

USO DA ESPECTROMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA NA DETERMINAÇÃO DE METAIS PESADOS EM SOLOS DO CERRADO GOIANO

Mariana Oliveira Soldera*
Alberthmeiry Teixeira de Figueiredo**
Cristiano Morita Barrado**

RESUMO: O Cerrado Goiano reúne expressiva importância ecológica no contexto brasileiro, embora venha sendo progressivamente impactado pela intensificação das atividades agropecuárias, industriais e mineradoras. A expansão desses usos tem provocado mudanças na qualidade dos solos, entre elas o aumento das concentrações de metais pesados, elementos de reconhecido potencial tóxico, capazes de afetar o funcionamento dos ecossistemas e representar riscos à saúde humana. Diante desse quadro, a utilização de métodos analíticos confiáveis torna-se indispensável para a detecção e quantificação desses contaminantes, sobretudo quando presentes em concentrações reduzidas. Nesse sentido, a espectrometria de absorção atômica tem sido amplamente empregada em estudos ambientais por reunir características como seletividade elementar, sensibilidade analítica e estabilidade operacional. Fundamentada na interação entre átomos no estado gasoso e radiação eletromagnética, essa técnica tem permitido a avaliação de metais em diferentes compartimentos ambientais. Assim, a literatura revisada indica que a espectrometria de absorção atômica desempenha papel relevante na Química Ambiental, ao fornecer subsídios analíticos para o entendimento da contaminação dos solos e para o planejamento de ações voltadas ao manejo e ao monitoramento ambiental no bioma Cerrado.

Palavras-Chave: Contaminação do solo; Metais potencialmente tóxicos; Química ambiental; Monitoramento ambiental; Análise instrumental

INTRODUÇÃO

O bioma Cerrado ocupa aproximadamente um quarto do território brasileiro e é reconhecido internacionalmente como um dos principais *hotspots* de biodiversidade, em função de sua expressiva diversidade biológica e dos elevados índices de endemismo que apresenta (Ribeiro & Walter, 2008; Colli *et al.*, 2020).

* Universidade Estadual de Goiás: mariana.soldera@hotmail.com

** Instituto de Química – UFCAT: cristiano@ufcat.edu.br

** Instituto de Química – UFCAT: alberth@ufcat.edu.br

Além de sua relevância ecológica, o Cerrado desempenha papel estratégico na manutenção de processos ambientais essenciais, sobretudo aqueles relacionados à dinâmica hídrica, atuando na recarga de aquíferos e na formação de nascentes que alimentam importantes bacias hidrográficas do país. No estado de Goiás, o bioma predomina amplamente na paisagem e sustenta sistemas hídricos de grande relevância, como as bacias dos rios Araguaia, Tocantins e Paranaíba (Coutinho, 2006; Miranda *et al.*, 2014; EMBRAPA, 2018).

A complexidade ambiental do Cerrado manifesta-se em um mosaico de fitofisionomias que abrange formações campestres, savânicas e florestais, como campos limpos, campos sujos, cerrados *sensu stricto* e matas de galeria. Essa diversidade estrutural está diretamente relacionada à variabilidade dos solos e aos processos biogeoquímicos que controlam a ciclagem de nutrientes e de elementos potencialmente tóxicos. No Cerrado Goiano, predominam solos fortemente intemperizados, como Latossolos e Argissolos, caracterizados por elevada acidez, baixa fertilidade natural e altos teores de óxidos de ferro e alumínio, atributos que influenciam de maneira significativa a retenção, a mobilidade e a biodisponibilidade de metais no sistema solo–planta (Coutinho, 2006; Miranda *et al.*, 2014; EMBRAPA, 2018).

Ao longo das últimas décadas, o uso e a ocupação do solo no Cerrado Goiano vêm passando por transformações significativas, refletindo-se em alterações nas características físicas, químicas e biológicas dos solos. A intensificação da agricultura mecanizada, da pecuária extensiva, das atividades mineradoras e da expansão urbana tem sido acompanhada pela adoção de práticas como calagem, aplicação recorrente de fertilizantes e defensivos agrícolas, além de adubações intensivas. Essas intervenções modificam atributos essenciais do solo, como o pH, a capacidade de troca catiônica e a quantidade de matéria orgânica, influenciando diretamente os mecanismos de retenção, mobilização e redistribuição de metais ao longo do perfil edáfico (Vieira *et al.*, 2009; EMBRAPA, 2018).

Nesse contexto, os metais pesados passam a assumir papel relevante do ponto de vista ambiental, em razão de sua elevada persistência no ambiente, da inexistência de processos naturais de degradação e da capacidade de se acumularem em diferentes compartimentos dos ecossistemas. Elementos como chumbo, cádmio, cromo e arsênio podem exercer efeitos tóxicos mesmo quando presentes em concentrações reduzidas, comprometendo a qualidade do solo,

interferindo no crescimento das plantas e representando riscos à saúde humana, especialmente em áreas agrícolas e urbanas (Kabata-Pendias, 2011; Alloway, 2013).

Em solos característicos do Cerrado, a associação dos metais pesados com a fração mineral, sobretudo com óxidos de ferro e alumínio, favorece a adsorção desses elementos, o que pode resultar em diminuição temporária de sua biodisponibilidade. Contudo, alterações nas condições ambientais, como variações no pH, mudanças no teor de matéria orgânica ou práticas de manejo inadequadas, podem favorecer a remobilização dos metais, aumentando a possibilidade de contaminação de organismos e recursos hídricos. Assim, o acompanhamento sistemático da ocorrência e da distribuição de metais pesados nos solos do Cerrado mostra-se essencial para a avaliação da qualidade ambiental e para o planejamento de estratégias de uso e manejo sustentável da terra.

A determinação confiável desses elementos requer métodos analíticos sensíveis, seletivos e robustos. Nesse contexto, a espectrometria de absorção atômica (AAS) destaca-se como uma das técnicas mais consolidadas na Química Ambiental, sendo amplamente empregada em estudos envolvendo solos, sedimentos e águas, em razão de sua precisão analítica e ampla validação metodológica (Welz & Sperling, 1999; Oliz et al., 2016).

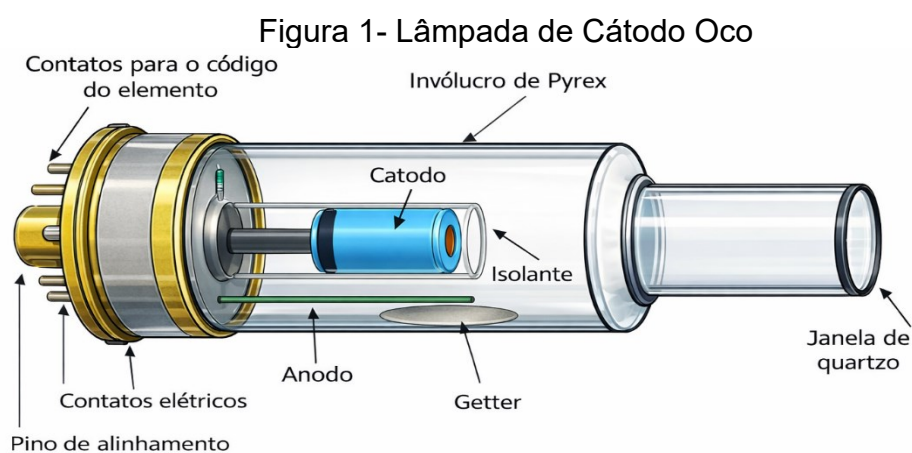
Apesar do uso recorrente da espectrometria de absorção atômica em estudos conduzidos em diferentes regiões do país, ainda são pouco numerosos os trabalhos que articulem, de maneira integrada, aspectos pedológicos, ambientais e analíticos relacionados à presença de metais pesados em solos do Cerrado Goiano. Nesse contexto, as revisões bibliográficas tornam-se especialmente relevantes, pois permitem reunir e organizar o conhecimento já produzido, evidenciar lacunas existentes e oferecer subsídios técnicos para o monitoramento ambiental e para o planejamento do manejo do solo, em conformidade com os valores de referência definidos pela Resolução CONAMA nº 420/2009 (Brasil, 2009).

Dessa forma, o presente artigo tem como objetivo realizar uma revisão de literatura sobre o uso da espectrometria de absorção atômica na determinação de metais pesados em solos do Cerrado, abordando os fundamentos da técnica, suas principais modalidades, os procedimentos de preparo de amostras e as aplicações reportadas na literatura, bem como discutir suas potencialidades e limitações no contexto do monitoramento ambiental.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A espectrometria de absorção atômica (AAS) é uma técnica instrumental amplamente estabelecida para a determinação quantitativa de elementos metálicos em diferentes matrizes, incluindo amostras ambientais e biológicas. Seu princípio baseia-se na absorção seletiva de radiação eletromagnética por átomos livres no estado gasoso, sendo a intensidade da radiação absorvida proporcional à concentração do elemento presente na amostra, conforme descrito pela Lei de Beer–Lambert (Welz & Sperling, 1999; Welz et al., 2014).

O desenvolvimento da AAS está diretamente associado aos estudos pioneiros de Alan Walsh, na década de 1950, que propôs o uso de lâmpadas de cátodo oco, apresentada na Figura 1, como fontes de radiação monocromática específicas para cada elemento químico. Essa inovação permitiu elevada seletividade analítica e representou um marco no avanço das técnicas espectroscópicas, viabilizando a aplicação da absorção atômica em análises quantitativas de rotina.



Fonte: Adaptado de Krug, Nóbrega, Oliveira, (2006)

A consolidação instrumental da técnica ocorreu ao longo das décadas seguintes, culminando, em 1979, no desenvolvimento do primeiro espectrômetro de absorção atômica comercialmente robusto, desenvolvido por H. L Kahn e W. Slavin, o que ampliou significativamente seu uso em laboratórios analíticos ao redor do mundo (Nogueira, 2025).

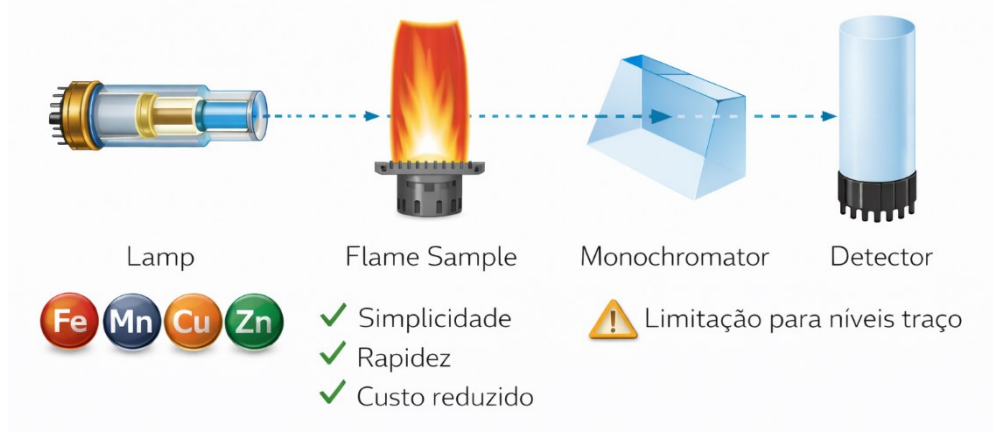
De forma geral, um espectrômetro de absorção atômica é constituído por cinco componentes básicos: fonte de radiação, responsável pela emissão de linhas espectrais características do elemento de interesse; sistema de atomização, no qual

ocorre a conversão do analito em átomos livres; monocromador, destinado à seleção do comprimento de onda específico; detector, que converte o sinal óptico em sinal elétrico; e sistema de processamento de dados, responsável pela quantificação e tratamento dos resultados analíticos.

Atualmente, a AAS compreende quatro modalidades principais de atomização: espectrometria de absorção atômica com chama (FAAS), com forno de grafite (ETAAS ou GFAAS), por vapor frio (CV-AAS) e por geração de hidretos (HG-AAS). Cada uma dessas modalidades apresenta características específicas quanto à sensibilidade, faixa linear de trabalho, complexidade operacional e aplicabilidade analítica.

A FAAS é a modalidade mais tradicional e amplamente utilizada, sendo indicada para a determinação de metais em concentrações moderadas, como ferro, manganês, cobre e zinco. Sua ampla aplicação decorre da simplicidade instrumental, rapidez das análises e custo relativamente reduzido. Entretanto, a sensibilidade da técnica é limitada pela temperatura da chama, o que restringe sua aplicação para a quantificação de elementos em níveis traço. (DRAWELL, 20--), conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2- Espectrometria de Absorção Atômica com Chama (FAAS)



Fonte: Adaptado de Drawell: artist of Science, (2026)

Em contraste, a ETAAS utiliza um forno de grafite aquecido eletricamente como sistema de atomização, possibilitando maior eficiência na formação de átomos livres e aumento do tempo de residência do analito no caminho óptico, conforme apresentado na Figura 3. Essa modalidade apresenta limites de detecção significativamente mais baixos, sendo particularmente adequada para a determinação de metais potencialmente tóxicos em concentrações muito reduzidas,

como chumbo, cádmio e arsênio, sobretudo em matrizes complexas como solos e sedimentos (Assis et al., 2009; Barros et al., 2015).

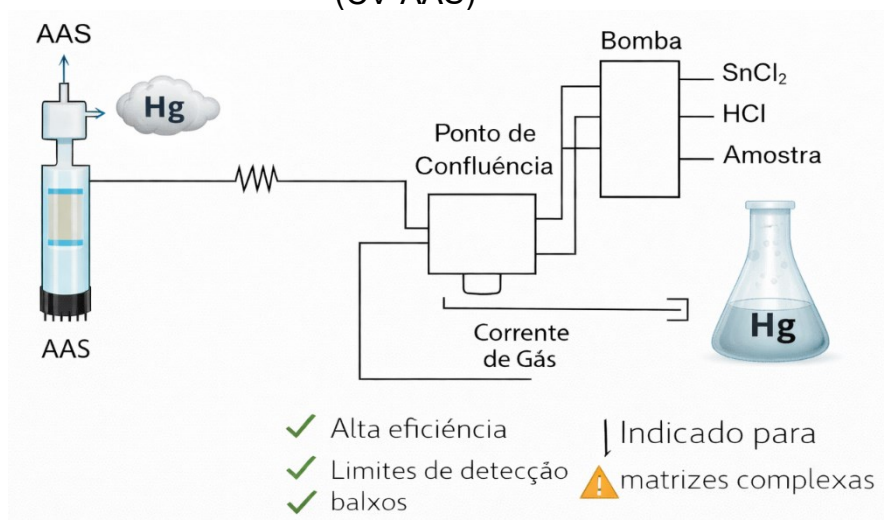
Figura 3- Espectrometria de Absorção Atômica com Forno de Grafite (ETAAS/GFAAS)



Fonte: Adaptado de Drawell: artist of Science, (2026)

A espectrometria de absorção atômica por vapor frio (CV-AAS) é uma técnica altamente seletiva, aplicada quase exclusivamente à determinação de mercúrio. Nessa abordagem, conforme apresentado na Figura 3, o mercúrio é reduzido quimicamente à forma elementar e transportado na fase gasosa até a célula de leitura, permitindo limites de detecção extremamente baixos e elevada seletividade.

Figura 4- Esquema de Espectrometria de Absorção Atômica por Vapor Frio (CV-AAS)

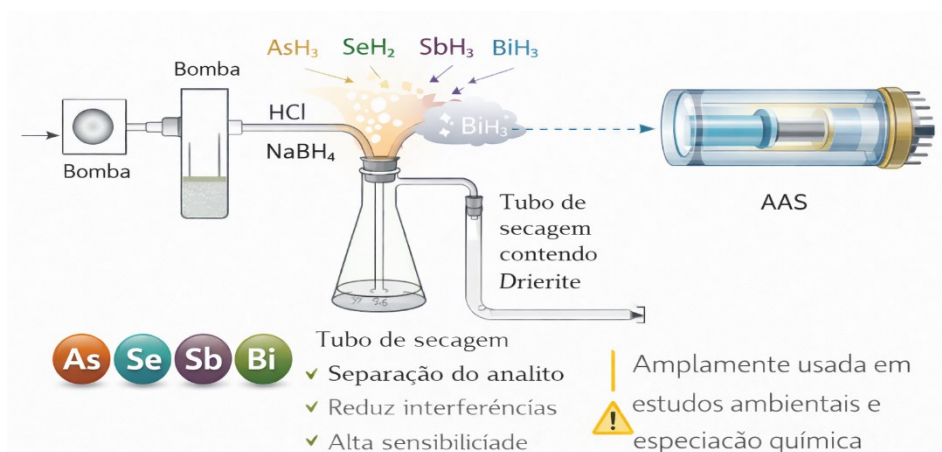


Fonte: Adaptado de ORESTE et. al. (2011)

Por sua vez, a espectrometria de absorção atômica por geração de hidretos

(HG-AAS) é empregada principalmente para elementos que formam hidretos voláteis, como arsênio, selênio, antimônio e bismuto, conforme apresentado na Figura 5. Essa técnica promove a separação do analito da matriz por meio da formação de hidretos gasosos, reduzindo interferências e aumentando significativamente a sensibilidade, sendo amplamente utilizada em estudos ambientais e de especiação química.

Figura 5- Esquema de HG-AAS



Fonte: Adaptado de Frankimica (2026)

Novas descobertas resultaram no desenvolvimento da espectrometria de absorção atômica com fonte contínua de alta resolução (HR-CS AAS), apresentado na Figura 6. Essa modalidade substitui as lâmpadas de cátodo oco por uma fonte contínua de radiação e emprega monocromadores de alta resolução acoplados a detectores do tipo CCD, permitindo correção espectral mais eficiente, maior flexibilidade na escolha das linhas analíticas e ampliação do escopo de aplicação da técnica (Borges, 2009).

Figura 6- Representação esquemática de um espectrômetro de absorção atômica de alta resolução com fonte contínua (HR-CS AAS).



Fonte: Adaptado de Coutrim, 2016.

A associação da HR-CS AAS ao forno de grafite e à amostragem direta de sólidos tem se destacado por reduzir etapas de preparo das amostras, o consumo de reagentes químicos e a geração de resíduos. Estudos indicam que essa abordagem apresenta precisão e exatidão comparáveis às obtidas por métodos convencionais baseados em digestão ácida, com ganhos adicionais em eficiência analítica e sustentabilidade (Barros et al., 2015).

Os estudos revisados indicam avanços importantes associados ao aumento da sensibilidade, ao controle de interferências de matriz e à ampliação das possibilidades de aplicação da técnica em diferentes contextos ambientais. A Figura 7, ilustra os métodos analíticos utilizados em diferentes contextos ambientais ao longo de 20 anos.

Figura 7. Aplicações de métodos analíticos utilizando AAS multi-elementar simultânea, publicados nos últimos 20 anos



Fonte: Adaptado de Amorim et. al., 2008

No contexto da análise de solos do Cerrado, caracterizados por elevada heterogeneidade mineralógica e altos teores de óxidos de ferro e alumínio, a AAS apresenta vantagens importantes, como seletividade elementar, robustez instrumental e ampla validação em protocolos nacionais e internacionais de monitoramento ambiental (Templeton et al., 2000; EPA, 2007).

O preparo das amostras constitui uma etapa crítica na determinação de metais por AAS. De modo geral, amostras de solo passam por processos de secagem, homogeneização e peneiramento, seguidos de digestão ácida, com o objetivo de solubilizar os metais presentes na matriz sólida. Os procedimentos mais empregados envolvem o uso de ácido nítrico, ácido clorídrico e, em alguns casos, ácido fluorídrico, em sistemas abertos ou fechados assistidos por microondas (EPA, 2007; Oliz et al., 2016).

A confiabilidade dos resultados analíticos depende da adequada validação dos métodos, que inclui o uso de materiais de referência certificados, testes de recuperação e a determinação dos limites de detecção e quantificação (Herrero Fernández, 2017). Estudos conduzidos em solos do Cerrado indicam diferenças expressivas nas concentrações de metais entre áreas sob vegetação nativa e áreas

agrícolas, frequentemente associadas à intensidade do uso do solo e às práticas de manejo adotadas (Cavalcante, 2021).

De forma geral, os estudos consultados indicam que a espectrometria de absorção atômica continua sendo amplamente empregada no monitoramento ambiental, em função de sua relação custo-benefício, seletividade analítica e versatilidade de aplicação. Ainda assim, algumas limitações merecem atenção, como o caráter predominantemente mono-elementar da técnica e a necessidade de preparo prévio das amostras, especialmente quando comparada a metodologias multielementares, como a espectrometria de emissão óptica com plasma induzido (ICP-OES) e a fluorescência de raios X (XRF) (Herrero Fernández, 2017).

A literatura analisada demonstra que a espectrometria de absorção atômica (AAS) apresenta desempenho analítico consistente para a determinação de metais em matrizes ambientais complexas, como solos e sedimentos.

Moro (2007) evidenciou que a espectrometria de absorção atômica com forno de grafite (GFAAS) é particularmente adequada para a quantificação de metais em níveis traço, desde que haja criteriosa otimização dos parâmetros instrumentais, especialmente dos programas de temperatura. O autor observou ganhos significativos em precisão e exatidão, além da redução de interferências provenientes da matriz, aspecto especialmente relevante em amostras de solos, caracterizadas por elevada complexidade composicional.

Resultados semelhantes foram reportados por Sussulini et al. (2006), que destacaram a influência direta das etapas de preparo e introdução das amostras no desempenho analítico da AAS. Segundo os autores, estratégias adequadas de pré-tratamento químico contribuem para o aumento da sensibilidade e para a redução dos limites de detecção, reforçando que a qualidade dos dados obtidos está fortemente condicionada ao rigor metodológico empregado nas etapas pré-analíticas. Esses achados indicam que, em estudos ambientais nos quais os metais ocorrem em baixas concentrações, o preparo das amostras desempenha papel central na obtenção de resultados confiáveis.

Avanços adicionais foram observados por Barros et al. (2015), que avaliaram a aplicação da espectrometria de absorção atômica com fonte contínua de alta resolução (HR-CS AAS) associada à amostragem direta de sólidos. Os autores relataram desempenho analítico satisfatório, com boa linearidade, precisão e exatidão, além de resultados comparáveis aos obtidos por métodos tradicionais

baseados em digestão ácida. Destaca-se, contudo, a redução do consumo de reagentes químicos e da geração de resíduos, aspecto relevante sob a perspectiva ambiental e operacional.

Esses resultados são corroborados por Welz et al. (2014), que demonstraram que a alta resolução espectral da HR-CS AAS possibilita correção mais eficiente de interferências espectrais e maior flexibilidade na seleção das linhas analíticas. Tais avanços ampliam a confiabilidade das determinações, sobretudo em matrizes heterogêneas, mantendo características clássicas da AAS, como robustez instrumental e custo operacional relativamente reduzido. A análise conjunta desses estudos indica que a espectrometria de absorção atômica mantém sua relevância no cenário analítico atual, mesmo diante do desenvolvimento de técnicas multielementares.

MATERIAIS E MÉTODOS

Esta revisão bibliográfica foi desenvolvida a partir de uma abordagem de caráter descritivo, com foco na organização e análise crítica da produção científica relacionada à aplicação da espectrometria de absorção atômica na determinação de metais pesados em solos. A ênfase foi direcionada a estudos realizados no bioma Cerrado, com atenção especial àqueles desenvolvidos no Cerrado Goiano.

O levantamento bibliográfico foi realizado nas bases de dados *SciELO*, *Google Scholar*, Portal de Periódicos da CAPES e *Web of Science*, escolhidas por reunirem periódicos nacionais e internacionais relevantes nas áreas de Química Analítica, Ciências Ambientais, Ciência do Solo e Geoquímica Ambiental. Para a seleção dos trabalhos, foram empregados descritores em português e inglês, tais como: espectrometria de absorção atômica, *atomic absorption spectrometry*, metais pesados, *heavy metals*, solos, *soil*, Cerrado e Cerrado Goiano, combinados por meio de operadores booleanos, de forma a ampliar e refinar os resultados obtidos.

Foram considerados estudos publicados entre os anos de 2000 e 2025, priorizando artigos científicos, dissertações, teses e documentos técnicos que abordassem a aplicação da espectrometria de absorção atômica com chama (FAAS), forno de grafite (ETAAS ou GFAAS) e geração de hidretos (HG-AAS) na análise de metais pesados em solos, especialmente no contexto ambiental

brasileiro. Referências clássicas e trabalhos metodológicos amplamente reconhecidos foram incluídos independentemente do período de publicação, em razão de sua relevância conceitual.

Foram selecionados os trabalhos que apresentaram a descrição dos procedimentos analíticos empregados, contemplando as etapas de preparo das amostras, as condições instrumentais utilizadas, os processos de validação dos métodos e a discussão dos resultados obtidos. Por outro lado, foram desconsiderados estudos que não detalhavam adequadamente os métodos adotados, que se baseavam exclusivamente em outras técnicas instrumentais ou que não mantinham relação direta com o escopo desta revisão.

Após a seleção, os estudos foram submetidos inicialmente a uma leitura de caráter exploratório, seguida de uma análise mais aprofundada e interpretativa. Esse procedimento possibilitou a organização das informações consideradas mais relevantes acerca dos fundamentos da espectrometria de absorção atômica, das estratégias de preparo de amostras, de suas aplicações em solos do Cerrado, bem como de suas principais potencialidades e limitações.

DISCUSSÃO DE RESULTADOS

De forma integrada, os trabalhos analisados evidenciam que o desempenho da AAS está diretamente relacionado à escolha adequada de sua modalidade e à compatibilidade entre os procedimentos metodológicos adotados e as características da matriz analisada. No caso de solos tropicais, como os do Cerrado, marcados por elevada heterogeneidade mineralógica e altos teores de óxidos de ferro e alumínio, a compreensão das interações entre os analitos e os constituintes do solo torna-se fundamental para assegurar a confiabilidade dos resultados analíticos.

No contexto específico do monitoramento ambiental de solos do Cerrado Goiano, esses avanços assumem especial relevância. A complexidade das matrizes edáficas regionais demanda métodos analíticos seletivos e robustos, capazes de fornecer informações confiáveis para a avaliação de impactos antrópicos e para o embasamento de ações de gestão ambiental. Nesse sentido, a espectrometria de absorção atômica, quando aplicada de forma criteriosa, mostra-se compatível com essas exigências.

Além disso, os dados gerados por meio da AAS constituem subsídio técnico importante para a aplicação dos valores orientadores estabelecidos pela Resolução

CONAMA nº 420/2009 (Brasil, 2009). No entanto, a literatura aponta a escassez de estudos de caráter longitudinal que avaliem a evolução temporal da contaminação por metais pesados em solos do estado de Goiás, o que reforça a necessidade de investigações contínuas e integradas voltadas ao monitoramento ambiental de longo prazo.

CONCLUSÕES

De modo geral, os trabalhos analisados confirmam que a espectrometria de absorção atômica permanece como uma técnica confiável e amplamente validada para a determinação de metais em matrizes ambientais, incluindo solos do bioma Cerrado. Sua consolidação decorre da combinação entre seletividade elementar, sensibilidade adequada e viabilidade operacional.

Os estudos revisados indicam que o desempenho da AAS está diretamente associado à escolha correta da modalidade analítica e ao rigor metodológico empregado. A espectrometria com forno de grafite destaca-se pela capacidade de quantificar metais em concentrações muito baixas, enquanto os avanços relacionados à fonte contínua de alta resolução ampliam o controle de interferências e a confiabilidade dos resultados.

A possibilidade de utilização da HR-CS AAS com amostragem direta de sólidos representa um avanço significativo, ao reduzir etapas de preparo, consumo de reagentes e geração de resíduos, sem comprometer a qualidade analítica. Essa abordagem contribui para análises mais eficientes.

Assim, a AAS não deve ser interpretada como uma metodologia ultrapassada, mas como uma técnica em permanente aperfeiçoamento. Sua aplicação em matrizes complexas, como os solos do Cerrado Goiano, reforça seu papel estratégico no monitoramento ambiental, na avaliação da contaminação por metais pesados e no suporte à gestão sustentável dos recursos naturais.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Catalão (UFCAT), pelo suporte institucional e pela contribuição à formação acadêmica e científica proporcionada ao longo do curso de Especialização em Análises Químicas Ambientais.

Aos professores do curso de Especialização em Análises Químicas Ambientais, pelo conhecimento compartilhado, pela dedicação ao ensino e pelas contribuições fundamentais para o desenvolvimento crítico e técnico deste trabalho.

Ao orientador e ao coorientador, pela disponibilidade, pelas orientações criteriosas, pelo acompanhamento ao longo do desenvolvimento do estudo e pelas contribuições que foram essenciais para o aprimoramento científico e metodológico desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALLOWAY, B. J. *Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability*. 3. ed. Dordrecht: Springer, 2013.

AMORIM, F. A. C.; LOBO, I. P.; SANTOS, V. L. C. S.; FERREIRA, S. L. C. (2008). "Espectrometria de absorção atômica: o caminho para determinações multi-elementares.". Bahia, 2008. Disponível em: . Acessado em 23 de outubro de 2024.

ASSIS, A. J. et al. Aplicações da espectrometria de absorção atômica com forno de grafite na determinação de metais em matrizes ambientais. *Química Nova*, v. 32, n. 6, p. 1545–1552, 2009.

BARROS, A. I. et al. High-resolution continuum source atomic absorption spectrometry applied to direct solid sample analysis. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, v. 105, p. 54–62, 2015.

BORGES, Daniel Lazaro Gallindo. ANÁLISE DIRETA DE SÓLIDOS POR ESPECTROMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA DE ALTA RESOLUÇÃO COM FONTE CONTÍNUA E INVESTIGAÇÃO DE COMPOSTOS ORGANOMETÁLICOS POR ANÁLISE DIRETA EM TEMPO REAL COM ESPECTROMETRIA DE MASSA. 2009, 159 f. Tese (Doutorado em Química). UFSC, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/92849/263053.pdf?sequence=1&%3bisAllowed=y>. Acesso em: 21 de jan. 2026.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). *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. Diário Oficial da União, Brasília, 2009.

CAVALCANTE, A. M. S. Determinação de metais pesados em solos por espectrometria de absorção atômica. *HOLOS*, v. 37, n. 2, p. 1–12, 2021.

COLLI, G. R. et al. *The Brazilian Cerrado: ecology and natural history of a Neotropical savanna*. New York: Springer, 2020.

COUTINHO, L. M. O conceito de bioma. *Acta Botanica Brasilica*, v. 20, n. 1, p. 13–23, 2006.

COUTRIM, Maurício X. (2016) ESPECTROMETRIA ATÔMICA. Disponível em: https://professor.ufop.br/sites/default/files/mcoutrim/files/qui_346_absorcao_atomica_8a_aula_2016-1.pdf. Acesso em: 21 de jan. 2026.

DRAWELL: artist os Science. (20--). **Espectrofotômetro de Absorção Atômica (AAS)**. Disponível em: <https://pt.drawellanalytical.com/spectrophotometer/atomic-absorption-spectrophotometer-aas/>. Acesso em: 21 de jan. 2026.

EMBRAPA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 5. ed. Brasília: Embrapa Solos, 2018.

EPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Method 7000B: Flame atomic absorption spectrophotometry*. Washington, DC, 2007.

FRANKIMICA – UFSJ. Espectrometria Atômica. Frank Pereira de Andrade. Disponível em: <https://ufsj.edu.br/portal-repositorio/File/frankimica/Quimica%20Analitica%20Aplicada%20II/Material%207%20-%20Espectrometria%20At%20F4mica.pdf>. Acesso em: 21 de jan. 2026.

HERRERO FERNÁNDEZ, Z. *Análise de metais pesados em solos urbanos por espectrometria de absorção atômica*. 2017. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

KABATA-PENDIAS, A. *Trace elements in soils and plants*. 4. ed. Boca Raton: CRC Press, 2011.

KRUG, F. J.; NÓBREGA, J. A.; OLIVEIRA, P. V. “Espectrometria de Absorção Atômica: Parte 1. Fundamentos e atomização com chama.”. São Paulo, 2006. Disponível em: . Acessado em: 23 de outubro de 2024.

LUMEX. (2026). **O espectrômetro de absorção atômica com forno de grafite da Lumex Instruments pode determinar tanto elementos traço quanto componentes principais em amostras de água**. Disponível em: <https://trends.directindustry.com/lumex-instruments/project-158140-1107623.html>. Acesso em: 21 de jan. 2026.

MIRANDA, H. S.; BUSTAMANTE, M. M. C.; MIRANDA, A. C. The fire factor. In: COLLI, G. R. et al. (org.). *The Brazilian Cerrado: ecology and natural history of a Neotropical savanna*. New York: Springer, 2014. p. 51–68.

MORO, L. Espectrometria de absorção atômica com forno de grafite: fundamentos, interferências e aplicações. *Química Nova*, v. 30, n. 3, p. 715–723, 2007.

NOGUEIRA, Anderson. Espectrometria de absorção atômica com chama. Iguaçu: Quipá, 2025. Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/1000588/2/FAAS%20%E2%80%93%20Espectrometria%20de%20Absor%C3%A7%C3%A3o%20At%C3%B4mica%20com%20Chama.pdf>. Acesso em: 21 de jan. 2025.

OLIZ, C. M. et al. Determinação de metais por espectrometria atômica em carvão e

cinzas. *Química Nova*, v. 39, n. 4, p. 471–479, 2016.

ORESTE, Eliézer Q. ; OLIVEIRA, R. M. ; Nunes, Adriane M. ; Vieira, Mariana A. ; Ribeiro, Anderson S. . Determinação de Hg em material biológico por CV AAS após decomposição em sistema aberto a 150 °C. In: XIII Encontro de Pós-Graduação da UFPel, 2011, Pelotas - RS. Resumos do XIII Encontro de Pós-Graduação da UFPel. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária, 2011. v. Único.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (org.). *Cerrado: ecologia e flora*. Brasília: Embrapa Cerrados, 2008. p. 151–212.

SILVA JUNIOR, L. C. S. *Determinação de metais em amostras ambientais por espectrometria de absorção atômica com chama*. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

SUSSULINI, A. et al. Strategies for sample preparation and introduction in atomic absorption spectrometry. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, v. 61, n. 9, p. 1029–1038, 2006.

TEMPLETON, D. M. et al. Guidelines for terms related to chemical speciation and fractionation of elements. *Pure and Applied Chemistry*, v. 72, n. 8, p. 1453–1470, 2000.

VIEIRA, L. C. et al. Alterações químicas em solos do Cerrado sob diferentes usos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 1799–1808, 2009.

WELZ, B.; SPERLING, M. *Atomic absorption spectrometry*. 3. ed. Weinheim: Wiley-VCH, 1999.

WELZ, B.; BECKER-ROSS, H.; FLOREK, S.; HEITMANN, U. *High-resolution continuum source atomic absorption spectrometry*. 2. ed. Weinheim: Wiley-VCH, 2014.