



**PERICIA AMBIENTAL Y GESTIÓN DE
RECURSOS: LA MODERNIZACIÓN DEL
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y
EFLUENTES EN EL INSTITUTO DE
CRIMINALÍSTICA DE GOIÁS**

**PERÍCIA AMBIENTAL E GESTÃO DE RECURSOS:
A MODERNIZAÇÃO DO LABORATÓRIO DE
ANÁLISE DE ÁGUA E EFLUENTE NO INSTITUTO
DE CRIMINALÍSTICA EM GOIÁS**

**ENVIRONMENTAL FORENSICS AND RESOURCE
MANAGEMENT: THE MODERNIZATION OF THE
WATER AND EFFLUENT ANALYSIS
LABORATORY AT THE INSTITUTE OF
CRIMINALISTICS IN GOIÁS**

**GABRIELA NUNES MARTINS LINHARES¹
THIAGO HENRIQUE COSTA SILVA²**

RESUMEN

Este trabajo aborda la viabilidad técnica, económica y operativa de la implementación del Espectrómetro de Emisión Óptica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES) en el Laboratorio de Análisis de Aguas y Efluentes (LAAE), vinculado a la Superintendencia de Policía Técnico-Científica de Goiás (SPTC/GO). La investigación resalta la importancia de la pericia ambiental para la obtención de pruebas técnicas relacionadas con delitos de contaminación hídrica y otras infracciones ambientales. El trabajo también explora la viabilidad estratégica de obtener recursos institucionales y privados para la implementación del equipo. El estudio se llevó a cabo mediante un

¹ Especialista en Gestión de la Seguridad Pública (UEG) y en Pericia Ambiental (PUC-GO). Tecnóloga en Saneamiento Ambiental (IFG-GO). Perita criminal en el Instituto de Criminalística de la Policía Técnico-Científica del Estado de Goiás, con actuación en el área de Pericias Ambientales. Correo electrónico de contacto: gabriela.perita@gmail.com. CV: <http://lattes.cnpq.br/6606613969025610>.

² Doctor en Agronegocios por la Universidad Federal de Goiás (UFG). Doctorando y Magíster en Derecho Agrario (UFG). Licenciado en Derecho (UFG) y en Ciencias Económicas (IESB). Perito criminal de la Policía Científica de Goiás. Profesor adjunto, investigador y extensionista en la Universidad Estatal de Goiás (UEG), con actuación en el Programa de Posgrado en Historia (PPGHIS-UEG). Asesor del Curso de Especialización en Gestión de la Seguridad Pública (SSP-GO/UEG). Correo electrónico de contacto: thiagocostasilva@ueg.br. CV: <http://lattes.cnpq.br/0761167066175470>. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2916-6587>.

Cómo citar este artículo:

LINHARES, Gabriela
Nunes Martins;
SILVA, Thiago
Henrique Costa;
Perícia ambiental e
gestão de recursos: a
modernização do
laboratório de análise de
água e efluente no
instituto de
criminalística em Goiás.
**Revista de Direito
Socioambiental -
REDIS,**
Goiás – GO, Brasil,
v. 03, n. 01, jan./jul.
2025, p. 117-138.

Fecha de presentación:
25/04/2025

Fecha de aprobación:
24/06/2025



enfoque cualitativo, con revisión bibliográfica y análisis documental, además de consultas a estudios de caso y literatura técnica. Los resultados indican que el ICP-OES es una herramienta indispensable para identificar y cuantificar metales pesados y otros contaminantes en niveles traza, siendo capaz de cumplir con los requisitos de las Resoluciones CONAMA n° 357, 396 y 430. A pesar del elevado costo de adquisición y mantenimiento, el equipo presenta una alta viabilidad técnica y económica, especialmente cuando se asocia con alianzas institucionales y fuentes externas de financiamiento. La implementación del ICP-OES en el LAEE perfeccionará los procedimientos de la cadena de custodia, ampliará la capacidad técnica del laboratorio y consolidará a Goiás como referente en pericia ambiental en Brasil. Se concluye que la inversión en el ICP-OES no solo atenderá la creciente demanda de análisis precisos, sino que también contribuirá a la responsabilización de los infractores y a la mitigación de los impactos ambientales.

Palabras clave: ICP-OES. Pericia ambiental. Contaminación hídrica. Delitos ambientales. Resoluciones CONAMA.

RESUMO

Este trabalho aborda a viabilidade técnica, econômica e operacional da implementação do Espectrômetro de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES) no Laboratório de Análises de Águas e Efluentes (LAAE), vinculado à Superintendência de Polícia Técnico-Científica de Goiás (SPTC/GO). A pesquisa enfatiza a importância da perícia ambiental para a produção de provas técnicas relacionadas a crimes de poluição hídrica e outras infrações ambientais. O trabalho também explora a viabilidade estratégica de captação de recursos institucionais e privados para a implementação do equipamento. O estudo foi conduzido por meio de uma abordagem qualitativa, com revisão bibliográfica e análise documental, além de consultas a estudos de caso e literatura técnica. Os resultados indicam que o ICP-OES é uma ferramenta indispensável para identificar e quantificar metais pesados e outros poluentes em níveis traços, sendo capaz de atender aos requisitos das Resoluções CONAMA n° 357, 396 e 430. Apesar do custo elevado de aquisição e manutenção, o equipamento apresenta alta viabilidade técnica e econômica, especialmente quando associado a parcerias institucionais e fontes externas de financiamento. A implementação do ICP-OES no LAEE aperfeiçoará os procedimentos da cadeia de custódia, ampliará a capacidade técnica do laboratório e consolidará Goiás como referência na perícia ambiental no Brasil. Conclui-se que, o investimento no ICP-OES não apenas atenderá à crescente demanda por análises precisas, mas também contribuirá para a responsabilização de infratores e a mitigação dos impactos ambientais.

Palavras-chave: ICP-OES. Perícia ambiental. Poluição hídrica. Crimes ambientais. Resoluções CONAMA.

ABSTRACT

This study addresses the technical, economic, and operational feasibility of implementing the Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer (ICP-OES) at the Laboratory for Water and Effluent Analysis (LAAE), under the Goiás Police Technical- Scientific Superintendency (SPTC/GO). The research emphasizes the importance of environmental forensics for producing technical evidence related to water pollution crimes and other environmental infractions. The study also explores the strategic feasibility of securing institutional and private funding for implementing the equipment. A qualitative approach was employed, including a bibliographic review, documentary



analysis, and consultations with case studies and technical literature. The results indicate that the ICP-OES is an indispensable tool for identifying and quantifying heavy metals and other pollutants at trace levels, capable of meeting the requirements of Resolutions CONAMA No. 357, 396, and 430. Despite the high acquisition and maintenance costs, the equipment demonstrates strong technical and economic feasibility, particularly when supported by institutional partnerships and external funding sources. The implementation of the ICP-OES at LAAE will enhance custody chain procedures, expand the laboratory's technical capacity, and establish Goiás as a reference in environmental forensics in Brazil. It is concluded that investing in the ICP-OES will not only meet the growing demand for precise analyses but also contribute to holding offenders accountable and mitigating environmental impacts.

Keywords: ICP-OES. Environmental forensics. Water pollution. Environmental crimes. CONAMA Resolutions.

INTRODUCCIÓN

Los crímenes ambientales, al igual que otros crímenes, dejan huellas, vestigios. En los crímenes de contaminación hídrica, no podría ser diferente. Los manantiales altamente contaminados son un problema presente en todas las unidades federativas de nuestro país, afectando desde las grandes capitales hasta los cursos de agua que atraviesan pequeñas ciudades (Morrison; Murphy, 2006). Sin embargo, verter efluentes en un determinado manantial, por sí mismo, no constituye una práctica criminal. Para que exista un crimen ambiental, este vertido debe ocurrir fuera de los parámetros permitidos por las leyes y regulaciones, como los establecidos en la Resolución CONAMA n° 357/2005, que establece las condiciones y estándares para el vertido de efluentes (Consejo Nacional del Medio Ambiente, 2005) y en la Ley de Crímenes Ambientales (Brasil, 1998).

Por lo tanto, en el momento de realizar la pericia criminal en lugares donde ocurren crímenes de contaminación hídrica, la materialización de la ocurrencia de estos crímenes no se limita a la constatación visual por parte del perito. Para verificar y materializar un posible crimen que esté ocurriendo allí, es necesaria la recolección de muestras para análisis de laboratorio, con el fin de realizar una constatación y medición en los parámetros indicadores de calidad de agua y efluentes, para poder afirmar si determinado vertido está o no ocurriendo fuera de los parámetros legales y está incurriendo en la práctica de un crimen ambiental.

En 2019, fue inaugurado en el Instituto de Criminalística Leonardo Rodrigues, en Goiânia, Goiás, el Laboratorio de Análisis de Aguas y Efluentes, convirtiéndose en pionero en el país entre los Institutos de Criminalística. Este laboratorio representa un hito en la pericia ambiental, ofreciendo la infraestructura necesaria para la materialización de pruebas en crímenes de contaminación hídrica y consolidando a Goiás como una referencia nacional en el área (Goiás, 2019; A Redação, 2019).

La expansión de la criminalidad ambiental y sus impactos devastadores sobre los recursos hídricos requieren de las instituciones públicas, como la Superintendencia de Policía Técnico-Científica de Goiás (SPTC-GO), una respuesta cada vez más ágil, eficaz y basada en el rigor científico. En este contexto, este trabajo propone un análisis detallado de la viabilidad de implementación del Espectrómetro de Emisión Óptica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES) en el Laboratorio de Análisis de Aguas y Efluentes (LAAE), de la SPTC. El ICP-OES es una tecnología avanzada que permitiría al laboratorio expandir significativamente su capacidad de análisis químico, proporcionando una identificación precisa de contaminantes en muestras de agua y efluentes, y así proporcionar pruebas técnicas sólidas en casos de contaminación hídrica. Su aplicación práctica sería un avance en la gestión estratégica de la pericia ambiental, trayendo beneficios directos en la producción de pruebas materiales que apoyan la responsabilización de los infractores y el fortalecimiento de la lucha contra los crímenes ambientales (Kemp *et al.*, 2004).

Este equipo es ampliamente utilizado en la identificación de contaminantes relacionados con actividades mineras e industriales, lo que contribuye a la producción de pruebas materiales sólidas. Según Zhang, en China, por ejemplo, el equipo fue utilizado para mapear la distribución de metales pesados, como plomo y mercurio, en áreas cercanas a fundiciones. Los resultados evidenciaron concentraciones elevadas de estos elementos en el suelo y el agua, superando los límites ambientales y destacando el impacto de las actividades humanas en la calidad ambiental (Zhang *et al.*, 2018). Además, el ICP-OES demostró su eficiencia al identificar fuentes de contaminación, respaldando medidas de mitigación y responsabilización legal.

En Estados Unidos, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) adoptó el ICP-OES para evaluar la contaminación de sedimentos y suelos en áreas industriales, revelando la presencia de arsénico y cadmio en concentraciones críticas. Estos análisis fueron fundamentales para establecer un nexo causal entre las actividades industriales y los daños ambientales, fortaleciendo acciones judiciales y políticas públicas orientadas a la protección ambiental (Arroyo *et al.*, 2010).

La implementación del ICP-OES en el Laboratorio de Análisis de Aguas y Efluentes (LAAE), vinculado a la Superintendencia de Policía Técnico-Científica de Goiás (SPTC/GO), traerá avances significativos a la pericia ambiental en el Estado. El equipo permitirá el análisis de muestras de agua contaminadas, identificando contaminantes como metales pesados, frecuentemente asociados a la minería y al uso intensivo de pesticidas en actividades agrícolas. Estas contaminaciones no solo afectan la biodiversidad, sino que también representan graves riesgos para la salud humana, como en el caso de la bioacumulación de mercurio en las cadenas alimentarias, que puede causar daños neurológicos severos (Egger *et al.*, 2021; Nain *et al.*, 2020).

El uso del Espectrómetro de Emisión Óptica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES) en investigaciones ambientales en Brasil se ha mostrado como una herramienta esencial en la identificación y cuantificación de contaminantes en contextos de crímenes ambientales. En un estudio realizado en el estado de São Paulo, el equipo fue utilizado en el análisis de suelos y sedimentos contaminados en una región impactada por descargas industriales. Los resultados obtenidos permitieron identificar niveles elevados de metales pesados, como plomo (Pb), cadmio (Cd) y mercurio (Hg), cuyas concentraciones superaban los límites establecidos por las normativas ambientales brasileñas, según la Resolución CONAMA n° 357 (Brasil, 2005).

La precisión analítica del ICP-OES permitió mapear la distribución espacial de los contaminantes, destacando las áreas más afectadas y las posibles fuentes de contaminación. Este enfoque proporcionó bases técnicas para la elaboración de informes periciales sólidos, que fueron utilizados como pruebas científicas en acciones judiciales y en la formulación de medidas de remediación ambiental (Arroyo *et al.*, 2010). La investigación demostró cómo el uso de tecnologías avanzadas fortalece la capacidad de los órganos de fiscalización ambiental y contribuye a la responsabilización de los infractores.

Otro ejemplo relevante fue registrado en Minas Gerais, donde el ICP-OES fue utilizado para analizar aguas subterráneas contaminadas por residuos provenientes de actividades mineras. La investigación reveló concentraciones críticas de arsénico (As), un elemento de alta toxicidad, demostrando la gravedad del impacto ambiental generado por el descarte inadecuado de residuos minerales. Los datos obtenidos fueron fundamentales para orientar acciones de compensación ambiental y reforzar la fiscalización en regiones mineras, consolidando el papel del ICP-OES como un instrumento indispensable en la pericia ambiental (Arroyo *et al.*, 2010).

Estos casos resaltan la importancia del ICP-OES en la detección de contaminantes asociados a crímenes ambientales de alta complejidad. Al permitir la identificación de elementos en concentraciones mínimas, el equipo contribuye significativamente a la producción de pruebas técnicas que sustentan procesos judiciales y medidas de mitigación ambiental. Su aplicación en el contexto brasileño refuerza la necesidad de modernización de los laboratorios forenses, especialmente en estados como Goiás, donde la ampliación de la infraestructura tecnológica es esencial para atender la creciente demanda de investigaciones ambientales.

En este contexto, surge la pregunta central que guía este estudio: ¿es viable técnica, operativa y económicamente la implementación del ICP-OES en el LAAE-SPTC/GO? La introducción de este equipo requiere un análisis detallado de sus beneficios y los desafíos involucrados, tanto desde el punto de vista de la infraestructura existente como de la inversión necesaria para su operación.

Además, se busca comprender el impacto potencial que la adopción de esta tecnología tendría en la calidad de las pericias ambientales y en la agilidad de las respuestas institucionales. Así, este artículo propone, como objetivo general, comprender los desafíos y las potencialidades asociadas a la implementación del ICP-OES en el LAEE. Para ello, se han definido objetivos específicos que incluyen: evaluar la necesidad estratégica de invertir en tecnologías avanzadas para la producción de pruebas periciales; describir la estructura física y organizacional del LAEE y sus adecuaciones necesarias; y examinar la viabilidad técnica y financiera de la instalación del ICP-OES en la institución (Tochetto, 2017).

Ante la complejidad y gravedad de los crímenes ambientales, la pericia ambiental emerge como un instrumento indispensable para la producción de pruebas técnicas y la responsabilización de los infractores, destacándose como un campo de estudio esencial para promover la justicia y la protección ambiental, reduciendo la sensación de impunidad en la sociedad.

La relevancia de este estudio es evidente en los ámbitos académico, social y económico. En el contexto académico, la escasez de investigaciones orientadas a la aplicación de tecnologías como el ICP-OES en pericias ambientales resalta la necesidad de un análisis pionero sobre su impacto en crímenes ambientales. Social y económicamente, la implementación de tecnologías más precisas y avanzadas en la pericia de contaminación hídrica trae ventajas que van más allá del ámbito criminal: al proporcionar pruebas sólidas, la institución no solo fortalece la protección ambiental, sino que también contribuye a la salud pública y la economía, reduciendo los daños causados por la contaminación de recursos hídricos (Pereira *et al.*, 2022; United Nations Environment Programme, 2018). Además, la falta de pruebas consistentes en crímenes ambientales muchas veces es motivo de archivo de procesos en fase final de juicio. Esto contribuye a la perpetuación de un ciclo de impunidad, lo que compromete la seguridad ambiental y fomenta la recurrencia de crímenes.

Para la realización de esta investigación, se adoptó un enfoque cualitativo con método deductivo, basado en revisiones bibliográficas, documentales y análisis de datos secundarios. Este método permite explorar en profundidad las implicaciones de la implementación del ICP-OES en el contexto pericial del Estado de Goiás. Gil (2002) y Lakatos y Marconi (2003) destacan que el análisis cualitativo es esencial para estudios exploratorios como este, donde la comprensión de los factores técnicos y financieros requiere una mirada detallada sobre datos y experiencias previas en el campo de la pericia ambiental.

La estructura de este artículo está organizada de la siguiente manera: el primer capítulo discute las nuevas tecnologías y la gestión de recursos para promover la prueba técnica y pericial, destacando la importancia de las inversiones en pericia ambiental y las dificultades financieras

asociadas. El segundo capítulo examina la estructura organizacional y técnica del LAAE, abordando su capacidad y las adecuaciones necesarias para operar el ICP-OES. En el tercer capítulo, se realiza un análisis detallado del funcionamiento y las aplicaciones del ICP-OES en crímenes ambientales, considerando su viabilidad económica y su impacto potencial en la eficacia de las pericias. Estos elementos se articulan para presentar un análisis integrado de la implementación del ICP-OES, proporcionando una base sólida para decisiones futuras en el campo de la criminalística ambiental en Goiás.

1 LA IMPORTANCIA DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS Y LA GESTIÓN DE RECURSOS EN LA PRODUCCIÓN DE PRUEBAS PERICIALES AMBIENTALES

La pericia criminal desempeña un papel esencial en la esclarecimiento de crímenes, ya que es responsable de la producción de pruebas técnicas que orientan las investigaciones y garantizan la responsabilidad de los infractores. Sin embargo, el alto costo y la complejidad de los procesos periciales representan un desafío constante para las instituciones que componen el sistema de justicia criminal. Según datos de la Secretaría Nacional de Seguridad Pública (SENASP), las inversiones en pericia en Brasil han sido limitadas, lo que compromete la capacidad de modernización y el desempeño de los institutos periciales. La falta de recursos afecta directamente la implementación de nuevas tecnologías, esenciales para hacer las pericias más precisas y eficientes (SENASP, 2020).

Las tecnologías aplicadas en el área pericial han evolucionado significativamente en las últimas décadas, con el desarrollo de equipos avanzados capaces de realizar análisis químicos y biológicos detallados, así como de detectar y cuantificar sustancias con precisión. Equipos como el Espectrómetro de Masa con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES) representan un salto tecnológico, ya que permiten el análisis de vestigios con alta sensibilidad, facilitando la identificación de contaminantes en casos de contaminación ambiental y proporcionando pruebas sólidas que respaldan la persecución penal. Según la SENASP, el uso de tecnología avanzada en las pericias es un factor determinante para la eficacia de las investigaciones criminales, especialmente en crímenes ambientales, donde las evidencias son, a menudo, difíciles de detectar sin el uso de metodologías de laboratorio sofisticadas (SENASP, 2019).

La implementación de nuevas tecnologías, sin embargo, requiere una inversión sustancial no solo en la adquisición de los equipos, sino también en la capacitación de los profesionales que los operan. La pericia es un área de alta especialización, y el uso inadecuado de tecnologías puede comprometer la integridad de las pruebas y el proceso de responsabilidad de los involucrados. Además de los costos iniciales de instalación y operación, hay un costo recurrente con el

mantenimiento de los equipos y la reposición de insumos específicos, como reactivos y consumibles de laboratorio, que elevan el costo operativo de las unidades periciales.

Es importante observar también los costos operacionales del ICP-OES como parte de la planificación de su implementación. El mantenimiento regular del equipo, que incluye calibraciones y reemplazo de componentes críticos, puede variar entre R\$ 30,000.00 y R\$ 50,000.00 por año, dependiendo de la intensidad de uso (Thermo Scientific, 2024). Además, el consumo de argón de alta pureza, esencial para el funcionamiento del plasma, tiene un costo promedio de R\$ 800.00 por cilindro, con frecuencia de reposición dependiendo de la demanda analítica. Otros insumos, como reactivos químicos para análisis específicos, agregan aproximadamente R\$ 10,000.00 anuales al presupuesto. Estos datos refuerzan la necesidad de una planificación presupuestaria detallada y de asociaciones institucionales para viabilizar la operación a largo plazo del equipo.

La integración entre tecnologías avanzadas y la capacitación continua de peritos es un elemento esencial para maximizar el impacto de las nuevas herramientas en el ámbito de la pericia ambiental. La introducción de equipos como el ICP-OES requiere no solo conocimientos técnicos para su operación, sino también habilidades analíticas para la interpretación de los resultados. Esta capacitación debe ser dinámica, acompañando las actualizaciones tecnológicas y las demandas de los casos investigados. En el contexto de Goiás, donde el LAE juega un papel estratégico, los entrenamientos específicos podrían incluir metodologías aplicadas al análisis de metales pesados, así como simulaciones prácticas del uso del equipo en casos reales de contaminación hídrica y crímenes ambientales.

En Brasil, la pericia ambiental ha sido un área de creciente relevancia, dada la intensificación de los crímenes ambientales y la presión para que los responsables sean debidamente castigados. Sin embargo, los recursos disponibles para esta área siguen siendo limitados, y pocos institutos de criminalística cuentan con la infraestructura adecuada para realizar pericias en agua y efluentes. El Laboratorio de Análisis de Aguas y Efluentes (LAE) en Goiás, por ejemplo, es una de las pocas iniciativas en el país que tiene como objetivo la materialización de crímenes de contaminación hídrica. Sin embargo, incluso con la estructura actual, el LAE aún carece de inversiones en tecnologías avanzadas, como el ICP-OES, para realizar análisis más detallados y ofrecer pruebas técnicas con mayor precisión (Goiás, 2019).

Goiás enfrenta desafíos significativos relacionados con la criminalidad ambiental, en particular la contaminación hídrica derivada de actividades industriales, agrícolas y del descarte inadecuado de residuos sólidos. Un estudio realizado en la comarca de Rubiataba, entre 2012 y 2018, evidenció que gran parte de las denuncias ambientales está asociada con la contaminación de cuerpos

de agua, destacando la necesidad de una mayor fiscalización y aplicación efectiva de las leyes ambientales (Sainça *et al.*, 2021). El estado de Goiás posee una gama de emprendimientos potencialmente contaminantes que podrían generar contaminaciones ambientales significativas si no son operados correctamente. La modernización del LAAE, con la implementación del ICP-OES, permitiría no solo el análisis preciso de metales pesados y otros contaminantes, sino que también fortalecería los informes técnicos, ya que posibilitaría realizar una mayor cantidad de parámetros ambientales, proporcionando una mayor comprensión de la dimensión de la contaminación y facilitando la definición de la autoría de los crímenes de contaminación hídrica.

Los informes de la SENASP enfatizan la importancia de dotar a los laboratorios de pericia con tecnologías adecuadas, ya que los crímenes ambientales, especialmente los de contaminación hídrica, dejan vestigios complejos que, a menudo, requieren análisis químicos minuciosos para ser identificados. Sin equipos modernos, la capacidad de los peritos de proporcionar informes concluyentes se ve comprometida, lo que dificulta la responsabilización de los contaminadores y la protección del medio ambiente (SENASP, 2020; Goiás, 2019).

Cabe resaltar que la existencia de un equipo con el número adecuado de peritos para atender a la demanda de crímenes ambientales en el Estado es de suma importancia, ya que de nada sirven los recursos financieros si no van acompañados de los recursos humanos cualificados, tan fundamentales para la pericia criminal.

El uso de nuevas tecnologías en la pericia criminal es cada vez más necesario para seguir el ritmo de la sofisticación de los crímenes ambientales y garantizar que las pruebas producidas sean científicamente robustas y confiables. Sin embargo, la implementación de tecnologías avanzadas, como el ICP-OES, enfrenta desafíos financieros sustanciales, ya que el costo de estos equipos es elevado y el proceso de adquisición es complejo, exigiendo planificación presupuestaria y justificaciones técnicas rigurosas. Según la SENASP (2020), la falta de recursos destinados al área pericial es uno de los principales obstáculos para la modernización de los institutos de criminalística en Brasil. Esto genera una disparidad entre los estados, donde solo una minoría tiene la capacidad técnica para realizar análisis químicos sofisticados, esenciales para la comprobación de crímenes como la contaminación hídrica.

Los costos elevados asociados con la pericia no se limitan a la adquisición de equipos. Mantener un laboratorio con tecnología de punta requiere inversiones continuas en mantenimiento y actualización de los aparatos, además de la compra de reactivos y otros insumos específicos. El uso de equipos como el ICP-OES requiere una infraestructura de laboratorio compleja y profesionales altamente capacitados, ya que el análisis de muestras ambientales, especialmente de agua y efluentes,

implica procedimientos rigurosos para garantizar la precisión de los resultados. Estas inversiones en capacitación también son necesarias para que los peritos puedan operar el equipo de manera eficiente e interpretar los resultados de forma precisa, mejorando la calidad de los informes periciales y fortaleciendo las investigaciones.

En Brasil, la deficiencia de infraestructura en los laboratorios periciales impide que muchas regiones cuenten con tecnologías adecuadas para el análisis de contaminantes en cuerpos de agua. La implementación de un equipo como el ICP-OES en el Laboratorio de Análisis de Aguas y Efluentes (LAAE) en Goiás, por ejemplo, podría consolidar al Estado de Goiás como referencia en la producción de pruebas periciales en crímenes de contaminación hídrica. Este laboratorio, inaugurado en 2019, fue pionero en su categoría, pero aún carece de equipos de última generación para ampliar su capacidad analítica y atender a la creciente demanda de pruebas materiales en casos de crímenes ambientales (Goiás, 2019). La SENASP enfatiza que la disponibilidad de tecnologías avanzadas es esencial para que los informes tengan validez científica y puedan ser utilizados en procesos judiciales, asegurando que los delincuentes sean responsabilizados y que los daños ambientales sean mitigados (SENASP, 2020).

La pericia ambiental es especialmente desafiante debido a la naturaleza de los crímenes que investiga. A diferencia de otros tipos de delitos, donde las evidencias pueden ser visibles o tangibles, los crímenes ambientales a menudo dejan vestigios que solo pueden ser detectados mediante análisis de laboratorio complejos. En el caso de la contaminación hídrica, por ejemplo, las sustancias químicas vertidas en los manantiales pueden no ser perceptibles a simple vista, pero representan una amenaza significativa para el medio ambiente y la salud pública. La introducción de tecnologías como el ICP-OES permitiría la identificación y cuantificación de metales pesados, compuestos orgánicos y otros contaminantes con precisión, proporcionando pruebas contundentes para combatir estos crímenes. Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU), la contaminación de los cuerpos de agua es una de las principales causas de degradación ambiental y requiere una respuesta rápida y basada en la ciencia para ser combatida eficazmente (United Nations Environment Programme, 2018).

A pesar de su importancia, la implementación de nuevas tecnologías en la pericia ambiental sigue enfrentando resistencia debido a los costos y la falta de políticas públicas que prioricen el fortalecimiento de la infraestructura pericial. Según la SENASP, uno de los mayores desafíos es alinear el presupuesto público con las necesidades específicas del área pericial, que a menudo se consideran secundarias en relación con otras áreas de la seguridad pública. Sin embargo, la producción de pruebas materiales confiables es uno de los pilares para la justicia ambiental, y la negligencia en esta área compromete la capacidad del Estado de responder adecuadamente a los

crímenes ambientales. Invertir en la pericia ambiental, por lo tanto, no es solo una cuestión de mejorar la eficiencia de las investigaciones, sino también de asegurar que Goiás esté preparado para enfrentar los desafíos de un mundo en el que la protección del medio ambiente es fundamental para la sostenibilidad y el bienestar de la sociedad.

Informes recientes de la SENASP (2020) destacan que la capacitación de los peritos es tan esencial como la adquisición de los equipos, porque sin el conocimiento técnico adecuado, la tecnología se vuelve infrutilizada y los resultados de las pericias pueden verse comprometidos. En estados como Goiás, donde la creación de laboratorios especializados ya representa un avance, el próximo paso debe ser garantizar que estos laboratorios cuenten con el apoyo financiero y técnico necesario para operar a su máxima capacidad.

La pericia ambiental, específicamente relacionada con el análisis de agua y efluentes, exige una infraestructura robusta y equipos capaces de identificar una amplia gama de contaminantes. La falta de inversiones en esta área no solo limita el alcance de las investigaciones, sino que también permite que los crímenes de gran impacto ambiental permanezcan sin respuesta adecuada, perjudicando el desarrollo sostenible y la calidad de vida de la población.

El uso de nuevas tecnologías en la pericia criminal es cada vez más necesario para la materialización de la identificación de los autores de vertidos ilegales o contaminaciones ambientales. Nuevas tecnologías, como el ICP-OES, permiten la identificación y cuantificación de compuestos, lo que facilita caracterizar el vertido o la contaminación, pudiendo finalmente afirmarse que esa contaminación específica es compatible con actividades mineras o con una determinada industria química. Esto facilita enormemente el proceso de investigación y la comprobación de las evidencias en crímenes que, a menudo, ponen en riesgo la salud humana.

Los crímenes ambientales, a veces, pueden afectar a una gran cantidad de personas al mismo tiempo. A diferencia de un crimen de homicidio, los crímenes ambientales pueden afectar a toda la población de una ciudad si, por ejemplo, se contamina la única fuente de agua potable.

En este sentido, es imprescindible que el Estado cuente con una estructura capaz de identificar los crímenes ambientales de contaminación hídrica, ya que estos son indetectables a simple vista. La infraestructura de laboratorio con tecnología de punta es fundamental para asegurar que ningún crimen pase desapercibido y que los delitos sean materializados, debidamente juzgados y el daño ambiental restaurado.

Reservas minerales importantes del país se encuentran en el Estado de Goiás. Debido a esto, existe un número considerable de actividades que componen la cadena productiva en este campo. Según el Diagnóstico del Sector Mineral del Estado de Goiás, el Estado alberga la región de Crixás,

que tiene el 9.25% de las reservas de oro de Brasil, el 12.8% de las reservas minerales de titanio en la región de Catalão, el 72.98% de las reservas de níquel, el 98.14% de las reservas de cobalto, entre otras (Goiás, 2002).

Además de las reservas, la producción mineral en Goiás es muy diversa, con seis emprendimientos que ocupan posiciones importantes en la cadena productiva nacional. La participación de Goiás en el escenario nacional por tipo de mineral es: asbesto 99%, níquel 65%, niobio 40%, fosfato 30%, vermiculita 20% (Goiás, 2002). Por lo tanto, se observa que el Estado de Goiás tiene una participación importante y significativa en el escenario nacional.

Como consecuencia de tantas actividades mineras, se espera que ocurran crímenes ambientales derivados de una mala operación de algún emprendimiento o de rupturas de represas de desechos, entre otras miles de posibilidades que pueden suceder. Ante esto, es imprescindible que el Estado cuente con una estructura para realizar la debida materialización de crímenes ambientales que puedan ocurrir en estas áreas, buscando proteger el derecho al medio ambiente equilibrado y hacer valer la justicia y la seguridad pública en nuestro Estado.

La falta de informes periciales es, muchas veces, la causa de la archivación de procesos judiciales en casos criminales, lo que lleva a la seguridad de la impunidad, lo cual puede aumentar los casos de crímenes ambientales, trayendo consecuencias no solo para el medio ambiente, sino también para la salud de la población.

Para ejemplificar, tenemos el caso ocurrido en 2022 en el municipio de Campos Verde, Goiás. La grave contaminación del Río de los Bois, en ese municipio, evidenció un escenario alarmante de impacto ambiental y humano, atribuido a las operaciones mineras en la región. Los informes técnicos señalaron altos niveles de metales pesados en el agua destinada al abastecimiento público, lo que provocó enfermedades graves en la población, incluyendo diagnósticos de cáncer. Además de la mortalidad de peces, que comprometió la subsistencia alimentaria, más de 100 familias enfrentaron dificultades para acceder al agua potable. A pesar de decisiones judiciales que obligaban medidas de mitigación, como análisis toxicológicos de la población y acciones emergentes, la minera responsable niega su responsabilidad, destacando la complejidad de determinar el origen de la contaminación en una zona naturalmente rica en minerales (Metrópolis, 2022).

Para que los institutos periciales brasileños puedan desempeñar su papel en la protección del medio ambiente, es fundamental que haya un compromiso continuo con la modernización de su infraestructura y con la capacitación de sus profesionales. La pericia ambiental exige no solo equipos como el ICP-OES, sino también profesionales capacitados para realizar análisis precisos e interpretaciones científicas rigurosas.

2 EL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS Y EFLUENTES (LAAE) Y LA EXPANSIÓN DE LA PERICIA AMBIENTAL EN GOIÁS

El Laboratorio de Análisis de Aguas y Efluentes (LAAE), implementado en 2019 en el Instituto de Criminalística Leonardo Rodrigues (ICLR), en Goiânia, Goiás, representó un hito en la pericia criminal ambiental en Brasil. Desarrollado inicialmente como un proyecto de finalización de curso del CEGESP (Curso de Gestión en Seguridad Pública UEG/SSP), el laboratorio se concretó gracias a los recursos proporcionados por el Ministerio Público y la Coordinación de Apoyo Operacional (CAO) del Medio Ambiente (Goiás, 2019; Linhares *et al.*, 2024). Su implementación buscó satisfacer la creciente demanda de análisis laboratoriales que aseguraran la materialización de los crímenes ambientales, fortaleciendo la cadena de custodia y la credibilidad de las pruebas presentadas (Linhares *et al.*, 2024).

Antes de la creación del LAAE, los análisis químicos dependían de instituciones externas, un proceso que frecuentemente comprometía la cadena de custodia de las muestras y la calidad de las pruebas obtenidas. Según Linhares *et al.* (2024), la inauguración del LAAE resolvió parte de estos problemas, permitiendo la realización de análisis detallados y confiables dentro del propio estado, lo que asegura la integridad de la cadena de custodia.

Además, la pericia ambiental ha ganado importancia en Goiás, acompañando la creciente conciencia pública sobre la necesidad de protección del medio ambiente. Sin embargo, todavía enfrenta desafíos, principalmente relacionados con la falta de inversión en infraestructura y recursos humanos (SENASP, 2020). Esta brecha impacta directamente en la capacidad del estado para atender la creciente demanda de investigaciones ambientales, que ha aumentado considerablemente en los últimos años (Goiás, 2019).

Actualmente, el LAAE cuenta con dos peritos criminales, una auxiliar administrativa y una auxiliar de limpieza de vidriería, un equipo claramente insuficiente para atender la creciente demanda (Linhares *et al.*, 2024). La infraestructura del laboratorio consta de dos salas principales, donde se realizan análisis físico-químicos y microbiológicos, y una sala para la redacción de informes. Los exámenes incluyen parámetros como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), coliformes totales, *Escherichia coli*, y sólidos sedimentables (Linhares *et al.*, 2024). Recientemente, se han añadido análisis de nitritos, nitratos y nitrógeno amoniacal al repertorio de parámetros.

A pesar de los avances, la capacidad técnica actual del LAAE aún no es suficiente para atender todos los casos con la rapidez necesaria. Según la SENASP (2020), la introducción de equipos

más avanzados, como el Espectrómetro de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES), podría ampliar considerablemente la gama de análisis realizados y mejorar la calidad de las pruebas presentadas en investigaciones criminales. Sin embargo, la adquisición de dicho equipo requiere no solo inversiones financieras sustanciales, sino también una capacitación técnica específica para los profesionales involucrados.

Uno de los puntos fuertes del LAEE es ser el primer laboratorio en el país en realizar análisis de agua y efluentes con un enfoque exclusivo en investigaciones criminales. Esta característica otorga al laboratorio una posición destacada en el ámbito nacional y fortalece la credibilidad de las pericias realizadas (Linhares *et al.*, 2024). Además, el uso de metodologías reconocidas internacionalmente, como las descritas en los Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, garantiza la precisión de los resultados y aumenta la confianza en los informes emitidos (Hammer; Viessman, 2005).

No obstante, las limitaciones incluyen la falta de equipos avanzados y el número reducido de personal calificado. Estas debilidades limitan la capacidad del LAEE para expandir sus operaciones y atender casos más complejos (Linhares *et al.*, 2024). Según la SENASP (2020), la falta de inversiones continuas en infraestructura y personal compromete no solo la eficiencia del laboratorio, sino también su sostenibilidad a largo plazo.

Para que el LAEE alcance su pleno potencial, es esencial realizar inversiones significativas en la modernización de su infraestructura y en la capacitación de los profesionales involucrados. La implementación de nuevos equipos, como el ICP-OES, no solo ampliaría la capacidad analítica del laboratorio, sino que también consolidaría a Goiás como una referencia nacional en la pericia ambiental (Linhares *et al.*, 2024; SENASP, 2020). Además, la certificación del laboratorio según normas internacionales, como la ISO 17025, sería un paso importante para aumentar aún más la confiabilidad de los informes periciales emitidos (Hammer; Viessman, 2005).

La expansión del LAEE también requiere una mayor articulación con organismos ambientales y asociaciones estratégicas para la captación de recursos. Estas iniciativas permitirían no solo la mejora de los servicios prestados, sino también la creación de un modelo sostenible de gestión, alineado con las mejores prácticas internacionales.

3 EL ICP-OES Y SUS APLICACIONES EN LA PERICIA AMBIENTAL

El Espectrómetro de Emisión Óptica con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES) es ampliamente reconocido por su capacidad para realizar análisis elementales precisos y de alta sensibilidad. Este equipo permite la detección y cuantificación de parámetros ambientales. En el caso

del Laboratorio de Análisis de Aguas y Efluentes, el equipo se adquiriría con la configuración necesaria para cumplir con las resoluciones del CONAMA n° 357, n° 430 y n° 396, con el objetivo de verificar si una muestra tomada en un lugar de presunto crimen ambiental presenta niveles fuera de los límites establecidos por estas resoluciones, constituyendo así un crimen ambiental, según la Ley n° 9.605/98.

El Estado de Goiás tiene una intensa actividad minera, agroindustrial e industrial. Este tipo de equipo permitiría detectar crímenes ambientales y, en muchos casos, dependiendo del tipo de muestra y la recolección de campo, podría incluso relacionar la contaminación de un determinado manantial con el vertido de efluentes específicos de una actividad en particular, ya que permite la identificación precisa de las sustancias y su cuantificación.

3.1 El ICP-OES como instrumento de promoción de la justicia

Utilizando un plasma de argón de alta temperatura, este equipo excita los átomos e iones presentes en las muestras, lo que da como resultado la emisión de luz característica de cada elemento químico. Este enfoque analítico permite la detección simultánea de múltiples elementos en concentraciones de partes por billón (ppb), con una eficiencia superior en términos de velocidad y precisión en comparación con los métodos tradicionales (Milestone, 2024; Thermo Scientific, 2024).

En el contexto de la pericia ambiental, el ICP-OES juega un papel fundamental en la identificación de contaminantes como los metales pesados, que son algunos de los contaminantes más peligrosos para la salud humana y el medio ambiente. Su relevancia para los análisis ambientales radica en su capacidad para detectar elementos en concentraciones mínimas, frecuentemente requeridas en investigaciones ambientales y pericias criminales. Con el equipo configurado para cumplir con los requisitos de las Resoluciones CONAMA n° 357, 396 y 430, el LAE estará capacitado para realizar la identificación y cuantificación precisa de elementos como mercurio, plomo, cadmio, arsénico, entre otros, presentes en actividades industriales y mineras (Brasil, 2005).

El ICP-OES se usa ampliamente para investigar crímenes ambientales relacionados con la contaminación hídrica, principalmente en áreas afectadas por minería y actividades industriales. En un estudio realizado en áreas de minería de oro abandonadas, se detectó la contaminación del suelo y del agua por mercurio y plomo, elementos asociados al proceso de extracción minera. Las muestras, analizadas con ICP-OES, revelaron concentraciones superiores a los límites legales, evidenciando el impacto ambiental y los riesgos para la salud pública (Dhayalan; Saraswathi; TV, 2024). Casos documentados en China demostraron cómo el ICP-OES fue utilizado para mapear la distribución espacial de metales pesados, incluido el mercurio, en zonas de fundición de plomo. Este estudio

mostró cómo la contaminación derivada de actividades industriales se acumulaba en el suelo y en el agua, causando graves daños ecológicos y representando un riesgo directo para las comunidades locales (Zhang *et al.*, 2018).

En Brasil, se pueden identificar casos similares en actividades de minería ilegal, donde el uso indiscriminado de mercurio para la extracción de oro ha generado impactos severos en los ecosistemas fluviales de la Amazonía. En la región suroeste de Goiás, estudios han revelado cómo las actividades mineras contribuyeron a la contaminación de cuerpos de agua con metales pesados como el plomo y el mercurio. Estas sustancias fueron identificadas en concentraciones superiores a los límites permitidos, causando daños a la fauna acuática y a los ecosistemas locales (Vaz *et al.*, 2016). El ICP-OES permitiría un análisis detallado de estos contaminantes, generando pruebas científicas sólidas para responsabilizar a los infractores y apoyar las acciones de recuperación ambiental (Thermo Scientific, 2024).

Los impactos ambientales y de salud asociados con la minería y el uso de pesticidas son considerables. En el caso del mercurio, un contaminante común en la minería de oro, su bioacumulación en las cadenas alimentarias representa un riesgo significativo para las comunidades ribereñas que dependen de los peces como fuente de proteína. Este metal pesado está relacionado con daños neurológicos y enfermedades crónicas en los seres humanos (Egger *et al.*, 2021).

Otra actividad común en el estado de Goiás es la operación de curtiembres, que, si no se gestionan adecuadamente, pueden generar contaminación ambiental por cromo hexavalente, un metal tóxico para seres humanos, animales, plantas y microorganismos (Kimbrough *et al.*, 1999, citado en Ferreira, 2011). El ICP-OES, configurado para cumplir con las Resoluciones CONAMA n° 357, 396 y 430, puede utilizarse para analizar elementos como cromo, fósforo, azufre, mercurio y arsénico, proporcionando datos confiables para investigaciones ambientales y apoyando acciones judiciales (Brasil, 2005; Milestone, 2024).

Estos análisis son fundamentales para la materialización de crímenes ambientales, proporcionando datos técnicos sólidos que pueden ser utilizados como pruebas en procedimientos judiciales. Por ejemplo, estudios indican que el análisis de elementos como arsénico y cadmio, frecuentemente presentes en vertidos industriales, es esencial para responsabilizar a los agentes contaminantes y proponer medidas de mitigación (Brasil, 2005; Milestone, 2024).

La presencia de metales pesados en el ambiente representa un peligro significativo para la salud humana. El mercurio, por ejemplo, es conocido por su toxicidad y capacidad de bioacumulación en las cadenas alimentarias, afectando principalmente a las poblaciones ribereñas que dependen de los peces contaminados como su principal fuente de proteína. Los estudios indican que la exposición

prolongada al mercurio puede causar daños neurológicos irreversibles y aumentar el riesgo de enfermedades crónicas (Zhang *et al.*, 2018; Milestone, 2024).

En el ámbito agrícola, el uso de pesticidas que contienen metales pesados no solo compromete la calidad del suelo y el agua, sino que también afecta directamente a la biodiversidad. Los estudios han demostrado que la contaminación por estos elementos está vinculada a la reducción de la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, especialmente en las regiones del Cerrado con alta actividad agrícola (Lima-Junior *et al.*, 2024).

Desde el punto de vista ambiental, la contaminación por metales pesados compromete la calidad de los recursos hídricos, reduciendo la biodiversidad acuática y afectando los servicios ecosistémicos. La implementación del ICP-OES en el LAEE permitirá una respuesta más eficiente a estos desafíos, ampliando el número de parámetros analizados en el laboratorio y abarcando con mayor eficacia diversos tipos de contaminación y crímenes ambientales.

3.2 Viabilidad Técnica y Económica y Perspectivas de Uso

Aunque el costo inicial del equipo y las adaptaciones necesarias en el laboratorio es elevado (aproximadamente R\$ 1.850.000,00), la viabilidad económica del proyecto puede asegurarse mediante asociaciones institucionales, como con el Ministerio Público y las agencias ambientales. Además, el uso del ICP-OES reducirá la dependencia de laboratorios externos, lo que permitirá economizar recursos y agilizar las investigaciones criminales (Thermo Scientific, 2024).

Además del equipo, será necesario adquirir consumibles como argón de alta pureza (≥ 4.5) e invertir en mantenimientos preventivos periódicos. El proyecto también requiere mejoras en la infraestructura eléctrica, como la instalación de un sistema de respaldo de energía (nobreack) dedicado y tomas exclusivas, así como ajustes en la estructura física del laboratorio, como reforzar las bancadas para soportar el peso del equipo (Milestone, 2024).

Las asociaciones con organismos gubernamentales e instituciones como el Ministerio Público pueden ayudar a financiar el proyecto. Estas colaboraciones no solo viabilizan la adquisición del equipo, sino que también fortalecen la integración institucional y la transparencia en el uso de recursos públicos (Thermo Scientific, 2024).

El uso del ICP-OES también mejorará los procedimientos de la cadena de custodia y aumentará la credibilidad de las pruebas presentadas en los procesos judiciales. Esto será especialmente relevante en casos de gran repercusión, como desastres ambientales derivados de la ruptura de represas o el vertido ilegal de efluentes industriales.

Así, la instalación del ICP-OES en el LAEE representará un avance significativo en la calidad de las pericias ambientales realizadas en Goiás. Actualmente, la capacidad del laboratorio está limitada a análisis menos complejos, lo que dificulta la respuesta a crímenes que implican contaminación hídrica severa. La introducción de este equipo permitirá realizar un análisis detallado de metales pesados y otros elementos traza, lo que aumentará la eficiencia del laboratorio y fortalecerá la credibilidad de los informes emitidos (Milestone, 2024).

Además, la tecnología mejorará los procedimientos de la cadena de custodia, al reducir la necesidad de enviar muestras a laboratorios externos. Esto no solo garantizará mayor agilidad en los resultados, sino que también minimizará los riesgos de contaminación y pérdidas durante el transporte (Thermo Scientific, 2024). La capacitación técnica de los peritos para operar el ICP-OES será esencial para maximizar los beneficios de esta nueva tecnología y asegurar la precisión de los informes emitidos.

CONCLUSIÓN

La implementación del Espectrómetro de Emisión Óptica con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES) en el Laboratorio de Análisis de Aguas y Efluentes (LAEE) de la Superintendencia de Policía Técnico-Científica de Goiás representará un avance técnico y científico significativo en la lucha contra los delitos ambientales en el estado. Este equipo, al permitir la identificación y cuantificación de metales pesados en niveles traza, proporcionará un soporte técnico esencial para la elaboración de informes periciales sólidos y confiables, elementos indispensables para fortalecer las acciones de fiscalización y la responsabilidad de los infractores. Esta modernización consolida la importancia de la pericia ambiental como una herramienta clave en la promoción de la justicia y la protección de los recursos naturales.

Como se discutió a lo largo de este trabajo, la modernización del LAEE no solo responde a una creciente demanda de análisis ambientales más precisos, sino que también se alinea con los objetivos estratégicos de seguridad pública. La incorporación de tecnologías como el ICP-OES refuerza la capacidad institucional para responder a las demandas de las investigaciones criminales, permitiendo una actuación más ágil y eficaz en la lucha contra el crimen ambiental. En este sentido, se concluye que la modernización del LAEE es una estrategia fundamental para garantizar la eficacia de las políticas públicas de protección ambiental y promover el desarrollo sostenible en el estado de Goiás.

Entre los objetivos a corto y mediano plazo destacados en este estudio, se resalta la importancia de la creación de alianzas institucionales e intersectoriales como uno de los pilares para

viabilizar la implementación del ICP-OES. Estas alianzas, que pueden involucrar al Ministerio Público y a las universidades, contribuirán tanto al financiamiento inicial como al apoyo técnico necesario para la operación del equipo. Además, se debe priorizar la capacitación continua de los peritos criminales para asegurar que las nuevas tecnologías se utilicen en su máxima capacidad, optimizando la producción de pruebas técnico-científicas.

Los objetivos establecidos en este trabajo, que incluyen evaluar la viabilidad técnica, operativa y económica de la implementación del ICP-OES, así como describir la infraestructura necesaria para su instalación, fueron abordados a partir de análisis cualitativos y documentales. Las evidencias presentadas demuestran que, a pesar de los desafíos financieros y logísticos, la adquisición del equipo es viable y esencial para superar las limitaciones actuales del LAEE. Además, se concluye que la integración de tecnologías avanzadas, como el ICP-OES, con una gestión eficiente de los recursos y la infraestructura, es el camino más eficaz para enfrentar los delitos ambientales complejos que afectan a Goiás.

Finalmente, la modernización tecnológica del LAEE no solo se trata de mejorar las técnicas periciales, sino de un compromiso con la preservación del medio ambiente, con la responsabilización de los infractores y con la promoción del desarrollo sostenible. Al fortalecer el Estado de Derecho y garantizar la protección de los recursos naturales, la modernización del laboratorio también posicionará a Goiás como un referente nacional en pericia ambiental, reafirmando la importancia de invertir en la ciencia como pilar para combatir la criminalidad y construir una sociedad más justa y ambientalmente consciente.

REFERENCIAS

ARROYO, Luis; TREJOS Tatiana; HOSICK, Theresa. *et al.* Analysis of soils and sediments by laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-ICP-MS): an innovative tool for environmental forensics. **Environmental Forensics**, 2010. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15275922.2010.494949>. Acesso em: 16 nov. 2024.

BARBOSA, Ana Paula Castro Vieira. **Efeitos da quebra da cadeia de custódia da prova na Lei nº 13.964/2019**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Direito) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2023. Disponível em: https://repositorio.pucrs.br/dspace/bitstream/10923/26446/1/2023_1_ANA_PAULA_CASTRO_VIEIRA_BARBOSA_TCC.pdf. Acesso em: 24 abr. 2025.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <conama.mma.gov.br/>. Acesso em: 12 out. 2024.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e estabelece condições e padrões de qualidade para o uso dessas águas. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/>. Acesso em: 23, out. 2024.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 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. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/>. Acesso em: 23 out. 2024.

BRASIL. **Lei 9.605 de 12 de fevereiro de 1998**. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9605.htm Acesso em: 01 jul. 2024.

BRASIL. **Diagnóstico do setor mineral do estado de Goiás**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, 2002. Disponível em: https://antigo.mme.gov.br/pt/web/guest/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/publicacoes/diagnosticos-do-setor-mineral-nos-estados/-/document_library_display/OemkkM3cLKbm/view_file/406631. Acesso em: 23 nov. 2024.

CERRI NETO, Mauro. **Impacto ambiental, degradação ambiental, poluição, contaminação e dano ambiental**: comparação entre conceitos legal e técnico. 2008. 125 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2008. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/92757>. Acesso em: 10 out. 2024.

EGGER, Daniela da Silva *et al.* Ecocide in the cerrados (Brazilian savanna): agribusiness water spoliation and pesticide contamination. **Journal of Environmental Studies**, 2021. Disponível em: <https://rima.ufrj.br/jspui/handle/1235813/8686>. Acesso em: 16 nov. 2024.

FREITAS, Cristina Moreira. Levantamento da disposição final de resíduos sólidos urbanos em 32 municípios do Estado de Goiás. **Revista de Biologia Neotropical**, v. 12, n. 2, 2015. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/RBN/article/view/27876>. Acesso em: 16 nov. 2024.

GOIÁS. **Com novo laboratório, Goiás será pioneiro na materialização de crimes ambientais**. Portal Goiás, 2019. Disponível em: <https://goias.gov.br/seguranca/com-novo-laboratorio-goias-sera-pioneiro-na-materializacao-de-crimes-ambientais/>. Acesso em: 15 nov. 2024.

HAMMER, Mark J.; VIESSMAN, Warren Jr., Warren. **Water Supply and Pollution Control**. 7. ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2005.

JÚNIOR, Osmar Pires Martins. **Perícia Ambiental e Assistência Técnica**: Instrumentos de Defesa dos Direitos Individuais e Coletivos. 2a Edição – Goiânia: PUC-GO, 2010.

LINHARES, Gabriela Nunes Martins *et al.* **Evolução nas Perícias Ambientais**: Como o Novo Laboratório Está Mudando o Jogo Contra a Poluição Hídrica em Goiás. Congresso Nacional de Criminalística, 2024.

LINHARES, Gabriela Nunes Martins *et al.* **O Salto Técnico nas Perícias de Poluição Hídrica com o Laboratório de Águas**. Conferência Internacional de Ciências Forenses – INTERFORENSICS, 2023.

LINHARES, Gabriela Nunes Martins. **Proposta de Implementação de Laboratório de Análises Ambientais no Instituto de Criminalística em Goiânia**. Manuscrito não publicado, CEGESP/UEG, 2016.

METRÓPOLES. **Peixes mortos, população adoecida**: o mistério da água contaminada em Goiás. Disponível em: <https://www.metropoles.com/brasil/peixes-mortos-populacao-adoecida-o-misterio-da-agua-contaminada-em-go>. Acesso em: 23 nov. 2024.

MILESTONE. **Helping Chemists - Clean Chemistry Line**. Disponível em: <https://www.milestonesci.com>. Acesso em: 16 nov. 2024.

MORRISON Robert D. **Environmental Forensics: Principles & Applications**. Florida. U.S.: CRC Press LLC, 2000.

NAIN, Tarsem; SINGAL, Kusum; SANGWAN, Preeti *et al.* Soil as a tool of revelation in forensic science: a review. **Analytical Methods**, 2020. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2020/ay/d0ay01634a>. Acesso em: 16 nov. 2024.

SAINÇA, Aparecida Imaculada de Jesus; *et al.* A tutela jurisdicional dos crimes ambientais ocorridos na comarca de Rubiataba, Goiás, entre o período de 2012 a 2018. **Multitemas**, v. 26, n. 63, 2021. Disponível em: <https://multitemasucdb.emnuvens.com.br/multitemas/article/view/3018>. Acesso em: 16 nov. 2024.

SENASP. **Relatório de Segurança Pública**. Brasília: Ministério da Justiça, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/mj/pt-br/assuntos/senasp>. Acesso em: 15 nov. 2024.

SOUZA, Maria Martins de; JÚNIOR, Jose Mario Vipievski. A Prescindibilidade da Perícia Para Condenação Por Crimes Ambientais. **Caderno de Meio Ambiente e Sustentabilidade**. Vol. 4 n. 3, p 217 – 231/ jul – dez 2014. Disponível em: <http://www.grupouninter.com.br/revistamioambiente/index.php/cadernomeioambiente/article/view/275/192>. Acesso em 10 de setembro de 2016.

THERMO SCIENTIFIC. ICP-OES iCAP Pro XP Duo – **Proposal and Technical Data**. Thermo Fisher, 2024. Disponível em: <https://www.thermofisher.com>. Acesso em: 16 nov. 2024.

TOCHETTO, Luiz. **Perícias Ambientais Criminais**. 2ª ed. Porto Alegre: Milenium Editora, 2017.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Pollution by nutrients**: understanding and preventing it. Nairobi: UNEP, 2018. Disponível em: <https://www.unep.org/>. Acesso em: 23 fev. 2024.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à Qualidade das águas e ao Tratamento de Esgotos** – 3. Ed. – Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2005. P. 452

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for drinking-water quality**. Geneva: WHO, 2020. Disponível em: https://www.who.int/water_sanitation_health/water-quality/guidelines/en/. Acesso em: 23 fev. 2024.

ZHANG, L.; DAI, S.; ZHAO, X. Spatial distribution and correlative study of the total and available heavy metals in soil from a typical lead smelting area, China. **Soil and Sediment Contamination**, 2018. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/15320383.2018.1489373>. Acesso em: 16 nov. 2024.

Esta versión fue originalmente presentada en portugués y traducida al español con el auxilio de Inteligencia Artificial.

Direitos autorais 2025 – Revista de Direito Socioambiental – ReDiS

Editor responsável: Thiago Henrique Costa Silva.



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 Internacional.