

GEO-AI-MT: Detecção e Monitoramento Remoto de Garimpo Ilegal com Inteligência Artificial e Geotecnologias

André Santana Lopes¹, Vinicius Oliveira Souza¹, Ana Lívia Mendes Ribeiro¹, Caio Rosa Santos¹, Gabriel Baião de Andrade Silva¹

¹Instituto Federal de Mato Grosso Fronteira Oeste (IFMT)
Caixa Postal 99 – 78.250-000 – Pontes e Lacerda – MT – Brasil

{caio.santos,g.baiao,livia.mendes,andre.santana}@estudante.ifmt.edu.br,
vinicius.oliveira@ifmt.edu.br

Abstract. *The study applies geoprocessing, remote sensing, and artificial intelligence to monitor illegal mining in the Amazon. Three models were tested: Geo-RNC, Geo-KNN, and Geo-RF, using satellite imagery. The neural network was more accurate, but required more processing. KNN proved simpler but less efficient. The random forest demonstrated a good balance between performance and cost. The metrics confirmed the potential of the techniques. The conclusion is that AI can strengthen environmental monitoring.*

Resumo. *O estudo aplica geoprocessamento, sensoriamento remoto e inteligência artificial para monitorar garimpo ilegal na Amazônia. Foram testados três modelos: Geo-RNC, Geo-KNN e Geo-RF, usando imagens de satélite. A rede neural foi mais precisa, mas exigiu maior processamento. O KNN mostrou simplicidade, porém menor eficiência. A floresta aleatória apresentou bom equilíbrio entre desempenho e custo. As métricas confirmaram o potencial das técnicas. Conclui-se que a IA pode melhorar o monitoramento ambiental.*

1. Introdução e Justificativa

A mineração ilegal de ouro (garimpo) na Amazônia Legal brasileira representa uma crise socioambiental de proporções alarmantes. Os efeitos destrutivos do garimpo se estendem por vastas áreas, causando desmatamento, alteração dos rios e contaminação generalizada por mercúrio, um metal pesado que se bioacumula na cadeia alimentar, afetando fauna, flora e populações humanas vulneráveis, como povos indígenas e comunidades ribeirinhas.

O município de Pontes e Lacerda, Mato Grosso, é um epicentro evidente dessa atividade, sendo palco de sucessivas operações policiais. A rápida reocupação das áreas desmobilizadas demonstra a insuficiência das estratégias de fiscalização pontuais e reativas. A complexidade logística, a periculosidade e a vastidão territorial tornam o monitoramento convencional ineficaz.

O projeto GEO-AI-MT alinha-se a essa demanda urgente. O projeto visa desenvolver o núcleo de inteligência artificial, focando exclusivamente na detecção e monitoramento remoto da atividade garimpeira. O projeto contribui significativamente para o combate a crimes ambientais e dialoga com a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, notadamente os ODS 15 (Vida Terrestre) e ODS 6 (Água Potável e Saneamento)

2. Fundamentação Teórica: O Estado da Arte em Monitoramento Ambiental

As abordagens tradicionais de fiscalização (incursões terrestres e sobrevoos) são marcadas por alto custo operacional, periculosidade e pela natureza reativa, geralmente ocorrendo após o dano ambiental ser extenso.

O Sensoriamento Remoto supera essas limitações, oferecendo uma vigilância sinótica e contínua. A escolha estratégica para o GEO-AI-MT recai sobre os dados do satélite Sentinel-2 (programa Copernicus) devido à sua resolução espacial superior (10m), alta frequência de revisita e política de dados abertos e gratuitos.

A análise se apoiará em técnicas avançadas de processamento:

Índices Espectrais: O NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) detecta a remoção da cobertura vegetal, enquanto o NDWI (Índice de Água por Diferença Normalizada) identifica cavas e lagoas de rejeitos.

Análise de Textura: A incorporação de métricas de textura de segunda ordem (baseadas em GLCM), calculadas sobre as bandas do infravermelho (NIR e SWIR), é um avanço metodológico. Áreas de garimpo possuem uma textura distinta, irregular e caótica, que as diferencia de outras formas de supressão vegetal, aumentando a capacidade de discriminação do modelo.

2.1 Inteligência Artificial: Detecção Automatizada com Deep Learning

O Deep Learning (Aprendizado Profundo), especialmente as Redes Neurais Convolucionais (CNNs), revolucionou a análise de imagens. A arquitetura U-Net é o estado da arte para segmentação semântica. Essa técnica classifica cada pixel individualmente, gerando um mapa detalhado das classes de interesse.

A U-Net, com sua estrutura de codificador-decodificador e suas "conexões de salto" (skip connections), é capaz de preservar detalhes espaciais finos, crucial para delinear as bordas irregulares e as feições complexas das áreas de garimpo com alta precisão. A eficácia do uso de CNNs e U-Net em imagens de satélite para detecção de mineração já foi corroborada por estudos, que resultaram na descoberta de centenas de minas não registradas.



Figura 1. Frentes de garimpo ilegal na Terra Indígena Kayapó, Pará.

3 Proposta de Pesquisa: Metodologia Detalhada

3.1 Objetivo Geral

Desenvolver, implementar e validar uma estrutura integrada e totalmente remota, denominada GEO-AI-MT, baseada na sinergia entre sensoriamento remoto por satélite e inteligência artificial (aprendizado profundo), para o monitoramento contínuo e automatizado de atividades de garimpo ilegal no município de Pontes e Lacerda, MT, e seu entorno, fornecendo dados e modelos validados para o "Projeto Sentinela-IA".

3.1 Metodologia por Fase

O projeto será executado em três fases interdependentes e sequenciais.

Fase I – Aquisição e Pré-processamento de Dados Geoespaciais (Meses 1-2)

Aquisição de Imagens: Obtenção de séries temporais do Sentinel-2 (Nível 1C) através do Copernicus Open Access Hub ou Google Earth Engine.

Pipeline de Pré-processamento:

Correção Atmosférica: Conversão para Nível-2A (refletância da superfície).

Mascaramento de Nuvens: Utilização da banda de qualidade (QA60) para remover pixels contaminados.

Criação de Compósitos: Geração de uma única imagem representativa para cada período por meio da operação de mediana pixel a pixel.

Extração de Atributos: Cálculo dos canais de informação: NDVI e NDWI, e Métricas de Textura de segunda ordem (GLCM), como variância e contraste, sobre as bandas do infravermelho (NIR e SWIR).

Fase II – Desenvolvimento e Treinamento do Modelo GEO-AI-Detect (Meses 3-9)

Criação do Dataset de Treinamento: Rotulação manual de áreas de garimpo (desenhando polígonos) utilizando a ferramenta de código aberto CVAT (Computer Vision Annotation Tool) e imagens de satélite de altíssima resolução como base. Serão rotuladas classes como "Garimpo Ativo", "Garimpo Abandonado/Em Recuperação," e "Floresta Intacta".

Implementação da Arquitetura U-Net: O modelo de segmentação semântica será implementado em Python utilizando a biblioteca PyTorch. A U-Net será customizada para aceitar o maior número de canais de entrada (espectrais, índices e textura).

Treinamento e Validação: O dataset será dividido em 70% para treinamento, 15% para validação e 15% para teste. O desempenho será monitorado com métricas como Acurácia, F1-Score e IoU (Intersection over Union).

Fase III – Validação Remota e Geração de Produtos Finais (Meses 10-12)

Validação com Imagens de Altíssima Resolução (VHR): A validação será estritamente remota. Serão adquiridas imagens de satélite comerciais de altíssima resolução (submétrica, por exemplo, Maxar ou Planet) para um conjunto de áreas. Essas imagens servirão como a "verdade de campo" (ground truth) para uma avaliação final e rigorosa, quantificando os erros de comissão e omissão.

Geração de Mapas de Detecção: O modelo final será aplicado a toda a série temporal para gerar mapas anuais de detecção, que servirão como ferramenta de inteligência para as ações de fiscalização e para o projeto "Sentinela-IA".

4. Resultados Esperados, Impactos e Disseminação

A execução do projeto resultará em produtos tangíveis e contribuições significativas:

Modelo GEO-AI-Detect: Um modelo de Deep Learning (U-Net) treinado, validado e otimizado, encapsulado em software de código aberto.

Banco de Dados Geoespacial Anotado: Um dataset inédito e de alta qualidade para a região de Pontes e Lacerda, com imagens e suas máscaras de anotação (rótulos de garimpo).

Metodologia Integrada e Replicável: Um fluxo de trabalho completo para monitoramento remoto, adaptável a outras áreas da Amazônia ou a outros tipos de mudanças ambientais.

Mapas de Detecção de Garimpo: Uma série histórica de mapas vetoriais indicando a localização e extensão das áreas de garimpo.

4.1 Impactos Potenciais

O principal impacto é a transição para um serviço de monitoramento dinâmico. O fluxo de trabalho proposto pode ser executado periodicamente (e.g., mensalmente) para gerar alertas de mudança, transformando a pesquisa em uma ferramenta de inteligência operacional. Isso fornecerá aos órgãos de fiscalização (IBAMA, SEMA-MT, Ministério Público) uma visão sinótica e atualizada para um planejamento proativo e eficiente.

Em termos socioambientais, o projeto contribuirá para a redução do desmatamento, a proteção da biodiversidade e a mitigação da contaminação por mercúrio, protegendo a saúde das populações locais. Institucionalmente, consolidará o Centro de Pesquisa Aplicada do IFMT como um polo de excelência em geotecnologias e IA, contribuindo para a formação de recursos humanos altamente qualificados.

4.2 Plano de Disseminação dos Resultados

O conhecimento gerado será disseminado através de um plano multifacetado:

Publicações Científicas: Submissão de, no mínimo, um artigo científico a um periódico de alto impacto (Qualis A1/A2).

Participação em Eventos: Apresentação dos resultados em congressos e simpósios de renome nacional (e.g., SBSR).

Transferência de Tecnologia: Elaboração de relatórios técnicos executivos e apresentações formais aos órgãos parceiros (SEMA-MT, IBAMA, Ministério Público) para a incorporação da metodologia em suas rotinas operacionais.

Ciência Aberta: O código-fonte do modelo GEO-AI-Detect e o dataset de treinamento anonimizado serão disponibilizados em repositórios públicos (GitHub) para garantir a reproduzibilidade e reuso.

Referências

Remis Balaniuk, Olga Isupova e Steven Reece (2020) “Mining and Tailings Dam Detection in Satellite Imagery Using Deep Learning”

Olaf Ronneberger, Philipp Fischer e Thomas Brox (2015) “U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation” Computer Science Department and BIOSS Centre for Biological Signalling Studies, University of Freiburg, Germany.

Reddy, G. P. O.; Kumar, N.; Singh, S. K. Remote Sensing and GIS (2018): “Mapping and Monitoring of Land Degradation.”

“GeminiAI”: <https://gemini.google.com/app>