

Análise univariada e multivariada nos efeitos ecotoxicológicos do cromo na germinação de sementes de *Parkia pendula* (willd.) Walp.

A presença de metais pesados na Amazônia vem crescendo desde o século passado, devido a exploração antrópica em áreas onde ficam localizados recursos hídricos e florestais, no qual a atividade mais realizada é a mineração. O visgueiro (*Parkia pendula*), espécie florestal da Amazônia brasileira, pode ter utilidade para recuperação de áreas degradadas, e ser utilizada como planta fitorremediadora. Sendo assim, coube a este estudo realizar análises univariadas (quantitativas e qualitativas) e multivariada (PCA) para avaliar índices germinativos da espécie *Parkia pendula* submetidas a concentrações crescentes de cromo, devido a esta planta ser pouco conhecida sobre seu potencial fitorremediador. O trabalho foi realizado em uma sala de crescimento, na temperatura constante de 30°C com fotoperíodo de 12h, conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com cinco tratamentos, sendo eles através da solução aquosa de cloreto de cromo III (CrCl₃.6H₂O), feitas nas concentrações correspondentes a 0 mM (controle), 2,5mM, 5 mM, 7,5 mM e 10 mM. A porcentagem de germinação das sementes foi de 96% nas sementes do tratamento controle, e quando ocorreu a aplicação do cromo esse percentual reduziu para 73,6%, uma possível explicação para este fato é que cromo agiu no metabolismo enzimático bloqueando o crescimento do eixo embrionário. Quanto maior as dosagens de cromo, menor o CVG, IVG e quantidade de sementes viáveis, e maior o TMG e sementes inviáveis, tais fatores podem ser decorrentes do estímulo do CrCl₃.6H₂O sob o bloqueio da síntese de enzimas hidrolíticas, diminuindo açúcares importantes para que ocorra a germinação e viabilidade da semente. Na análise multivariada de componentes principais, a variabilidade dos dados é explicada em 89,2% na dimensão 1 e 8,3% na dimensão 2, totalizando 97,5% da variabilidade total dos dados, com baixa contribuição da porcentagem de germinação e alta contribuição dos índices TMG, CVG e IVG. A aplicação das concentrações de cromo nas sementes de *Parkia pendula* prejudicaram no processo germinativo da espécie, e o tratamento com 10 mM apresenta-se mais prejudicial para a porcentagem de germinação.

Palavras-chave: Metais pesados; Amazônia brasileira; Fitorremediação.

Univariate and multivariate analysis on the ecotoxicological effects of chromium on *Parkia pendula* (willd.) Walp. Seed germination

The presence of heavy metals in the Amazon has been growing since the last century, due to anthropic exploitation in areas where water and forest resources are located, in which the most common activity is mining. Visgueiro (*Parkia pendula*), a forest species from the Brazilian Amazon, can be useful for the recovery of degraded areas, and be used as a phytoremediation plant. Therefore, it was up to this study to carry out univariate (quantitative and qualitative) and multivariate (PCA) analyses to evaluate germination rates of the *Parkia pendula* species subjected to increasing concentrations of chromium, due to this plant being little known about its phytoremediation potential. The work was carried out in a growth room, at a constant temperature of 30°C with a photoperiod of 12 hours, conducted in a completely randomized design (DIC), with five treatments, namely through the aqueous solution of chromium chloride III (CrCl₃.6H₂O), made at concentrations corresponding to 0 mM (control), 2.5 mM, 5 mM, 7.5 mM and 10 mM. The percentage of seed germination was 96% in the seeds without contact with the metal, and when chromium is applied this percentage reduces to 73.6%, a possible explanation for this fact is that chromium acts in the enzymatic metabolism blocking the growth of the embryonic axis. The higher the chromium dosage, the lower the CVG, IVG and amount of viable seeds, and the higher the TMG and non-viable seeds, such factors may be due to the stimulus of CrCl₃.6H₂O under the blockade of the synthesis of hydrolytic enzymes, reducing sugars important for seed germination and viability. In the multivariate analysis of principal components, data variability is explained by 89.2% in dimension 1 and 8.3% in dimension 2, totaling 97.5% of the total data variability, with low contribution from germination percentage and high contribution of the TMG, CVG and IVG indices. The application of chromium concentrations in *Parkia pendula* seeds impairs the germination process of the species, and the treatment with 10 mM is more harmful for the germination percentage.


Keywords: Heavy metals; Brazilian Amazon; Phytoremediation.


Topic: **Desenvolvimento, Sustentabilidade e Meio Ambiente**


Received: **11/12/2022**


Approved: **28/12/2022**


Reviewed anonymously in the process of blind peer.


Thalisson Johann Michelon de Oliveira 
Universidade Federal Rural da Amazônia,
Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0584202669056603>
<http://orcid.org/0000-0001-5410-732X>
thalissonjohann@hotmail.com


Ana Carolina Maia de Souza 
Universidade Federal Rural da Amazônia,
Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8982333978096609>
<http://orcid.org/0000-0003-4869-8543>
maiacarol2608@gmail.com


Eniel David Cruz 
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária,
Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0701265540069449>
<http://orcid.org/0000-0001-6003-3152>
eniell.cruz@embrapa.br


Dênmora Gomes de Araújo 
Universidade Federal Rural da Amazônia,
Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0359372594622313>
<http://orcid.org/0000-0001-9907-1105>
denmora.araujo@ufrpa.edu.br


Beatriz Guerreiro Holanda Silva 
Universidade Federal Rural da Amazônia,
Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3695484317424484>
<http://orcid.org/0000-0001-5952-8481>
guerreirohs33@gmail.com

Vitor Resende do Nascimento 
Universidade Federal do Pará, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1213706920786763>
<http://orcid.org/0000-0001-7620-7188>
vitoresf@gmail.com

Manoel Euclides do Nascimento 
Universidade Federal Rural da Amazônia,
Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7553350495254539>
<http://orcid.org/0000-0002-4363-8843>
nascimento-15@hotmail.com

Pâmela Emanuelle Sousa e Silva 
Universidade Federal Rural da Amazônia,
Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1549133850515385>
<http://orcid.org/0000-0003-2934-0714>
pamemanuelle2000@gmail.com

Glauco André dos Santos Nogueira 
Universidade Federal Rural da Amazônia,
Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1909328483731143>
<http://orcid.org/0000-0003-3229-5694>
glauand@yahoo.com.br

Cândido Ferreira de Oliveira Neto 
Universidade Federal Rural da Amazônia,
Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0327663489224028>
<http://orcid.org/0000-0002-6070-0549>
candido.neto@ufrpa.edu.br



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2022.012.0013

Referencing this:

OLIVEIRA, T. J. M.; SILVA, B. G. H.; SILVA, P. E. S.; SOUZA, A. C. M.; NASCIMENTO, V. R.; NOGUEIRA, G. A. S.; CRUZ, E. D.; NASCIMENTO, M. E.; OLIVEIRA NETO, C. F.; ARAÚJO, D. G.. Análise univariada e multivariada nos efeitos ecotoxicológicos do cromo na germinação de sementes de *Parkia pendula* (willd.) Walp.. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.13, n.12, p.130-137, 2022. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.012.0013>

INTRODUÇÃO

A presença de metais pesados na Amazônia tem sido decorrente desde o século passado, devido a exploração antrópica em áreas onde ficam localizados recursos hídricos e florestais, no qual a atividade mais realizada é a mineração (MATHIS et al., 1997). Além disso, liberação de outros meios tóxicos como: óleos, incineração de resíduos urbanos e industriais, fundição e refinamento têm sido comum (DUARTE, 2000), e têm causado malefícios para a saúde dos moradores próximos aos locais contaminados, visto que, a presença de metais e toxinas em bacias hidrográficas afetam também as vidas aquáticas, como os peixes, considerado o alimento contaminado mais ingerido pelos moradores (YI, 2012).

O fundo do lago Água Preta, localizado na Região Metropolitana de Belém, Estado do Pará, possui sedimento de metais pesados (OLIVEIRA et al., 2018), foi avaliado as concentrações desses elementos, o que teve maior evidência foi o cromo com concentração de 245 mg Kg⁻¹, o qual esteve acima do índice de investigação Agrícola APM_{max} do CONAMA. O trabalho também deixou evidente os efeitos da ação antrópica que o lago Água Preta vem sofrendo no decorrer dos anos, mostrando que os sedimentos do fundo se encontram impactados por metais pesados, altas cargas de matéria orgânica e nutrientes acima do ideal.

Um dos metais contaminantes no solo é o cromo (Cr), dependendo da sua forma, ou estágios de oxidação, pode ser considerado tóxico e cancerígeno ou, dependendo da concentração, é benéfico para seres humanos ou animais (ATSDR, 2012; STANIN et al., 2004). Suas principais utilizações são em processamento de couro e acabamento, em agentes de limpeza por galvanização, catalisadores, fabricação e produção de crômico, entre outros processamentos (COSTA, 2020).

São facilmente transportados no solo e podem atingir as águas subterrâneas quando ocorrem acidentes ou descarte irregular de resíduos de indústrias (SHAHID et al., 2017). Sobre a sua acumulação em vegetais, observa-se que ficam retidos a maior parte em raízes e apenas uma pequena parcela é transportada para as partes superiores da planta (WANG et al., 2002). O cromo causa efeitos negativos na planta, como: problemas na germinação, no crescimento de raízes, folhas e caules, diminuição da matéria seca e consequentemente acarretando uma menor produtividade de biomassa (COSTA, 2020).

A espécie *Parkia pendula* (Willd.) Walp., comumente conhecida por visgueiro, é pertencente à família Fabaceae, com ampla distribuição entre Espírito Santo à América Central. Esta árvore tem utilidade para paisagismo, recuperação de áreas degradadas e uso na carpintaria e marcenaria (FERRAZ et al., 2004).

A fitorremediação é considerada uma técnica de descontaminação de áreas que estão poluídas por meio de organismos vivos, pelo uso de vegetais e/ou microrganismos. Para metais pesados, esse processo já tem uma eficácia comprovada (ACCIOLY et al., 2000). Apesar de ser uma técnica de baixo custo, no Brasil ainda é desconhecida e pouco difundida pelos profissionais, visto que é em longo prazo que será vistos os efeitos desta técnica (TAVARES, 2009).

Sendo assim, coube a este estudo realizar análises estatísticas univariadas (Tukey e regressão) e multivariada (PCA) para avaliar índices germinativos da espécie *Parkia pendula* submetida a concentrações de prevenção e investigação de cromo, sendo ela uma espécie florestal da Amazônia brasileira, de

importância regional, porém pouco conhecida sobre seu potencial fitorremediador por metal pesado, mais especificamente o cromo.

METODOLOGIA

O experimento foi realizado no período de janeiro a fevereiro de 2022, na sala de crescimento do grupo de Estudo da Biodiversidade de Plantas Superiores (EBPS) (figura 1), localizado no Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Amazônia (ICA/UFRA). O trabalho foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com cinco tratamentos e cinco repetições, perfazendo 25 unidades experimentais, sendo cada unidade composta de uma bandeja com 25 sementes.

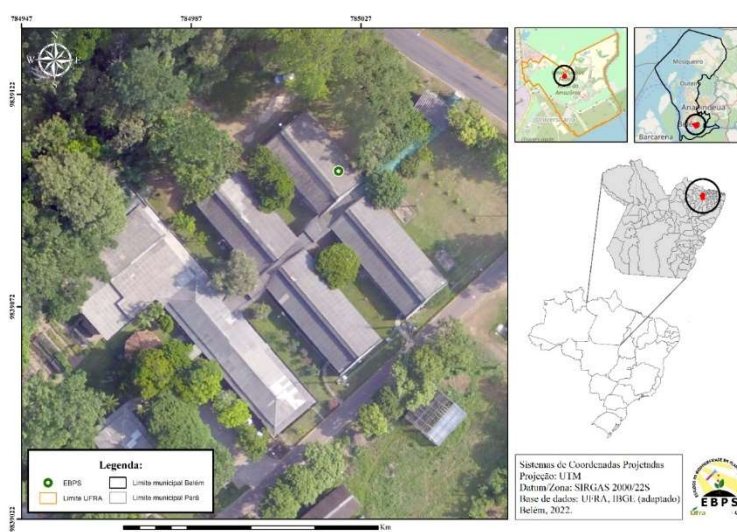


Figura 1: Mapa de localização do experimento.

As sementes foram desinfetadas com imersão por 10 minutos em solução de hipoclorito de sódio (NaClO) comercial, sendo posteriormente lavadas com água corrente por 5 minutos. As sementes de visgueiro (*Parkia pendula* [Willd.] Walp.) possuem dormência física, por isso foi utilizado o método de escarificação mecânica com lixa número 100, na região oposta à micrópila das sementes.

Para a avaliação do efeito tóxico do cromo (Cr) no processo germinativo, as sementes foram distribuídas em bandejas sobre três folhas de papel germitest® previamente autoclavadas, sendo umedecidas com água destilada ou solução, na proporção de 2,5 vezes o peso do papel. A solução aquosa de cloreto de cromo III ($\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), foi feita nas concentrações correspondentes a $0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (0 mM), $75 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (2,5 mM), $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (5 mM), $125 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (7,5 mM) e $150 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (10 mM). O nível zero correspondeu à testemunha, onde foi utilizada apenas água deionizada. A escolha dessas dosagens foi baseada nos valores de alerta e intervenção preconizados pela Resolução Conama nº 420 de 2009.

Após a semeadura, as bandejas foram acondicionadas na sala de crescimento, na temperatura constante de 30°C (ROSSETO et al., 2009) com fotoperíodo de 12h e monitoradas de acordo com as regras e instruções para análise de semente.

Foi avaliado a porcentagem de germinação, sementes viáveis e inviáveis. Já o tempo médio de germinação (TMG), coeficiente de velocidade de germinação (CVG) e índice de velocidade de germinação

(IVG) foi determinada com a metodologia de Czabator (1962), Kotowski (1962) e Maguire (1962), respectivamente.

A análise estatística das variáveis e geração dos gráficos foi realizada com auxílio do software R Studio versão 1.3.1093. Para Analysis of Variance (ANOVA) e Test Post-Hoc de Tukey foi utilizada a biblioteca ExpDes.pt e a função “dic”, o qual já realiza análise de normalidade dos resíduos pelo teste de Shapiro-Wilk e igualdade das variâncias pelo teste Bartlett para testar os pressupostos das análises paramétricas, com o nível de significância de 5%. Para a matriz de Correlação de Pearson foi utilizada a biblioteca corrplot e a função “cor.mtest” com o nível de significância também de 5%. Já a análise multivariada de componentes principais foi utilizada a biblioteca factoextra e a função “fviz_pca_biplot”.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A porcentagem de germinação das sementes foi de 96% nas sementes do tratamento controle, e quando ocorreu a aplicação do cromo esse percentual reduziu para 73,6% (Figura 2), uma possível explicação para este fato é que o cromo agiu no metabolismo enzimático bloqueando o crescimento do eixo embrionário (VENDRUSCOLO et al., 2016), atuando nas etapas de ativação do crescimento vegetativo do embrião, enfraquecendo a camada do endosperma que envolve o embrião e como consequência restringe o crescimento do endosperma (COSTA, 2020; SOUSA et al., 2020).

A toxicidade do cromo depende da capacidade de tolerância das espécies vegetais e do seu estado de valência (CASTILHOS et al., 2001). Cr III é menos tóxico quando comparado ao Cr VI (COSTA 2020), porém o fato do cromo não ser um elemento essencial para as plantas, não existe um sistema de transporte específico e sua absorção acaba sendo pelos transportadores dos metais essenciais.

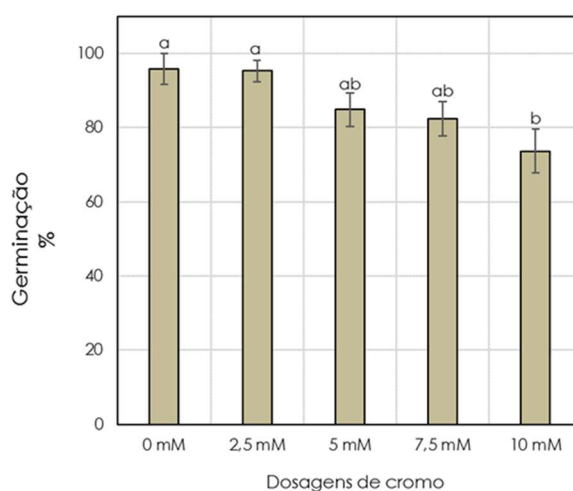


Figura 2: Porcentagem de germinação de sementes de visgueiro submetidas à estresse por cromo. As letras diferentes mostram diferença estatística, comparadas pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância.

Foi perceptível que a quanto maior as dosagens de cromo, menor a quantidade de sementes viáveis, e conseqüentemente aumenta o número de sementes inviáveis (Figura 3A). Ademais, houve uma redução nos índices germinativos CVG e IVG, e um leve aumento no tempo médio de germinação dessas sementes

submetidas ao metal (Figura 3B e 3C). No entanto, na dosagem 5 mM apresentou uma quantidade menor de sementes consideradas viáveis, podendo ser em decorrência da fitotoxidez. Caso semelhante ocorrido com a espécie arbórea *Myracrodruon urundeuva*, em que o solo estava com o teor de cromo superior a 150 mg.kg⁻¹ (FREITAS et al., 2020).

Tais fatores podem ser decorrentes do estímulo do CrCl₃.6H₂O sob o bloqueio da síntese de enzimas hidrolíticas (COSTA, 2020), que degradam polissacarídeos a monossacarídeos em que a cadeia de carbono é mais simples facilitando sua metabolização e, posteriormente, síntese de energia para as etapas germinativas, e como esse processo é bloqueado pelo metal pesado, há a consequência de menor germinação (TAIZ et al., 2017; SOUSA et al., 2020).

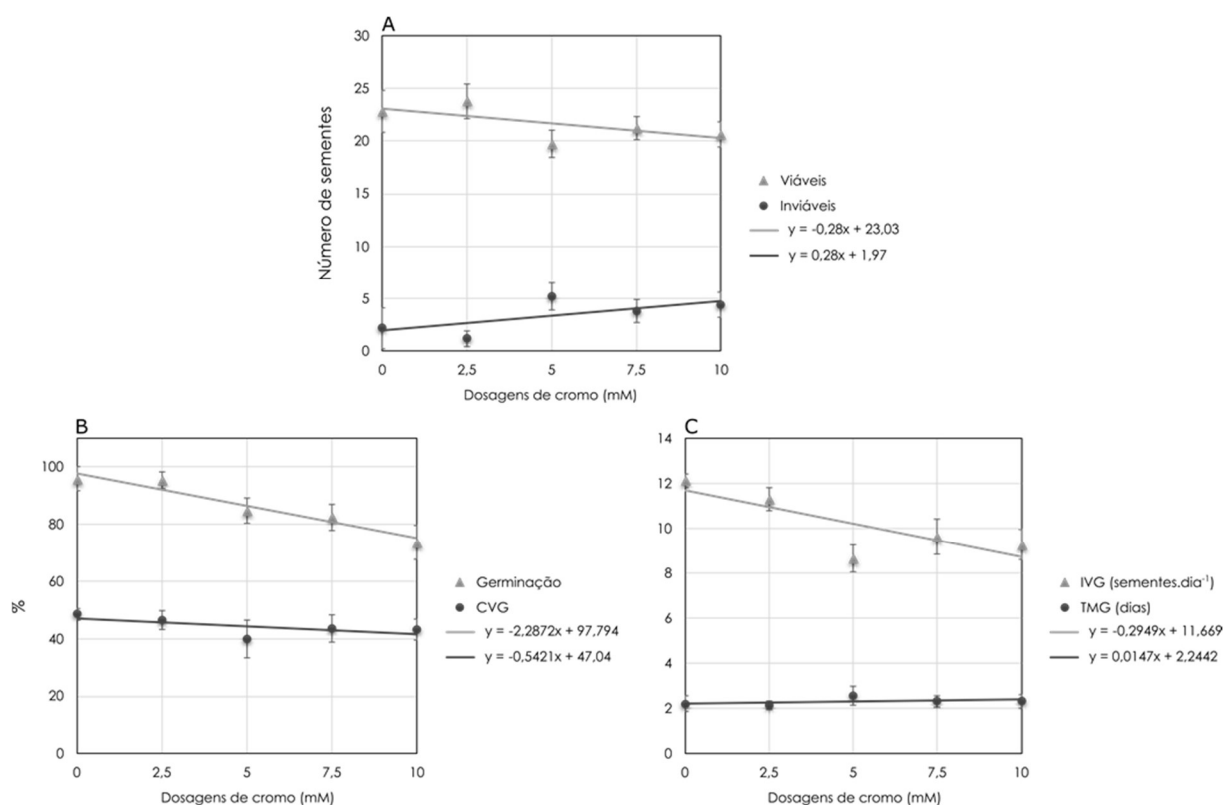


Figura 3: Número de sementes viáveis e inviáveis (A); porcentagem de germinação e CVG (B); IVG e TMG (C) de sementes de visgueiro submetidas à estresse por cromo.

Na interpretação de correlações estimadas entre as variáveis (figura 4), três aspectos devem ser considerados: a magnitude, a direção e a significância. Estimativas de coeficiente de correlação positivas indicam a tendência de uma variável aumentar quando o a outra aumenta, e correlações negativas indicam tendência de uma variável aumentar enquanto a outra diminui (NOGUEIRA et al., 2012). O coeficiente de correlação de Pearson (1892) classifica as correlações em: bem fracas (+/- 0,00 a 0,19), fracas (+/- 0,20 a 0,39), moderadas (+/- 0,40 a 0,69), fortes (+/- 0,70 a 0,89) e muito fortes (+/- 0,90 a 1,00).

De modo geral, a matriz com os coeficientes de correlação de Pearson reforça o comportamento observado mais detalhadamente nas figuras 2 e 3, simplificando a ligação que há entre os elementos que manifestaram significância, ou seja, as correlações. Estudos de Castilhos et al. (2001), também a respeito sobre o efeito deletério do cromo, revelou que quando o Cr é aplicado em dosagens superiores a 20 mg/L,

há redução na produção de matéria seca da parte aérea e radicular de soja, o número e peso de nódulos *Bradyrhizobium*, como também a fixação biológica de nitrogênio e absorção de nutrientes essenciais para a planta.

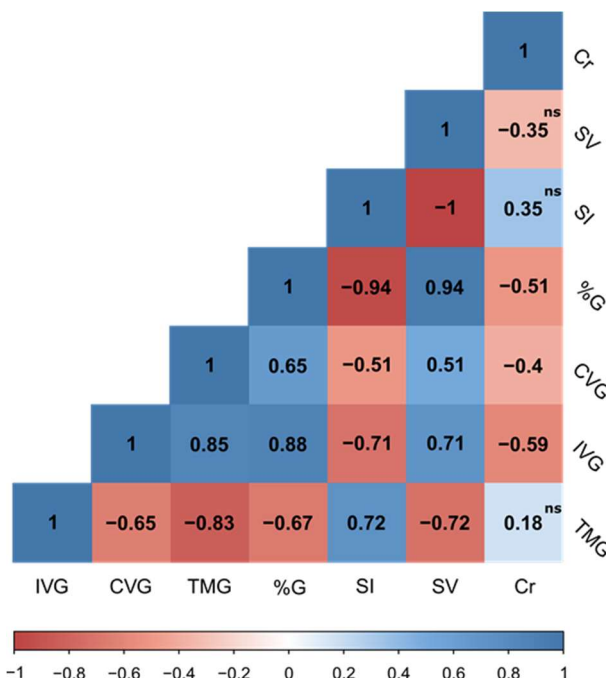


Figura 4: Coeficiente de correlação de Pearson para as sementes viáveis (SV), sementes inviáveis (SI), porcentagem de germinação (%G), tempo médio de germinação (TMG), coeficiente de velocidade de germinação (CVG) e índice de velocidade de germinação (IVG) da *Parkia pendula* sobre diferentes dosagens de cromo. ns Não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

As relações entre as variáveis de germinação e as diferentes dosagens de cromo podem ser visualizadas a partir da análise multivariada introduzindo o método de Análise de Componentes Principais (Principal Component Analysis - PCA), explorando as maneiras de determinar os componentes principais (PCs) e extrair alguns PCs que têm grande influência na variação de dados (YU et al., 2010). A variabilidade dos dados é explicada em 89,2% no eixo 1 e 8,3% no eixo 2, totalizando 97,5% da variabilidade total dos dados.

Há várias explicações para a baixa contribuição da germinação na PCA (15.75), uma delas é que em maiores concentrações de Cr, pode ocorrer pela toxicidade iônica sobre a viabilidade do embrião diminuindo o potencial osmótico das soluções mais concentradas implicando diretamente na absorção de água pelas sementes, que é o fator mais importante para o processo de germinação e viabilidade da semente (BEZINI et al., 2019).

Além disso, o estresse por metal pesado pode alterar as propriedades de permeabilização de seleção da membrana celular ocasionando uma degradação acelerada de nutrientes estocados no endosperma (SHAFIQ et al., 2008) e na homeostase celular acarretando um estresse oxidativo incluindo alterações nas enzimas do sistema de defesa antioxidante (PATEL et al., 2013), diminuição da hidrólise do amido e efeito da atividade de amilases (COSTA 2020), prejudicando o fornecimento de açúcar para eixos embrionários em desenvolvimento (MITTAL et al., 2015).

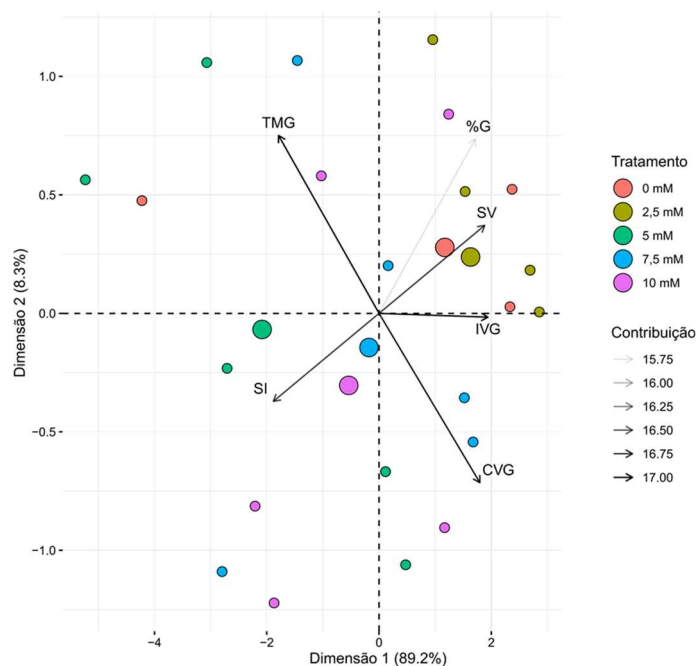


Figura 5: Análise de Componentes Principais (PCA) para as sementes viáveis (SV), sementes inviáveis (SI), porcentagem de germinação (%G), tempo médio de germinação (TMG), coeficiente de velocidade de germinação (CVG) e índice de velocidade de germinação (IVG) da *Parkia pendula* sobre diferentes dosagens de cromo.

CONCLUSÕES

A aplicação das concentrações de cromo nas sementes de *Parkia pendula* prejudicaram no processo germinativo. O tratamento com 10 mM apresenta-se mais prejudicial para a porcentagem de germinação. Os índices germinativos CVG e IVG são afetados significativamente conforme se aumenta a dosagem do metal, sendo uma relação indiretamente proporcional, enquanto o TMG tem uma correlação diretamente proporcional, muito baixa e não significativa. Na análise multivariada, a variabilidade dos dados totalizada em 97,5%, com baixa contribuição da porcentagem de germinação e alta contribuição dos índices TMG, CVG e IVG.

REFERÊNCIAS

ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O.. Contaminação química e biorremediação do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, v.1, p.299-352, 2000.

ATSDR. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. **Toxicological profile for chromm**. U.S. Department of Health and Human Services, 2012.

BEZINI, E.; ABDELGUERFI, A.; NEDJIMI, B.; TOUATI, M.; ADLI, B.; YABRIR, B.. Effect of some heavy metals on seed germination of *Medicago arborea* L. (Fabaceae). **Agriculturae Conspectus Scientificus**, v.84, n.4, p.357-364, 2019.

CASTILHOS, D. D.; GUADAGNIN, C. A.; SILVA, M. D.; LEITZKE, V. W.; FERREIRA, L. H.; NUNES, M. C.. Acúmulo de cromo e seus efeitos na fixação biológica de nitrogênio e absorção de nutrientes em soja. **Rev. Bras. de Agrociência**, v.7 n.2, p.121-124, 2001.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009**. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Brasília: CONAMA, 2009.

COSTA, J. R. S.. Efeitos da toxicidade do cromo em plantas. **Revista Intertox De Toxicologia, Risco Ambiental E Sociedade**, v.13, n.1, p.45-46, 2020. DOI: <http://doi.org/10.22280/revintervol13ed1.463>

CZABATOR, F. J.. Germination value: an index combining speed and completeness of pine seed germination. **Forest Science**, v.8, p.386-396, 1962. DOI: <http://doi.org/10.1093/forestscience/8.4.386>

DUARTE, R. P. S.. **Avaliação do cádmio (Cd), chumbo (Pb), níquel (Ni) e zinco (Zn) em solos e plantas às margens de**

uma rodovia de tráfego intenso de veículos. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2003.

FERRAZ, I. D. K.; FILHO, N. L.; IMAKAWA, A. M.; VARELA, V. P.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.. Características básicas para um agrupamento ecológico preliminar de espécies madeireiras da floresta de terra firme da Amazônia Central. **Acta Amazônica**, v.34, n.4, p.621-633, 2004. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0044-59672004000400014>

FREITAS, D. A.; SOUSA, I. P.; COUTINHO, M. N.; ALVARENGA, A. C.. Efeito dos metais pesados cobre e cromo no solo: germinação e desenvolvimento inicial de *Myracrodruon urundeuva*. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, Curitiba, v.3, n.1, p.162-171, 2020.

KOTOWSKI, F.. Temperature relations to germination of vegetable seed. Proceedings of the Am. Soc. **Horticultural Sci.**, v.23, p.176-184, 1962.

MAGUIRE, J. D.. Speed of Germination-Aid In Selection And Evaluation for Seedling Emergence And Vigor. **Crop Science**, v.2, n.2, 1962. DOI: <http://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>

MATHIS, A.; BRITO, D. C.; BRÜSEKE, F. J.. **Riqueza volátil: a mineração de ouro na Amazônia.** Belém: Cejup, 1997.

MITTAL, N.; VAID, P.; AVNEET, K.. Effect on amylase activity and growth parameters due to metal toxicity of iron, copper and zinc. **Indian Journal of Applied Research**, v.5, n.4, p.662-664, 2015.

NOGUEIRA, A. P. O.; SEDIYAMA, T.; SOUSA, L. B.; HAMAWAKI, O. T.; CRUZ, C. D.; PEREIRA, D. G.; MATSUO, É.. Análise de trilha e correlações entre caracteres em soja cultivada em duas épocas de semeadura. **Biosci. J.**, v.28, n.6, p.877-888, 2012.

OLIVEIRA, G. M. T. S.; OLIVEIRA, E. S.; SANTOS, M. L. S.; MELO, N. F. A. C.; KRAG, M. N.. Concentrações de metais pesados nos sedimentos do lago Água Preta (Pará, Brasil). **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v.23, n.3, p.599-605, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1590/S1413-41522018152875>

PATEL, H. V.; PARMAR, S. R.; CHUDASAMA, C. J.; MANGROLA, A. V.. Interactive studies of zinc with cadmium & arsenic on seed germination and antioxidant properties of *Phaseolus aureus* Roxb. **International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences**, v.3, n.1, p.166-174, 2013.

PEARSON, K.. **The grammar of science.** London: Dent and Company, 1892.

ROSSETO, J.; ALBUQUERQUE, M. C. F.; NETO, R. M. R.; SILVA, I. C. O.. Germinação de sementes de *Parkia pendula* (Willd.) Benth. ex Walp. (Fabaceae) em diferentes temperaturas.

Revista Árvore, v.33, n.1, p.47-55, 2009. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0100-67622009000100006>

SHAFIQ, M.; IQBAL, M. Z.; MOHAMMAD, A.. Effect of lead and cadmium on germination and seedling growth of *Leucaena leucocephala*. **Journal of Applied Sciences and Environmental Management**, v.12, n.3, 2008. DOI: <http://doi.org/10.4314/jasem.v12i3.55497>

SHAHID, M.; SHAMSHAD, S.; RAFIQ, M.; KHALID, S.; BIBI, I.; NIAZI, N. K.; DUMAT, C.; RASHID, M. I.. Chromium speciation, bioavailability, uptake, toxicity and detoxification in soilplant system: A review. **Chemosphere**, v.178, p.513-533, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.03.074>

SOUZA, A. C. M.; NOGUEIRA, G. A. S.; OLIVEIRA NETO, C. F.; CRUZ, E. D.; SILVA, B. G. H.; SILVA, A. C.; PANTOJA, J. S.. Effect of gibberellic acid on seed germination and initial biomass production in *Virola surinamensis* (Rol.) Warb. (Myristicaceae). **Research, Society and Development**, v.9, n.10, p.e7639109069, 2020. DOI: <http://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.9069>

STANIN, F. T.; PIRNIE, M.. The transport and fate of chromium (VI) in the environment. In: GUERTIN, J.; JACOBS, J. A.; AVAKIAN, C. P.. **Cr(VI) Handbook.** New York: CRC Press, 2004. chap.5, p.161-211. DOI: <http://doi.org/10.1201/9780203487969>

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A.. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal.** Artmed, 2017.

TAVARES, S. R. L.. **Fitorremediação em solo e água de áreas contaminadas por metais pesados provenientes da disposição de resíduos perigosos.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

VENDRUSCOLO, E. P.; CAMPOS, L. F. C.; MARTINS, A. P. B.; SELEGUINI, A.. GA3 em sementes de tomateiro: efeitos na germinação e desenvolvimento inicial de mudas. **Revista de Agricultura Neotropical**, v.3 n.4, p.19-23, 2016. DOI: <http://doi.org/10.32404/rean.v3i4.1165>

WANG, Q. R.; LIU, X. M.; CUI, Y. S.; DONG, Y. T.; CHRISTIE, P.. Responses of legume and non-legume crop species to heavy metal in soils with multiple metal contamination. **Journal of Environmental Science and Health: Part A**, v.37, n.4, p.611-621. 2002. DOI: <http://doi.org/10.1081/ESE-120003241>

YI, Y. J.; ZHANG, S. H.. Heavy metal (Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn) concentrations in seven fish species in relation to fish size and location along the Yangtze River. **Environmental Science and Pollution Research**, v.19, n.9, p.3989-3996, 2012. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11356-012-0840-1>

YU, H.; WU, Z.; BAO, T.; ZHANG, L.. Análise multivariada em dados de monitoramento de barragens com PCA. **Sci. China Technol. Sci.**, v.53, p.1088-1097, 2010. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11431-010-0060-1>