

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

LENISE MARQUES DA SILVA BARBOSA

**AVALIAÇÃO DA FITOTOXICIDADE
E CITOGENOTOXICIDADE DE LODO GERADO NO TRATAMENTO DE
EFLUENTES TÊXTEIS UTILIZANDO *Allium cepa* L.**

**Alfenas/MG
2016**

LENISE MARQUES DA SILVA BARBOSA

**AVALIAÇÃO DA FITOTOXICIDADE
E CITOGENOTOXICIDADE DE LODO GERADO NO TRATAMENTO DE
EFLUENTES TÊXTEIS UTILIZANDO *Allium cepa* L.**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para
obtenção do Título de Mestre em Ciências Ambientais pela
Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG.

Área de Concentração: Tecnologias Ambientais Aplicadas.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Kummrow.

**Alfenas/MG
2016**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Central da Universidade Federal de Alfenas

Barbosa, Lenise Marques da Silva.

Avaliação de fitotoxicidade e citogenotoxicidade de lodo gerado no tratamento de efluentes têxteis utilizado *Allium cepa* L. / Lenise Marques da Silva Barbosa. – Alfenas - MG, 2016.

43 f.

Orientador: Fábio Kummrow.

Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Alfenas, 2016.

Bibliografia.

1. Resíduos têxteis. 2. Ecotoxicidade. 3. Bioensaio vegetal. 4. Cebola.
I. Kummrow, Fábio. II. Título.

CDD-660.6

LENISE MARQUES DA SILVA BARBOSA

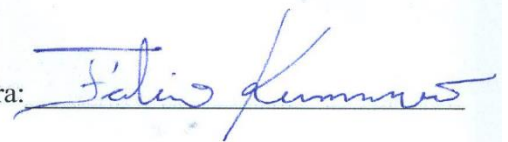
**AVALIAÇÃO DA FITOTOXICIDADE
E CITOGENOTOXICIDADE DE LODO GERADO NO TRATAMENTO DE
EFLUENTES TÊXTEIS UTILIZANDO *Allium cepa* L.**

A Banca julgadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG. Área de concentração: Tecnologias Ambientais Aplicadas.

Aprovado em: 31 de agosto de 2016.

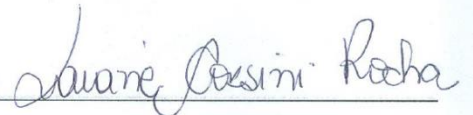
Prof. Dr. Fábio Kummrow
Instituição: UNIFAL - MG

Assinatura:



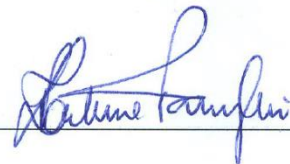
Profa. Dra. Laiane Corsini Rocha
Instituição: (UFLA)

Assinatura:



Prof. Dr. Paulo Augusto Zaitune Pamplin
Instituição: UNIFAL - MG

Assinatura:



*Dedico este trabalho
ao meu filho **Henrique Marques da Silva Barbosa***

AGRADECIMENTOS

A Deus, que todos os dias da minha vida me deu forças para nunca desistir, por me amparar nos momentos difíceis, me dar força interior para superar as dificuldades, mostrar os caminhos nas horas incertas e me suprir em todas as minhas necessidades.

Aos meus pais Augusto César da Silva e Marilza Aparecida Marques da Silva, aos meus irmãos Adriano e Amália, familiares e amigos que sempre me incentivaram e apoiaram.

Ao Prof. Fábio Kummrow pela orientação e aprendizados.

A Dra. Marília Carvalho, Dra. Luciene de Oliveira Ribeiro Trindade e B^{ela} Gabriela Moreira Machado pela colaboração, apoio e paciência.

Aos meus colegas do Laboratório Biotecnologia Ambiental & Genotoxicidade - BIOGEN pelos momentos de alegria, amizade e colaboração.

Ao meu querido esposo, Sandro Barbosa, por ser tão importante na minha vida. Sempre a meu lado, me pondo para cima e me fazendo acreditar que posso mais que imagino. Devido a seu companheirismo, amizade, paciência, compreensão, apoio, alegria e amor, este trabalho pôde ser concretizado. Espero que esta etapa, que agora termino, possa, de alguma forma, retribuir e compensar todo o carinho, apoio e dedicação que, constantemente, você me ofereceu.

A todos que contribuíram de alguma maneira para a conclusão desse trabalho.

O Senhor é meu pastor e nada e me faltará.
(Salmo 23)

RESUMO GERAL

A indústria têxtil é considerada um importante setor da economia brasileira e mundial, apresentando considerável crescimento nos últimos anos. Durante os processos de produção, são gerados grandes quantidades de resíduos industriais de alta complexidade. A complexidade das relações entre os compostos químicos e a biota, o desconhecimento de todos os constituintes do lodo, associados a possíveis efeitos das interações entre os seus componentes, demonstram que estimar a toxicidade desse tipo de resíduo apenas por meio de análises químicas é insuficiente. Uma das alternativas para essa questão é o uso de bioensaios vegetais. Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar a toxicidade de amostras de lodo de uma indústria têxtil empregando os testes de fitotoxicidade e citogenotoxicidade com sementes e bulbos de *Allium cepa* L. Para isso, cinco extratos aquosos foram obtidos a partir de 4 amostras de lodo, sendo a quinta amostra uma mistura, em partes iguais, das outras 4. Foi realizada a caracterização química de cada amostra. A fitotoxicidade em sementes foi avaliada empregando os parâmetros: porcentagem de germinação (% G), índice de velocidade de germinação (IVG), número de plantas normais (NP), alongamento radicular (AR), comprimento de parte aérea (CPA) e produção de biomassa fresca (BF). Em bulbos a fitotoxicidade foi analisada por meio do número (NR) e alongamento das raízes (AR). A citogenotoxicidade foi avaliada pelo índice mitótico e frequência de anormalidades cromossômicas em raízes provenientes de sementes e bulbos de *A. cepa*. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Scott-Knott a 5 % de significância. Verificou-se alta concentração de cromo na amostra 1, valor esse superior às demais amostras (1312,4 mg kg⁻¹). Em geral os extratos das amostras não apresentaram fitotoxicidade ou apenas efeitos deletérios sutis, exceto o extrato da amostra 1 que apresentou elevada fitotoxicidade observada pelos parâmetros % G, IVG, AR e CPA. Tanto os fitotóxicos quanto citogenotóxicos parecem estar relacionados principalmente à alta concentração de cromo. A inibição do índice mitótico (IM), a alta frequência de micronúcleos (MN), bem como elevada taxa total de anormalidades cromossômicas encontrada para os extratos das amostras, tanto para os testes com sementes quanto bulbos, demonstraram a citogenotoxicidade do lodo têxtil. Os parâmetros de citogenotoxicidade se mostraram mais adequados que os de fitotoxicidade para avaliação ecotoxicológica desse tipo de resíduo. Sementes de *A. cepa* foram mais sensíveis em relação aos bulbos para avaliar os efeitos citogenotóxicos das amostras.

Palavras chave: Resíduos têxteis. Ecotoxicidade. Bioensaio vegetal. Cebola.

ABSTRACT

The textile industry is considered an important sector of the Brazilian and the world's economy, presenting considerable growth in the last years. During the production processes, great amount of high complexity industrial residues is generated. The complexity of the relations between the chemical compounds and the biota, the unfamiliarity of all the constituents of the sludge, associated to possible effects of the interactions between their components, demonstrate that estimating the toxicity of this kind of residue just through chemical analyses is insufficient. One of the alternatives for this issue is the use of plant bioassays. Within this context, the aim of this work was to test the toxicity of sludge samples from a textile industry using the phytotoxicity and cytogenotoxicity assays with *Allium cepa* L. seeds and bulbs. For this, five aqueous extracts obtained from 4 sludge samples, with a fifth sample composed by a mixture from the other 4 ones, in equal parts. The chemical characterization of each sample was performed. The phytotoxicity in seeds was evaluated using the parameters: percentage of germination (% G), germination rate (IVG), number of normal plants (NP), root elongation (AR), length of the aerial part (CPA) and production of fresh biomass (BF). In bulbs the phytotoxicity was assayed through the number (NR) and the growth of roots (CR). The cytogenotoxicity was evaluated by the mitotic index and chromosomal abnormalities in roots from A. strain seeds and bulbs. The data were submitted to the variance analysis and the means were compared by the Scott-Knott test at 5% significance. High concentration of chrome was verified in sample 1, displaying higher value than the other samples (1312,4 mg kg⁻¹). In general the extracts from the samples did not present phytotoxicity or just subtle deleterious effects, except for the extract from sample 1, which showed high phytotoxicity observed by the parameters % G, IVG, AR and CPA. Either the phytotoxics or the cytogenotoxics seem to be related mainly to the high concentration of chrome. The inhibition of the mitotic index (IM), the high frequency of micronucleus (MN), as well as total high rate of chromosomal abnormalities found in the extracts from the samples, in assays with either seeds or bulbs, demonstrated the cytogenotoxicity of the textile sludge. The parameters of cytogenotoxicity were more suitable than those of phytotoxicity for the ecotoxicologic evaluation of this kind of residue. A. strain seeds were more sensitive when compared to bulbs, for evaluating the cytogenotoxic effects of the samples.

Keywords: Textile waste. Ecotoxicity. Plant bioassay. Onion.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	DESENVOLVIMENTO.....	13
2.1	A INDÚSTRIA TÊXTIL NO BRASIL.....	13
2.2	A GERAÇÃO DE RESÍDUOS NA INDÚSTRIA TÊXTIL.....	15
2.3	USO DOS TESTES ECOTOXICOLÓGICOS NA AVALIAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS	16
2.4	<i>Allium cepa</i> PARA AVALIAÇÃO DA FITOTOXICIDADE E GENOTOXICIDADE.....	17
3	JUSTIFICATIVA.....	20
4	OBJETIVOS.....	21
4.1	OBJETIVO GERAL.....	21
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
	REFERÊNCIAS.....	22
	SEGUNDA PARTE.....	30
	ARTIGO I: Avaliação da fitotoxicidade e citogenotoxicidade de extratos aquosos de lodo têxtil utilizando <i>Allium cepa</i> L.....	31

1 INTRODUÇÃO

Com o grande avanço industrial, vem aumentando também as diversas formas de contaminação ambiental. Essa expansão vem se intensificando em razão da necessidade de atender a demanda de populações cada vez mais numerosas e exigentes. O desenvolvimento de novas tecnologias, processos de produção e produtos beneficia a sociedade, ao mesmo tempo em que, contribui com a degradação dos ecossistemas, introduzindo substâncias nocivas ao ser humano e aos ecossistemas nos diferentes compartimentos ambientais (BATISTA, 2016; SANTOS, 2012; ZANELLA et al., 2010).

As indústrias têxteis são classificadas como tendo potencial poluidor intermediário a alto, pois utilizam produtos tóxicos em seus processos, geram e lançam grandes volumes de efluentes no meio ambiente (ARSLAN-ALATON; ALATON, 2007; SHARMA et al., 2007; QUEIROZ, et al., 2015), que quando tratados, geram grandes quantidades de lodo e de resíduos sólidos, que podem ser considerados como outro importante problema ambiental (DELLAMATRICE; MONTEIRO, 2006; MATHUR et al., 2007).

Para que efluentes possam ser lançados no meio ambiente, esses precisam ser tratados visando o atendimento da legislação federal vigente (Resolução CONAMA n° 430) ou de legislações específicas (BRASIL, 2011). As principais técnicas disponíveis para a descoloração dos efluentes têxteis envolvem, principalmente, processos de coagulação/floculação, adsorção, precipitação, degradação química, eletroquímica e fotoquímica, biodegradação entre outros. Porém a maioria dos processos convencionais de tratamento de efluentes corresponde a sistemas não destrutivos, ocorrendo somente à transferência de fase dos poluentes, ou seja, da fase aquosa para a gasosa ou sólida, permanecendo então, o problema do tratamento ou disposição final dos próprios efluentes e do lodo gerado (GUARANTINI; ZANONI, 2000; LIU et al., 2007).

Assim a contaminação do solo e das águas pode ocorrer quando a disposição final de lodos é feita de maneira inadequada, permitindo que poluentes afetem o meio ambiente quando arrastados ou solubilizados (MANENTI et al., 2015; PAWLOWSKY, 2007; RODRIGUES). A aplicação de lodos de origem industrial em solos tem sido considerada como uma opção viável devido a sua alta concentração de nutrientes e composição rica em matéria orgânica, fato que confere a esse tipo de resíduo, propriedades fertilizantes e/ou condicionadoras de solo. Contudo, a disposição não controlada de lodo pode resultar em importante impacto ambiental (ROSA et al., 2007b; ZONATI, 2016). Com relação ao uso de

lodo, em solo agrícola, como alternativa de disposição final, a Resolução nº 375 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) prevê apenas o uso de lodo de tratamento de esgoto sanitário, não sendo aplicável para aqueles de origem industrial (BRASIL, 2006).

Gomes et al. (2012) publicaram um artigo de revisão sobre a avaliação da toxicidade de lodos gerados durante o tratamento de efluentes têxteis. Nos trabalhos encontrados os testes toxicológicos mais empregados foram os de fitotoxicidade, com diferentes espécies de plantas superiores, devido a sua relevância para avaliação de possíveis impactos aos ambientes terrestres. Nesses artigos, os parâmetros avaliados foram taxa de germinação, alongamento de raízes, produção de biomassa (fresca e seca), conteúdo de clorofila, atividade da enzima peroxidase, fixação de nitrogênio, atividade da glutatiónsintetase, teor de leghemoglobina e nodulação. Contudo não foram encontrados dados sobre a avaliação da genotoxicidade desse tipo de lodo para plantas.

2 DESENVOLVIMENTO

A seguir, é apresentada uma revisão atualizada de literatura acerca dos temas abordados nesta dissertação, com intuito de gerar embasamento teórico para a análise e discussão dos resultados.

2.1 A INDÚSTRIA TÊXTIL NO BRASIL

A indústria têxtil representa um importante setor econômico e social (ALMEIDA, 2015). A fabricação de produtos têxteis faz parte da história do Brasil desde o início da ocupação pelos portugueses. Uma vez que a atividade industrial foi implementada entre a segunda metade do século XIX e as primeiras décadas do século XX, beneficiada por uma série de eventos externos, como a Guerra Civil Americana e a Primeira Guerra Mundial (REDE NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE O INVESTIMENTO - RENAI, 2015), que culminou na intensificação e expansão do comércio mundial através da internacionalização de empresas (ALENCAR et al., 2015). A história da indústria têxtil brasileira registrou fases de vigorosa expansão, interpostas por fases de menor atividade até a década de 1980. No início dos anos 1970, ocorreu um expressivo ciclo de investimentos, seguido de forte crise nos anos seguintes, resultante da redução da atividade econômica ocasionada pelo choque do petróleo em 1973, e recuperação do setor em meados dos anos 1980. A produção voltou a crescer a partir de 1998 e, em 2000, ultrapassou a de 1990 (RENAI, 2015).

O setor têxtil e de confecção também impulsionou muitas outras indústrias e foi o grande motor da revolução industrial no Brasil. Esse setor é o 2º maior empregador da indústria de transformação no Brasil, perdendo apenas para o setor de alimentos e bebidas. Emprega 1,7 milhões de pessoas de forma direta, das quais 75 % são mulheres. Fatura cerca de R\$ 100 bilhões/ano através de mais de 30 mil empresas. Paga R\$ 14 bilhões/ano em salários tem investido a média de R\$ 5 bilhões a cada ano (somando desembolsos do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES e aquisição de máquinas e

equipamentos) e recolheu R\$ 7 bilhões em contribuições federais e impostos em 2013. Em 2012, o setor têxtil e de confecção mundial movimentou cerca de US\$ 744 bilhões (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DO COMÉRCIO, 2012) em transações entre países. Previsões apontam que em 2020, este volume deve subir para algo em torno de US\$ 851 bilhões (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO, 2012).

A indústria têxtil e de confecção, tem crescido de acordo com impulso das demandas ocasionando a geração de empregos, e em 2013 foi investido US\$ 1,9 bilhão neste setor com intuito de melhorar a produção além de atender a demanda externa. Em valores monetários, a cadeia têxtil brasileira produziu neste ano US\$ 58 bilhões em vendas, com 33 mil indústrias (INSTITUTO DE ESTUDOS E MARKETING INDUSTRIAL, 2013). O Brasil é a maior cadeia integrada do setor no ocidente com a produção das fibras, com a plantação de algodão, até os desfiles de moda, passando por fiações, tecelagens, beneficiadoras, confecções e varejo. Outro ponto importante é que o país é autossustentável em sua principal cadeia, o algodão, com produção de 1,5 milhões de toneladas, em média, para um consumo de 900 mil toneladas (ABIT, 2013).

O Sul de Minas Gerais é uma das regiões detentoras da maior concentração de estabelecimentos têxteis do estado. Este status, adquirido a partir do ano 2000, ocorreu em consequência a um movimento de realocação de plantas industriais de grande porte, devido à perda de participação da região Central na produção industrial do estado por problemas como a falta de áreas adequadas, legislação ambiental, tráfego, poluição, entre outros, propiciando a migração de indústrias para outras localidades que ofereciam melhores condições (CERVANTES et al., 2009; SANTOS, 2012).

De acordo com a Relação Anual de Informações Sociais – RAIS (2014) do Ministério do Trabalho e Emprego, Minas Gerais, possuía em Julho de 2013, 774 empresas registradas com mais de 5 funcionários, excluindo-se confecções e facções que não realizam lavagem, tingimento e outros acabamentos. A grande maioria (86 %) é considerada micro e pequena empresa, com até 49 empregados. A fabricação de artigos do vestuário produzidos em malharias e tricotagens é o setor que possui o maior número de empresas ativas no estado.

Há alguns anos o Brasil investe na renovação do seu parque fabril, aumentando a sua capacidade competitiva em relação aos mercados externos e a sua produtividade (BATISTA, 2016). Atualmente, o país participa do comércio mundial de têxteis com uma fatia de 2 %, aproximadamente R\$ 6 bilhões anuais. Um aspecto positivo da indústria nacional em relação

aos concorrentes externos é a imagem no que se refere à produção limpa e ao beneficiamento de algodão, devido ao início de pesquisas para o emprego de algodão orgânico (ABIT, 2012).

2.2 A GERAÇÃO DE RESÍDUOS NA INDÚSTRIA TÊXTIL

A geração de resíduos é um fenômeno inevitável que ocorre nas indústrias diariamente em volumes e composições que variam conforme seu segmento de atuação e nível produtivo. Denomina-se resíduo os restos ou as sobras provenientes de um processo produtivo, e que são considerados como inúteis indesejáveis ou descartáveis. Podem se apresentar sob os estados sólido, semissólido ou semi-líquido (JARDIM et al., 2000; MILAN et al., 2010).

No setor têxtil esses resíduos são gerados a partir da mercerização, alcalinização, purga, alvejamento químico e tingimento (IMMICH, 2006). Os processos têxteis necessitam de grandes quantidades de água e de corantes sintéticos, gerando efluentes volumosos, complexos, com elevado teor de sais inorgânicos (MELO; AZEVEDO, 2008), e também grande carga orgânica apresentando elevada carga poluidora, fato que dificulta o seu tratamento (KANT, 2012; MORAN et al., 1997; TALARPOSHTI et al., 2001). Segundo Liu et al. (2007) e Alvim et al. (2011) esses efluentes também apresentam grandes quantidades de sólidos suspensos, altos valores de demanda química de oxigênio (DQO), altos valores de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), elevadas temperaturas, acidez ou alcalinidade.

De acordo com a Associação de Normas Técnicas Brasileiras - ABNT 9800/87, efluente industrial é denominado como todo e qualquer despejo líquido proveniente do estabelecimento industrial, compreendendo emanações do próprio processo industrial, as águas de refrigeração poluídas, as águas pluviais poluídas e o esgotamento doméstico. Uma das características prejudiciais mais importantes da indústria têxtil é o elevado consumo de água, fazendo com que esse segmento ocupe o 4º lugar mundial de indústrias com alto potencial poluidor. O maior consumo de água e, conseqüentemente, maior geração de efluentes está nas etapas de lavagem, alvejamento, tingimento e acabamento. De acordo com Ruschioni (2007) é necessário, em média, 75 litros de água para cada quilograma de substrato tratado. Além disso, são gastos em média, $2,04 \times 10^6$ Joules de energia elétrica, $6,41 \times 10^6$ Joules de energia térmica, $1,36 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ de gás natural e lançados $2,19 \times 10^{-3}$ quilogramas de dióxido de carbono na atmosfera (LEITE et al., 2011). A carga de poluente presente nesse efluente está diretamente relacionada com a fibra do tecido cru. Além dos corantes, pigmentos e

produtos auxiliares, o efluente têxtil apresenta grande quantidade de outros compostos, fazendo com que este tipo de resíduo apresente toxicidade à vida aquática, pois podem diminuir o oxigênio dissolvido e modificar as propriedades e características físicas dos cursos da água (CUNHA, 2009; GUERREIRO, 2006). Devido à grande variedade de fibras, corantes, produtos auxiliares e de acabamento, tipos de equipamentos e processamento, os efluentes possuem grande diversidade e complexidade química. Entre os produtos que conferem elevada carga poluidora, podemos destacar: amido, proteínas, substâncias gordurosas, surfactantes, produtos auxiliares no tingimento e os próprios corantes. Também merecem destaque, a temperatura elevada e pH dos banhos que apresentam importante contribuição para potencial poluidor desses resíduos (SILVA, 2005).

Além desses efluentes, diversos tipos de resíduos sólidos são gerados nos processos têxteis, os principais são: resíduos de algodão, resíduos comuns e de embalagens, resíduos da queima nas caldeiras, óleo de lubrificação, resíduos de varrição, fibras não processadas, entre outros (ABIT, 2013). Contudo, o mais significativo, e que é gerado em grandes quantidades, necessitando de tratamento específico e adequado é o lodo proveniente das estações de tratamento de efluente. Este resíduo apresenta-se com consistência pastosa e tem composição química variável apresentando, normalmente, alto teor de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, potássio, micronutrientes, metais, corantes e micro-organismos patogênicos (ARAÚJO; MONTEIRO, 2006) devendo sofrer tratamento para o seu aproveitamento ou disposição final em aterros, já que poluição por metais é extremamente perigosa pela sua toxicidade e persistência ambiental (COGO, 2011).

2.3 USO DOS TESTES ECOTOXICOLÓGICOS NA AVALIAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS

Os testes ecotoxicológicos ou bioensaios são ensaios laboratoriais realizados sob condições experimentais específicas e controladas (OLIVI et al., 2008) e têm por finalidade a detecção dos efeitos nocivos das substâncias químicas isoladas ou em misturas (MAGALHÃES; FERRÃO-FILHO, 2008). Esses bioensaios fundamentam-se em expor organismos vivos a várias diluições de uma amostra, ou a diferentes concentrações de um

produto químico, sob condições experimentais bem definidas (KNIE; LOPES, 2004) para quantificar os seus níveis de toxicidade (RIZZO, 2011).

Através dos bioensaios é possível fazer a avaliação de efeitos tóxicos de substâncias presentes nas amostras ambientais (FARRÉ; BARCELÓ, 2003; WADHIA; THOMPSON, 2007). Os bioensaios são realizados com organismos-teste, que são selecionados por apresentarem características específicas de tolerância ecológica a determinados compostos químicos. Dessa forma, esses organismos respondem através de reações específicas ou por meio de alterações nos aspectos morfológicos, e fisiológicos, bem como comportamentais aos danos induzidos por agentes tóxicos (MAGALHÃES; FERRÃO-FILHO, 2008).

De acordo com o período de manifestação dos efeitos, os testes podem ser classificados em agudos e crônicos. Os agudos detectam efeitos imediatos, geralmente irreparáveis, enquanto os crônicos ou subletais avaliam os danos evidenciados a partir de um período de exposição prolongado, às vezes somente após várias gerações (KNIE; LOPES, 2004). Os bioensaios que utilizam plantas superiores têm sido empregados para avaliar o efeito biológico de diversas substâncias puras e de misturas complexas, como as amostras ambientais. A utilização de plantas como modelos de estudo se deve ao fato de que os testes são baratos, rápidos, fáceis de serem executados e são tão sensíveis quanto outros testes utilizados para o mesmo fim (LEME; MARIN-MORALES, 2009).

A principal vantagem dos testes com plantas superiores são os diversos parâmetros que podem ser avaliados a fim de verificar a toxicidade de uma amostra. Entre os parâmetros mais empregados estão taxa de germinação, índice de velocidade de germinação, comprimento radicular (OLIVEIRA et al., 2013; ROSA et al., 2013; SILVEIRA et al., 2014), biomassa fresca, biomassa seca, tempo médio de germinação, taxa de plântulas normais desenvolvidas, comprimento da parte aérea, comprimento do hipocótilo, número de sementes mortas e sementes não germinadas, percentagem de emergência, além de aspectos micromorfológicos de plântulas (NUNES et al., 2014; SILVEIRA et al., 2014). Esses bioensaios são eficazes para a avaliação e monitoramento da toxicidade de diversos poluentes e têm sido utilizados em estudos sobre a fitotoxicidade de amostras de lodo de origem têxtil (ARAÚJO et al., 2001, 2007; ARAÚJO; MONTEIRO, 2005; ROSA et al., 2007 a,b).

2.4 *Allium cepa* PARA AVALIAÇÃO DA FITOTOXICIDADE E GENOTOXICIDADE

A espécie *A. cepa* (cebola), monocotiledônea, pertencente à família Alliaceae da ordem Liliales (SOUZA; LORENZE, 2005) é uma das espécies vegetais mais utilizadas para testes de fitotoxicidade e genotoxicidade, devido ao seu baixo custo (ZALTAUSKAITE; ČYPAITE, 2008), por sua fácil obtenção e manipulação, por sua sensibilidade aos potenciais osmóticos (ARAÚJO; MONTEIRO, 2005), pelo pequeno período requerido para sua germinação (RODRIGUES, 2003) e à facilidade com que são observados seus cromossomos em fases de divisão celular (PALÁCIO et al., 2013) que apresentam tamanho grande e em número reduzido (FISKESJÖ, 1985). As alterações cromossômicas podem ser observadas em todas as fases do ciclo celular, principalmente na metáfase e anáfase (MONARCA et al., 2000) e são consideradas evidências de efeito mutagênico induzido por agentes clastogênicos ou aneugênicos (LEME; MARIN-MORALES, 2009).

De acordo com Matsumoto e Marin-Morales (2004) a utilização de *A. cepa* como organismo-teste na avaliação ambiental se dá pelo fato de serem fáceis de armazenar e manusear, e de que as células de suas raízes podem ser utilizadas tanto para avaliar diversos parâmetros macroscópicos que demonstram alterações na germinação e no crescimento inicial (ALVIM et al., 2011; BARBERIO et al., 2009; GOMES et al., 2012) quanto para parâmetros microscópicos, tais como: aderências cromossômicas, pontes e fragmentações cromossômicas, anáfases prematuras, C-metáfases, quebras cromossômicas e formação de micronúcleos (CARITÁ; MARIN-MORALES, 2008; GANA et al., 2008; LEME; MARIN-MORALES, 2009; HOSHINA et al., 2009; RADIC et al., 2010).

Todos esses parâmetros e também a frequência de micronúcleos (MN) são importantes na avaliação da toxicidade de misturas complexas que compõe os despejos industriais. Os MN são resultantes de fragmentos acêntricos ou cromossomos inteiros que não foram incorporados ao núcleo principal durante o ciclo de divisão celular (FENECH, 2000) sendo seu aparecimento considerado o parâmetro mais efetivo e simples para a detecção de danos causados por poluentes ambientais genotóxicos (MA et al., 1995; MAZZEO; MARIN-MORALES, 2015). Fragmentos cromossômicos podem ser derivados de quebras cromossômicas, decorrentes da ação clastogênica de uma substância (YI; MENG, 2003), ou a partir de pontes cromossômicas que, quando se rompem, podem também originar esses fragmentos (FISKESJÖ, 1993).

Sendo assim, *A. cepa* é um eficiente organismo-teste, rotineiramente, utilizado para analisar o potencial genotóxico de compostos químicos, sendo considerada uma das melhores plantas para monitoramento ambiental (BARBÉRIO et al., 2011; FISKESJÖ, 1985;). Testes com a utilização de *A. cepa* têm sido indicados por agências internacionais de proteção

ambiental para verificação do nível de toxicidade de resíduos industriais, pois *A. cepa* é sensível mesmo em concentrações consideradas aceitáveis em muitas legislações (LEME; MARIN-MORALES, 2009; PALÁCIO et al., 2013).

3 JUSTIFICATIVA

O tratamento dos efluentes líquidos das indústrias têxteis gera uma grande quantidade de resíduos sólidos, dentre eles, o lodo têxtil, que apresenta alta complexidade, tanto do ponto de vista de sua composição, como dos seus aspectos ecotoxicológicos, tornando sua disposição final um grande desafio. Na maioria das vezes, esse lodo não tem suas características bem definidas, pois são provenientes de efluentes bastante diversificados. Quando a composição química desses resíduos é conhecida, os efeitos associados ao seu descarte no meio ambiente podem ser avaliados utilizando-se métodos de estimativa de toxicidade baseados na estrutura molecular dos compostos presentes e na complexidade das relações entre os compostos e a biota. Porém o desconhecimento de alguns constituintes do lodo, associados a possíveis efeitos nocivos aditivos, sinérgicos ou antagônicos resultantes das interações entre os seus constituintes, demonstram que os dados obtidos por métodos embasados somente em análises químicas são, em muitos casos, inadequados para uma correta avaliação do potencial tóxico e dos impactos ambientais desse tipo de resíduo, sendo recomendável uma caracterização complementar com testes biológicos (KAPANEN; ITAVAARA, 2001; ROSA et al., 2007a; WILKE et al., 2008; ALVIM et al., 2011; MAZZEO et al., 2015).

Nesse sentido, bioensaios que utilizam vegetais devem ser selecionados por critérios rigorosos para permitirem uma avaliação realística do potencial fitotóxico e genotóxico dos compostos residuais presentes nos lodos de indústrias têxteis. De acordo com Cuchiara et al. (2012) e Pathiratne et al. (2015), plantas superiores têm sido utilizadas rotineiramente em laboratórios de todo o mundo que trabalham com genética toxicológica, sendo considerado uma ferramenta valiosa quanto à determinação da atividade tóxica de resíduos industriais, devido ao fato das espécies apresentarem sensibilidade para expressar resultados, mesmo sob baixas concentrações dos toxicantes, além de possuir germinação rápida e homogênea. Ressalta-se ainda, que não foi encontrada na literatura estudos de genotoxicidade de amostras de lodo de origem têxtil sobre a dinâmica do genoma nuclear de espécies vegetais.

4 OBJETIVOS

A sessão a seguir trata dos objetivos gerais e específicos deste trabalho.

4.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a toxicidade de extratos aquosos de amostras de lodo gerado pelo tratamento dos efluentes líquidos de uma indústria têxtil localizada no Sul do estado de Minas Gerais empregando testes de fitotoxicidade e genotoxicidade com *A. cepa*.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Investigar o efeito dos extratos aquosos das amostras de lodo têxtil sobre a germinabilidade, índice de velocidade de germinação, número de plantas normais, comprimento radicular e parte aérea e produção de biomassa fresca em sementes e bulbos de *A. cepa*.

Avaliar a diferença nos efeitos deletérios induzidos pelas diferentes campanhas de coleta do lodo têxtil;

Avaliar o comportamento do ciclo celular e do DNA nuclear em sementes e bulbos de *A. cepa* expostas aos extratos das amostras de lodo têxtil.

Caracterizar quimicamente 4 amostras de lodo têxtil a fim de quantificar seus principais componentes e, se possível, correlacionar sua presença com os efeitos tóxicos observados.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO – ABIT. Disponível em: <www.abit.org.br>. Acesso em: 24 set. 2015.

ALENCAR, J. L. S. et al. Sistema de gestão ambiental e ISSO 14000 na indústria têxtil-A sustentabilidade como tendência. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Digital**, v. 19, n. 2, p. 575-586, 2015.

ALMEIDA, P. H. S. FRANCO, J. M. TAVARES, C. R. G. Influência do tipo de argila no processo de solidificação/estabilização de lodo têxtil. **Cerâmica**, n. 61, p. 137-144, 2015.

ALVIM, L. B. et al. S. Avaliação da citogenotoxicidade de efluentes têxteis utilizando *Allium cepa* L. **Ambiente e Água**, v. 6, n. 2, p. 255-265, 2011.

ARAÚJO, A. S. F.; SAHYOU, F. K.; MONTEIRO, R. T. R. Evaluation of toxicity of textile sludge compost on seed germination and root elongation of soybean and wheat. **Revista Ecosystema**, v. 26, n. 2, p. 117-119, 2001.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R.; CARDOSO, P. F. Composto de lodo têxtil em plântulas de soja e trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 6, p. 549-554, 2005.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Plant bioassays to assess toxicity of textile sludge compost. **Scientia Agricola**, v. 62, n. 3, p. 286-290, 2005.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Microbial biomass and activity in a Brazilian soil plus untreated and composted textile sludge. **Chemosphere**, v. 64, p. 1043-1046, 2006.

ARAÚJO, A. S.F.; MONTEIRO, R.T.R; CARVALHO, E.M.S. Effect of composted textile sludge on growth, nodulation and nitrogen fixation of soybean and cowpea. **Bioresource Technology**, v. 98, p. 1028-1032, 2007.

ARSLAN-ALATON, I.; ALATON I. Degradation of xenobiotics originating from the textile preparation, dyeing and finishing industrial using ozonation and advanced oxidation. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 68, p. 98-107, 2007.

BARBÉRIO, A. et al. Evaluation of the cytotoxic and genotoxic potential of water from the River Paraíba do Sul, in Brazil, with the *Allium cepa* L. test. **Brazilian Journal of Biology**, v. 69, n. 3, p. 837-842, 2009.

BARBÉRIO et al. Standardization of bulb and root sample sizes for the *Allium cepa* test. **Ecotoxicology**. v. 20, p. 927-935, 2011.

BATISTA et al. Effectiveness of business strategies in Brazilian textile industry. **Revista Administração**, São Paulo, v. 51, n. 2, p. 225-239, 2016.

BÍBLIA. Salmo 23. Bíblia Sagrada. 98. Ed. São Paulo: Ave Maria, Sl 23, vers. 1.

BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução CONAMA n° 375 de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. **D. O. U.**, 29 de agosto de 2006.

BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução CONAMA n° 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **D. O. U.**, 16 de maio de 2011.

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

CERVANTES, T. N. M.; ZAIA, D. A. M.; SANTANA, H. Estudo da fotocatalise heterogênea sobre Ti/TiO₂ na descoloração de corantes sintéticos. **Química Nova**, v. 32, n. 9, p. 2423-2428, 2009.

COGO, M. C. **Resíduos em indústrias têxteis**. Monografia apresentada à Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Departamento de Engenharia Química. 42 p. 2011.

CUCHIARA, C.C.; BORGES, C.S.; BOBROWSKI, V.L. Sistema teste de *Allium cepa* como bioindicador da citogenotoxicidade de cursos d'água. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 6, n. 1, p. 33-38, 2012.

CUNHA, J. M. **Tratamento de efluentes têxteis através do processo de adsorção em adsorventes de baixo custo – uma revisão**. Monografia do Curso de Graduação em Engenharia Química, da Universidade Federal do Ceará. 56 p. 2009.

DELLAMATRICE, P. M.; MONTEIRO, R. T. R. Decolorization and Toxicity of municipal waste by horseradish (*Cochlearia armoracia*). **Química Nova**, v. 29, n. 3, p. 419-421, 2006.

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.

FENECH, M. The in vitro micronucleus technique. **Mutation Research**, v. 455, p. 81-95, 2000.

FERNANDES, T.C.C.; MAZZEO, D.E.C.; MARIN-MORALES, M.A. Mechanism of micronuclei formation in polyploidized cells of *Allium cepa* exposed to trifluralin herbicide. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 88, n. 3, p. 252-259, 2007.

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

GANNA, J. M. et al. Industrial effluents and surface waters genotoxicity and mutagenicity evaluation of a river of Tucuman. **Journal of Hazardous Materials**, v. 155, p. 403-406, 2008.

GOMES, L. S. et al. Ecotoxicity of Sludges Generated by Textile Industries: A review. **Journal of Brazilian Society of Ecotoxicology**, v. 7, p. 89-96, 2012.

GRANT, W. Chromosome aberration assays in *Allium*. A report of the U.S. Environmental Protection Agency Gen-tox Program. **Mutation Research**, v. 281, p. 89-92, 1982.

GUARANTINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. Corantes Têxteis. **Química Nova**, v. 23, n. 1, p. 71-78, 2000.

GUERREIRO, L. Resposta Técnica produzida pelo Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas/SBRT. REDETEC - Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://sbrt.ibict.br/instituicoes-integrantes/redetec-rj>

HOSHINA, M. M.; MARIN-MORALES, M. A. Micronucleus and chromosome aberrations induced in onion (*Allium cepa*) by a petroleum refinery effluent and by river water that receives this effluent. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 72, p. 2090-2095, 2009.

INSTITUTO DE ESTUDOS E MARKETING INDUSTRIAL – IEMI, Brasil têxtil. **Relatório setorial da cadeia têxtil brasileira**, v. 13, n. 13, 2013.

IMMICH, A. P. S. **Remoção de corantes de efluentes têxteis utilizando folhas de *Azadirachta indica* como adsorvente**. Tese de mestrado em Engenharia Química. Universidade Federal de Santa Catarina. 119p. 2006.

JARDIM, N. S. et al. (coord.). **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 2. ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.

KANT, R. Textile dyeing industry an environmental hazard. **Natural Science**, v. 4, p. 22-26, 2012.

KAPANEN, A.; ITAVAARA, M. Ecotoxicity tests for compost applications. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 49, p. 1-16, 2001.

KNIE, J. L. W. LOPES, E. W. B. Testes Ecotoxicológicos: métodos, técnicas e aplicações. **FATMA/GTZ**, p. 289, 2004.

LEITE, A. S. et al. Custos ecológicos e sustentabilidade em recursos hídricos na indústria têxtil. **Revista de Ciências Gerenciais**, v. 17, n. 26, p. 103-111, 2013.

LEME, D. M.; ANGELIS, D. F.; MARIN-MORALES, M. A. Action mechanisms of petroleum hydrocarbons present in waters impacted by an oil spill on the genetic material of *Allium cepa* root cells. **Aquatic Toxicology**, v. 88, p. 214-219, 2008.

LEME, D. M.; MARIN-MORALES, M. A. *Allium cepa* Test in environmental monitoring: a review on its application. **Mutation Research**, v. 682, p. 71-81, 2009.

LIU, R. et al. Degradation and sludge production of textile dyes by Fenton and photo-Fenton processes. **Dyes Pigments**, v. 73, p. 1-6, 2007.

MA, T. H. et al. The improved *Allium/Vicia* root tip micronucleus assay for clastogenicity of environmental pollutants. **Mutation Research**, v. 334, n. 2, p. 185-195, 1995.

MAGALHÃES, D. P.; FERRÃO-FILHO, A. S. A ecotoxicologia como ferramenta no biomonitoramento de ecossistemas aquáticos. **O Ecology Brasil**, 2008. p. 355-381.

MANENTI, D. R. et al. Performance evaluation of different solar advanced oxidation processes applied to the treatment of a real textile dyeing wastewater. **Environmetal Science and Pollution Research International**, v. 22, p. 833-845, 2015.

MATHUR, N. et al. Mutagenic evaluation of industrial sludge from common effluent treatment plant. **Chemosphere**, v. 67, p. 1229-1235, 2007.

MATSUMOTO, S. T.; MARIN-MORALES, M. A. Mutagenic potential of the water of a river that receives tannery effluent using the *Allium cepa* test system. **Cytologia**, v. 69, p. 399-408, 2004.

MAZZEO, D. E. C.; MARIN-MORALES M. A. Genotoxicity evaluation of environmental pollutants using analysis of nucleolar alterations. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, p. 9796-9806, 2015.

MAZZEO, D. E. C., FERNANDES, T. C. C., LEVY, C. E., FONTANETTI, C. S., MARIN-MORALES, M. A. Monitoring the natural attenuation of a sewage sludge toxicity using the *Allium cepa* test. **Ecological Indicators**, v. 56, p. 60-69, 2015.

MELO, I. S.; AZEVEDO, J. L. Estratégias de isolamento de micro-organismos envolvidos na degradação de xenobióticos. **Microbiologia Ambiental**, 2 ed. Jaguariuna: Embrapa Meio Ambiente, 2008.

MIGID, A. H. M.; AZAB, Y. A.; IBRAHIM, W. M. Use of plant genotoxicity bioassay for the evaluation of efficiency of algal biofilters in bioremediation of toxic industrial effluent. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 66, p.57-64, 2007.

MILAN, G. S.; VITTORAZZI, C.; REIS, Z. C. Redução de resíduos têxteis e de impactos ambientais: um estudo desenvolvido em uma indústria de confecções do vestuário. **XIII Seminários em Administração**. p. 17, 2010.

MISHRA, G.; TRIPATHY, M.; A critical review of the treatments for decolourization of textile effluent. **Colourage**, v. 40, p. 35-38, 1993.

MONARCA, S. et al. The influence of different disinfectants on mutagenicity and toxicity of urban wastewater. **Water Research**, v. 34, n. 17, p. 4261-4269, 2000.

MORAN, C.; HALL, M. E.; HOWELL, R., Effects of Sewage Treatment on Textile Effluent. **Journal of the Society of Dyers and Colourists**, v. 113, p. 272-274, 1997.

NUNES, J. V. D. et al. Atividade alelopática de extratos de plantas de cobertura sobre soja, pepino e alface. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 1, p. 122-130, 2014.

OLIVEIRA, L. G. et al. Atividade alelopática de extrato acetato-etílico de folhas de *Solanum cernuum* Vell. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 3, p. 538-543, 2013.

OLIVI, C. R. C. P.; BOTTA, C. M. R.; ESPINDOLA, E. L. G. A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. **Química Nova**, v. 31, n. 7, p. 1820-1830, 2008.

OLORUNFEMI, D. I. et al. Cytotoxic and genotoxic effects of cassava effluents using the *Allium cepa* test. **Research Journal of Mutagenesis**, v. 1, p. 1-9, 2011.

PALÁCIO, S. M. et al. Toxicidade de Metais em Soluções Aquosas: Um Bioensaio para Sala de Aula. **Química Nova na Escola**, v. 35, n. 2, p. 79-83, 2013.

PATHIRATNE, A.; HEMACHANDRA, C. K.; SILVA, N. Efficacy of *Allium cepa* test system for screening cytotoxicity and genotoxicity of industrial effluents originated from different industrial activities. **Environmental Monitoring and Assessment**, p. 187-730, 2015.

QUEIROZ, M. T. A. et al. Gestão de resíduos na indústria têxtil e sua relação com a qualidade da água: estudo de caso. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, v. 8, n. 15, p. 114-135, 2016.

RADIC, S. et al. The evaluation of surface and wastewater genotoxicity using the *Allium cepa* test. **Science of the Total Environment**, v. 408, p. 1228-1233, 2010.

RANK, J.; NIELSEN, M. H. A modified *Allium cepa* test as tool in the screening of the genotoxicity of complex mixtures. **Hereditas**, v. 118, p. 49-53, 1993.

REDE NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE O INVESTIMENTO - RENAI, 2015. Disponível em: <http://investimentos.mdic.gov.br/public/arquivo/arq1273166252.pdf>. Acesso em: 24 Set. 2015.

RIZZO, L. Biossays as a tool for evaluating advanced oxidation processes in water and wastewater treatment. **Water Research**, v. 45, p. 4311-4340, 2011.

RODRIGUES, M. T. T. Empleo de los ensayos con plantas en el control de contaminantes tóxicos ambientales. **Revista Cubana de Higiene y Epidemiología**, v. 41, n. 3, p.2-3, 2003.

RODRIGUES, N. L. V. B.; PAWLOWSKY, U. Testes de toxicidade aguda através de bioensaios no extrato solubilizado dos resíduos Classe II A – Não inertes e Classe II B – Inertes. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 12, n. 1, p. 8-16, 2007.

ROSA, E. V. C. et al. Ecotoxicological evaluation of the short term effects of fresh and

stabilized textile sludges before application in forest soil restoration. **Environmental Pollution**, v. 146, p. 463-469, 2007a.

ROSA, E. V. C. et al. Textile sludge application to non-productive soil: Physico-chemical and phytotoxicity aspects. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 68, p. 91-97, 2007b.

ROSA, J. M. et al. Efeito alelopático de *Salix* spp. sobre a germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de *Raphanus sativus* L. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 12, n. 3, p. 255-263, 2013.

RUSCHIONI, R. Finishing processes in wet opened knitted under ecological considerations and aspects of quality. **Química Têxtil**, n. 86, p. 56-65, 2007.

SAMUEL, O. S.; OSUALA, F. I.; ODEIGAH, P. G. C. Cytogenotoxicity evaluation of two industrial effluents using *Allium cepa* assay. **African Journal of Environmental Science and Technology**, v. 4, n. 1, p. 21-27, 2010.

SANTOS, A. S. **Utilização de lodo têxtil no cultivo de tifton**. Tese de Mestrado em Ecologia e Tecnologia Ambiental. Universidade Federal de Alfenas, UNIFAL-MG. 53p. 2012.

SHARMA, et al. A comparative study on characterization of textile waste waters (untreated and treated) toxicity by chemical and biological tests. **Chemosphere**, v. 69, p. 48-54, 2007.

SILVA, G. L. **Redução de corante em efluente de processo de tingimento de lavanderias industriais por adsorção em argila**. Tese de Doutorado da Faculdade de Engenharia Química, Unicamp, Campinas. 120 p. 2005.

SILVEIRA, B. D. et al. *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze allelopathic activity on germination and initial growth of *Lactuca sativa* L. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 1, p. 79-85, 2014.

SINGH et al. High genotoxicity of shipyard contaminants on *Allium cepa* and calf thymus DNA. **Environmental Chemistry Letters**, v. 12, p. 321-327, 2014.

SOUZA, V. C; LORENZI, H; Instituto plantarum de estudos da flora. Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de Angiospermas da flora brasileira, baseado em APG II. 2005. 640 p.

TALARPOSHTI, A.; DONNELLY, T.; ANDERSON, G. K., Colour Removal from a Simulated Dye Wastewater using a Twophas e Anaerobic Packed Bed Reactor. **Water Research**, v. 35, p. 425-432, 2001.

WADHIA, K.; THOMPSON, K. C. Low-cost ecotoxicity testing of environmental samples using microbiotests for potential implementation of the water framework directive. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 26, p. 300-307, 2007.

WILKE, B. M. et al. Ecotoxicological characterization of hazardous wastes. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 70, p. 283-293, 2008.

YI, H.; MENG, Z. Genotoxicity of hydrated sulfur dioxide on root tips of *Allium sativum* e *Vicia faba*. **Mutation Research**, v. 537, p. 109-114, 2003.

ZALTAUSKAITE, J.; ČYPAITE, A. Assessment of landfill leachate toxicity using higher plants. **Environmental Research, Engineering and Management**, v. 4, p. 42-47, 2008.

ZANELLA, G. et al. Tratamento de banhos de tingimento têxtil por processos foto-fenton e avaliação da potencialidade de reuso. **Química Nova**, v. 33, p. 1039-1043, 2010.

ZONATTI, W. F. **Geração de resíduos sólidos da indústria brasileira têxtil e de confecção: materiais e processos para reuso e reciclagem**. 2016. 250f. Tese (Doutorado em Sustentabilidade) – Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

SEGUNDA PARTE

ARTIGO I: Avaliação da fitotoxicidade e citogenotoxicidade de extratos aquosos de lodo têxtil utilizando *Allium cepa* L.

Artigo submetido à Revista Ambiente & Água

AValiação da fitotoxicidade e citogenotoxicidade de extratos aquosos de lodo têxtil utilizando *Allium cepa* L.

RESUMO

O objetivo do trabalho foi testar a toxicidade de amostras de lodo de uma indústria têxtil empregando os testes de fitotoxicidade e citogenotoxicidade com sementes e bulbos de *Allium cepa* L. Para isso, cinco extratos aquosos foram obtidos a partir de 4 amostras de lodo, sendo a quinta amostra uma mistura, em partes iguais, das outras 4. Foi realizada a caracterização química de cada amostra. A fitotoxicidade em sementes foi avaliada empregando os parâmetros: porcentagem de germinação, índice de velocidade de germinação, número de plantas normais, alongamento radicular, comprimento de parte aérea e produção de biomassa fresca. Em bulbos a fitotoxicidade foi analisada por meio do número e crescimento das raízes. A citogenotoxicidade foi avaliada pelo índice mitótico e frequência de anormalidades cromossômicas em raízes provenientes de sementes e bulbos de *A. cepa*. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Scott-Knott a 5 % de significância. Verificou-se alta concentração de cromo na amostra 1, exibindo valor superior às demais amostras (1.312,4 mg kg⁻¹). Os extratos de lodo têxtil, sobretudo da amostra 1, demonstraram efeitos fitotóxicos e citogenotóxicos, sendo estes efeitos atribuídos, principalmente, à alta concentração de cromo. A inibição do índice mitótico, a alta frequência de micronúcleos, bem como elevada taxa total de anormalidades cromossômicas encontrada em todas as amostras, tanto para os testes com sementes quanto bulbos, demonstraram a citogenotoxicidade do lodo têxtil. Sementes de *A. cepa* foram mais sensíveis em relação aos bulbos para avaliar os efeitos citogenotóxicos das amostras.

Palavras-chave: Resíduos têxteis, ecotoxicidade, bioensaio vegetal, cebola.

EVALUATION OF PHYTOTOXICITY AND CYTOGENOTOXICITY OF AQUOUS EXTRACTS FROM TEXTILE SLUDGE USING *Allium cepa* L.

ABSTRACT

The aim of this work was to test the sludge samples toxicity from a textile industry using the phytotoxicity tests and citogenotoxicidade with seeds and bulbs of *Allium cepa* L. For this, five aqueous extracts were obtained from 4 samples of sludge, being the fifth sample a mixture in equal parts of 4 samples. Chemical characterization of each sample was performed. For seeds the phytotoxicity was evaluated using the endpoints: percentage of germination, germination speed index, number of normal plants, root elongation, shoot length and fresh biomass production. In bulbs phytotoxicity was evaluated by the number and growth of roots. The cytogenotoxicity was evaluated by mitotic index and frequency of chromosomal abnormalities in root from both, seeds and bulbs of *A. cepa*. Data were submitted to analysis of variance and the means compared by Scott-Knott test at 5 % significance. It was found to high chromium concentration in the sample 1, displaying higher than the other samples (1,312.4 mg kg⁻¹). The textile sludge extracts, particularly the sample 1 showed phytotoxic and cytogenotoxic effects and these effects were attributed mainly to the high concentration of chromium. The inhibition of mitotic index, the high frequency of micronuclei as well as high total rate of chromosomal abnormalities found in all samples, for both test using seeds and

bulbs showed the textile sludge cytogenotoxicity. Seeds of *A. cepa* were more sensitive in relation to bulbs to evaluate the cytogenotoxic effects of the samples.

Keywords: Textile waste, ecotoxicity, plant bioassay, onion.

1. INTRODUÇÃO

Indústrias têxteis, principalmente aquelas que realizam tingimento e acabamento, representam um enorme problema ambiental, pois utilizam produtos químicos de forma intensiva e geram grandes quantidades de resíduos. Esse setor é considerado um dos maiores poluidores de águas, ficando atrás apenas da agroindústria (Kant, 2012). Isso se deve principalmente aos efluentes gerados durante seus processos, que possuem composição complexa e variada e em geral, apresentam elevada carga de poluentes (incluindo metais, solventes e surfactantes), baixa biodegradabilidade e elevado nível de corantes (Gomes et al., 2012; Liang et al., 2013). Assim para que possam ser lançados no meio ambiente esses efluentes devem ser tratados adequadamente.

As principais técnicas aplicadas para o tratamento de efluentes têxteis envolvem processos de coagulação/floculação, adsorção, precipitação, degradação química, eletroquímica e fotoquímica, biodegradação entre outros. Porém a maioria dos processos convencionais de tratamento de efluentes corresponde a sistemas não destrutivos, ocorrendo somente a transferência de fase dos poluentes, ou seja, da fase aquosa para a gasosa ou sólida, permanecendo então, o problema do tratamento e disposição dos próprios efluentes e do lodo gerado (Guarantini e Zanoni, 2000; Liang et al., 2013). Tanto os processos de tratamento físico-químicos quanto os biológicos produzem grandes quantidades de lodos que devem ser destinados de forma segura visando evitar impactos ambientais negativos. Internacionalmente os principais métodos usados para gerenciar lodos têxteis são a aplicação em solos, incineração e disposição em aterros sanitários (Liang et al., 2013).

Embora no Brasil a disposição de lodos de origem industrial em solos agrícolas não seja permitida (BRASIL, 2006), essa forma de destinação final tem sido considerada como uma opção ambientalmente interessante devido à alta concentração de nutrientes e composição rica em matéria orgânica, fato que confere a esses resíduos, propriedades fertilizantes e/ou condicionadoras de solo. Contudo é importante salientar que a disposição não controlada de lodo pode resultar em problemas ambientais (Rosa et al., 2007a). Assim a caracterização da composição química e das propriedades toxicológicas do lodo têxtil é fundamental para seu gerenciamento e correta destinação (Gomes et al., 2012).

Gomes et al. (2012) em seu artigo de revisão sobre a avaliação toxicológica de lodo têxtil verificaram que, apesar da escassez de trabalhos sobre esse tema, os testes ecotoxicológicos com plantas superiores foram os mais empregados, devido a sua relevância para avaliação de possíveis impactos aos ambientes terrestres. A principal vantagem desses testes são os diversos parâmetros que podem ser empregados para avaliar a toxicidade de amostras de lodo. Entre os parâmetros mais utilizados estão taxa de germinação, índice de velocidade de germinação, comprimento radicular, produção de biomassa (fresca e seca) (Maselli et al., 2015), taxa de plântulas normais desenvolvidas, comprimento da parte aérea, número de sementes mortas e/ou sementes não germinadas, porcentagem de emergência, além de aspectos micromorfológicos das plântulas (Iqbal, 2016). Assim, os testes de fitotoxicidade têm sido empregados com sucesso para a avaliação e monitoramento dos efeitos nocivos de amostras de lodo têxtil (Araújo e Monteiro, 2005; Araújo et al., 2007; Rosa et al., 2007a,b). Contudo, Gomes et al. (2012) ressaltam que não foram encontrados dados sobre a avaliação da genotoxicidade desse tipo de lodo para plantas.

Allium cepa (cebola) é uma das espécies de plantas mais utilizadas em testes de fitotoxicidade e genotoxicidade, devido ao seu baixo custo, por sua fácil obtenção e manipulação (Araújo e Monteiro, 2005), pelo pequeno período requerido para sua germinação (Rodrigues, 2003) e à facilidade com que são observados seus cromossomos em fases de divisão celular (Palácio et al., 2013). Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi avaliar a toxicidade de extratos aquosos de amostras de lodo gerado pelo tratamento dos efluentes de uma indústria têxtil localizada no Sul do Estado de Minas Gerais empregando testes de fitotoxicidade e citogenotoxicidade com *A. cepa*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Coleta e preparo das amostras

O método utilizado no tratamento dos efluentes da indústria onde as amostras de lodo foram coletadas é processo de coagulação/floculação, que consiste na adição de agentes promotores de aglutinação e o agrupamento das partículas, facilitando a sua decantação. Os efluentes fluem através dos decantadores na Estação de tratamento de efluentes (ETE), permitindo que os sólidos em suspensão (lodo), sedimentem gradualmente. Foram realizadas quatro campanhas de coleta bimestralmente (amostra 1, 2, 3 e 4), durante o período de julho de 2014 a março de 2015, uma vez que diferentes substâncias são utilizadas no processo de produção no decorrer do ano. Cada coleta corresponde a uma amostra, sendo a quinta amostra (amostra 5) uma mistura em partes iguais das 4 amostras coletadas. Todas as amostras foram desidratadas a 45 ± 2 °C em estufa com circulação de ar (Nova Era 400 ND) até atingir peso constante. Em seguida, as amostras secas foram trituradas em moinho de bolas (Modelo Q 298-1 – Quimir), padronizadas em peneira granulométrica (Tyler – ABNT: Mesh-60) em agitador de peneiras e armazenadas em sacos plásticos protegidos da luz e da umidade. A partir das amostras trituradas e padronizadas foram produzidos extratos aquosos na proporção de 1:4 (m/v) e as suspensões foram agitadas em câmara incubadora *shaker* (Marconi® MA - 420) por 24 h. As soluções resultantes foram centrifugadas a 4500 rpm por 40 min. Os sobrenadantes foram coletados e submetidos aos testes de fitotoxicidade e citogenotoxicidade.

2.2. Caracterização química das amostras de lodo

Todas as amostras foram caracterizadas quimicamente quanto aos macronutrientes (nitrogênio, cálcio, magnésio, potássio, fósforo e enxofre), micronutrientes (cobre, ferro, manganês, zinco e boro) e metais (alumínio, cádmio, cromo, chumbo, níquel e enxofre). As análises foram realizadas pela Cooperativa Regional de Cafeicultores (COOXUPÉ/Guaxupé - MG), de acordo com manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos (BRASIL, 2014), empregando o instrumento CP-OES OPTMA 7300 DV Perkin Elmer.

2.3. Avaliação da fitotoxicidade

2.3.1. Testes com sementes de *A. cepa*

Trinta sementes de *A. cepa* L. cv. Baia Periforme (FELTRIN) foram distribuídas em placas de Petri forradas com 2 discos de papel filtro Whatman nº 2 e umedecidas com 3,0 mL dos extratos de amostras de lodo nas diluições 20, 40, 60, 80 e 100 % (m/v), sendo água destilada utilizada como controle negativo. Foram avaliados os parâmetros porcentagem de germinação (% G), índice de velocidade de germinação (IVG), número de plantas normais (NP), alongamento de raiz (AR), comprimento de parte aérea (CPA) e massa fresca (MF). Os testes foram conduzidos em câmara de germinação tipo BOD (Ethiktechnology 411-FPD)

com temperatura controlada de 15 °C, com fotoperíodo de 16 h de luz e 8 h de escuro, de acordo com Maselli et al. (2015).

O percentual de germinação foi obtido pela contagem de sementes com protrusão da radícula 7 dias após o início dos testes. A germinação foi avaliada a cada 12 h durante 288 h para determinação do IVG de acordo com a equação: $IVG = (N1/T1) + (N2/T2) + (Nn/Tn)$. Onde: IVG = índice de velocidade de germinação; Nn = número total de sementes germinadas num intervalo Tn; Tn = intervalo de tempo. No décimo segundo dia foi analisado o NP, sendo consideradas plantas normais aquelas que apresentavam raiz e parte aérea. O AR e CPA foram avaliados nas dez maiores plantas de cada repetição utilizando um paquímetro digital (Digimess) e a MF foi determinada em balança analítica (Modelo AY 220 - Marte).

2.3.2. Testes com bulbos de *A. cepa* L.

Os testes foram realizados de acordo com Fiskesjö (1985) e Barbério et al. (2011) com adaptações. Bulbos de *A. cepa* ($2n = 16$), adquiridos no comércio local, foram cortados na extremidade basal com uma lâmina de barbear para expor os tecidos meristemáticos. Os bulbos foram acondicionados em recipientes acrílicos e a extremidade basal foi exposta a 30 mL das mesmas concentrações de extratos de lodo descritos no teste com sementes, por um período de 48 e 72 h, em câmara de germinação tipo BOD, a 15 °C, e fotoperíodo de 12 h. Foram mensurados o número (NR) e o alongamento das raízes (AR) de cada bulbo com o auxílio de um paquímetro digital (Digimess).

2.4. Avaliação da citogenotoxicidade

Para avaliar o índice mitótico (IM) e a ocorrência de anormalidades cromossômicas (AC), raízes entre 1 a 2 centímetros provenientes de sementes e bulbos foram coletadas após a exposição aos tratamentos, fixadas em solução de Carnoy (3:1 v/v) e armazenadas a -18 °C. As raízes foram hidrolisadas em solução de HCl 5 M a 25 °C e coradas com reagente de Schiff. As preparações citogenéticas foram conduzidas de acordo com Alvim et al. (2011) e Barbério et al. (2011). Foram avaliadas 6000 células para cada tratamento, incluindo o $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ (ISOFAR, pureza ≥ 99 %) utilizado como controle positivo ($0,07 \text{ g L}^{-1}$). Para IM foram quantificadas as interfases, prófases, metáfases, anáfases e telófases. O IM foi determinado utilizando-se a equação: $IM = NCM/NTC \times 100$, em que NCM é o número de células em mitose e NTC o número total de células observadas. As AC foram analisadas de acordo com os critérios a seguir: micronúcleo (MN), pontes anafásicas (PA), ponte telofásicas (PT), C-metáfases (CM), *Stickiness* (S) e cromossomo perdido, cujas frequências foram determinadas pela equação: $AC = NTAC/NTC \times 100$, sendo NTAC o número total de anormalidades e NTC o número total de células.

2.5. Análises estatísticas

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial, com controle negativo, 5 concentrações (20; 40; 60; 80 e 100 %) e controle positivo, contendo 3 repetições com 30 sementes ou 3 bulbos cada. Os dados de G %, IVG, AR, MF e IM foram submetidos à análise de variância - ANOVA ($p < 0,05$) e comparação de médias pelo teste de Scott-Knott utilizando-se o programa estatístico Sisvar 5.3 (Ferreira, 2011).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização química das amostras de lodo

Em todas as amostras o elemento mais abundante foi o Al, em concentrações que variaram entre 45.784,0 e 86.881,2 mg kg^{-1} de lodo, seguido pelo Fe que variou de 1.830,6 a 4.943,5 mg kg^{-1} de lodo. Embora a Resolução CONAMA 375 (BRASIL, 2006) não se aplique

a lodos de origem industrial, os resultados das análises químicas foram comparados aos padrões de qualidade nela descritos, apenas como uma referência nacional. Assim, verificou-se alta concentração do elemento Cromo (Cr) na amostra 1, exibindo valor superior às demais amostras (1.312,4 mg kg⁻¹) e acima do valor máximo permitido para a aplicação de lodos em solo (Tabela 1). Os demais elementos estavam abaixo dos padrões legais ou não havia especificação de valores para os mesmos.

Tabela 1. Resultados das análises química de cada amostra de lodo têxtil, conduzidas de acordo com o manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos (BRASIL, 2014).

Parâmetros	Amostra 1	Amostra2	Amostra3	Amostra4	Amostra5	Padrão*
Al (mg Kg ⁻¹)	45.784,0	65.034,8	86.881,2	64.473,5	70.408,7	N.E.
B (mg Kg ⁻¹)	32,5	41,1	34,2	25,6	32,7	N.E.
Ca (g Kg ⁻¹)	189,7	144,4	124,6	157,1	157,2	N.E.
Cd (mg Kg ⁻¹)	0,052	0,1	0,1	0,1	0,1	39,0
Cr (mg Kg ⁻¹)	1.312,4	185,9	837,7	362,4	696,2	1.000,0
Cu (mg Kg ⁻¹)	62,8	152,6	114,2	108,6	111,1	1.500,0
Fe (mg Kg ⁻¹)	2.176,3	4.943,5	1.830,6	2.704,5	2.829,7	N.E.
K (g Kg ⁻¹)	2,0	0,2	0,5	0,4	0,4	N.E.
Mg (g Kg ⁻¹)	38,5	33,2	37,0	44,0	41,3	N.E.
Mn (mg Kg ⁻¹)	225,2	225,9	188,0	224,1	216,2	N.E.
Na (g Kg ⁻¹)	0,8	0,3	0,3	0,3	0,3	N.E.
Ni (mg Kg ⁻¹)	8,0	11,2	16,2	26,5	16,8	N.E.
P (g Kg ⁻¹)	3,0	2,3	1,5	2,1	2,1	N.E.
Pb (mg Kg ⁻¹)	12,5	33,4	26,5	21,5	21,1	300,0
S (g Kg ⁻¹)	9,7	7,8	6,5	6,8	7,7	N.E.
Zn (mg Kg ⁻¹)	47,4	230,9	111,8	161,9	139,2	2800,0

*Resolução 375/2006 do CONAMA; N.E. = Não especificado.

3.2. Avaliação da fitotoxicidade

Considerando a concentração inibitória 50 % (CI50), podemos observar que, de maneira geral, os extratos aquosos das amostras de lodo têxtil não apresentaram fitotoxicidade nos testes com sementes, com exceção da amostra 1 para os parâmetros % G, IVG, AR e CPA, e a amostra 5 para o AR (Tabela 2). Além disso, mesmo quando foi possível determinar os valores de CI50 os extratos apresentaram fitotoxicidade relativamente baixa. Entre os parâmetros de crescimento inicial de plantas, Gomes et al. (2012) apontam o AR como o mais sensível para avaliação da fitotoxicidade de lodos têxteis, corroborando nossos resultados. Nos testes com bulbos novamente foi observada fitotoxicidade apenas para as amostras 1 e 5, sendo a amostra 1 mais tóxica e o parâmetro AR o mais sensível (Tabela 2). É importante ressaltar que a amostra 5 é uma mistura das 4 amostras coletadas e assim, é possível inferir que o efeito observado pode ser atribuído a parcela da amostra 1.

Tabela 2. Valores de CI50 de amostras de lodo têxtil para os parâmetros de fitotoxicidade em sementes e bulbos de *Allium cepa* L.

Amostra	Sementes						Bulbos	
	% G	IVG	NP	AR	CPA	BF	NR	AR
1	60,0	64,0	NT	47,9	85,51	NT	90,7	38,1
2	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
3	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT
4	NT	NT	NT	NT	NT	NT	NT	56,1
5	NT	NT	NT	84,2	NT	NT	84,0	55,4

NT = Não tóxico

Apesar de não ser possível calcular CI50 para nenhum dos parâmetros de fitotoxicidade nos testes com sementes para as amostras 2 e 3 é possível verificar efeitos deletérios sutis

somente nas maiores concentrações dos extratos (Tabela 3). Nos testes com bulbos, no geral, o aumento da concentração resultou na diminuição do NR, mesmo para as amostras onde não foi possível determinar valores de CI50. Entretanto, as menores concentrações favoreceram o NR e/ou aumento do AR em relação ao controle negativo. Vale ressaltar que para as amostras 1, 4 e 5, embora os bulbos tenham enraizado, houve redução significativa no CR, sobretudo os bulbos expostos às concentrações de 60, 80 e 100 % (Tabela 3).

Tabela 3 Fitotoxicidade de diferentes concentrações de extratos aquosos de amostras de lodo têxtil nos testes com sementes e bulbos de *Allium cepa* L.

Amostra	[] (%)	Sementes					Bulbos		
		% G	IVG	NP	AR (mm)	CPA (mm)	MF (g)	NR	AR (mm)
1	CN	76,6 a	2,52 a	20,0 a	10,74 a	11,41 a	0,294 a	16,0 b	9,65 a
	20	54,4 b	1,65 b	13,0 b	7,46 b	9,95 a	0,229 b	22,0 a	6,15 b
	40	53,3 b	1,51 b	13,3 b	6,04 c	9,08 a	0,223 b	24,0 a	2,95 c
	60	44,4 b	1,30 c	09,0 b	4,25 c	7,01 b	0,208 b	12,0 c	1,88 c
	80	36,6 b	1,09 c	10,3 b	3,48 c	6,55 b	0,196 b	7,5 d	1,77 c
	100	40,0 b	1,05 c	11,0 b	4,80 c	3,50 b	0,190 b	3,5 e	0,50 d
2	CN	65,5 a	2,11 a	17,3 a	10,65 a	11,16 a	0,350 a	40,0 a	4,02 c
	20	76,6 a	2,08 a	18,6 a	9,08 a	9,99 a	0,312 a	36,7 a	14,1 a
	40	56,6 a	1,55 b	15,3 a	8,16 a	9,99 a	0,237 b	30,0 b	9,13 b
	60	66,6 a	1,97 a	16,6 a	9,51 a	9,02 a	0,273 b	19,7 c	7,05 b
	80	54,4 a	1,52 b	12,6 a	6,15 b	8,47 a	0,247 b	32,5 b	10,8 b
	100	57,7 a	1,68 b	14,3 a	5,73 b	6,67 a	0,219 b	31,0 b	9,47 b
3	CN	66,6 a	1,95 a	16,3 a	9,65 a	10,86 a	0,246 a	37,0 a	16,6 a
	20	73,3 a	2,04 a	18,0 a	10,30 a	10,78 a	0,283 a	25,3 a	11,8 b
	40	70,0 a	1,83 a	17,6 a	8,62 a	8,73 b	0,248 a	32,0 a	16,1 a
	60	58,8 a	1,85 a	14,3 a	6,40 b	8,71 b	0,233 a	27,7 a	14,2 b
	80	60,0 a	1,53 a	14,0 a	5,04 b	7,26 c	0,223 a	29,3 a	12,4 b
	100	57,7 a	1,68 a	12,0 a	6,65 b	6,08 c	0,217 a	35,7 a	13,2 b
4	CN	61,1 a	1,74 a	15,3 a	9,55 a	10,10 a	0,256 a	25,0 c	11,2 b
	20	62,2 a	1,85 a	14,6 a	10,39 a	11,18 a	0,277 a	29,5 b	13,4 a
	40	60,0 a	1,76 a	15,0 a	9,53 a	9,47 a	0,267 a	40,0 a	7,77 c
	60	63,3 a	1,91 a	16,0 a	8,51 a	9,26 a	0,266 a	23,0 c	2,82 d
	80	56,6 a	1,77 a	13,6 a	8,52 a	9,42 a	0,252 a	29,3 b	3,40 d
	100	68,8 a	1,92 a	15,5 a	8,84 a	9,88 a	0,261 a	21,0 c	3,45 d
5	CN	68,8 a	1,94 a	16,6 a	9,15 a	10,11 a	0,259 a	23,0 b	6,25 b
	20	70,0 a	1,94 a	17,0 a	8,36 a	10,66 a	0,259 a	34,0 a	7,45 a
	40	65,5 a	1,78 a	17,0 a	6,69 a	8,82 b	0,231 b	22,0 b	5,85 b
	60	50,0 b	1,61 a	11,3 b	6,37 a	8,04 b	0,216 b	18,5 c	3,60 c
	80	45,5 b	1,42 a	11,0 b	4,86 b	7,44 b	0,210 b	19,0 c	3,85 c
	100	51,1 b	1,47 a	11,3 b	3,51 b	6,62 b	0,197 b	16,5 c	2,37 d

Letras iguais na coluna, dentro da mesma amostra, não diferem estatisticamente ($p > 0,05$) pelo teste Scott-Knott. % G = Percentual de germinação; IVG = Índice de velocidade de germinação; NP = Número de plantas normais; AR = Alongamento de raiz; CPA = Comprimento de parte aérea; MF = Massa fresca; NR = Número de raízes; CN = controle negativo.

A inibição e atraso na germinação de sementes expostas ao extrato da amostra 1 parecem estar associados à presença do Cr em concentração elevada, $1.312,4 \text{ mg kg}^{-1}$. O Cr é amplamente relatado como fitotóxico (Fargaová, 2012; Panda e Chouldhury, 2005), sendo um dos sintomas da sua toxicidade a redução do potencial germinativo das sementes, que pode estar associada a redução das atividades da alfa e beta amilase, enzimas responsáveis pela degradação do amido, essencial no suprimento de energia para o desenvolvimento e germinação do embrião (Oliveira, 2012; Shanker et al., 2005). Araújo et al. (2001) observaram efeito inibitório de lodo têxtil sobre a germinação, principalmente em sementes de trigo, em que apenas 23 % das sementes submetidas à concentração de 100 % do extrato de

lodo germinaram. Entretanto, os autores afirmam a necessidade de estudos adicionais que possam correlacionar substâncias presentes no lodo com seu efeito biológico. Rosa et al. (2007a) e Rosa et al. (2007b) observaram que o extrato de lodo têxtil a partir da concentração de 50 % inibiu a germinação de sementes de *Eruca sativa* L. e *Brassica oleraceae* L, respectivamente. Esses autores atribuíram o efeito observado à presença de compostos orgânicos tóxicos e altas concentrações de Al ($15.639 \text{ mg kg}^{-1}$) e Fe (3.942 mg kg^{-1}) provenientes de agentes coagulantes/floculantes utilizados no tratamento dos efluentes. No presente estudo, esses elementos também foram constatados em concentrações relativamente altas para todas as amostras, sendo que a concentração de Al variou de 45.784,0 a 86.881,2 mg kg^{-1} e Fe variou de 1.830,6 a 4.943,5 mg kg^{-1} de lodo.

O IVG foi mais afetado que o % G, corroborando com os estudos de Guerra e Angelis (2009), os quais afirmam a maior sensibilidade desse parâmetro (IVG) para expressar resultados de fitotoxicidade. Os metais presentes no lodo têxtil, de modo particular o Cr, podem exercer efeitos adversos na morfologia, crescimento e processos fotossintéticos das plantas, causando inibição nas atividades enzimáticas, alterações na permeabilidade da membrana e distúrbios na nutrição (Panda e Chouldhury, 2005). Alguns metais podem afetar a absorção de água pelas sementes, ou ainda, o atraso na germinação pode ser devido ao potencial osmótico das soluções, uma vez que baixos potenciais osmóticos (maior concentração de solutos) nos extratos pode levar à redução da pressão de turgor das plantas (Guerra e Angelis, 2009).

No teste com bulbos, o alongamento radicular (AR) se destacou como parâmetro mais sensível aos extratos de lodo têxtil, sendo a inibição do crescimento radicular um dos principais indicadores para estudos de fitotoxicidade (El Hammadi et al., 2007; Samuel et al., 2010). De acordo com Guerra e Angelis (2009), a avaliação do efeito inibitório sobre o crescimento da raiz permite testar o efeito tóxico de compostos solúveis presentes em níveis de concentração abaixo do necessário para apresentar efeitos inibitórios sobre a germinação, mas que são capazes de retardar ou inibir completamente os processos de crescimento radicular. Dessa forma, esse parâmetro constitui indicador sub-letal muito sensível para a avaliação de efeitos biológicos em plantas. Ainda de acordo com esses autores, ao observar e medir o comprimento de raízes jovens e comparar estas medidas com um controle pode-se inferir a presença de compostos tóxicos no ambiente. El Hammadi et al. (2007), em estudos de fitotoxicidade com lodo têxtil utilizando sementes de *Helianthus annuus* L., concluíram que o AR é um dos parâmetros mais sensíveis para a avaliação da toxicidade deste tipo de amostra. A redução deste parâmetro foi observada também em *A. cepa* exposta à efluente têxtil (Samuel et al., 2010). Araújo et al. (2005) utilizando sementes de *Glycine max* L. Merrill e *Triticum aestivum* L. concluíram que o AR foi mais sensível que o CPA às altas concentrações de lodo têxtil, o que também foi observado no presente trabalho. Ali et al. (2004) observaram que as raízes são mais sensíveis que a parte aérea à presença de metais devido ao fato de que a toxicidade desses elementos inicia-se na raiz, que é o principal órgão da planta tanto na sua absorção quanto no seu acúmulo. Corroborando os resultados obtidos por Sundaramoorthy et al. (2010), os quais constataram que o Cr se acumula tanto nas raízes quanto na parte aérea de *Oryza sativa* L., entretanto em maior proporção nas raízes.

No presente estudo foi observado o incremento do NR e estímulo do AR de bulbos expostos às baixas concentrações dos extratos de lodo têxtil e inibição desses parâmetros em altas concentrações (Tabela 3). Patnaiket al. (2013) encontraram resultados semelhantes, sendo observado estímulo no AR de bulbos de cebola expostos a $12,5 \mu\text{M}$ de Cr e sua inibição em altas concentrações ($25\text{-}200 \mu\text{M}$ de Cr).

3.3. Avaliação da citogenotoxicidade

Considerando os valores de IC50 referentes ao IM, podemos observar que, de maneira geral, as amostras de lodo têxtil não apresentaram citotoxicidade, novamente com exceção para a amostra 1 nos testes com sementes e as amostras 1 e 5 nos testes com bulbos (Tabela 4).

Tabela 4. Valores de IC50 (% de extrato aquoso de lodo) de amostras de lodo têxtil para os parâmetros de citogenotoxicidade em sementes e bulbos de *Allium cepa* L.

	Amostra	IM	MN	PA	PT	CM	S	CP
Sementes	1	49,2	NT	38,9	33,3	45,0	76,7	50,0
	2	NT	98,3	NT	35,0	50,0	NT	NT
	3	NT	92,5	NT	37,3	83,8	NT	75,0
	4	NT	14,03	NT	NT	17,14	NT	100,0
	5	NT	NT	70,4	NT	70,0	NT	NT
Bulbos	1	10,1	NT	NT	45,0	15,0	86,7	90,0
	2	NT	NT	NT	90,0	NT	NT	40,0
	3	NT	94,8	NT	NT	NT	NT	NT
	4	NT	15,8	NT	NT	70	17,0	NT
	5	88,8	NT	NT	90,0	13,3	98,0	NT

NT = Não tóxico. IM = Índice mitótico; MN = Micronúcleo; PA = Ponte em anáfase; PT = Ponte em telófase; CM = C-metáfase; S = *Stickiness*; CP = Cromossomos perdido.

Para os testes com sementes de *A. cepa*, pode-se afirmar que a amostra 1 apresenta a maior citotoxicidade, visto que a partir da concentração de 20 % do extrato houve redução na taxa de divisão celular, e essa redução foi ainda mais acentuada nas concentrações 60, 80 e 100 %. Para as demais amostras, a redução do IM foi observada somente nas maiores concentrações. De maneira geral, as amostras não causaram alterações significativas nos valores de IM das raízes de bulbos expostas ao lodo, com exceção para as menores concentrações das amostras 2 e 3, em que foi observada maior taxa de células em divisão, mostrando que o lodo têxtil estimulou a divisão celular (Tabela5).

O índice mitótico reflete a frequência de divisões celulares e representa um importante parâmetro para a determinação do crescimento radicular (Liu et al., 1992). De acordo com Panda e Chouldhury (2005), a redução no crescimento radicular em presença de Cr pode ser explicada pela inibição da divisão celular da raiz, devido ao colapso dos tecidos e a incapacidade das raízes em absorver água. A inibição do crescimento radicular também pode ser atribuída à formação de espécies reativas de oxigênio, morte celular, peroxidação lipídica, inibição das enzimas antioxidantes, danos ao DNA e AC (Panda e Chouldhury, 2005; Patnaik et al., 2013; Shanker et al., 2005). Outra constatação refere-se à diferença na sensibilidade entre raízes provenientes de sementes e bulbos para detectar citotoxicidade. Observou-se ainda maior sensibilidade de sementes em relação aos bulbos (Tabela5), que parece estar relacionada ao maior tempo de exposição das sementes aos extratos de lodo até a emergência das raízes, propiciando maior absorção e efeitos deletérios dos elementos tóxicos.

Tabela 5. Efeito das amostras de lodo têxtil no índice mitótico de zona meristemática de raízes provenientes de sementes e bulbos de *Allium cepa* L.

Amostra	[] (%)	Índice mitótico (%)	
		Sementes	Bulbos
1	CN	23,4 ± 2,7 a	19,0 ± 0,0 a
	20	19,2 ± 1,4 b	19,2 ± 2,2 a
	40	13,4 ± 1,2 c	15,1 ± 1,3 a
	60	9,8 ± 0,7 d	16,3 ± 1,4 a
	80	8,7 ± 1,1 d	10,2 ± 0,5 b
	100	7,2 ± 0,1 d	6,5 ± 0,6 b
	CP	15,8 ± 0,6 b	15,0 ± 0,0 a
2	CN	17,1 ± 0,9 a	16,0 ± 0,0 b
	20	14,8 ± 0,6 a	22,1 ± 0,8 a
	40	12,6 ± 1,0 b	21,9 ± 0,3 a
	60	12,4 ± 1,2 b	20,5 ± 0,7 a
	80	13,5 ± 1,4 b	18,5 ± 0,7 b
	100	11,4 ± 0,7 b	9,2 ± 1,8 c
	CP	15,2 ± 0,4 a	9,0 ± 0,0 d
3	CN	19,7 ± 0,5 a	18,0 ± 0,0 b
	20	20,4 ± 2,5 a	23,2 ± 1,3 a
	40	20,9 ± 1,0 a	21,4 ± 0,2 a
	60	18,2 ± 1,3 a	20,6 ± 0,3 a
	80	18,1 ± 1,3 a	19,5 ± 0,7 b
	100	12,7 ± 0,9 b	15,1 ± 1,9 b
	CP	16,8 ± 0,7 a	8,0 ± 0,0 c
4	CN	22,3 ± 0,8 a	18,0 ± 0,0 a
	20	19,9 ± 1,3 a	14,7 ± 1,4 a
	40	21,8 ± 0,3 a	15,7 ± 1,0 a
	60	19,8 ± 1,0 a	16,7 ± 0,8 a
	80	17,6 ± 0,5 b	15,4 ± 4,2 a
	100	16,0 ± 0,3 b	11,3 ± 1,1 a
	CP	20,3 ± 1,6 a	4,0 ± 0,0 b
5	CN	20,2 ± 1,2 a	19,0 ± 0,0 a
	20	16,8 ± 0,7 a	18,8 ± 1,1 a
	40	16,4 ± 1,2 a	20,1 ± 1,5 a
	60	17,1 ± 0,2 a	18,6 ± 0,8 a
	80	14,1 ± 1,9 b	18,6 ± 0,9 a
	100	12,6 ± 1,0 b	8,4 ± 1,4 b
	CP	17,6 ± 1,2 a	8,0 ± 0,0 b

Letras iguais na coluna, dentro da mesma amostra, não diferem estatisticamente ($p > 0,05$) pelo teste Scott-Knott. IM = Índice mitótico ± erro padrão; CN = controle negativo. CP = Controle positivo. As análises citogenéticas foram realizadas contabilizando 6000 células por tratamento.

Anormalidades cromossômicas, sobretudo altas frequências de micronúcleos (MN), foram verificadas, tanto em raízes provenientes de sementes quanto de bulbos, indicando genotoxicidade do lodo têxtil. Entretanto, considerando raízes provenientes de sementes foi verificada maior frequência de MN para a amostra 4 (total de 441) e para a amostra 1 (total de 136) nas raízes de bulbos, sendo esses dados obtidos a partir do somatório de MN das concentrações de cada amostra. A anormalidade denominada *stickiness* também foi encontrada em altas frequências, sendo as amostras 4 (130) e 5 (115) as que apresentaram maiores valores para raízes de sementes e bulbos, respectivamente. Além disso, a genotoxicidade do lodo têxtil pode ser constatada devido à alta porcentagem total de AC, sendo as amostras 4 e 1 as que apresentaram maior percentual com valores de 11,9 e 4,0 para raízes provenientes de sementes e bulbos, respectivamente (Tabela 6).

Tabela 6. Anormalidades cromossômicas em células de raízes provenientes de sementes e bulbos de *Allium cepa* L. expostas aos extratos aquosos das amostras de lodo têxtil.

Amostra	C	AC contabilizadas em 6000 células													
		Sementes							Bulbos						
		MN	PA	PT	CM	S	CP	FAC	MN	PA	PT	CM	S	CP	FAC
1	CN	32	5	0	7	4	8	0,93	21	3	0	3	9	0	0,60
	20	42	14	4	7	15	24	1,77	14	18	3	0	9	0	
	40	27	4	0	4	13	13	1,02	32	6	1	0	14	1	
	60	63	2	0	2	13	1	1,35	30	7	0	0	16	2	
	80	55	5	5	5	3	9	1,23	20	4	0	4	7	2	
	100	29	2	1	2	6	3	0,72	40	7	0	1	4	0	
	CP	81	16	9	8	32	39	3,08	57	9	0	0	18	0	
2	CN	80	13	8	4	3	16	2,07	6	3	0	0	0	0	0,15
	20	50	11	7	4	7	22	1,68	19	1	1	0	6	4	
	40	92	11	2	6	4	17	2,20	27	8	0	1	11	1	
	60	82	9	4	0	18	10	2,05	21	11	0	0	7	1	
	80	62	11	2	0	28	12	1,92	12	12	3	0	14	0	
	100	38	7	3	0	13	13	1,23	18	13	0	1	14	2	
	CP	160	13	10	6	20	19	3,80	87	0	0	3	3	6	
3	CN	61	2	5	1	3	3	1,25	15	15	0	0	12	0	0,70
	20	40	2	5	3	15	8	1,22	7	3	0	0	5	1	
	40	41	7	3	4	19	13	1,45	13	6	0	0	13	1	
	60	41	5	3	5	23	7	1,40	10	10	0	0	10	0	
	80	58	3	6	2	21	3	1,55	19	14	0	0	12	1	
	100	22	5	2	0	18	2	0,82	6	4	0	4	11	1	
	CP	63	5	8	6	33	21	2,27	27	0	0	0	0	0	
4	CN	140	2	5	4	5	11	2,78	3	3	0	0	18	0	0,40
	20	129	12	5	1	23	12	3,03	11	2	0	1	6	2	
	40	79	9	4	1	19	7	1,98	5	1	0	1	5	0	
	60	104	15	4	3	41	16	3,05	7	3	0	2	2	0	
	80	81	15	2	1	22	14	2,25	5	3	0	0	7	0	
	100	48	9	9	0	25	6	1,62	13	8	0	0	17	3	
	CP	107	27	7	4	40	9	3,24	12	0	0	0	0	0	
5	CN	50	10	3	0	10	6	1,32	15	0	0	6	15	0	0,60
	20	68	14	6	1	10	10	1,82	9	5	0	1	34	1	
	40	102	11	4	1	24	8	2,50	11	0	0	2	18	4	
	60	56	13	2	1	25	6	1,72	17	6	0	0	29	1	
	80	102	4	4	0	19	8	2,28	17	6	2	1	24	4	
	100	82	5	3	0	27	7	2,07	8	2	0	1	10	2	
	CP	175	10	9	0	63	19	4,60	90	0	0	0	6	3	

C = Concentração; MN = Micronúcleo; PA = Ponte em anáfase; PT = Ponte em telófase; CM = C-metáfase; S = *Stickiness*; CP = Cromossomos perdido; FAC (%) = Frequência de anormalidades cromossômicas; CN = controle negativo. CP = Controle positivo. As análises citogenéticas foram realizadas contabilizando 6000 células por tratamento.

A alta frequência de micronúcleos (MN) encontrada em todos os tratamentos com lodo têxtil, tanto para os testes com sementes quanto bulbos, confirmou a genotoxicidade das amostras. O MN é uma massa de cromatina citoplasmática com a presença de um núcleo pequeno originado de um fragmento acêntrico, e são originados por alterações no DNA que as células não conseguem reparar podendo ser repassadas para as futuras gerações celulares, portanto, facilmente fixadas nos organismos (Fargaová, 2012). As AC como cromossomos ou fragmentos perdidos podem dar origem aos MN, sendo verificadas, no presente trabalho, a correlação entre a alta frequência de MN e de CP. Estudos realizados por Oliveira et al. (2012) mostraram que a frequência de MN observada em células do meristema radicular de *A. cepa* indica a presença de substâncias aneugênicas (inibidoras das fibras do fuso acromático).

De acordo com Leme e Marin-Morales (2009), as AC indicadoras de efeitos clastogênicos são aquelas que apresentam pontes e quebras das cromátides; enquanto as que resultam de efeitos aneugênicos são perda e atraso de cromossomos, *stickiness*, núcleo multipolar e C-metáfase. A presença de cromossomos *stickiness* reforça as evidências da ação aneugênica de todos os extratos de lodo. Provavelmente, substâncias presentes nos extratos interferem na formação do fuso mitótico ou induzem a quebra dos telômeros. Em decorrência disso, o processo normal de condensação é alterado e aglomerados de cromossomos se formam nas células. Além disso, devido às quebras nos telômeros, outras anormalidades surgem a partir dos *stickiness*, tais como eventos de fusão e pontes (Türkoglu, 2008). De maneira geral, pode-se dizer que as AC do tipo *stickiness*, encontradas no presente estudo, provavelmente são devido à condensação anormal e dobramento dos cromossomos, onde histonas e outras proteínas responsáveis pelo arranjo cromossômico são afetadas, sendo que os cromossomos *stickiness* refletem severo efeito tóxico podendo levar à morte celular (Saxena et al., 2010).

4. CONCLUSÃO

Em geral, para *Allium cepa* L., os extratos de lodo têxtil apresentaram baixa fitotoxicidade, exceto o da amostra 1. A fitotoxicidade da amostra 1 parece estar ligada principalmente a elevada concentração de cromo, que excedeu o valor máximo permitido pela CONAMA 375 (BRASIL, 2006). Pode-se inferir que essa diferença na concentração de cromo e, conseqüentemente, na toxicidade entre as amostras está relacionada a diferentes produtos utilizados em cada período do ano, e que no período anterior a julho foram utilizados produtos, incluindo corantes contendo cromo, com maior potencial fito e citogenotóxico.

Os parâmetros de citogenotoxicidade foram sensíveis e adequados para avaliação dos extratos aquosos das amostras de lodo têxtil, sendo as sementes mais sensíveis que os bulbos de *A. cepa* para avaliação da citogenotoxicidade dos extratos lodo têxtil. A inibição do IM, a alta frequência de MN, bem como elevada taxa total de AC encontrada nas amostras, tanto para os testes com sementes quanto bulbos, demonstraram a citogenotoxicidade do lodo. Assim a avaliação da genotoxicidade desse tipo de resíduo industrial utilizando testes com plantas superiores parece ser uma ferramenta útil para minimizar os impactos ambientais do seu descarte. E, considerando os efeitos observados, é inadequado dispor o lodo têxtil, sem tratamento prévio, em solos uma vez que este pode levar a danos aos organismos terrestres.

5. REFERÊNCIAS

- ALI, N. A.; ATER, M.; SUNAHARA, G. I., ROBIDOUX, P. Y. Phytotoxicity and bioaccumulation of copper and chromium using barley (*Hordeum vulgare* L.) in spiked artificial and natural forest soils. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 57, n. 3, p. 363-374, 2004. doi: 10.1016/S0147-6513(03)00074-5
- ALVIM, L. B.; KUMMROW, F.; BEIJO, L. A.; LIMA, C. A. A.; BARBOSA, S. Avaliação da citogenotoxicidade de efluentes têxteis utilizando *Allium cepa* L. **Revista Ambiente e Água**, v. 6, n. 2, p. 255-265, 2011. doi: 10.4136/ambi-agua.198
- ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Plant bioassays to assess toxicity of textile sludge compost. **Scientia Agrícola**, v. 62, n. 3, p. 286-290, 2005. doi: 10.1590/S0103-90162005000300013
- ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R.; CARDOSO, P. F. Composto de lodo têxtil em plântulas de soja e trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 6, p. 549-554, 2005. doi: 10.1590/S0100-204X2005000600004

- ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R.; CARVALHO, E. M. S. Effect of composted textile sludge on growth, nodulation and nitrogen fixation of soybean and cowpea. **Bioresource Technology**, v. 98, p. 1028-1032, 2007. doi: 10.1016/j.biortech.2006.04.028
- ARAÚJO, A. S. F.; SAHYOUN, F. K.; MONTEIRO, R. T. R. Evaluation of toxicity of textile sludge compost on seed germination and root elongation of soybean and wheat. **Ecossistema**, v. 26, p.117-120, 2001. doi: 10.1590/S0103-90162005000300013
- BARBÉRIO, A.; VOLTOLINI, J. C.; MELLO, M. L. S. Standardization of bulb and root sample sizes for the *Allium cepa* test. **Ecotoxicology**, v. 20, p. 927-935, 2011. doi: 10.1007/s10646-011-0602-8
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Coordenação-Geral de Apoio Laboratorial; Murilo Carlos Muniz Veras (Org.) – Brasília: MAPA/SDA/CGAL, 2014. 220 p.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução CONAMA n° 375 de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. **D. O. U.**, 29 de agosto de 2006.
- EL HAMMADI, M. A.; TRABELSI, M.; HANCHI, B. Phytotoxicity of Tunisian municipal and textile sludges compared to the produced compost. **Asian Journal of Agricultural Research**, v. 1, p. 86-91, 2007. doi: 10.3923/ajar.2007.86.91
- FARGAŠOVÁ, A. Plants as models for chromium and nickel risk assessment. **Ecotoxicology**, v. 21, n. 5, p. 1476-1483, 2012. doi: 10.1007/s10646-012-0901-8
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011. doi: 10.1590/S1413-70542011000600001
- FISKESJÖ, G. The *Allium* test as a standard in environmental monitoring. **Hereditas**, v. 102, p. 99-112, 1985. doi: 10.1111/j.1601-5223.1985.tb00471.x
- GOMES, L. S.; SILVA, F. A.; BARBOSA, S.; KUMMROW, F. Ecotoxicity of sludges generated by textile industries: A review. **Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology**, v. 7, n. 1, p. 89-96, 2012. doi: 10.5132/jbse.2012.01.013
- GUARANTINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. Corantes Têxteis. **Química Nova**, v. 23, n. 1, p. 71-78, 2000. doi: 10.1590/S0100-40422000000100013
- GUERRA, R. C.; ANGELIS, D. F. Toxicidade do lodo gerado pelo tratamento biológico da água de produção, no terminal marítimo Almirante Barroso, município de São Sebastião, SP. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 76, n. 2, p. 259-267, 2009.
- IQBAL, M. *Vicia faba* bioassay for environmental toxicity monitoring: A review. **Chemosphere**, v. 144, p. 785-802, 2016. doi: 10.1016/j.chemosphere.2015.09.048
- KANT, R. Textile dyeing industry an environmental hazard. **Natural Science**, v. 4, p. 22-26, 2012. doi: 10.4236/ns.2012.41004
- LEME, D. M.; MARIN-MORALES, M. A. *Allium cepa* test in environmental monitoring: A review on its application. **Mutation Research**, v. 682, p. 71-81. 2009. doi: 10.1016/j.mrrev.2009.06.002
- LIANG, X.; NING, X.; CHEN, G.; LIN, M.; LIU, J.; WANG, Y. Concentrations and speciation of heavy metals in sludge from nine textile dyeing plants. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 98, p. 128-134, 2013. doi: 10.1016/j.ecoenv.2013.09.012
- LIU, D.; JIANG, W.; LI, M. Effects of trivalent and hexavalent chromium on root growth and cell division of *Allium cepa*. **Hereditas**, v. 117, n. 1, p. 23-29, 1992. doi: 10.1111/j.1601-5223.1992.tb00003.x
- MASELLI, B. S.; LUNA, L. A. V.; PALMEIRA, J. O.; TAVARES, K. P.; BARBOSA, S.; BEIJO, L. A.; UMBUZEIRO, G. A.; KUMMROW, F. Ecotoxicity of raw and treated

- effluents generated by a veterinary pharmaceutical company: a comparison of the sensitivities of different standardized tests. **Ecotoxicology**, v. 24, p. 795-804, 2015. doi: 10.1007/s10646-015-1425-9
- OLIVEIRA, H. Chromium as an environmental pollutant: insights on induced plant toxicity. **Journal of Botany**, v. 2012, p. 1-8, 2012. doi: 10.1155/2012/375843
- PALÁCIO, S. M.; CUNHA, M. B.; ESPINOZA-QUIÑONES, F. R.; NOGUEIRA, D. A. Toxicidade de metais em soluções aquosas: um bioensaio para sala de aula. **Química Nova na Escola**, v. 35, n. 2, p. 79-83, 2013.
- PANDA, S. K.; CHOUDHURY, S. Chromium stress in plants. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v. 17, n. 1, p. 95-102, 2005.
- PATNAIK, A. R.; ACHARY, V. M. M.; PANDA, B. B. Chromium (VI)-induced hormesis and genotoxicity are mediated through oxidative stress in root cells of *Allium cepa* L. **Plant Growth Regulation**, v. 71, p. 157-170, 2013. doi: 10.1007/s10725-013-9816-5
- RODRIGUES, M. T. T. Empleo de los ensayos con plantas en el control de contaminantes tóxicos ambientales. **Revista Cubana de Higiene y Epidemiología**, v. 41, n. 3, p. 2-3, 2003.
- ROSA, E. V. C.; GIURADELLI, T. M.; CORRÊA, A. X. R.; RÖRIG, L. R.; SSHWINGEL, P. R.; RESGALLA-JR, C.; RADETSKI, C. M. Ecotoxicological evaluation of the short term effects of fresh and stabilized textile sludges before application in forest soil restoration. **Environmental Pollution**, v. 146, p. 463-469, 2007b. doi: 10.1016/j.envpol.2006.07.005
- ROSA, E. V. C.; MATERA, L.; SOUZA-SIERRA, M. M.; RÖRIG, L. R.; VIEIRA, L. M.; RADETSKI, C. M. Textile sludge application to non-productive soil: Physico-chemical and phytotoxicity aspects. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 68, p. 91-97, 2007a. doi: 10.1016/j.ecoenv.2006.06.006
- SAMUEL, O. S.; OSUALA, F. I.; ODEIGAH, P. G. C. Cytogenotoxicity evaluation of two industrial effluents using *Allium cepa* assay. **African Journal of Environmental Science and Technology**, v. 4, n. 1, p. 21-27, 2010.
- SAXENA, P. N.; GUPTA, S. K.; MURTHY, R. C. Carbofuran induced cytogenetic effects in root meristem cells of *Allium cepa* and *Allium sativum*: a spectroscopic approach for chromosome damage. **Pesticide Biochemistry Physiology**, v. 96, p. 93-100, 2010. doi: 10.1016/j.pestbp.2009.09.006
- SHANKER, A. K.; CERVANTES, C.; LOZA-TAVERA, H.; AVUDAINAYAGAM, S. Chromium toxicity in plants. **Environment International**, v. 31, n. 5, p. 739-53, 2005. doi: 10.1016/j.envint.2005.02.003
- SUNDARAMOORTHY, P.; CHIDAMBARAM A.; GANESH, K. S.; UNNIKANNAN, P.; BASKARAN, L. Chromium stress in paddy: (i) nutrient status of paddy under chromium stress, (ii) phytoremediation of chromium by aquatic and terrestrial weeds. **Comptes Rendus Biologies**, v. 333, n. 8, p. 597-607, 2010. doi: 10.1016/j.crv.2010.03.002
- TÜRKOGLU, S. Evaluation of genotoxic effects of sodium propionate, calcium propionate and potassium propionate on the root meristem cells of *Allium cepa*. **Food and Chemical Toxicology**, v. 46, n. 6, p. 2035-2041, 2008. doi: 10.1016/j.fct.2008.01.043