C. S. Ensaio do Cometa para Avaliação da Qualidade das Águas do Rio Paraíba do Sul, numa área sob influência de uma Refinaria de Petróleo. 4ª PDPETRO. Campinas, 2007.

VILCHES, M. Análise genotóxica do rio Cadeia/RS através do ensaio cometa e teste de micronúcleo e anormalidades nucleares utilizando peixes como bioindicadores. **Dissertação** (Mestrado em Qualidade Ambiental). Novo Hamburgo – RS, 2009.

Uso do Sistema-Teste *Allium cepa* como bioindicador de citotoxicidade e genotoxicidade no manancial do Utinga e nos rios Guamá e Aurá, Belém, PA

Letícia Magalhães da Silva^{1*}; Gundisalvo Piratoba Morales¹; Carlos Alberto Machado da Rocha².

¹Mestranda em Ciências Ambientais da Universidade do Estado do Pará. Belém, Brasil

²Doutor em Geologia e Geoquímica Universidade do Estado do Pará

³Doutor em Neurociências e Biologia Celular

*Autor correspondente: e-mail: leticia.magalhaes@live.com; gundymorales@gmail.com; camrocha@hotmail.com

RESUMO

Os esgotos domésticos e efluentes industriais advindos de áreas urbanas constituem-se em um dos maiores agravantes à depreciação da qualidade da água utilizada no abastecimento público. O sistema teste *Allium cepa* (cebola), dentre os inúmeros existentes, vêm sendo amplamente utilizado em estudos que visam detectar o potencial citotóxico e genotóxico de um corpo hídrico, pois contribui para a avaliação ambiental e para verificar a contaminação dos ecossistemas aquáticos por substâncias químicas. Além disso, é bem aceito devido à forma simples de estudo que apresenta parâmetros macroscópicos, por exemplo, crescimento irregular de raízes e parâmetros microscópicos, como, alterações cromossômicas, micronúcleos e índice mitótico. Nesse contexto, o objetivo deste estudo é investigar a citotoxicidade e a genotoxicidade dos lagos Bolonha e Água Preta e dos rios Guamá e Aurá por meio do sistema teste *Allium cepa* usado como bioindicador de danos causados em células meristemáticas radiculares. As amostras de água coletadas foram encaminhadas para laboratório onde foi realizado o cultivo das sementes, a confecção de lâminas e a contagem das células em microscópio óptico com aumento de 1000x. Também foram realizadas algumas análises físico-químicas, como DBO₅, STD, P, OD, N, K, Na e Ca. Dentre as alterações, foram encontradas anáfases com pontes cromossômicas, metáfase com viscosidade, anáfase multipolar, micronúcleo, entre outras. Foram observadas taxas estatisticamente significativas do índice mitótico, de alterações cromossômicas e micronúcleo com o controle negativo. Portanto, fatores indicativos de citotoxicidade e genotoxicidade.

Palavras-chave: Toxicologia, micronúcleo, alterações cromossômicas.

Use of *Allium cepa*'s test-system as cytotoxicity and genotoxicity bioindicator in the watersheds of Utinga and from Guamá and Aurá rivers, Belém, PA

ABSTRACT

Domestic sewage and industrial effluents coming from urban areas constitutes in one of the major aggravating of the water's quality depreciation used for public supply. The test system *Allium cepa* (onion), among the numerous existing, have been widely used in studies aimed at detecting cytotoxic and genotoxic potential of a water body, it contributes to the environmental assessment and to verify the contamination of aquatic ecosystems by chemicals. Moreover, it is well accepted due to the simple form of study that presents macroscopic parameters, eg, irregular growth of roots and microscopic parameters, such as, chromosomal abnormalities, micronuclei and mitotic index. In this context, the aim of this study is to investigate the cytotoxicity and genotoxicity of Bolonha and Água Preta lakes and the Guamá and Aurá rivers through the *Allium cepa* test used as a biological indicator of damage in root meristem cells system. The water samples collected were sent to the laboratory where the cultivation of seeds, making blades and counting cells under a light microscope at 1000x magnification was performed. Some physicochemical analysis, such as BOD₅, STD, P, OD, N, K, Na and Ca, also were realized. Among the changes, anaphases with chromosome bridges, viscosity metaphase, multipolar anaphase, micronuclei were found, among others, were also performed. Statistically significant rates of mitotic, chromosomal aberrations and micronucleus and the negative control were observed. Therefore, cytotoxicity, and genotoxicity indicative factors.

Keywords: Ecotoxicology, micronucleus, chromosomal changes.

2. INTRODUÇÃO

Despejados nos corpos de água, os esgotos domésticos e efluentes industriais advindos de áreas urbanas, constituem-se em um dos maiores agravantes à depreciação da qualidade da água utilizada no abastecimento público. A matéria orgânica oriunda dessa deposição causa impactos nos ambientes aquáticos, levando ao desequilíbrio ambiental dos ecossistemas afetados.

A presença de contaminantes tem sido apontada, segundo Rocha & Martin (2005), como o fator determinante para anormalidades e alterações, que inibem a capacidade desses ecossistemas em manter os seus processos autodepurativos, ocasionando graves problemas ambientais e de saúde.

Além disso, a sobrecarga de matéria orgânica proveniente do esgoto doméstico e industriais influencia no crescimento das taxas de nitrogênio, fósforo e oxigênio dissolvido, resultando em processos de eutrofização, que prejudicam gravemente a biota aquática (Conley *et al.*, 2009).

Sua acumulação no ambiente pode propiciar toxicidade às plantas, afetando a viabilidade de sementes, o desenvolvimento e metabolismo, além de constituir risco à saúde humana, na medida em que os contaminantes forem introduzidos na cadeia trófica (Paganini *et al.*, 2004).

De acordo com Pandard *et al.* (2006) testes de toxicidade são utilizados como uma importante ferramenta na avaliação de uma amostra ambiental e representam uma alternativa

para complementar as análises físico-químicas, haja vista que muitas vezes, os efeitos dos contaminantes não são considerados ou detectados nestas análises. Existem inúmeros testes com o objetivo de detectar o potencial citotóxico e genotóxico de um corpo hídrico, entretanto, aqueles que usam vegetais, como o *Allium cepa* (cebola), vêm sendo amplamente utilizados para esse tipo de estudo por serem mais simples. Este Bioensaio, segundo Cabrera e Rodriguez (1999) é validado pelo Programa Internacional de Segurança Química (IPCS, OMS) e o pelo Programa Ambiental das Nações Unidas (UNEP).

Assim, vários autores (Grant, 1982; Chauhan *et al.*, 1999; Guerra e Souza, 2002; Farré e Barcelo, 2003; Eom *et al.*, 2007) que descrevem a espécie *Allium cepa* como um eficiente sistema-teste usado para avaliar qualquer mudança nas condições ambientais, devido sua sensibilidade. Desta forma, esse organismo é considerado muito eficiente para o biomonitoramento, já que as células meristemáticas de raízes de plantas são indicadores apropriados, como afirmam Ma *et al.*, (1995), para a detecção de efeitos clastogênicos de poluentes, especialmente, em ambientes aquáticos.

Em Belém, o Parque Estadual do Utinga (PEUt), localiza-se dentro da Área de Proteção Ambiental (APA) na Região Metropolitana de Belém (RMB). O PEUt é formado pelos Lagos Bolonha e Água Preta, que são os mananciais responsáveis pelo armazenamento e abastecimento da região (IDESP, 1991). Eles são abastecidos com as águas brutas do rio Guamá. O rio Aurá é o principal afluente do rio Guamá (SIQUEIRA e APRILE, 2013) e desemboca perto da captação de água pela concessionária local.

O entorno da APA, de acordo com Sodré (2007), sofre com os problemas decorrentes de resíduos sólidos acumulados, lixiviação do solo, erosão e assoreamento dos mananciais. Além disso, o lançamento de esgoto sanitário foi comprovado pelo Plano de Manejo do PEUt, em que foram identificados vinte e um pontos de lançamento nas cabeceiras dos lagos Bolonha e Água Preta (PARÁ, 2013).

Nesse contexto, o objetivo deste estudo é investigar a citotoxicidade e a genotoxicidade dos lagos Bolonha e Água Preta e dos rios Guamá e Aurá por meio do sistema teste *Allium cepa* (cebola), usado como bioindicador de danos causados em células meristemáticas radiculares.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização dos pontos de amostragem

A área de estudo desta pesquisa é o manancial do Parque Estadual do Utinga (PEUt), onde encontramos os lagos Bolonha e Água Preta que abastece uma parte da Região Metropolitana de Belém (RMB), haja vista que existe outras formas de abastecimento público, como os sistemas de água subterrânea.

Entretanto, torna-se necessária a adução das águas do rio Guamá (RIBEIRO, 1992; MORALES *et al.* 2002). O rio Aurá desemboca no rio Guamá e, de acordo com SIQUEIRA e APRILE (2013), é a terceira maior bacia em extensão da RMB, exercendo assim forte influência sobre os mananciais do PEUt.

As amostras estudadas foram coletadas em 14 pontos distribuídos entre as áreas pesquisadas, da seguinte forma: no Lago Bolonha, as coletas foram feitas em 04 pontos, sendo 01 na margem do lago; no Lago Água Preta, devido a sua extensão, as coletas foram realizadas em 06 pontos; no Rio Guamá, as amostras foram coletadas em 03 pontos perto da adução de água pela concessionária local responsável pela captação da mesma para tratamento e distribuição. Portanto, o primeiro ponto localiza-se à montante, o segundo em frente e o terceiro a jusante da captação. Enquanto que no Rio Aurá, foi realizada a coleta em apenas 01 ponto. (Figura 1).

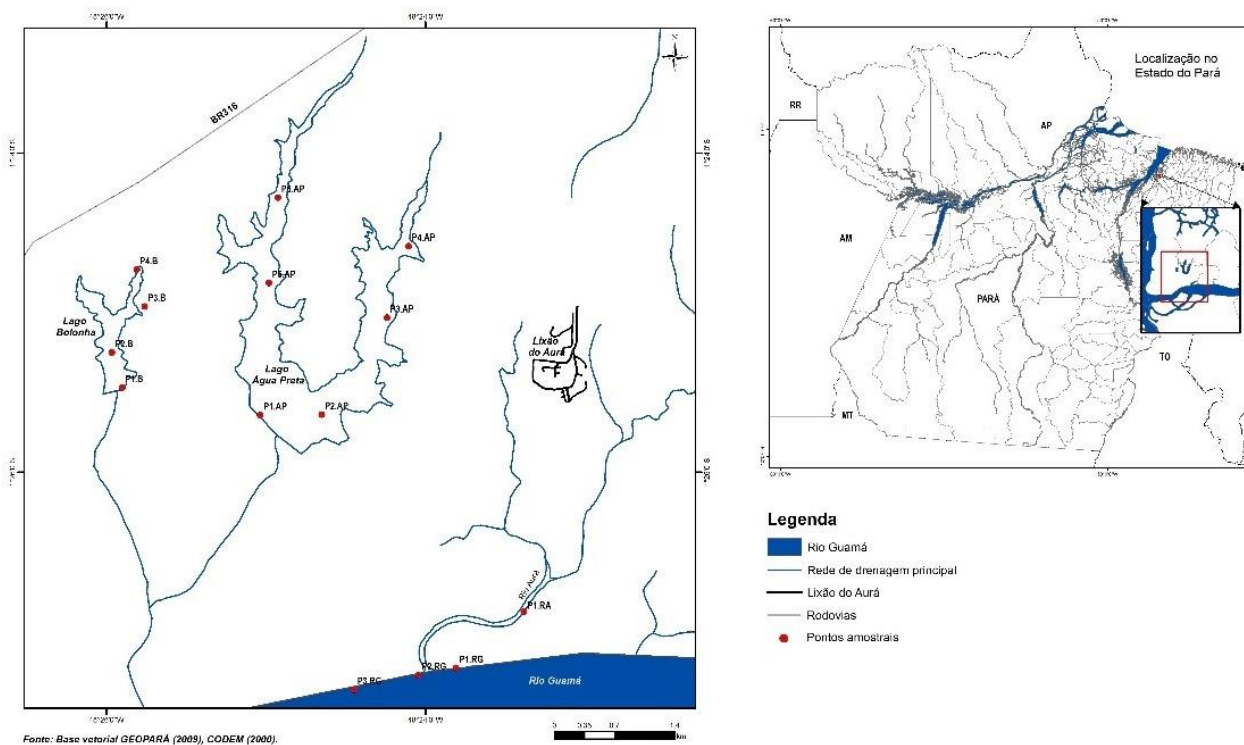


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo

3.2. Coleta e análise das amostras

A coleta das amostras ocorreu no mês de Abril de 2013, que segundo informações do INMET (2013) foi um dos períodos mais chuvosos na região, aproximadamente 25 dias com chuva, acumulando, cerca de 500 mm no mês. Foram realizadas no mês de Abril de 2013 e coletadas em dois níveis, a 20% e 80% da profundidade, com exceção do ponto P4 do Bolonha, pois a coleta foi realizada na margem.

Durante a coleta foi constatado a presenças de espumas, odor e materiais flutuantes como garrafas de polietileno, sacolas plásticas entre outros, em todos os pontos dos rios Guamá e Aurá e apenas nos pontos 4 do lago Bolonha e 6 do Água Preta. Ao longo dos três dias de coleta, as condições climáticas eram boas com céu parcialmente nublado, sem chuva no horário da coleta.

Após as coletas, as amostras de água foram encaminhadas para laboratório onde foi realizado o cultivo das sementes de *Allium cepa*, com duração de uma semana.

Foi realizado o cultivo de 1120 sementes de *Allium cepa*, adquiridas comercialmente, e distribuídas em placas de Petri, tendo como substrato uma folha de papel filtro umedecido com 02 ml de água dos pontos estudados. Para cada ponto foram utilizadas duas placas de Petri, uma para cada nível de profundidade (20% e 80%), com exceção do Ponto 4 do Bolonha, totalizando 27 placas. Para a determinação do grupo controle negativo, as sementes foram cultivadas em uma placa de Petri com adição de 02 ml de água destilada. Os parâmetros analisados foram: Taxa de Germinação (TG), Comprimento da Raiz (CR), Índice Mitótico (IM), Micronúcleo (MN) e Alterações Cromossômicas (AC).

Para encontrar a Taxa de Germinação, utilizou-se a seguinte fórmula (Iganci, *et al.*, 2006):

$$G = \left(\frac{N}{A}\right) \cdot 100$$

Onde: G é a taxa de germinação, N é o número total de sementes germinadas e A é o número total de sementes colocadas para germinar.

Para a medição das raízes germinadas, foi retirada uma amostra da população. Assim, obtivemos o cálculo do tamanho amostral (n) e do erro amostral (n_0) obtido através das seguintes fórmulas:

$$n = \left(\frac{N \cdot n_0}{N + n_0}\right); \quad n_0 = \left(\frac{1}{E_0^2}\right)$$

Onde: n é o tamanho da amostra, N é o tamanho da população, ou seja, o número de sementes germinadas, n_0 é a primeira aproximação da amostra e E_0^2 é o erro amostral (Triola, 1999).

Portanto, para o parâmetro CR, selecionamos aleatoriamente, 13 raízes de cada placa, aferidas em um paquímetro simples. Após a aferição do comprimento, cada uma foi cortada para retirada a coifa e depois pré-fixadas, durante 24 horas, e fixadas novamente, em solução de Carnoy. Lavadas três vezes com água destilada, em intervalos de 10 minutos, hidrolisadas em HCl 1 N por 20 minutos, coradas com Orceína acética e trituradas e esmagadas para a confecção das lâminas. As duas melhores por tratamento foram utilizadas na contagem.

A contagem das células foi realizada em microscópio óptico, com 1000 vezes de aumento, para identificação de micronúcleos e alterações cromossômicas em 1000 células por profundidade, ou seja, 2000 células por tratamento (ponto), mais 2000 células no controle negativo, totalizando 30000 células.

Finalizando a contagem, foi calculado o Índice Mitótico (IM), onde m é o número de células em mitose e T o total de células contabilizadas; a Frequência de micronúcleo (MN) onde M é o número de células micronucleadas e T o total de células contabilizadas; e a Frequência das alterações cromossômicas (AC), onde N é o número de células com alterações cromossômicas e T o total de células contabilizadas; respectivamente, através das seguintes fórmulas:

$$IM(\%) = \left(\frac{m}{T}\right) \cdot 100; \quad MN(\%) = \left(\frac{M}{T}\right) \cdot 100; \quad AC(\%) = \left(\frac{N}{T}\right) \cdot 100$$

Algumas análises físico-químicas também foram realizadas para verificar a quantidade de nutrientes e matéria orgânica presente nas amostras, como Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅), Sólidos Totais Dissolvidos (STD), Fósforo (P), Oxigênio Dissolvido (OD), Nitrogênio (N), Potássio (K), Sódio (Na) e Cálcio (Ca), respectivamente através das seguintes metodologias: método do oxigênio consumido, condutivímetro, método do ácido ascórbico, método de Winkler, método de Kendall e os três últimos por espectrofotometria de emissão de chama.

Os resultados foram analisados utilizando estatística descritiva, Análise de Variância (ANOVA) e Teste de Kruskal-Wallis, a fim de se estabelecer comparação entre os tratamentos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos resultados preliminares, percebemos que o sistema teste *Allium cepa* é bem aceito devido à forma simples de estudo que apresenta parâmetros macroscópicos, por exemplo, crescimento irregular de raízes e parâmetros microscópicos, como, alterações cromossômicas e micronúcleos. Além disso, as “alterações cromossômicas e as da divisão das células meristemáticas da raiz da cebola são frequentemente usadas para alertar a população” (Vicentini *et al.*, 2001) sobre os efeitos mutagênicos de muitos compostos. Sendo assim utilizado para o monitoramento da poluição ambiental.

Das 1120 sementes cultivadas, apenas 809 germinaram, portanto, a taxa de germinação foi de 72% das raízes cultivadas. Destas, 13 foram medidas e duas lâminas produzidas por tratamento.

Os parâmetros Crescimento de Raízes (CR) e Índice Mitótico (IM) são utilizados para a avaliação de efeitos citotóxicos. Portanto, em relação ao parâmetro crescimento, nos lagos Bolonha e Água Preta, após análise estatística (ANOVA), foi constatado uma diferença significativa nesse crescimento nos diversos pontos analisados ($p=0,004549$, e $p=0,026073$, respectivamente). Entretanto, nos rios Guamá e Aurá, não houve diferença significativa no crescimento das raízes nos pontos estudados ($p=0,796402$, e $p=0,092402$). Na figura 2, verificamos a variação do comprimento das raízes nas áreas de estudo. A variação no lago Bolonha foi de 1,3 cm; no lago Água Preta foi de 1,1 cm; e nos rios, foi de 0,5 cm. A estatística descritiva também foi utilizada no tratamento dos dados, visando encontrar a média aritmética e o desvio padrão dos pontos estudados, como mostrado na tabela 1.

Tabela 1. Análise descritiva e ANOVA do comprimento das raízes de *Allium cepa* cultivadas em amostras de água coletadas nos Lagos Bolonha, Água Preta e nos Rios Guamá e Aurá, nas profundidades de 20% e 80% da coluna d'água.

Ponto	Média		Desvio Padrão		ANOVA <i>valor-P</i>
	Profundidade				
	20%	80%	20%	80%	
P1.B	4,08	4,31	0,89	0,78	0,004549
P2.B	3,96	3,81	1,16	1,05	
P3.B	4,81	3,94	1,05	0,88	
P4.B	3,08		1,26		
P1.AP	4,08	3,62	0,89	0,51	0,026073
P2.AP	3,50	3,27	0,87	1,01	
P3.AP	3,38	3,12	0,82	0,96	
P4.AP	3,46	3,19	1,16	0,93	
P5.AP	3,85	3,19	0,59	0,93	
P6.AP	3,81	4,12	0,95	0,55	
P1.RG	4,04	3,85	0,72	0,72	0,796402
P2.RG	3,92	3,65	0,81	0,66	
P3.RG	3,65	4,04	0,66	0,88	
P1.RA	4,65	3,92	1,18	0,93	0,092402
Branco	3,69		0,88		

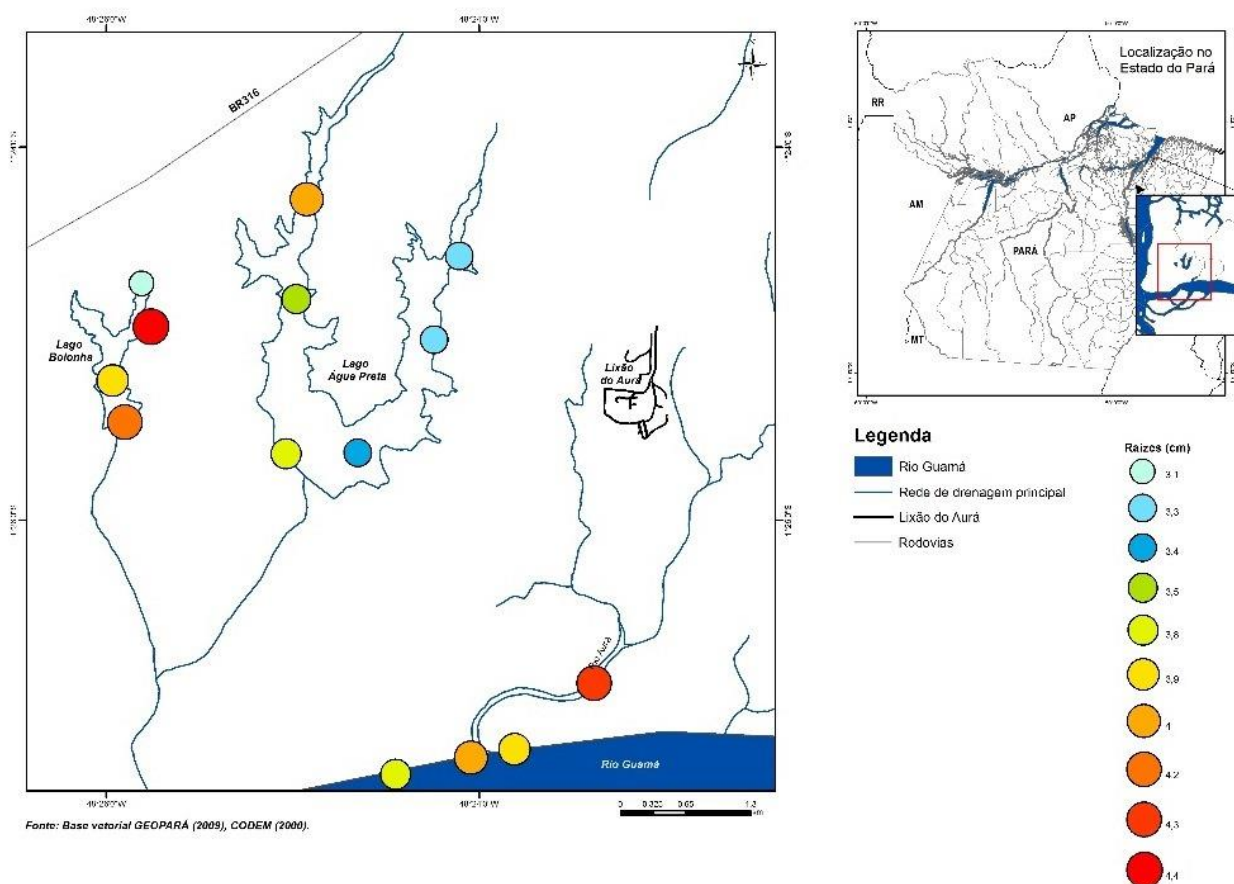


Figura 2: Variação do comprimento das raízes de *Allium cepa*, cultivadas com águas brutas dos lagos Bolonha e Água Preta e dos rios Guamá e Aurá.

Contudo, neste primeiro momento, não foi constatado citotoxicidade da água bruta ($p > 0,05$ pelo método de KruskalWallis), pois houve um “efeito promotor ao alongamento de raízes” (ALVIM, et al. 2011). Isso aconteceu devido a presença de nutrientes e matéria orgânica nas amostras, que estimularam o crescimento radicular das cebolas, comprovado estatisticamente através da Análise de Variância, como: nitrogênio (valor-P: 0,58), oxigênio dissolvido (valor-P: 0,007), fósforo (valor-P: 427,8), cálcio (valor-P: 0,01), sódio (valor-P: 0,34), potássio (valor-P: 4,87517E-14), sólidos totais dissolvidos (valor-P: 0,01), demanda bioquímica de oxigênio (6,7E-14).

Outro parâmetro capaz de verificar efeitos citotóxicos é o IM, que pode ser significativamente menor ou maior que o controle negativo. O primeiro sugere que a alteração no crescimento e desenvolvimento celular é resultante das ações de agentes contaminantes, portanto, “o decréscimo do IM é uma forma confiável de determinar a presença de substâncias citotóxicas”, segundo Grippa et al. (2010). Já IM maior que o controle negativo, pode implicar em uma indução desordenada na divisão celular, levando conseqüentemente à formação de tumores (ALVIM, et al. 2011; GRIPPA, et al. 2010 e LEME E MARIN-MORALES, 2009).

É neste segundo caso que se encontram os tratamentos, pois foram observadas taxas estatisticamente significativas no IM entre os pontos amostrados e o controle negativo ($p < 0,05$ pelo método de kruskal-wallis), ou seja, a taxa de índice mitótico foi maior que o controle negativo, portanto, um indicativo de citotoxicidade. Na figura 3, verificamos espacialmente a concentração das taxas do Índice Mitótico, nas áreas estudadas.

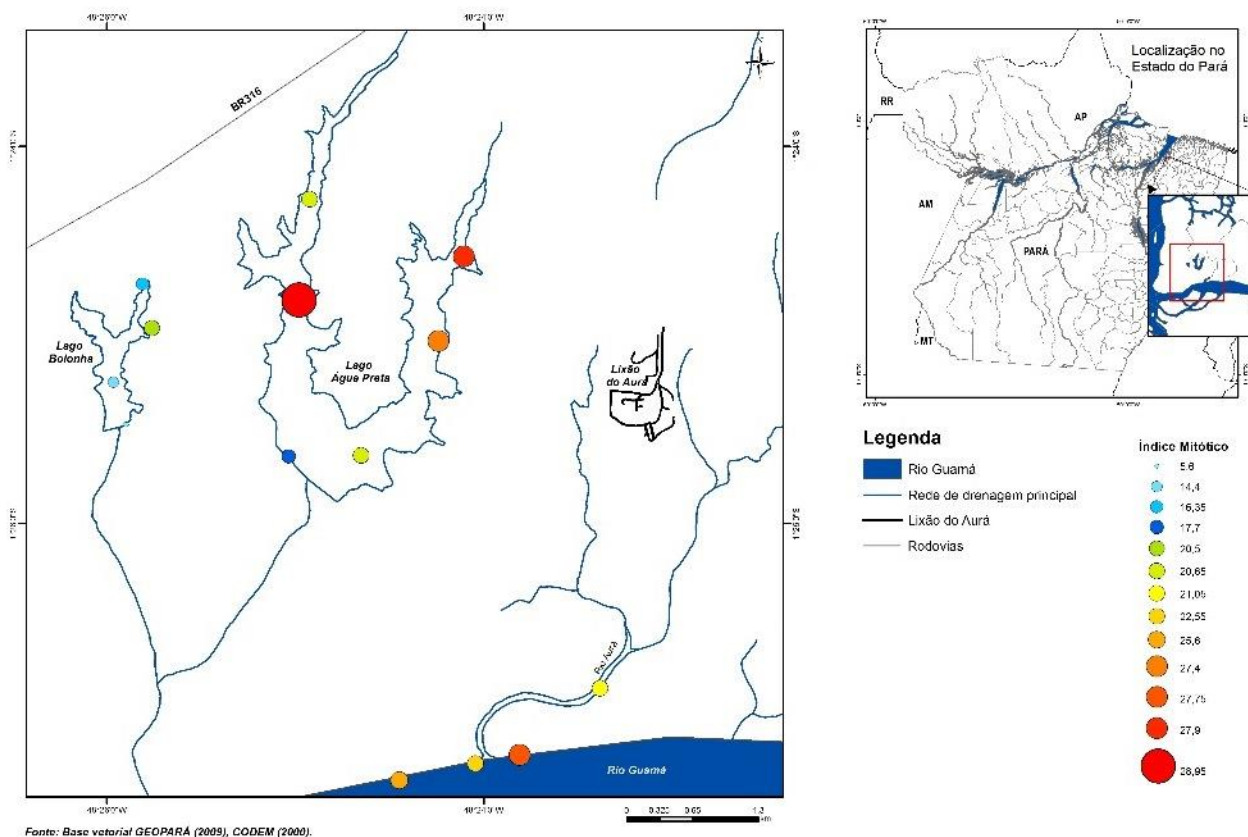


Figura 3: Concentração das taxas de Índice Mitótico encontradas nas células meristemáticas radiculares de *Allium cepa*, que foram cultivadas com águas brutas dos lagos Bolonha e Água Preta e dos rios Guamá e Aurá.

Para identificar a possível presença de agentes genotóxicos nos tratamentos, os parâmetros analisados foram Alterações Cromossômicas (AC) e Micronúcleo (MN). Estes eram as anomalias mais frequentes nas amostras, seguidos por metáfases com viscosidade, anáfases irregulares, stickiness, pontes anafásicas, metáfases irregulares, multipolaridades, brotos, prófase com cromossomo isolado e c-mitose, além das alterações que não foram possíveis de se identificar (NI), devido à sobreposição de células. Nas figuras 4 e 5 verificamos que, a maior concentração das Alterações Cromossômicas e Micronúcleo, foram detectadas nos pontos P3.AP e P1.B, respectivamente. O que nos leva a inferir, que os vinte e um pontos de lançamento de esgoto sanitário nas cabeceiras dos lagos, influenciaram neste resultado.

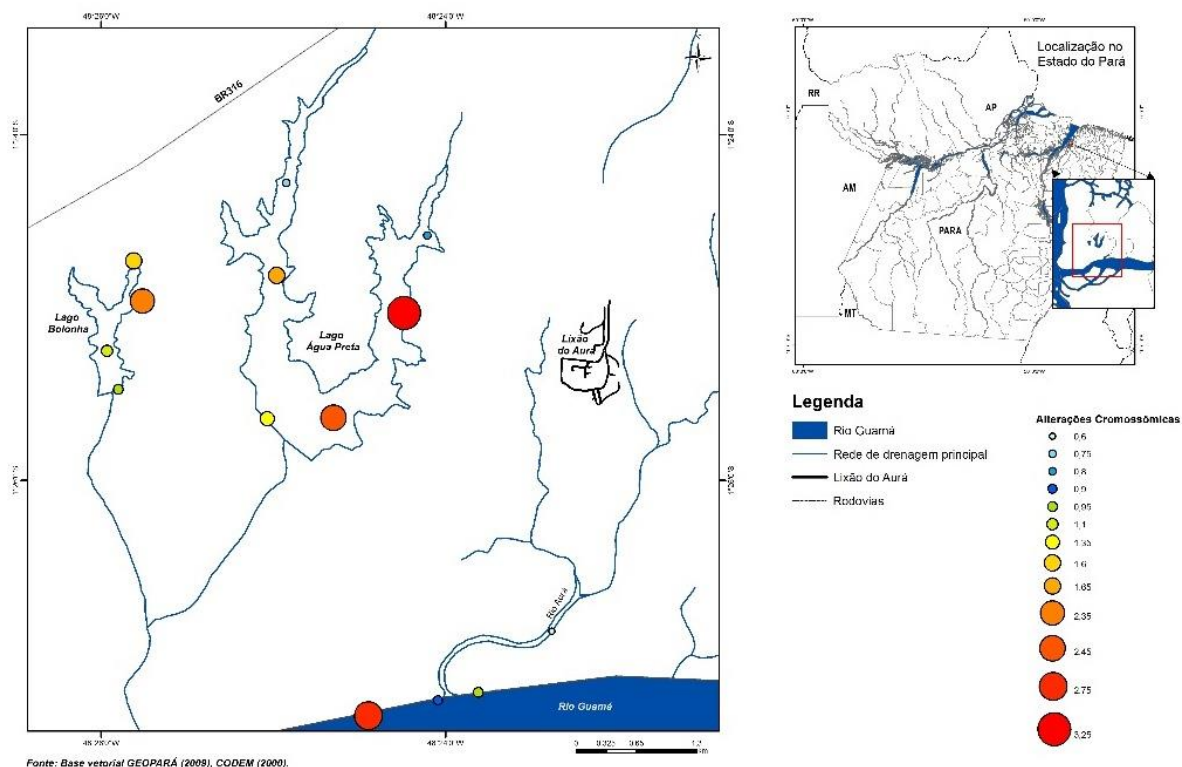


Figura 4: Concentração das taxas de Alterações cromossômicas encontradas nas células meristemáticas radiculares de *Allium cepa*, que foram cultivadas com águas brutas dos lagos Bolonha e Água Preta e dos rios Guamá e Aurá.

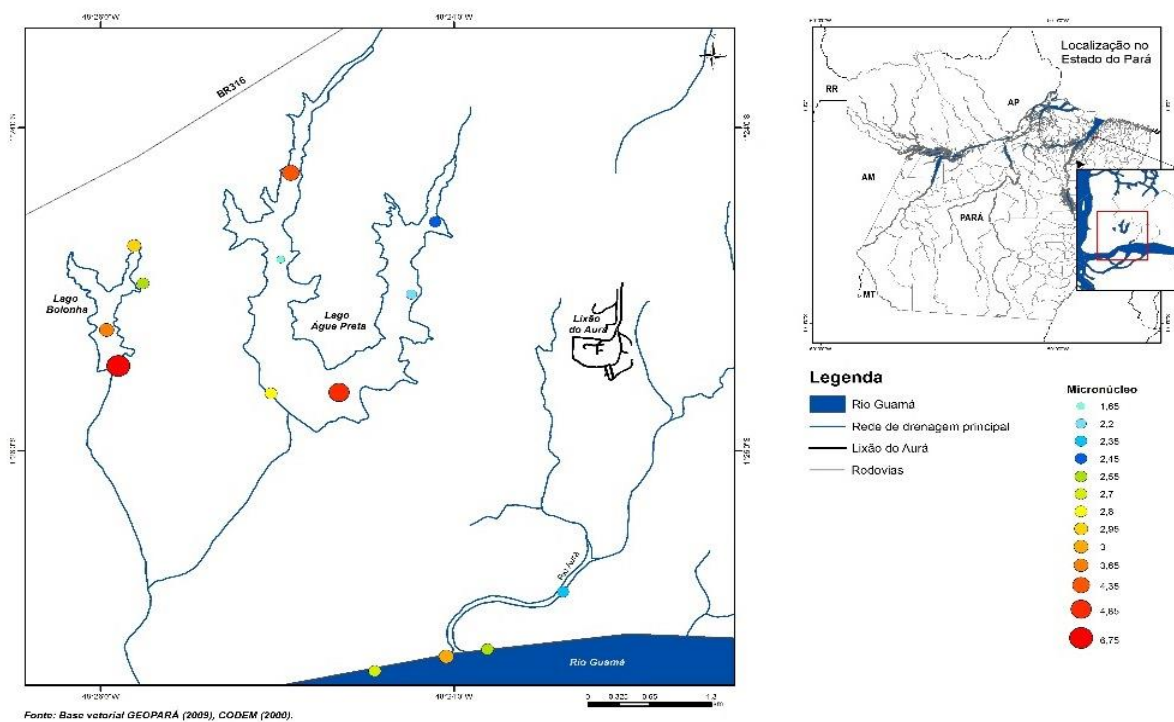


Figura 5: Concentração das taxas de Micronúcleo encontradas nas células meristemáticas radiculares de *Allium cepa*, que foram cultivadas com águas brutas dos lagos Bolonha e Água Preta e dos rios Guamá e Aurá.

A variação das taxas de índice mitótico, micronúcleo e alterações cromossômicas também podem ser verificadas na figura 2.

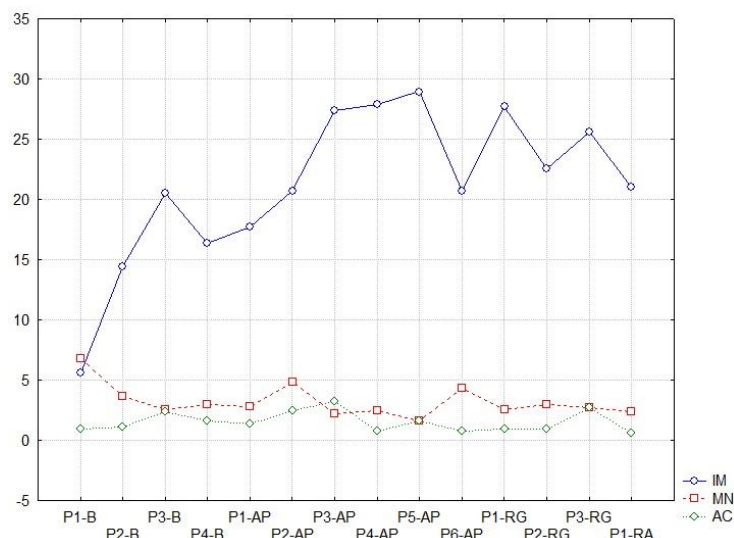


Figura 2. Gráfico 2D Line Plot elaborado no *Software Statistica 7* identificando a variação das taxas de IM, MN e AC nos tratamentos estudados.

Encontrados em qualquer tipo de célula, os micronúcleos são simples e eficientes para identificação de ocorrência genotóxica (MENEGUETTI, et al. 2011), haja vista que o aparecimento deles e de pontes anafásicas são consequências de quebras cromossômicas, evidenciando manifestação de distúrbios do processo mitótico e indicando a presença de substâncias clastogênicas.

Outras alterações encontradas, como c-mitose e stickiness, segundo Oliveira et al. (2011), correspondem “à falhas no processo de disjunção dos cromossomos durante a divisão celular, efeito promovido por substâncias aneugênicas” ou “mutação em proteínas importantes na compactação da cromatina”.

Deste modo, Ribeiro et al. (2003) afirmam que a genotoxicidade ocorre devido a ação de agentes físicos, químicos e biológicos. Oliveira et al. (2011) analisaram nas águas do rio Paraíba do Sul alguns parâmetros, e verificaram que concentrações excedentes de alumínio dissolvido, ferro dissolvido, fósforo total, manganês total, oxigênio dissolvido e *E. coli* termotolerante, podem ser indicativos de alterações cromossômicas em células de *A. cepa*.

As taxas de AC e MN nas células de *A. cepa*, revelaram diferenças estatisticamente significativas delas com o controle negativo, revelando $p < 0,05$ pelo método de kruskal-wallis, isto é, apresentaram taxas superiores ao controle negativo, identificando o potencial genotóxico dos tratamentos analisados.

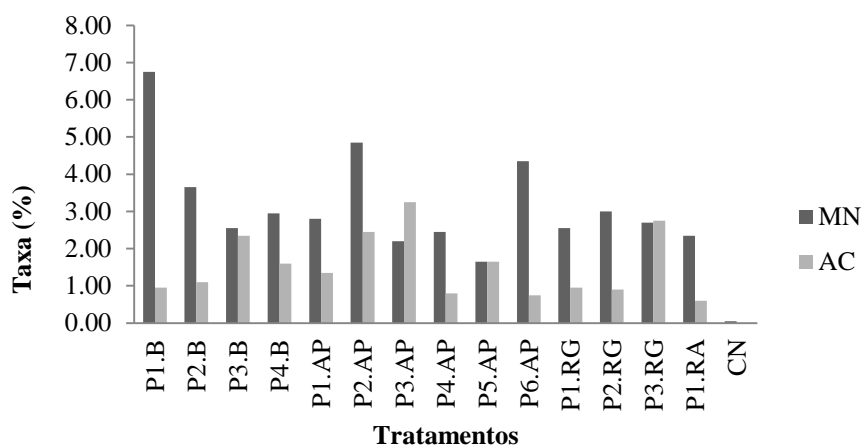


Figura 3. Taxa das alterações cromossômicas (AC) e de micronúcleos (MN) expostas às águas brutas em relação ao controle negativo (CN). Foram analisadas 2000 células por tratamento. Taxas das colunas MN comparadas com o CN pelo teste Kruskal-Wallis, onde $p < 0,05$. Taxas das colunas AC comparadas com o CN pelo teste Kruskal-Wallis, onde $p < 0,05$.

As alterações cromossômicas em células meristemáticas de *Allium cepa* são um parâmetro eficiente para a investigação do potencial genotóxico, pois fornecem informações importantes que devem ser consideradas no monitoramento ambiental (Leme & Marin-Morales 2009).

5. CONCLUSÃO

Nesta pesquisa foi possível identificar que os resultados apresentados mostram que a qualidade ambiental das águas dos mananciais do Utinga e dos rios Guamá e Aurá, encontra-se comprometidas, pois foi possível detectar a existência de citotoxicidade e genotoxicidade nos tratamentos.

As análises físico-químicas realizadas influenciam na germinação e causam uma considerável variação no índice mitótico de *A. cepa*.

Por fim, é importante ressaltar a continuidade dos estudos com metodologias ecotoxicológicas, pois são testes eficientes para demonstrar a toxicidade da introdução de uma fonte de poluição ou para avaliar os danos causados no ecossistema aquático, os quais representam riscos diretos ou indiretos para a população humana.

6. AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão de bolsa de mestrado ao primeiro autor.

7. REFERÊNCIAS

ALVIM, L. B; KUMMROW, F. BEIJO, L. A. LIMA, C. A. de A. BARBOSA, S. Avaliação da citogenotoxicidade de efluentes têxteis utilizando *Allium cepa* L. **Revista Ambiente & Água**, v. 6, n. 2, 2011. (doi:10.4136/ambi-agua.198)

BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. Chuva acumulada mensal versus número de dias com chuva. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/sim/gera_graficos.php; acesso em 23 de Agosto de 2013.

- CABRERA, G. L.; RODRIGUEZ, D. M. G.; Genotoxicity of soil from farmland irrigated with wastewater using three plant bioassays. *Mutat Res* 426: 211-214, 1999.
- CHAUHAN, L. K. S.; SAXENA, P. N.; GUPTA, S. K. Cytogenetic Effects of Cypermethrin and Fenvalerate on the Root Meristem Cell of *Allium Cepa*. **Environ. Exp. Bot.**, Philadelphia, v. 42, p. 181 – 189. Jan. 1999.
- CONLEY, D. J. et al. Controlling eutrophication: nitrogen and phosphorus. **Science**, v. 323, p. 1014-1015, 2009.
- EOM, I. C. et al. Ecotoxicity of a polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH)-contaminated soil. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 67, p. 190-205, 2007.
- FARRÉ, M.; BARCELÓ, D. Toxicity testing of wastewater and sewage sludge by biosensors, bioassays and chemical analysis. **Trends in Analytical Chemistry**, v. 22, n. 5, p. 299-310, 2003.
- GRANT, W. F. Chromosome aberration assays in *Allium*. A report of the US environmental protection agency gene-tox program. **Mutation Research**, Amsterdam, v. 99, p. 273-291, 1982. apud ALVIM, et al. Avaliação da citogenotoxicidade de efluentes têxteis utilizando *Allium cepa* L. *Ambi-Agua*, Taubaté, v. 6, n. 2, p. 255 – 265, 2011.
- GRIPPA, G. de A. MOROZESK, M. NATI, N. MATSUMOTO, S. T. Estudo genotóxico do surfactante Tween 80 em *Allium cepa*. *Revista Brasileira de Toxicologia* 23, n. 1-2 , 2010.
- GUERRA, M.; SOUZA, M. J. **Como observar cromossomos: um guia de técnica em citogenética vegetal, animal e humana**. São Paulo: FUNPEC, 2002. 131p.
- IGANCI, J. R. V.; BOBROWSKI, V. I.; HEIDEN, G.; STEIN, V.C.; ROCHA, B. H. G. Efeito do extrato aquoso de diferentes espécies de boldo sobre a germinação e índice mitótico de *Allium cepa* L. *Arquivo do Instituto Biológico*, São Paulo, v. 73, n. 1, p. 79-82, jan/mar.,2006.
- INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SOCIAL DO PARÁ - IDESP. Estudo Ambiental do Utinga. Vida Útil do Sistema de Abastecimento de Água de Belém, 1991, 118p. (Relatório de Pesquisa).
- LEME, D. M.; MARIN-MORALES, M. A. *Allium cepa* Test in environmental monitoring: a review on its application. **Mutation Research**, Amsterdam, v. 682, p. 71-81, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mrrev.2009.06.002>.
- MA, T. H. et al. The Improved *Allium/Vicia* Root Tip Micronucleus Assay for Clastogenicity of Environmental Pollutants. **Mutation Research**, Orlando, v. 334, n.5, p. 185 -195, Oct.1995.
- MENEGUETTI, D. U. de O; SILVA, F. C. da; ZAN. R. A. POLETTO, P. de O. RAMOS, L. J. Adaptação da técnica de micronúcleo em *Allium cepa*, para futuras análises de mutagenicidade dos rios da região do vale do Jamari, Rondônia, Amazônia Ocidental. *Revista Pesquisa e Criação – Volume 10, Número 2, Julho/Dezembro de 2011*.

- MORALES, G. P. Avaliação ambiental dos resíduos hídricos, solo e sedimentos na área da abrangência do depósito sólidos do Aurá – Belém. 2002. 240p Tese (**Doutorado em Geoquímica e Petrologia**) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, 2002.
- OLIVEIRA, L. M.; VOLTOLINI, J. C.; BARBÉRIO, A. Potencial mutagênico dos poluentes na água do rio Paraíba do Sul em Tremembé, SP, Brasil, utilizando o teste *Allium cepa*. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 6, n. 1, p. 90-103, 2011 (**doi:10.4136/ambi-agua.176**)
- PAGANINI, W. S.; SOUZA, A.; BOCCHIGLIERI, M. M. Avaliação do comportamento de metais pesados no tratamento de esgotos por disposição no solo. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 225-239, 2004.
- PANDARD, P. et al. Selecting a battery of bioassays for ecotoxicological characterization of wastes. **Science Total Environment**, v. 363, p. 114–125, 2006.
- PARÁ, SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE. Revisão do Plano de Manejo do Parque Estadual do Utinga. 376p. Belém: SEMA; Belém: IMAZON, 2013.
- RIBEIRO, H. M. C. Avaliação atual da qualidade das águas superficiais dos lagos Bolonha e Água Preta situados na área fisiográfica do Utinga (Belém- Pa). **Dissertação** (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 1992.
- RIBEIRO, L. R.; SALVADORI, D. M. F.; MARQUES, E. K. Mutagênese ambiental. Canoas – RS. Ed. ULBRA. 356p, 2003.
- ROCHA, R. R. A.; MARTIN, E. S. Análise preliminar do estado ambiental do Córrego Água da Lavadeira, Rancharia-SP: Análise física e química da água. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros – Seção Três Lagoas**, v. 2, n. 2, 2005.
- SIQUEIRA, G. W.; APRILE, F. Avaliação do risco ambiental por contaminação metálica e material orgânico em sedimentos da bacia do Rio Aurá, Região Metropolitana de Belém – Pa. *Acta Amazônica*. Vol. 43(1) p. 51 – 62, 2013.
- SODRÉ, S. do S. V. Hidroquímica dos lagos Bolonha e Água Preta, mananciais de Belém – PA. 114p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Museu Emílio Goeldi e EMBRAPA, Belém, 2007.
- TRIOLA, M. F. Introdução à Estatística. 7ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 1999.
- VICENTINI VEP, CAMPAROTO ML, TEIXEIRA RO, MANTOVANI MS. *Averrhoa carambola* L., *Syzygium cumini* (L.) Skeels and *Cissus sicyoides* L.: medicinal herbal tea effects on vegetal and test systems. **Acta Scientiarum** 23: 593-598. 2001.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Muitas vezes corpos de água que estão dentro dos padrões estabelecidos pela legislação, podem apresentar condições inadequadas para manutenção da vida. Isto pode ser causado pela interação entre múltiplas descargas ou fontes de poluição não pontuais.

O Índice de Qualidade da Água (IQA) proposto pela *National Sanitation Foudantion* (NSF) e adaptado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), foi classificado em aceitável, bom e ótimo para abastecimento humano.

Entretanto, o bioensaio realizado com meristemas radiculares de *Allium cepa* mostrou efeitos deletérios, como indução desordenada da divisão celular, micronúcleo e alterações cromossômicas, causados pela presença de agentes físicos ou químicos no ambiente aquático.

Podemos inferir que essas diferenças nos resultados, ocorreram devido ao número elevado de dias com chuva, no mês da realização da campanha, e intensa presença de macrófitas aquáticas nas áreas estudadas, ou pelo fato de que o IQA não demonstra tanta eficiência quando se trata de Amazônia, devido às condições regionais das águas.

ANEXO

ARTIGO 1

REVISTA ENCICLOPÉDIA BIOSFERA

Normas para publicação de trabalhos

Forma de apresentação: O Trabalho deverá ser apresentado de forma completa – Digitado em formato DOC (não sendo aceito formato DOCX, PDF ou outro), contendo Título, nome(s) completo(s) do(s) autor (es) (sem abreviações), e-mail do autor principal, incluindo instituição de origem, cidade e país.

O trabalho deve ter: resumo em língua portuguesa, palavras-chave, título, resumo (abstract) e palavras-chave (keywords) em língua estrangeira. O resumo deve ter o máximo de 250 palavras.

O trabalho deve apresentar as seções: Introdução, Objetivos, Material e Método, Resultados e Discussão, Conclusão (se for o caso), Referências.

A formatação seguirá as normas de: corpo do texto justificado, espaçamento simples, margem superior e esquerda de 3 cm, margem inferior e direita de 2 cm, Escrito em no mínimo 7 páginas e com limite máximo de 30, em papel tamanho A4, com fonte Arial tamanho 12. As páginas não devem ser numeradas.

Figuras: Deverão ser apresentadas em formato jpg, com resolução mínima de 300 dpi. Orientamos para que o trabalho tenha preferencialmente tamanho máximo de 1.000Kb. As figuras devem informar a fonte.

As situações não previstas devem seguir o que é determinado pelas normas da ABNT. É fundamental observar exemplo de trabalho dentro destas normas, disponível.

São aceitos trabalhos nos idiomas: português, espanhol e inglês.

São aceitos artigos nas formas: Pesquisa científica com resultados; Estudo de caso; Revisão bibliográfica. A revisão bibliográfica deve ser consistente, contendo um número mínimo de 15 páginas e um mínimo de 25 referências.

Para todas as publicações: devem conter, pelo menos, 50% das referências citadas sendo dos últimos cinco anos.

Trabalhos que não estiverem dentro da formatação indicada no edital poderão ser recusados sumariamente.

As submissões de trabalhos devem ser feitas durante o período de vigência do edital, obedecendo as regras do mesmo.

Trabalhos resultantes de pesquisa com pessoas ou animais devem informar o parecer do comitê de ética e número de registro. (esta informação pode ser enviada anexa ao trabalho)

Orientações para desenvolvimento do texto: Trabalho científico deve ser escrito de forma impessoal; Referências no texto devem constar na lista final e vice-versa; não são aceitos artigos de opinião; Serão aceitos artigos resultantes de revisão bibliográfica que seja consistente.

ARTIGO 2

Revista Ambiente –Água. Qualis B1 (Área Interdisciplinar)

Normas:

O artigo deverá ser submetido em formato texto (MS Office), não restringido por password para permitir edição. A publicação final será em pdf. O artigo deve ser submetido com as seguintes características:

- Tamanho da página: equivalente ao tamanho do papel A4 (210 x 297 mm);
- Margens (superior, inferior, esquerda e direita): 2,5cm;
- Fonte: Times New Roman, 12, espaço entrelinhas simples, em uma única coluna, com parágrafos alinhados à esquerda e à direita;

Tamanho: os artigos serão analisados com base na qualidade e contribuição científica. Normalmente deveriam ter no máximo de 10 páginas incluindo tabelas e figuras, que não devem ultrapassar cinco (número de figuras mais tabelas)

Primeira página:

Deverá conter apenas o título do trabalho, o resumo e as palavras-chave, separadas por “vírgula” e um ponto final após a última palavra-chave.

Tabelas e Figuras:

Deverão ser numeradas com algarismos arábicos consecutivos, indicados no texto e anexados no local do artigo mais próximo e depois da chamada. Os títulos das figuras deverão aparecer na sua parte inferior, antecidos da palavra Figura (notar a primeira letra maiúscula e em negrito), um espaço, mais o seu número de ordem em negrito, um ponto e espaço de um caractere, fonte 11, justificado, tabulado nos limites da figura, observando que o título da figura não é em negrito.

Os títulos das tabelas deverão aparecer na parte superior e antecidos pela palavra Tabela (notar a primeira letra maiúscula e em negrito), um espaço, mais o

seu número de ordem (em negrito), um ponto e espaço de um caractere, fonte 11, justificado. Nas Figuras e Tabelas, quando houver uma fonte de referência, a palavra “Fonte:” vem na parte inferior, seguida da referência, fonte 10, justificado. Títulos de tabelas, figuras e a fonte terminam sempre com ponto final. As figuras poderão ser coloridas, se necessário, porém, atentar para que o tamanho do arquivo não fique grande.

Estrutura do artigo:

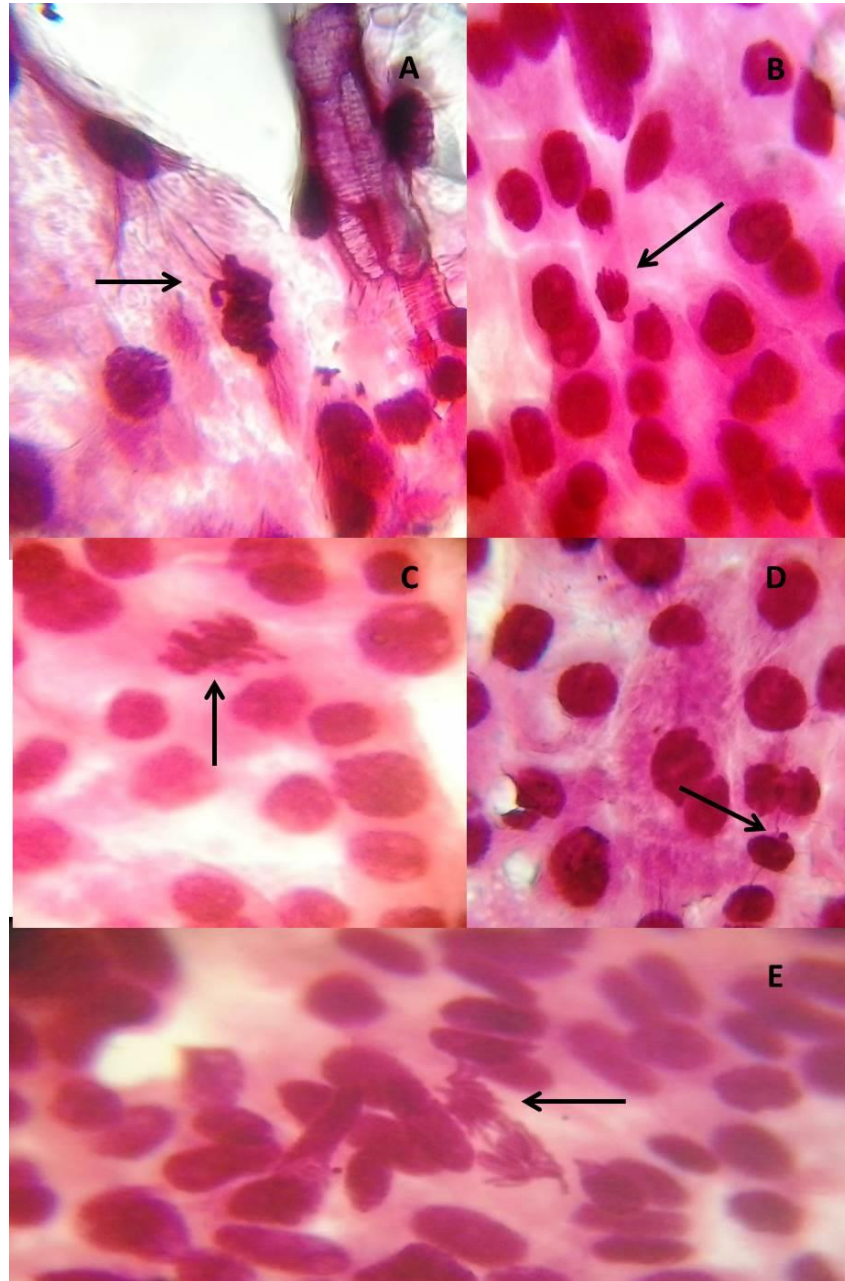
O artigo em PORTUGUÊS deverá seguir a seguinte sequência: TÍTULO em português, 15, negrito, centralizado, primeira letra maiúscula, demais minúsculas (salvo nomes próprios), RESUMO (menor do que 250 palavras) seguido de Palavras-chave), TÍTULO DO ARTIGO em inglês, ABSTRACT (seguido de keywords); 1. INTRODUÇÃO (incluindo revisão de literatura); 2. MATERIAL E MÉTODOS; 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO (note o singular); 4. CONCLUSÃO; 5. AGRADECIMENTOS (desejável e se for o caso, só na versão para publicação após o manuscrito ter sido aceito); e 6. REFERÊNCIAS, com parágrafo justificado à esquerda e à direita e com recuo à direita, especial, deslocamento 1 cm e espaçamento entre referências de 8 pt e fonte 14, negrito.

Citações:

No texto, as citações deverão seguir as recomendações da ABNT-NBR 10520 com as seguintes especificidades: Colocar o sobrenome do autor citado com apenas a primeira letra maiúscula, seguido do ano entre parênteses, quando o autor fizer parte do texto. Quando o autor não fizer parte do texto, colocar, entre parênteses, o sobrenome, seguido do ano separado por vírgula. Mais do que um autor, separam-se os sobrenomes pela conjunção “e” para o último autor e por ponto e vírgula os demais. As referências utilizadas deverão ser preferencialmente de periódicos nacionais ou internacionais de níveis A/B do Qualis CAPES, cerca de 15 referências, em revista científicas seriam esperadas.

APÊNDICE

Figura das alterações cromossômicas mais frequentes nas células de *Allium cepa*. (A) Stickiness; (B) Anáfase irregular; (C) Metáfase com viscosidade; (D) Micronúcleo; (E) Ponte anafásica.





Universidade do Estado do Pará
Centro de Ciências Naturais e Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais – Mestrado
Tv. Enéas Pinheiro, 2626, Marco, Belém-PA, CEP: 66.095-100
<http://www.uepa.br/paginas/pcambientais>



Universidade do Estado do Pará
Centro de Ciências Naturais e Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais – Mestrado
Tv. Enéas Pinheiro, 2626, Marco, Belém-PA, CEP: 66095-100
www.uepa.br/paginas/pcambientais

