

EXPERIMENTAÇÃO CIENTÍFICA E EDUCAÇÃO AMBIENTAL NO CERRADO COM *MORINGA OLEIFERA*

*Scientific Experimentation and Environmental Education in the Cerrado Using
Moringa Oleifera*

Camila Regina Vale
Instituto Federal Goiano

Maria Thereza Guarnieri
Instituto Federal Goiano

Débora Martins Macêdo Nunes
Instituto Federal Goiano

RESUMO

O Cerrado goiano apresenta uma diversidade de espécies vegetais com potencial em alimentação, terapêutica, cosmética e agricultura. Entre elas, destaca-se *Moringa oleifera* (Moringaceae), reconhecida por seu valor ecológico, nutricional e ambiental. Este estudo, resultado de um projeto de pesquisa vinculado à extensão com estudantes do curso de Agronomia do Instituto Federal Goiano, teve como objetivo promover a educação ambiental por meio de oficinas com alunos de escolas públicas de Iporá-GO. As atividades integraram práticas experimentais e ações de sensibilização, estimulando a aprendizagem científica e a valorização da biodiversidade do Cerrado. Durante as oficinas, os participantes produziram o extrato vegetal de *M. oleifera* e realizaram testes de toxicidade utilizando o bioindicador *Allium cepa*. Raízes foram expostas a extratos nas concentrações de 0,3, 0,6 e 1,2 mg/mL, com água destilada e paracetamol como controles. Após 72 horas, os estudantes avaliaram o crescimento radicular e alterações morfológicas, relacionando os resultados à presença de compostos bioativos. As atividades foram complementadas por trilhas ecológicas na Fazenda Escola do Instituto Federal Goiano, permitindo o reconhecimento de espécies típicas do Cerrado e discussão de suas potencialidades, com ênfase em *M. oleifera*. Os resultados indicaram que o extrato apresentou leve atividade tóxica. As oficinas demonstraram elevado potencial pedagógico, reforçando a importância de integrar experimentação científica e ações de sensibilização ambiental, contribuindo para a valorização e conservação do Cerrado.

Palavras-chave: *Allium cepa*; Extensão Científica; Oficinas Pedagógicas.

ABSTRACT

The Cerrado biome in Goiás, Brazil, hosts a diverse range of plant species with potential applications in food, therapeutics, cosmetics, and agriculture. Among them, *Moringa oleifera* (Moringaceae) stands out for its ecological, nutritional, and environmental value. This study, resulting from a research and extension project with Agronomy students from the Federal Institute of Goiás, aimed to promote environmental education through workshops with public school students in Iporá-GO. The activities integrated experimental practices and awareness actions, fostering scientific learning and appreciation of Cerrado biodiversity. During the workshops, participants prepared *M. oleifera* extracts and conducted toxicity tests using the bioindicator *Allium cepa*. Onion

roots were exposed to extract concentrations of 0.3, 0.6, and 1.2 mg/mL, with distilled water and paracetamol as negative and positive controls. After 72 hours, students evaluated root growth and morphological changes, relating the results to the presence of bioactive compounds. The activities were complemented by ecological trails at the Federal Institute of Goiás Experimental Farm, allowing students to recognize typical Cerrado species and discuss their potential uses, with emphasis on *M. oleífera*. The results indicated that the extract exhibited mild toxic activity. The workshops demonstrated high pedagogical potential, highlighting the importance of integrating scientific experimentation and environmental awareness activities, contributing to the conservation and appreciation of the Cerrado.

Keywords: *Allium cepa*; scientific outreach; educational workshops.

INTRODUÇÃO

Cerrado conta com ampla diversidade de plantas com potencial de utilização em diferentes áreas, como a alimentícia, terapêutica, cosmética e agrícola. As plantas frutíferas nativas ocupam papel importante no ecossistema do bioma, e seus frutos apresentam boa aceitação popular, oferecendo sabores únicos e elevados teores de açúcares, vitaminas, proteínas e sais minerais. Podem ser consumidos *in natura* ou na forma de sucos, licores, sorvetes e geleias (Silva *et al.*, 2020).

Além disso, as plantas do Cerrado também podem ser utilizadas na agricultura como bioinsumos, produtos de origem biológica que auxiliam no controle de fitopatógenos e pragas, na fertilidade do solo e no crescimento das culturas. Essas soluções sustentáveis reduzem o uso de insumos químicos tóxicos que interferem na saúde da população local e no equilíbrio do ecossistema, representando alternativas menos agressivas ao meio ambiente (Costa, 2023).

Nesse contexto, a educação ambiental desempenha papel fundamental na valorização e preservação dos recursos naturais do Cerrado, pois permite aproximar a comunidade escolar dos saberes científicos e tradicionais sobre o uso sustentável das espécies nativas. Nos últimos anos, a questão ambiental tem se consolidado como um tema que precisa ser trabalhado com toda a sociedade, especialmente nas escolas. Crianças bem informadas sobre os problemas ambientais tendem a se tornar adultas mais conscientes e preocupadas com o meio ambiente, além de atuarem como multiplicadoras do conhecimento adquirido, compartilhando-o com suas famílias e comunidades (Medeiros *et al.*, 2011).

A *Moringa oleífera* é uma planta tropical pertencente à família Moringaceae, caracterizada por raízes grossas e tuberosas, folhas verde-claras, floração abundante e frutos alongados e pendentes (Asensi; Villadiego; Berruezo, 2017). A espécie é nativa do norte da Índia e amplamente cultivada para fins ornamentais em regiões da costa do Pacífico, no México, Bolívia, Argentina, Brasil e em outras partes do mundo (García, 2016). A moringa apresenta uma ampla gama de compostos nutricionais e bioativos, incluindo proteínas, aminoácidos essenciais, carboidratos, lipídios, fibras, vitaminas, minerais, compostos fenólicos, fitosteróis e outros. Essas características conferem-lhe

propriedades farmacológicas diversas, como atividades antidiabéticas, anti-inflamatórias, anticancerígenas, antioxidantes, cardioprotetoras, antimicrobianas e hepatoprotetoras.

Todas as partes da planta podem ser aproveitadas na alimentação, folhas, frutos, flores, caule e raiz, sendo utilizadas em diferentes preparações, como biscoitos, bolos, brownies, carnes, sucos e sanduíches (Milla; Peñalver; Nieto, 2021). *M. oleífera* também é empregada no controle de pragas e fitopatógenos agrícolas, pois alguns de seus metabólitos apresentam afinidade pela quitina, constituinte de insetos, fungos e nematoides, podendo provocar a morte desses organismos que atacam plantações (França *et al.*, 2015; Tabassam *et al.*, 2014).

Apesar da ampla utilização de plantas para fins alimentares, terapêuticos e agrícolas, ainda são escassas as informações sobre seus efeitos tóxicos, citotóxicos e genotóxicos, bem como sobre a comprovação da eficácia em diferentes tipos celulares e organismos. Essa lacuna científica pode ser prejudicial, uma vez que muitas espécies possuem compostos bioativos potencialmente tóxicos e representam riscos à saúde humana e ambiental. Por outro lado, diversas plantas demonstram eficácia terapêutica, valor nutritivo e potencial no controle de fitopatógenos e pragas agrícolas, como bactérias, fungos, larvas e insetos. Diante desse cenário, destaca-se a necessidade de atuação de profissionais qualificados para a avaliação e orientação quanto ao uso seguro de espécies vegetais (Oliveira; Machado; Rodrigues, 2014). As pesquisas ainda são limitadas, havendo muitas lacunas relacionadas ao conhecimento científico sobre os compostos bioativos presentes nas plantas (Castro; Fontes; Silva, 2021).

Frente ao exposto e considerando o potencial de aplicação de *M. oleífera*, o objetivo do presente trabalho foi desenvolver ações de educação ambiental por meio de oficinas voltadas à apresentação do cultivo, extração e avaliação de extratos da espécie, promovendo a integração entre o conhecimento científico e a comunidade escolar.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido no Laboratório de Biodiversidade Vegetal e na Fazenda Escola do Instituto Federal Goiano – Campus Iporá-GO, no período de 12 meses. A pesquisa integrou atividades de ensino, pesquisa e extensão, com o objetivo de promover a educação ambiental por meio de práticas experimentais e vivências no bioma Cerrado.

Bioensaio com *Allium cepa*

O bioensaio com *Allium cepa* foi utilizado como ferramenta científica e didática para a avaliação da toxicidade do extrato aquoso bruto de *Moringa oleífera* (EABMo). O experimento foi conduzido no Laboratório de Biodiversidade Vegetal, com a participação de estudantes do curso de Agronomia do Instituto Federal Goiano, envolvidos no projeto, de modo que cada etapa experimental serviu também como momento de aprendizagem prática sobre o método científico.

O extrato foi preparado a partir de 2 kg de folhas de *M. oleífera*,

coletadas na Fazenda Escola, secas à temperatura ambiente por três dias, trituradas em liquidificador doméstico e peneiradas em malhas de 35 e 80 mesh, resultando no pó vegetal utilizado nos tratamentos. As soluções foram preparadas nas concentrações de 0,03 mg/mL, 0,06 mg/mL e 0,12 mg/mL. Utilizou-se água destilada como controle negativo e paracetamol (0,8 mg/mL) como controle positivo, conforme metodologia descrita por Pinho *et al.* (2009) e Sousa e Bailão (2015).

Três bulbos de cebola foram dispostos com a região basal imersa nas soluções teste e controles, permanecendo em temperatura controlada de 24 °C por 72 horas. Decorrido o período experimental, as raízes foram coletadas, lavadas com água destilada e fixadas em solução de álcool acético (3:1) por 12 horas.

A toxicidade foi avaliada pelo número total de raízes desenvolvidas e pelo comprimento (mm) das três maiores raízes de cada bulbo, medidos com régua milimetrada. As alterações morfológicas – como coloração, turgescência e integridade tecidual – foram observadas sob lupa estereoscópica e registradas fotograficamente. Os dados quantitativos foram submetidos ao teste t de Student, com nível de significância de $p \leq 0,05$, conforme Parvan *et al.* (2020).

Durante a execução do bioensaio, os estudantes participaram das etapas de preparo das amostras, medição dos resultados e discussão dos dados, favorecendo a compreensão dos princípios do método científico e a relação entre os efeitos biológicos observados e o potencial ambiental da *M. oleifera*.

Oficinas de Educação Ambiental

As oficinas de educação ambiental foram realizadas na Fazenda Escola do Instituto Federal Goiano – Campus Iporá, com alunos do ensino fundamental, médio e do curso de Agronomia do município de Iporá-GO. As atividades tiveram como propósito articular o conhecimento científico gerado no bioensaio com *A. cepa* às práticas de sensibilização e valorização do Cerrado.

As ações foram divididas em três etapas:

1. **Apresentação teórica:** contextualização sobre a biodiversidade do Cerrado, propriedades da *M. oleifera* e importância dos bioindicadores ambientais;
2. **Experimentação científica:** acompanhamento e análise dos resultados do teste com *A. cepa*, discutindo os conceitos de toxicidade, sustentabilidade e uso racional dos recursos naturais;
3. **Vivência ecológica:** realização de trilhas interpretativas pelo Cerrado na Fazenda Escola, com observação de espécies nativas, registro fotográfico e debates sobre conservação ambiental.

Essa integração entre a experimentação laboratorial e as práticas em campo possibilitou aos estudantes a vivência do método científico, o desenvolvimento da consciência ambiental e o reconhecimento do papel da ciência na sustentabilidade dos ecossistemas locais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente trabalho, desenvolveram-se ações de educação ambiental por meio de oficinas voltadas à apresentação do cultivo, extração e avaliação de extratos da espécie, promovendo a integração entre o conhecimento científico e a comunidade escolar. Essa abordagem permitiu articular pesquisa, ensino e extensão, oferecendo aos estudantes experiências práticas que aproximam a teoria científica da realidade local.

Inicialmente, foram conduzidas em laboratório avaliações da atividade tóxica e citotóxica do extrato aquoso bruto de *Moringa oleifera* em células de *Allium cepa*. O Quadro 01 apresenta os resultados referentes à atividade tóxica após o tratamento com três concentrações do extrato (0,03; 0,06 e 0,12 mg/mL), cujas médias de comprimento radicular foram de 0,43 mm, 1,57 mm e 2,7 mm, respectivamente. A diferença significativa observada entre todos os tratamentos e o controle negativo indica que o extrato de *M. oleifera* interfere no crescimento radicular de *A. cepa*, evidenciando a presença de compostos bioativos com efeito tóxico ou citotóxico mesmo em baixas concentrações.

Quadro 01 - Comprimento médio das raízes de *Allium cepa* submetidas ao tratamento com o extrato aquoso de *Moringa oleifera* e controles negativo (CN-água destilada) e positivo (CP-paracetamol a 0,8 mg/mL). Os dados encontram-se expressos em média.

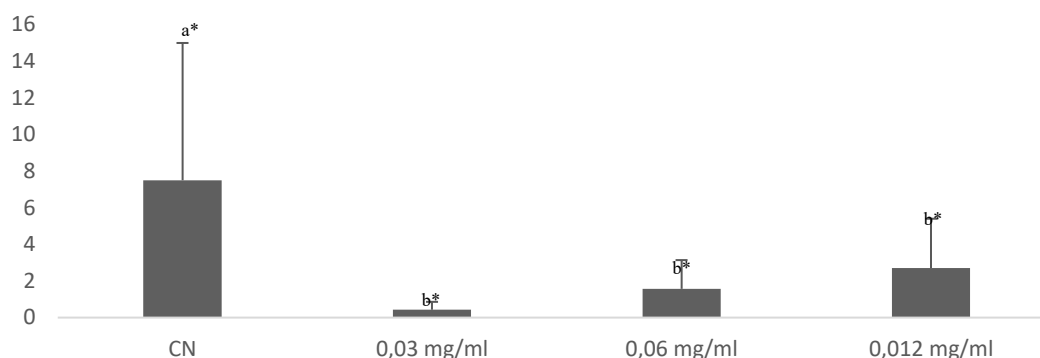
Tratamento	Comprimento Médio das Raízes
CN	7,5 mm ^{a*}
0,03 mg/ml	0,43 mm ^{b*}
0,06 mg/ml	1,57mm ^{b*}
0,012 mg/ml	2,7mm ^{b*}
CP	2,9mm ^{c*}

*Letras diferentes indicam significância estatística, com $p < 0,05$.

Fonte: Autoria Própria.

Estudos prévios corroboram o potencial tóxico da espécie. Zhang *et al.* (2011) verificaram que a administração oral de 2000 mg/kg de extrato metanólico de *M. oleifera* em ratas albinas *Wistar* não resultou em mortalidade, sugerindo que a dose letal é superior a esse valor. De forma semelhante, Ajibade, Arowolo e Olayemi (2013) observaram toxicidade aguda em ratos expostos ao extrato metanólico das sementes, com sinais de toxicidade a partir de 4000 mg/kg e mortalidade na dose de 5000 mg/kg. Esses achados são compatíveis com os resultados do presente estudo, reforçando a evidência de efeitos tóxicos da espécie, porém dentro de limites que permitem seu uso seguro em contextos controlados. Curiosamente, a menor concentração testada (0,03 mg/mL-Figura 01) interferiu de maneira mais intensa no crescimento radicular, o que sugere que efeitos horméticos ou interações bioquímicas complexas podem ocorrer em baixas doses, fenômeno observado em outros bioensaios com extratos vegetais.

Figura 01 - Comparação do crescimento médio das raízes de *Allium cepa* submetidas a diferentes concentrações do extrato aquoso de *Moringa oleífera* e controles negativo (CN-água destilada) e positivo (CP-paracetamol a 0,8 mg/mL). Os dados encontram-se expressos em média.



*Letras diferentes indicam significância estatística, com $p < 0,05$.

Fonte: Autoria Própria.

A análise morfológica das raízes expostas ao extrato revelou escurecimento, opacidade e desidratação dos tecidos, sugerindo um efeito inibitório no crescimento e confirmando a presença de ação tóxica e/ou citotóxica (Figura 02).

Figura 02 - Análise morfológica das raízes de *Allium cepa* submetidas ao tratamento com o extrato aquoso de *Moringa oleífera* e controles negativo (CN-água destilada) e positivo (CP-paracetamol a 0,8 mg/mL).



Fonte: Autoria Própria.

Tais alterações podem ser atribuídas à presença de diversos compostos bioativos em *M. oleifera*, incluindo alcalóides, flavonóides, antraquinonas, vitaminas, glicosídeos e terpenos. Mais de cem compostos já foram identificados em diferentes partes da planta, e recentemente, novos isolados como muramosídeo A e B e niazimina A e B foram caracterizados (Pareek *et al.*, 2023), o que reforça a complexidade fitoquímica e o potencial multifuncional da espécie.

Para divulgação dos resultados e promoção da Educação Ambiental, foram realizadas oficinas na Fazenda Escola do Instituto Federal Goiano – Campus Iporá, voltadas a alunos do ensino fundamental, médio e curso de Agronomia do município (Figura 03). A oferta de oficinas vinculadas a projetos de extensão associados a pesquisas sobre plantas do Cerrado representa uma estratégia integradora entre ensino, pesquisa e comunidade, promovendo a valorização da biodiversidade e o uso sustentável dos recursos naturais (Figura 03).

Figura 03 - Oficinas de Educação Ambiental para o Município.



Fonte: Autoria Própria

Conforme destacado por Costa e Aguiar (2020), a escola é o principal espaço para adquirir e disseminar conhecimentos sobre Educação Ambiental, formando sujeitos ecológicos, críticos e proativos, capazes de atuar na mitigação dos impactos socioambientais. As oficinas possibilitaram não apenas a difusão do conhecimento científico produzido nas universidades sobre as propriedades ecológicas, químicas e funcionais das espécies nativas, mas também estimularam a construção coletiva de saberes. Essa abordagem favorece práticas de conservação, o reconhecimento do valor socioambiental das plantas do bioma e a formação de cidadãos conscientes, comprometidos com a preservação do Cerrado, um dos ecossistemas mais ameaçados do país. Correia *et al.* (2020) reforçam

que a Educação Ambiental contribui para desenvolver na população a percepção de que ela é protagonista na conservação da biodiversidade, fortalecendo a corresponsabilidade socioambiental e a sustentabilidade local.

Em síntese, os resultados do bioensaio com *A. cepa*, aliados às oficinas de educação ambiental, evidenciam que *M. oleifera* possui efeito tóxico mensurável, mas seguro dentro de limites experimentais, e que sua exploração pedagógica pode contribuir significativamente para a sensibilização ambiental, a aprendizagem científica e a valorização da biodiversidade do Cerrado. Esse estudo reforça, portanto, a importância de integrar ensino, pesquisa e extensão em programas educacionais voltados para o desenvolvimento de consciência ecológica e cidadania ambiental.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados indicaram que o extrato de *Moringa oleifera* apresentou efeito tóxico leve sobre as raízes de *Allium cepa*, evidenciado pela redução no crescimento radicular e por alterações morfológicas discretas nos tecidos analisados. Embora sugira a presença de compostos bioativos com potencial citotóxico, esses resultados devem ser interpretados com cautela, uma vez que a toxicidade pode variar conforme a concentração, a parte da planta utilizada e as condições experimentais. Recomenda-se, portanto, a realização de estudos complementares para aprofundar a investigação sobre os efeitos biológicos e os limites seguros de uso de *M. oleifera*, especialmente em aplicações terapêuticas e ambientais, como a purificação da água.

O estudo também demonstrou que a integração entre experimentação científica e oficinas de educação ambiental é uma estratégia eficaz para o ensino de ciências e a sensibilização sobre a biodiversidade do Cerrado. O bioensaio com *A. cepa* permitiu aos estudantes observar, de forma prática, os efeitos biológicos do extrato, fortaleceu a compreensão do método científico e dos conceitos de toxicidade e bioatividade de compostos vegetais.

As trilhas ecológicas e a contextualização da flora local favoreceram o reconhecimento das potencialidades ecológicas e socioeconômicas das espécies nativas, reforçou a importância da conservação ambiental e do uso sustentável dos recursos naturais. Assim, os resultados proporcionaram um exemplo concreto de como a ciência pode ser aplicada para compreender e valorizar a biodiversidade regional.

Além do aspecto científico, as oficinas demonstraram elevado potencial pedagógico, estimularam a curiosidade, o pensamento crítico e o engajamento dos estudantes em atividades práticas e reflexivas. Dessa forma, o trabalho reforça a relevância de projetos que integrem pesquisa, ensino e extensão e promove a educação ambiental como ferramenta para o desenvolvimento de consciência ecológica sólida e valorização do bioma Cerrado.

REFERÊNCIAS

- AJIBADE, T. O.; AROWOLO, R.; OLAYEMI, F. O. Triagem fitoquímica e estudos de toxicidade do extrato metanólico das sementes de *Moringa oleifera*. **Journal of Complementary and Integrative Medicine**, v. 10, p. 11-16, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1515/jcim-2012-0015>.
- ASENSI, G. D.; VILLADIEGO, A. M. D.; BERRUEZO, G. R. *Moringa oleifera*: revisión sobre aplicaciones y usos en alimentos. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 67, n. 2, p. 86-97, 2017.
- CASTRO, E. S.; SILVA, F. C. F. Análise fitoquímica do extrato aquoso da casca e do fruto de jatobá (*Hymenaea courbaril* L., Fabaceae). **Anais do Fórum Rondoniense de Pesquisa**, v. 2, n. 7, 2021. ISSN 2764-345X.
- CORREIA, D. B.; SOARES, T. R. C.; SANTOS, L. G. dos; LANDIM, H. S.; TEIXEIRA, P. H. R.; NASCIMENTO, C. A. do; FERNANDES, N. de S.; LIMA, E. E.; OLIVEIRA, B. A. de; CRUZ, G. V.; PEREIRA, C. M.; FREITAS, L. C. de; AMARO, B. B. D. F.; LIMA, L. A. de; SILVA, J. R. de L. S.; CORDEIRO, G. A. da S.; CORDEIRO, M. L. A.; OLIVEIRA, A. H. de; SILVA, L. A. M. da. Environmental Education and its importance in the conservation of endangered species. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 12, p. e42991211416, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i12.11416.
- COSTA, F. W. D.; AGUIAR, P. R. A formação da cidadania ecológica articulada à Educação Ambiental na escola. **Revista Cerrados**, [S. l.], v. 18, n. 2, p. 245-274, 2020. DOI: 10.46551/rc24482692202017.
- COSTA, M. M. M. N. **Biofertilizantes**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2023.
- FRANÇA, F. R. M.; MENEZES, D. S.; MOREIRA, J. J. S.; SILVA, G. F.; BRANDÃO, S. T. **Potencial da *Moringa oleifera* Lam. (Moringaceae) como fonte de antioxidante natural para biocombustível**. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA**, 20., 2015, Florianópolis. Anais... São Paulo: Blucher, 2015. v. 1, p. 7167-7174.
- GARCÍA, J. J. L. ***Moringa oleifera* Lam.: biología, botánica, propiedades nutricionales y medicinales**. Sevilla: Universidad de Sevilla, 2016.
- MEDEIROS, A. B.; MENDONÇA, M. J. S. L.; SOUSA, G. L.; OLIVEIRA, I. P. A importância da educação ambiental na escola nas séries iniciais. **Revista Faculdade Montes Belos**, v. 4, n. 1, set. 2011.
- MILLA, P. G.; PEÑALVER, R.; NIETO, G. Health benefits of uses and applications of *Moringa oleifera* in bakery products. **Plants**, v. 10, p. 318, 2021.
- OLIVEIRA, L. A. R.; MACHADO, R. D.; RODRIGUES, A. J. L. Levantamento sobre o uso de plantas medicinais com a terapêutica anticâncer por pacientes da unidade oncológica de Anápolis. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, Campinas, v. 16, n. 1, p. 32-40, 2014.

PAREEK, A. et al. *Moringa oleifera*: an updated comprehensive review of its pharmacological activities, ethnomedicinal, phytopharmaceutical formulation, clinical, phytochemical, and toxicological aspects. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 3, p. 2098, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms24032098>. PMID: 36768420; PMCID: PMC9916933.

SILVA, M. V. S.; PADILHA, R. T.; PADILHA, R. T. Benefícios da *Moringa oleifera* para saúde humana e animal: revisão de literatura. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 8, e50010817495, 2021.

ZHANG, M.; HETTIARACHCHY, S. N.; HORAX, R.; KANNAN, A.; PRAISOODY, M. D. A.; MUHUNDAN, A.; MALLANGI, C. R. Fitoquímicos, atividade antioxidante e antimicrobiana de folhas de *Hibiscus sabdariffa*, *Centella asiatica*, *Moringa oleifera* e *Murraya koenigii*. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 5, p. 6672-6680, 2011.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do Instituto Federal Goiano, do Fomento da Bolsa concedida pelo Centro de Excelência em Bioinsumos (CEBIO) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG).

Contato das autoras:

autora: Camila Regina Vale

e-mail: camila.vale@ifgoiano.edu.br

autora: Maria Thereza Guarnieri

e-mail: maria.thereza@estudante.ifgoiano.edu.br

autora: Débora Martins Macêdo Nunes

e-mail: debora.macedo@estudante.ifgoiano.edu.br

Manuscrito aprovado para publicação em: 10/03/2026.