



**MODELAÇÃO ESPACIAL E INTELIGÊNCIA
GEOESPACIAL PARA DETECÇÃO DE
MINERAÇÃO ILEGAL NO BRASIL**

Agostinho Gomes Cascardo Junior

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre em Ciência e Sistemas
de Informação Geográfica

**MODELAÇÃO ESPACIAL E INTELIGÊNCIA GEOESPACIAL PARA DETECÇÃO
DE MINERAÇÃO ILEGAL NO BRASIL**

Dissertação orientada por
Professor Doutor Pedro Cabral
Professor Doutor Franco Perazzoni

Outubro de 2021

DECLARAÇÃO DE ORIGINALIDADE

Declaro que o trabalho contido neste documento é de minha autoria e não de outra pessoa. Toda a assistência recebida de outras pessoas está devidamente assinalada e é efetuada referência a todas as fontes utilizadas (publicadas ou não).

O trabalho não foi anteriormente submetido ou avaliado na *NOVA Information Management School* ou em qualquer instituição.

Porto Velho/RO, 2 de outubro de 2020.

Agostinho Gomes Cascardo Junior

[a versão assinada pelo autor encontra-se arquivada nos serviços da NOVA IMS]

AGRADECIMENTOS

À minha esposa Glaucia, pelo amor e também pela compreensão nos momentos de ausência.

À minha filha Lívia, meu maior presente.

Ao amigo Franco Perazzoni, pela orientação e pelo apoio neste trabalho.

Ao Professor Pedro Cabral, em nome de quem agradeço a todos os docentes da NOVA IMS pelos ensinamentos e pela oportunidade.

RESUMO

Ao lado de meios investigativos já consolidados, o conhecimento e o emprego de SIG e da metodologia GEOINT são uma vantagem na investigação policial e na repressão a crimes de extração mineral. Dentro do ciclo de Inteligência Geoespacial, a Modelação Multicritério encaixa-se na fase de processamento. A Modelação Multicritério em SIG pode auxiliar na seleção de locais suspeitos de crime de uma forma que seria praticamente impossível para seres humanos realizarem sozinhos. Os investigadores criminais sempre utilizaram parâmetros para concluir que situações são suspeitas de crime. O crime de extração mineral ilegal quando cometido em conjunto com o crime de lavagem de capitais tem como parâmetros a perda de cobertura vegetal em local onde não é permitida a extração mineral nas proximidades de uma obra relevante. O SAVI é um índice de vegetação que pode ser aplicado a imagens do satélite Landsat 8 e que pode ser utilizado para detecção de locais onde houve perda de cobertura vegetal, sendo o mais adequado à região Nordeste do Brasil. A utilização da metodologia GEOINT, tendo a Modelação Multicritério na fase de processamento, além de possibilitar a constatação da própria ocorrência delituosa, pode auxiliar na determinação de quando e como ocorreram os crimes, bem como na quantificação dos respectivos danos ambientais, especialmente quando as áreas já sofreram novas intervenções humanas ou regeneraram naturalmente.

ABSTRACT

Along with well-established investigative methods, the knowledge and use of GIS and GEOINT methodology are an advantage in police investigation and in the mineral extraction crimes prosecution. Within Geospatial Intelligence cycle, the Multicriteria Modeling fits into the processing phase. The Multicriteria Modeling in GIS can assist in suspected crime locations selection in a way that would be practically impossible for human beings to do it alone. Criminal investigators have always used parameters to conclude which situations are suspected of crime. Vegetation cover loss in the vicinity of relevant construction in a place where mineral extraction is not allowed is a parameter that leads to an illegal mineral extraction crime committed along with money laundering. The SAVI is a vegetation index that can be applied to Landsat 8 satellite images and can be used to detect locations where there has been vegetation cover loss, being the most suitable for Brazil Northeast Region. The use of the GEOINT methodology with Multicriteria Modeling in the processing phase, in addition to enabling the criminal occurrence verification itself, can help on determining when and how the crimes occurred, as well as on respective environmental damages qualification, especially when new human interventions have already occurred in those areas or when they have naturally regenerated.

PALAVRAS-CHAVE

Modelação

Inteligência Geoespacial

Mineração

Crime

Sistema de Informação Geográfica

Investigação criminal

KEYWORDS

Modeling

Geospatial Intelligence

Mining

Crime

Geographical Information Systems

Criminal Investigation

ACRÓNIMOS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

ANM - Agência Nacional de Mineração

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

ESA - European Space Agency

GEE - Google Earth Engine

GEOINT – Inteligência Geoespacial

GEP - Google Earth Pro

GU – Guia de Utilização

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IMINT – Inteligência de Imagens

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IQN - Índice de Queima Normalizada

IV - Índice de vegetação

MPF - Ministério Público Federal

NDVI - Normalized Difference Vegetation Index

NGA - National Geospatial-Intelligence Agency

OLI - Operational Land Imager

PF – Polícia Federal

PIB - Produto Interno Bruto

SAR - Synthetic Aperture Radar

SAVI - Soil-Adjusted Vegetation Index

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SIGMINE – Sistema de Informações Geográficas da Mineração

TIRS - Thermal Infrared Sensor

USGS - United States Geological Survey

VANT – Veículo Aéreo Não-Tripulado

ÍNDICE DO TEXTO

DECLARAÇÃO DE ORIGINALIDADE.....	iii
AGRADECIMENTOS.....	iv
RESUMO.....	v
ABSTRACT	vi
PALAVRAS-CHAVE.....	vii
KEYWORDS.....	viii
ACRÓNIMOS	ix
ÍNDICE DO TEXTO.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE TABELAS.....	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivo.....	3
1.3. Hipóteses de trabalho.....	4
1.4. Estrutura do Trabalho	5
2. INTELIGÊNCIA GEOESPACIAL E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NA ATIVIDADE POLICIAL.....	6
2.1. Sistemas de Informação Geográfica (SIG)	6
2.2. Inteligência Geoespacial (GEOINT)	7
2.3. Histórico da utilização de SIG e GEOINT na investigação policial.....	10
2.3.1. SIG e GEOINT como auxílio nas investigações criminais.....	11
2.3.2. Usos de SIG e GEOINT na solução de crimes	16
3. CRIMES MINERÁRIOS.....	23
3.1 – Regimes de mineração e aproveitamento mineral	23
3.2 – Principais crimes de mineração	25
3.3 – Principais <i>modus operandi</i> nos crimes de extração mineral ilegal.....	26
4. MODELAÇÃO MULTICRITÉRIO NO CICLO DE GEOINT.....	28
4.1. As fases da metodologia GEOINT	29
4.2. Modelação dentro das fases da metodologia GEOINT	32

5. ESTUDO DE CASO.....	33
5.1 As fases de planejamento e coleta do ciclo GEOINT aplicadas neste trabalho....	33
5.2 Parâmetros de modelação para detecção de mineração ilegal	42
5.3 Aplicação do modelo em um SIG	44
5.3.1 Índices de vegetação e perda de cobertura vegetal	44
5.3.2 Proximidade de uma obra relevante.....	49
5.3.3 Poligonal demarcada sem título minerário.....	50
5.3.4 Combinação dos resultados obtidos	50
5.4 Aplicação do modelo e análise GEOINT	52
5.4.1 Primeira modelação	52
5.4.2 Segunda modelação	62
5.5 Fase de disseminação	71
5.6 Observação sobre lavagem de capitais aplicável às duas modelações	71
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Componentes da GEOINT	9
Figura 2: Comparação entre imagens Landsat 1º/ago/2011 e 10/ago/2011	13
Figura 3: Minas de extração de areia 1	17
Figura 4: Minas de extração de areia 2	17
Figura 5: Minas de extração de areia 3	18
Figura 6: Análise multitemporal 1	21
Figura 7: Análise multitemporal 2	21
Figura 8: Ângulo da sombra do suspeito	21
Figura 9: Fluxograma do crime de mineração	27
Figura 10: Ciclo de GEOINT adaptado a partir de Mellión	31
Figura 11: Ciclo de GEOINT	31
Figura 12: Plataformas de trabalho em um parque eólico	34
Figura 13: Esquema com dimensões de uma sapata quadrada	35
Figura 14: Imagem de uma sapata redonda	36
Figura 15: Shapefile de aerogeradores no Rio Grande do Norte - Brasil	39
Figura 16: Poligonais dos processos minerários do RN	40
Figura 17: Imagem orbital Landsat 8 (banda 4) de junho de 2013	41
Figura 18: Reflectância das ondas R e NIR em função da densidade relativa da vegetação	46
Figura 19: Distribuição da diferença de SAVI no modelo	47
Figura 20: Esquema geral do modelo aplicado	51
Figura 21: Imagem orbital do Complexo	53
Figura 22: Mapa de resultados da aplicação do modelo (primeira modelação)	53
Figura 23: Resultado da aplicação do modelo (visão ampliada)	54
Figura 24: Imagem satelital Processo 848061/2016 em 27/07/2013	55
Figura 25: Imagem satelital Processo 848061/2016 em 4/05/2017	56
Figura 26: Imagem drone Processo 848061/2016 em 3/02/2020	56
Figura 27: Imagem drone aproximada	57

Figura 28: Fotografia do local Processo 848061/2016 em 3/02/2020.....	58
Figura 29: Imagem satelital Processo 848067/2016 em 21/07/2016.....	59
Figura 30: Imagem satelital Processo 848067/2016 em 4/05/2017.....	59
Figura 31: Fotografia do local Processo 848067/2016 em 3/02/2020.....	60
Figura 32: Imagem satelital Processo 848174/2019 em 21/07/2016.....	61
Figura 33: Imagem satelital aproximada	61
Figura 34: Imagem satelital do Complexo Eólico	62
Figura 35: Resultado da aplicação da segunda modelação.....	63
Figura 36: Resultado da segunda aplicação do modelo.....	63
Figura 37: Imagem satelital Processo 848135/2013 em 27/07/2013.....	64
Figura 38: Imagem satelital Processo 848135/2013 em 11/06/2015.....	64
Figura 39: Fotografia do local Processo 848135/2013 em 5/02/2020.....	66
Figura 40: Imagem satelital Processo 848435/2011 em março de 2012.....	67
Figura 41: Imagem satelital Processo 848435/2011 em 6/11/2015.....	68
Figura 42: Imagem satelital aproximada	69
Figura 43: Imagem satelital Processo 848761/2011 em 18/04/2012.....	70
Figura 44: Imagem satelital Processo 848761/2011 em 6/11/2015.....	70

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Regimes minerários	24
Tabela 2: Fases do ciclo de Inteligência.....	29
Tabela 3: Fases do ciclo de Inteligência Geoespacial	30
Tabela 4: Dados do satélite Landsat 8.....	37
Tabela 5: Dados do satélite Sentinel 2	37
Tabela 6: Comparativo de acurácia entre NDVI e SAVI	48
Tabela 7: Dados dos processos minerários referentes aos itens 5.4.1.a e 5.4.1.b	72
Tabela 8: Dados dos processos minerários referentes aos itens 5.4.2.a e 5.4.2.b	73

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

A importância da investigação de crimes minerários está diretamente ligada à própria importância dos minerais para o desenvolvimento sustentável de um país. No início do século, o setor de mineração já representava 8,5 % do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, o que equivalia a US\$ 50,5 bilhões, gerando 500 mil empregos diretos e indiretos (Farias and Coelho 2002). A paralização da atividade minerário é algo impensável, pois a mineração é uma das bases da sociedade industrial moderna, uma vez que fornece matérias-primas essenciais para a indústria (Machado 1989).

A apuração dos delitos minerários sempre foi um desafio para a polícia, sendo certo que não é possível realizar uma extração de minerais sem causar danos ambientais. Dessa forma, a apuração dos crimes de mineração não está centrada na existência ou não de dano ao meio ambiente, mas sim no fato de se tais danos estão ou não em desacordo com a legislação vigente (Cascardo Jr 2019b).

Mesmo a atividade minerária licenciada pelo Estado causa danos ambientais irreversíveis e pode vir a ceifar vidas (Farias and Coelho 2002), como nos casos do rompimento da barreira de rejeitos da Mina de Córrego do Feijão, que destruiu boa parte da cidade de Brumadinho/MG e matou pelo menos 259 pessoas (ALEMG 2019), e do rompimento da barragem de Mariana/MG, em 2015, que, apesar de um número menor de mortos (18 pessoas), causou um enorme desastre ambiental (Johas 2006). Por conta disso, a atividade minerária criminosa precisa ser reprimida com rigor, uma vez que a extração mineral realizada de forma ilegal é ainda mais impactante, pois não conta com mecanismos mínimos de controle (Perazzoni 2010).

A crescente complexidade relativa aos crimes de mineração que vêm sendo perpetrados por organizações criminosas, que fazem cada vez mais uso de ferramentas

de dissimulação, como a lavagem de capitais, vem exigindo que a polícia utilize novas técnicas investigativas que suplantem as tradicionais (Perazzoni, Bacelar-Nicolau, and Painho 2020).

A extração ilegal de minerais demanda tempo e área consideráveis e é realizada, geralmente, em locais ermos, na presença quase exclusiva de pessoas ligadas à atividade criminosa. Dessa forma, a identificação de testemunhas dispostas a depor sobre tais ilícitos é tarefa quase impossível. Além disso, a dissimulação da origem ilícita dos valores por meio de empresas de fachada torna os meios clássicos de investigação quase inúteis (Cascardo Jr 2019b).

Há algum tempo vem-se utilizando Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e Inteligência Geoespacial (GEOINT) para identificação de indícios de autoria e materialidade de crimes (Perazzoni et al. 2020). Considerando que os primeiros satélites lançados na segunda metade de século passado possuíam baixa resolução espacial (Sader, Stone, and Joyce 1990) e que os crimes ambientais deixam enormes vestígios em imagens satelitais, a utilização de sensoriamento remoto primeiramente para detecção de crimes ambientais ocorreu de forma natural.

Dentre os crimes ambientais no Brasil, os crimes de desmatamento foram os primeiros a serem investigados com o uso de imagens de satélite (Cascardo Jr 2019b). Mesmo em imagens de baixa resolução espacial, mas com considerável resolução espectral, foi possível detectar perdas consideráveis de clorofila por meio da utilização de índices de vegetação, como o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) (Perazzoni 2012). A investigação de queimadas ilegais seguiu o mesmo caminho.

Apesar de o uso de SIG e GEOINT para elucidação de crimes não ser tão recente (Terdiman 2007), seu uso em investigação de crimes de mineração ainda é algo pouco explorado e quase não há registros de seu uso em crimes de lavagem de dinheiro (Cascardo Jr 2019a).

1.2 Objetivo

A polícia costuma fazer uso de empirismo para seleção de locais suspeitos. Anos de trabalho levam os policiais a desconfiarem de certas atitudes. Mentalmente, o policial cria diversos parâmetros e os cruza para identificar situações que mereçam mais atenção (Chainey and Ratcliffe 2005). Uma obra em uma residência onde haja muita movimentação de terra - principalmente saída de terra - em uma localidade próxima de um presídio ou de um banco, levanta suspeitas de construção de túnel para fuga ou assalto. No Brasil, quando ocorrem saques de dinheiro em grande quantidade, poucos dias antes de uma eleição por alguém ligado a partidos políticos (3 parâmetros), os policiais logo desconfiam de crime de compra de votos. Esses três parâmetros utilizados pela polícia são tão significativos que alguns juízes federais proibem saques de grande quantidade de dinheiro nas vésperas de eleições (MPF 2018).

É possível que os parâmetros utilizados na investigação criminal para selecionar locais suspeitos possam ser especializados (Chainey and Ratcliffe 2005), o que permite a utilização de técnicas de modelação em SIG como forma de auxiliar tal seleção de uma forma que seria praticamente impossível para seres humanos realizarem sozinhos (Cascardo Jr 2019a).

Nessa esteira, o objetivo desta dissertação é demonstrar como a modelação multicritério baseada em SIG e a GEOINT podem utilizar imagens satelitais e dados georreferenciados para selecionar locais suspeitos de crime de mineração ilegal, tendo como referência uma obra ou construção de relevância. Será utilizada como base a Operação Siroco¹ da Polícia Federal brasileira, que conseguiu vincular o uso de minerais extraído de forma criminosa para a construção de usinas eólicas no estado do Rio Grande do Norte, localizado na região Nordeste do Brasil, sendo obtidos, inclusive, fortes indícios de lavagem de capital por parte das empresas envolvidas (Costa 2020).

¹ Disponível em: <<https://www.reuters.com/article/energia-eolica-policia-idBRKBN24B2W1-OBRBS>>. Acesso em: 24 mar. 2021.

Um meio de aferir modificações na vegetação é realizar a subtração de dois *rasters* que representem os índices de vegetação (IV) de uma mesma localização (Sartori et al. 2009). O estado do Rio Grande do Norte está inserido em uma zona semiárida, onde ocorrem poucas chuvas, possuindo alta reflectância da luz solar e vegetação esparsa (Araújo et al. 2018). Em função disso, o *Soil-Adjusted Vegetation Index* (SAVI) (Huete 1988) é o IV que apresenta resultados melhores para essa região, superando índices mais clássicos como o NDVI (Guedes 2016).

A energia eólica movimentou a economia da região, sendo o Rio Grande do Norte o estado que possui a maior quantidade de aerogeradores no Brasil e é o maior gerador e exportador de energia eólica do país, e ainda possui um enorme potencial de geração de energia eólica, sendo essa uma consequência da qualidade dos ventos do local (Costa 2015).

1.3 Hipóteses de trabalho

A partir de todo o exposto, formulam-se as seguintes hipóteses:

- Ao lado de meios investigativos já consolidados, o conhecimento e emprego de SIG e da metodologia GEOINT são uma vantagem na investigação e repressão de crimes de extração mineral.
- A Modelação Multicritério em SIG está inserida na fase de processamento do ciclo de GEOINT.
- A metodologia GEOINT, com aplicação de Modelação Multicritério em sua fase de processamento, além de possibilitar a constatação da própria ocorrência delituosa, são úteis na determinação de quando e como ocorreram e na quantificação dos respectivos danos ambientais, especialmente quando as áreas já sofreram novas intervenções humanas ou regeneraram naturalmente.
- Os SIG e a metodologia GEOINT permitem economia de recursos humanos e materiais.

1.4 Estrutura do Trabalho

A presente dissertação está dividida em seis capítulos.

O primeiro capítulo é composto por esta introdução, onde são apresentados o enquadramento teórico, os objetivos e as hipóteses de trabalho.

Para compreensão de onde a metodologia presente neste trabalho estaria situada no contexto da investigação criminal, no segundo capítulo são introduzidos os conceitos de SIG e GEOINT, bem como é apresentado um histórico da utilização de SIG e GEOINT na investigação policial, seja como auxílio na investigação criminal, seja como forma efetiva determinar a existência de crimes e indicar sua autoria.

No terceiro capítulo são apresentados regimes de mineração e aproveitamento mineral, bem como os principais crimes minerários previstos na legislação brasileira, além das principais formas como tais crimes costumam ocorrer.

O quarto capítulo é dedicado a explicar as diversas fases da metodologia GEOINT e como a Modelação Multicritério pode encaixar-se dentro de tal metodologia.

O quinto capítulo é focado no estudo de caso, onde o modelo proposto é aplicado em duas situações envolvendo suspeitas de mineração ilegal e lavagem de dinheiro.

Por último, no sexto capítulo, estão contidas as considerações finais do presente estudo, onde são identificadas as principais dificuldades, vantagens e limitações desta pesquisa, bem como possíveis temas para trabalhos posteriores.

2. INTELIGÊNCIA GEOESPACIAL E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

GEOGRÁFICA NA ATIVIDADE POLICIAL

2.1 Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

Longley et al. (2015) conceitua SIG como sendo ferramentas úteis para auxiliar qualquer pessoa, de cientistas a cidadãos, a resolverem problemas geográficos.

Em (Burrough, McDonnell, and Lloyd 2015), temos SIG como o "conjunto poderoso de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre o mundo real".

O conhecimento geográfico é imprescindível a atividade de policial (Perazzoni 2012), e com os SIG é possível realizar complexas análises espaciais, por meio de operações de lógica e de matemática, em grandes quantidades de dados de origens diversas, permitindo a visualização gráfica dos resultados por meio de imagens (Ramos 2000). O principal objetivo dos SIG é o de fornecer informação para auxiliar a tomada de decisão que envolve dados espaciais (Cabral 2000).

Apesar de os conceitos de SIG e GEOINT serem autônomos e não necessariamente haja interseção entre eles, os SIG proporcionaram grande avanço na metodologia GEOINT.

Os SIG e sua capacidade de processamento permitiram que metodologia GEOINT pudesse trabalhar com enormes quantidades de dados digitais das mais diferentes fontes, inclusive imagens de satélite disponíveis gratuitamente ao público em geral ou ainda imagens de melhor resolução e qualidade, compradas de empresas especializadas, permitindo uma melhor compreensão e contextualização de dados e informações (Perazzoni 2012).

Com a facilidade de obtenção de imagens satélite (gerando um incremento considerável da resolução temporal²), o aumento da resolução espacial (não sendo difícil encontrar imagens satelitais com resolução de 30 cm³), a crescente disponibilidade de dados georreferenciados e com o advento de novas técnicas de processamento de dados geográficos, os tipos de crimes investigáveis com SIG e metodologia GEOINT foram ampliados, não estando mais restritos aos crimes ambientais (Cascardo Jr 2019b).

A GEOINT busca produzir conhecimento a partir de dados espaciais e colaterais e, no âmbito da investigação policial, esse conhecimento volta-se mais para a compreensão das circunstâncias do crime e para o estabelecimento de linhas investigativas viáveis do que para a produção de prova propriamente dita, ou seja, apesar de a GEOINT poder produzir provas, essa não é sua principal tarefa.

No próximo tópico apresentaremos uma amostra não-taxativa de crimes que podem ser investigados com SIG e/ou GEOINT.

2.2 Inteligência Geoespacial (GEOINT)

A definição mais utilizada para GEOINT está presente na legislação norte-americana e adotada pela Agência Nacional de Inteligência Geoespacial dos Estados Unidos da América (NGA), como sendo “a exploração e análise de imagens e informações geoespaciais para descrever, avaliar e visualizar as características físicas e as atividades georreferenciadas na Terra. Inteligência Geoespacial consiste em: imagens, inteligência de imagens e informação geoespacial.” (The United States Code, 2017, título 10, § 467, p. 328) (US House of Representatives 2017).

A doutrina norte-americana também define os três componentes da GEOINT citados acima, a saber (NGA 2006 in Perazzoni 2012):

² Corresponde ao tempo que o satélite leva para recobrir a mesma área novamente.

³ Disponível em: <<http://www.engesat.com.br/imagem-de-satelite/>>. Acesso em: 19 mar. 2021.

a) Imagem - Registro visual de qualquer recurso ou ambiente (natural ou produzido pelo homem), seus objetos e atividades relacionadas que contenha os respectivos dados de posicionamento geográfico, produzidos por satélites, plataformas aéreas, veículos aéreos não-tripulados (VANTs), ou outros meios semelhantes;

b) Inteligência de Imagens - Técnica de extrair informações úteis a partir da interpretação ou análise de imagens e dados colaterais. Por dados colaterais entende-se tudo que possa contribuir para a compreensão e interpretação das imagens, inclusive dados e informações de inteligência provenientes de outras fontes;

c) Informação Geoespacial - Informação relativa à superfície da Terra que identifica a localização, a geometria e atributos de ambientes, construções, objetos, recursos ou fenômenos que a ocupam (pode ser proveniente de mapas, dados estatísticos, tabelas, dados e arquivos digitais, entre outros).

Como mostra a figura 1, Inteligência Geoespacial não é uma análise de imagens por si só, e tampouco a análise de dados especiais e/ou colaterais, mas sim a síntese da análise de todos esses dados. GEOINT = Imagem + inteligência de imagem + informação geoespacial. Tais elementos e como se relacionam serão melhor compreendidos mais adiante no estudo de caso.

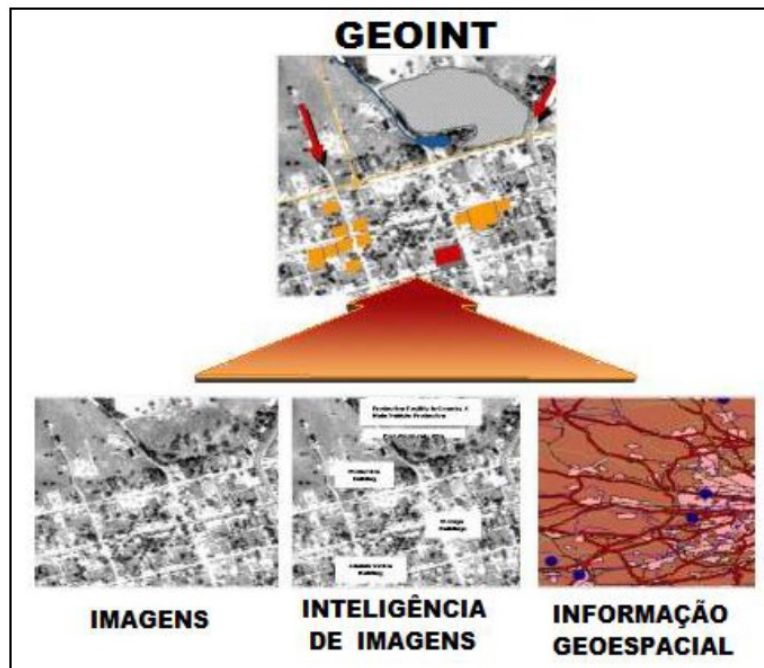


Figura 1: Componentes da GEOINT
 Fonte: NGA 2006 in Perazzoni 2012

Apesar de ser a definição mais conhecida, não a isenta de críticas, conforme pode-se verificar em Bacastow and Bellafiore (2009), que redefinem GEOINT como sendo "a capacidade de descrever, compreender e interpretar de forma a antecipar o impacto humano de um evento ou ação em um ambiente local-temporal" ou "a capacidade de identificar, coletar, armazenar e manipular dados para criar conhecimento geoespacial por meio de pensamento crítico, raciocínio geoespacial e técnicas analíticas".

A GEOINT é uma metodologia que pode ser usada para qualificar e melhor analisar dados provenientes de todas as demais fontes autônomas e não uma simples fonte de produção de inteligência (Perazzoni 2021).

Inicialmente, como pode se imaginar, a GEOINT era realizada por meio de levantamentos fotográficos aéreos e muitas vezes a interpretação desses dados era totalmente manual (Diesel 2009).

No que se refere à investigação policial, a GEOINT possui inúmeras formas de utilização relativamente à repressão, elucidação e prevenção de ilícitos criminais. Sua

aplicabilidade vai desde a identificação de áreas destinadas ao plantio ilícito de entorpecentes até a extração mineral ilegal (Perazzoni et al. 2020).

A utilização da metodologia de GEOINT na atividade de segurança requer dados de satélites de observação da Terra, sejam os que operam em missões individuais ou em constelações (permitindo maior frequência de revisita). Os sensores a bordo desses satélites representarão uma série de novos fenômenos mensuráveis que aumentarão a variedade, a quantidade e a resolução dos dados. (Datcu, King, and D’Elia 2010)

2.3 Histórico da utilização de SIG e GEOINT na investigação policial

O primeiro SIG foi criado por Roger Tomlinson, em 1966 (Goodchild 1992), porém, apenas após a década de 1980, com preços mais acessíveis para tecnologia de computadores, torna-se viável o desenvolvimento de uma indústria de software de SIG (Longley et al. 2015).

Em Chainey and Ratcliffe (2005), é dito que a utilização mais frequente de SIG pelas organizações policiais foi atrasada em função de problemas técnicos, organizacionais e de geocodificação. Apesar de os autores terem suas pesquisas voltadas a mapas criminais, a afirmação é válida para o uso de SIG em todos os usos policiais.

O uso de SIG e GEOINT, na solução de crimes está fortemente associado a crimes ambientais (Perazzoni et al. 2020). Em Cascardo Jr (2019a), vemos que numa simples consulta no buscador Google⁴, em português, com as palavras “imagens”, “satélite” e “crime”⁵, podemos ver que nos 10 primeiros resultados, 8 fazem referência a crimes ambientais e as outras 2 fazem referência a mapeamento criminal.

⁴ Disponível em: <https://www.google.com/search?q=imagens+sat%C3%A9lite+crime&rlz=1C1GCEU_pt-BRBR868BR868&oq=ima&aqs=chrome.1.69i57j69i59j69i60l3j69i65.11375j1j4&sourceid=chrome&ie=UTF-8>. Acesso em: 6 mar. 2021.

⁵ Tais palavras foram escolhidas porque denotam a visão leiga sobre GEOINT. A maioria dos resultados é relativo a notícias jornalísticas e tais notícias passam a impressão de que as investigações criminais seriam resultado único de análise de imagens satelitais, o que a prática demonstra ser equivocado.

Essa associação não ocorre sem motivo no Brasil. Os principais crimes ambientais (desmatamento, poluição, queimadas etc.) causam impactos visíveis em áreas extensas e, para a detecção de tais crimes, não é necessária uma refinada resolução espacial⁶ de imagens (Cascardo Jr 2019a), uma vez que algumas áreas de extração mineral e florestal correspondem a regiões ou até mesmo países inteiros (Perazzoni 2012). Dessa forma, mesmo as imagens dos mais antigos satélites de observação da Terra eram capazes de auxiliar em conclusões sobre esses crimes.

Antes de abordar o uso de SIG e GEOINT pelas forças de segurança como evidência criminal capaz de apontar a autoria dos delitos, há que se explanar inicialmente sobre mapeamento criminal, que foi a primeira forma de utilização de SIG com auxílio nas investigações criminais.

2.3.1 SIG e GEOINT como auxílio nas investigações criminais

O Mapeamento criminal é uma mistura progressiva de questões práticas de justiça criminal com o campo de pesquisa em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica (Chainey and Ratcliffe 2005). É uma aplicação do campo científico mais amplo da cartografia, que sofreu uma transformação com o advento dos SIG (Harries 1999). Harries (1999) cita o trabalho produzido por Shaw and McKay (1943), uma análise clássica sobre delinquência juvenil em Chicago, como sendo o marco histórico da pesquisa que envolve o mapeamento do crime, na primeira metade do século XX, porém, de acordo com Weisburd and McEwen (2015), a primeira aplicação de mapeamento criminal com uso de tecnologia computacional ocorre no final da década de 1960, com os trabalhos de Pauly, McEwen, and Finch (1967), bem como de Carnaghi and McEwen (1970), que mostraram o potencial de representações visuais de padrões de crimes através de mapas gerados por computador. Tais mapas inicialmente estavam mais voltados à compreensão da distribuição geográfica do crime para

⁶ O primeiro satélite Landsat, lançado em 1972, tinha resolução espacial de 80 metros.

adoção de medidas preventivas e de repressão imediata, porém é importante mencioná-los, pois estão na origem da utilização de SIG pelas polícias.

Em Brantingham and Brantingham (2017)⁷, é demonstrado o Perfil Criminal Geográfico (*Geographic Profile*), metodologia que identifica prováveis locais de residência de assassinos seriais em função dos locais dos crimes. Tal metodologia foi empregada com sucesso pelo Departamento de Polícia de Vancouver no Canadá em investigações de homicídio (Rossmo 1987). O perfil criminal geográfico é uma utilização do mapeamento criminal no apoio a investigação criminal.

O Perfil Criminal Geográfico pode ser usado para priorizar suspeitos que residam em determinada área ou pessoas que possuam antecedentes criminais por ilícitos semelhantes (Brantingham and Brantingham 2017). Apesar de fornecer um meio para gerenciar grandes volumes de informações geradas nas principais investigações criminais, é importante enfatizar que o Perfil Criminal Geográfico não soluciona crimes por si só (Harries 1999).

Após fazer parte do trabalho policial por meio do Mapeamento Criminal, os SIG passam a ser utilizados como ferramenta capaz de identificar crimes e seus autores, porém, o uso de SIG e GEOINT como evidência criminal capaz de apontar a autoria criminosa inicia-se nas investigações de crimes ambientais.

2.3.1.2 – Combate ao desmatamento

Os primeiros dados de satélite disponíveis com periodicidade para florestas tropicais foram do Landsat MSS (Sloan 2012). Alguns países tropicais, onde projetos de sensoriamento remoto nacionais ou internacionais foram realizados durante a década de 1970 e início da década de 1980, receberam prioridade para a coleta de dados do Landsat fora dos EUA (Sader et al. 1990).

⁷ A primeira publicação desse artigo ocorre em 1981, na revista *Environmental Criminology*, Beverly Hills, CA: Sage Publications, p. 27-54, porém, apenas a publicação de 2017 é indexada.

O primeiro uso registrado de GEOINT como ferramenta para produção de evidências em um processo criminal ocorre em 2007 na operação Mappinguari da Polícia Federal brasileira (PF), na qual 24 pessoas foram presas por desmatamento criminoso em reserva indígena (Cascardo Jr 2019a). Na decisão de recebimento da denúncia, o magistrado inclusive determina que o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) realize a coleta de imagens de satélite das áreas manejadas ou que deveriam ser manejadas, efetuando a análise da exploração florestal (Resende 2007).

A metodologia empregada nessa e em outras operações policiais, que apareceu de forma superficial em notícias jornalísticas, é descrita de forma minuciosa em (Perazzoni 2012), dissertação apresentada no mestrado em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica da Universidade Nova de Lisboa, onde é demonstrado como utilizar imagens satelitais e dados georreferenciados, com técnicas de Inteligência Geoespacial, não só para detectar o desmatamento na Floresta Amazônica, mas comprovar que tal desmatamento foi criminoso e identificar seus autores. Além disso, na mesma dissertação, são demonstrados os usos das mesmas ferramentas para comprovação de crimes de fraude relativas a documentos florestais e até mesmo indícios de corrupção de servidores públicos. Tal técnica foi amplamente difundida na Polícia Federal Brasileira, influenciando os diversos países vizinhos que compartilham a mesma floresta⁸ (Cascardo Jr 2019a).

⁸ Técnica similar descrita em <<https://es.insightcrime.org/noticias/noticias-del-dia/satelites-amenaza-criminales-amazonia-peru/>>. Acesso em: 15 mar. 2021.

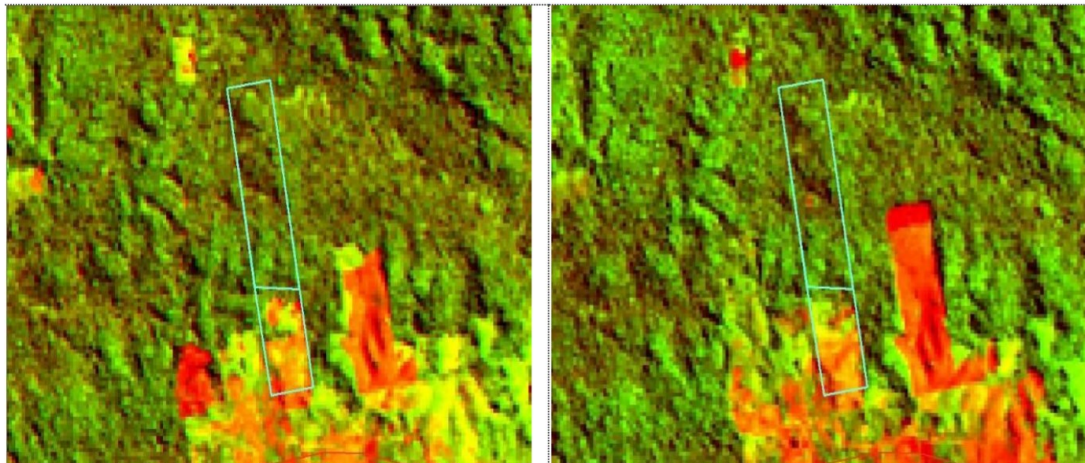


Figura 2: Comparação entre imagens Landsat 1º/ago/2011 e 10/ago/2011
Fonte: Perazzoni 2012

Por meio da metodologia GEOINT são feitas não só análise multitemporal de imagens satelitais, mas também análise de dados colaterais e de informações geoespaciais para ao final se concluir pela ocorrência ou não de crime, individualizando seus autores (Perazzoni et al. 2020).

2.3.1.3 – Queimadas ilegais

Em Trindade, Trindade, and Santana (2013), vemos traços da mesma técnica usada por Perazzoni (2012), porém aplicada a queimadas. Somado ao uso de análise multitemporal de imagens também foram realizadas investigações *in loco* que possibilitaram a obtenção de dados colaterais. Foram utilizadas imagens do satélite Landsat 5 que foram geoprocessadas e apresentadas em IQN⁹ para comprovação dos crimes de queimadas.

Da análise multitemporal das imagens é possível ver a diferença entre as fotos de antes e depois da queimada ocorrida no local.

⁹ Índice de Queima Normalizada (IQN) foi desenvolvido por Koutsias and Karteris (1998)

2.3.1.4 – Vazamento de óleo no mar

O uso de SIG para mensuração de vazamentos de óleo no mar pode ser encontrado em artigos do século passado. Em Jensen et al. (1993), temos a descrição de um banco de dados de índice de sensibilidade ambiental desenvolvido com o auxílio de sensoriamento remoto (usando imagens Landsat) e SIG como auxílio nas operações de limpeza dos locais atingidos.

Porém o registro mais antigo encontrado neste trabalho sobre o uso de imagens satelitais como evidência criminal ocorre a partir de 1999, sendo descrito em Vollaard (2017). Em tal estudo, é demonstrado o uso de imagens radar como prova, em processo criminal, de descarte criminoso de óleo por navios.

Importante mencionar neste ponto que, no caso de vazamento ou descarte de óleo no mar, conforme apresentado por Fingas and Brown (2017), as imagens SAR apresentam-se como a melhor opção para detecção de óleo no mar. Não só por ser mais fácil detectar as manchas de óleo pela diferença de rugosidade da superfície do mar, que nem sempre é visível na composição de cores RGB¹⁰, mas também porque os satélites radar são capazes de registrar imagens mesmo em tempo nublado, com chuva, ou à noite (Fingas and Brown 2017).

A única limitação da imagem SAR é que requer calibrações específicas para detecção de óleo, o que exige grande capacidade de processamento e conhecimento específico (Da Silva et al. 2017)¹¹.

O próximo capítulo explorará os usos dos SIG e da GEOINT com imagens de satélites de alta resolução e demonstrará que o uso de tais ferramentas ampliou muito os tipos de crimes solucionáveis com elas.

¹⁰ RGB – abreviatura para Red-green-blue, as bandas espectrais que representam as cores vermelha, verde e azul. Nessa composição podem ser usados os espectros da luz visível (vermelho, verde e azul) ou pode-se substituí-los por outros espectros disponíveis na imagem.

¹¹ Satélites que operam na Banda X, como o Skymed, na polarização VV no geral são apontados como mais adequados que bandas L (Alos2) e C (Sentinel1), no caso dos óleos (Da Silva et al. 2017).

2.3.2 Usos de SIG e GEOINT na solução de crimes

Neste tópico abordaremos não só o uso de SIG e GEOINT como auxílio na investigação criminal, mas como forma de apontar demonstrar a existência de um crime e, principalmente, dar fortes indícios de quem seria o seu autor, ou seja, contribuir efetivamente para solução de um crime.

2.3.2.1 – Extração mineral ilegal e lavagem de dinheiro

No Brasil, assim como em muitos outros países, os recursos minerais do solo são de propriedade do Estado (mais precisamente, da União). A extração sem autorização do ente público configura crime. No Brasil, o nome do crime é Usurpação e tem a mesma pena do crime de furto¹² (Feigelson 2018).

Em Cascardo Jr (2019b), temos a apresentação do uso de GEOINT para comprovação de crimes de extração ilegal de minerais e identificação de sua autoria utilizando-se tão somente imagens gratuitas do *Google Earth Pro* e dados abertos georreferenciados obtidos em sítios de órgãos públicos.

A análise multitemporal das imagens, aliada à análise dos dados georreferenciados, que não só indicam o polígono onde a extração foi demarcada como também diversos dados sobre propriedade, minério, dados processuais etc., podem fazer concluir com facilidade acerca da existência do crime e sua autoria (Cascardo Jr 2019b).

Na figura 3, temos uma imagem de 23/12/2011, onde, na parte esquerda, está uma poligonal¹³ onde a extração de areia é permitida e, na parte direita, está uma poligonal onde a extração não é ainda permitida. Ambos os polígonos possuem como titular a mesma empresa (Cascardo Jr 2019b).

¹² Reclusão de 1 a 5 anos e multa.

¹³ Os desenhos das poligonais e os dados georreferenciados foram obtidos no sítio da Agência Nacional de Mineração brasileira.



Figura 3: Minas de extração de areia 1
Fonte: Cascardo Jr 2019b

Na figura 4, de 1º/06/2013, é possível ver com clareza que as balsas de extração que estavam na poligonal esquerda na parte superior (vide figura 3) migraram para a direita e estão explorando a parte superior da poligonal direita, mesmo não sendo ainda permitido (Cascardo Jr 2019b).



Figura 4: Minas de extração de areia 2
Fonte: Cascardo Jr 2019b

Na figura 5, vê-se a imagem mais recente e o resultado da exploração criminosa, bem como os dados georreferenciados que estão associados ao polígono onde ocorreu o crime de usuração como nome do titular do processo minerário, tamanho da área, status do processo etc. (Cascardo Jr 2019b).



Figura 5: Minas de extração de areia 3
Fonte: Cascardo Jr 2019b

Ainda de acordo com Cascardo Jr (2019b), é possível concluir que ambas as poligonais pertencem à mesma empresa, é possível deduzir das imagens que o título autorizativo da poligonal da esquerda está sendo utilizado como forma de dar aparência de licitude para o mineral (areia) retirado de forma criminosa da poligonal da direita. Tal conduta, configura do crime de lavagem de capitais.

2.3.2.2 – Tráfico de drogas

Em boa parte do mundo, excetuando países como Peru, Bolívia e Colômbia, possuir uma plantação de coca por si só já configura crime de tráfico de drogas (Kennedy, Reuter, and Riley 1993). A maconha, apesar de já liberada em diversos países, também tem seu plantio proscrito na maior parte do mundo (Habibi and Hoffman 2018).

Imagens de sensoriamento remoto de alta resolução espacial foram usadas com sucesso para detectar Cannabis por métodos visuais de interpretação de imagens como WorldView-2 e GeoEye (Houmi, Mohamadi, and Balz 2018).

Porém, além da melhora na resolução espacial, temos novas ferramentas de processamento de dados geográficos como auxílio na detecção de plantações de plantas proscritas.

Em Houmi et al. (2018) temos a descrição de como plantações de maconha podem ser detectadas pela assinatura espectral da plantação mesmo com imagens de média resolução espacial¹⁴.

Em Pesaresi (2008) é descrita a detecção de plantações de coca por meio de análise da textura das imagens, uma técnica de processamento que recalcula cada pixel da imagem, com base nos tons de cinza, de forma a separar uma plantação de coca das demais vegetações.

Uma vez conhecido o local de plantio, pode-se utilizar de dados georreferenciados para se descobrir o provável dono da plantação. No Brasil, o Cadastro Ambiental Rural (CAR) possui os dados georreferenciados das propriedades rurais¹⁵ (Perazzoni 2018).

2.3.2.3 – Uso de GEOINT no auxílio à investigação de homicídio

Em (Cascardo Jr 2019a), temos a análise de um vídeo que circulou pelas redes sociais que mostrava o assassinato de duas mulheres e seus filhos. É possível ver as mulheres e crianças, sendo conduzidas por homens trajando roupas militares e armados com fuzis. Após serem arrastadas por uma estrada as vítimas são vendadas e

¹⁴ Satélite Landsat 7 com resolução espacial de 30 m.

¹⁵ O Cadastro Ambiental Rural – CAR é um registro público eletrônico nacional, obrigatório para todos os imóveis rurais, com a finalidade de integrar as informações ambientais das propriedades e posses rurais, compondo base de dados para controle, monitoramento, planejamento ambiental e econômico e combate ao desmatamento.

forçadas a se ajoelhar. É possível ouvir 22 disparos de arma de fogo que vitimaram as mulheres e crianças¹⁶.

Era desconhecido o local e o tempo da ação criminosa, bem como a identificação de dos autores do delito e das vítimas (BBC 2018).

A empresa britânica de mídia BBC exibiu um vídeo chamado *Anatomy of a Killing*¹⁷ onde é demonstrado como foi possível concluir o local e o tempo de um crime de homicídio, assim como a identidade de seus possíveis perpetradores (BBC 2018).

Com base na comparação das silhuetas das montanhas mostradas no vídeo com o modelo 3D da Digital Globe, bem como comparação entre as imagens vistas no vídeo e edificações vistas nas imagens satelitais, foi possível determinar o local do crime. Utilizando-se da comparação multitemporal entre as imagens das edificações vistas no vídeo e imagens de satélite do local, somada à análise do ângulo da sombra deixada pelos suspeitos, o lapso temporal do crime foi definido entre março e abril de 2015. Por último, dados georreferenciados apontaram a existência de um posto militar nas proximidades do local do crime, onde os suspeitos foram identificados com base em dados presentes em suas redes sociais (BBC 2018).

Nas figuras 6, 7 e 8, algumas das imagens relativas ao vídeo supracitado.

¹⁶ Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/internacional-45650800>>. Acesso em: 15 mar. 2021.

¹⁷ Disponível em: <<https://www.bbc.com/news/av/world-africa-45599973/cameroon-atrocity-finding-the-soldiers-who-killed-this-woman>>. Acesso em: 20 mar. 2021.



Figura 6: Análise multitemporal 1
Fonte: BBC 2018



Figura 7: Análise multitemporal 2
Fonte: BBC 2018



Figura 8: Ângulo da sombra do suspeito
Fonte: BBC 2018

Apesar de o vídeo da BBC não fazer menção à GEOINT, um espectador mais atento pode notar foram realizadas análises multitemporais de imagens, interpretação de imagens que estão no vídeo a partir de imagens satelitais (inteligência de imagens), bem como análise de informação georreferenciada e dados colaterais chegar a conclusões sobre o crime (Cascardo Jr 2019a).

Dessa forma, apesar de não ser expressamente citado no vídeo, a metodologia utilizada para se concluir acerca do local e do intervalo temporal da ocorrência do crime, bem como indícios de quem seriam seus perpetradores, pode ser classificada como GEOINT (Imagem + inteligência de imagem + informações geoespaciais) (Cascardo Jr 2019a).

3. CRIMES MINERÁRIOS

Os recursos minerais são bens da União (art. 20, XI) (Brasil 1988), porém o domínio exercido pela União sobre os recursos minerais não se confunde com o direito de propriedade na sua acepção civilista, correspondendo, na verdade, a um exercício de soberania nacional (Perazzoni 2010). Pode-se dizer que os recursos minerais pertencem à coletividade, representada pela União. Seu aproveitamento econômico acompanha a utilidade social do bem (Bandeira 2011). Dessa forma, toda a mineração no Brasil depende de autorização do Poder Público (Freire 2007).

Nesse contexto, surgem os regimes de aproveitamento de substâncias minerais que se encontram previstos no art. 2º e seu parágrafo único do Código de Mineração (Brasil 1967), que são os seguintes: Autorização, Concessão, Licenciamento, Permissão de Lavra Garimpeira e Registro de Extração.

3.1 – Regimes de mineração e aproveitamento mineral

Na tabela 1, podemos ver de forma simplificada, os principais regimes de mineração e aproveitamento mineral:

Tabela 1: Regimes minerários

Regime	Objetivo	Pré-requisito	Prazo
Autorização	Direito de executar os trabalhos necessários à definição da jazida, sua avaliação e a determinação da exequibilidade do seu aproveitamento econômico, mas não permite o efetivo aproveitamento econômico do recurso mineral objeto da pesquisa ¹⁸	Processo específico	De 1 a 3 anos
Concessão	Aproveitamento econômico da substância mineral que passará por processo de beneficiamento	Licença de Operação do órgão ambiental competente	5 anos (renováveis)
Licenciamento	Permite exclusivamente, ao proprietário do solo, ou a quem dele tiver expressa autorização, o aproveitamento econômico em área máxima de 50 hectares, de minerais destinados à construção civil	Licença específica, expedida pelo município de situação da jazida Licença de Instalação expedida pelo órgão ambiental competente Propriedade do terreno ou autorização do proprietário	O mesmo da licença específica, expedida pelo município
Permissão de Lavra Garimpeira	Permitir a extração e o aproveitamento de minerais considerados garimpáveis (ouro, diamante, cassiterita etc)	Licenciamento Ambiental pelo órgão competente	5 anos (renováveis)

Fonte: Brasil 1967; Brasil 1988; Bandeira 2011; Freire 2007; Feigelson 2018; Brasil 1978; Brasil 1989; DNPM 2004; Brasil 2018

¹⁸ O titular do processo minerário pode, em casos excepcionais (previstos no art. 102, § 1º, da Consolidação Normativa do DNPM), requerer à Agência Nacional de Mineração - ANM a emissão de Guia de Utilização (GU) para autorizar o empreendedor a comercializar parte definida dos recursos em questão, como forma de captação de dinheiro para o período de pesquisa (Feigelson 2018).

3.2 – Principais crimes de mineração

O primeiro e principal tipo penal relativo a crimes de mineração, no qual o Poder Público resolveu proibir o ataque ao seu patrimônio (Perazzoni 2018), está previsto na Lei n.º 8.176, de 08 de fevereiro de 1991 (Brasil 1991), que em seu artigo 2º prevê:

Art. 2º Constitui crime contra o patrimônio, na modalidade de usurpação, produzir bens ou explorar matéria-prima pertencentes à União, sem autorização legal ou em desacordo com as obrigações impostas pelo título autorizativo.

Pena: detenção, de um a cinco anos e multa.

§ 1º Incorre na mesma pena aquele que, sem autorização legal, adquirir, transportar, industrializar, tiver consigo, consumir ou comercializar produtos ou matéria-prima, obtidos na forma prevista no caput deste artigo.

§ 2º No crime definido neste artigo, a pena de multa será fixada entre dez e trezentos e sessenta dias-multa, conforme seja necessário e suficiente para a reprovação e a prevenção do crime.

Posteriormente o art. 55 da Lei n.º 9.605/1998 também considerou como crime (Brasil 1998):

Art. 55. Executar pesquisa, lavra ou extração de recursos minerais sem a competente autorização, permissão, concessão ou licença, ou em desacordo com a obtida:

Pena - detenção, de seis meses a um ano, e multa.

Parágrafo único. Nas mesmas penas incorre quem deixa de recuperar a área pesquisada ou explorada, nos termos da autorização, permissão, licença, concessão ou determinação do órgão competente.

Esses crimes já geraram acaloradas discussões, principalmente no que se refere a uma possível derrogação do crime de usurpação pelo crime ambiental (Perazzoni 2010). Hoje essa discussão já se encontra superada, uma vez que a jurisprudência dos tribunais é unânime acerca da possibilidade de concurso formal dos dois delitos (Cascardo Jr 2019b).

3.3 – Principais *modus operandi* nos crimes de extração mineral ilegal

É notório que grande parte das pedras e minerais extraídos no Brasil é proveniente de áreas sem título autorizativo (Perazzoni 2010). De acordo com publicação no site Amazônia Real, uma das maiores operações da Polícia Federal contra o garimpo ilegal – operação Warari Koxi¹⁹ – concluiu que, nos anos de 2014 e 2015, foram movimentados R\$ 1 bilhão em ouro decorrente de extração ilegal no estado de Roraima, sendo certo que, naquele estado, não existe uma única Permissão de Lavra Garimpeira registrada na ANM.

A principal forma de extração criminosa ocorre quando o minerador marca uma poligonal (área onde se pretende realizar a extração) junto à ANM, dando início ao processo minerário, porém, em vez de aguardar a expedição do título minerário autorizativo, o minerador já começa a extração sem qualquer título. Outra modalidade criminosa ocorre quando o minerador obtém sua outorga legal, mas posteriormente começa a extrair fora da poligonal demarcada (Cascardo Jr and Pauli 2020).

Outro caso comum ocorre quando proprietários de terras e titulares de direitos minerários, responsáveis por uma poligonal de extração lícita de minerais, em conluio com lideranças indígenas, garimpeiros, empresários do ramo e até mesmo servidores públicos, valem-se de seus títulos autorizativos para que minerais extraídos ilegalmente de outras áreas possam ser convertidos em ativos lícitos e efetivamente

¹⁹ Disponível em: <<http://amazoniareal.com.br/ouro-da-terra-yanomami-era-vendido-em-empresa-da-avenida-paulista/>>. Acesso em: 21 fev. 2021.

comercializados (Perazzoni 2012). Nesse caso, além do crime ambiental e do crime de usurpação, em concurso formal, temos o crime de lavagem de capitais.

Na figura 9, temos o fluxograma do processo de lavagem de capitais obtidos por crimes de mineração.

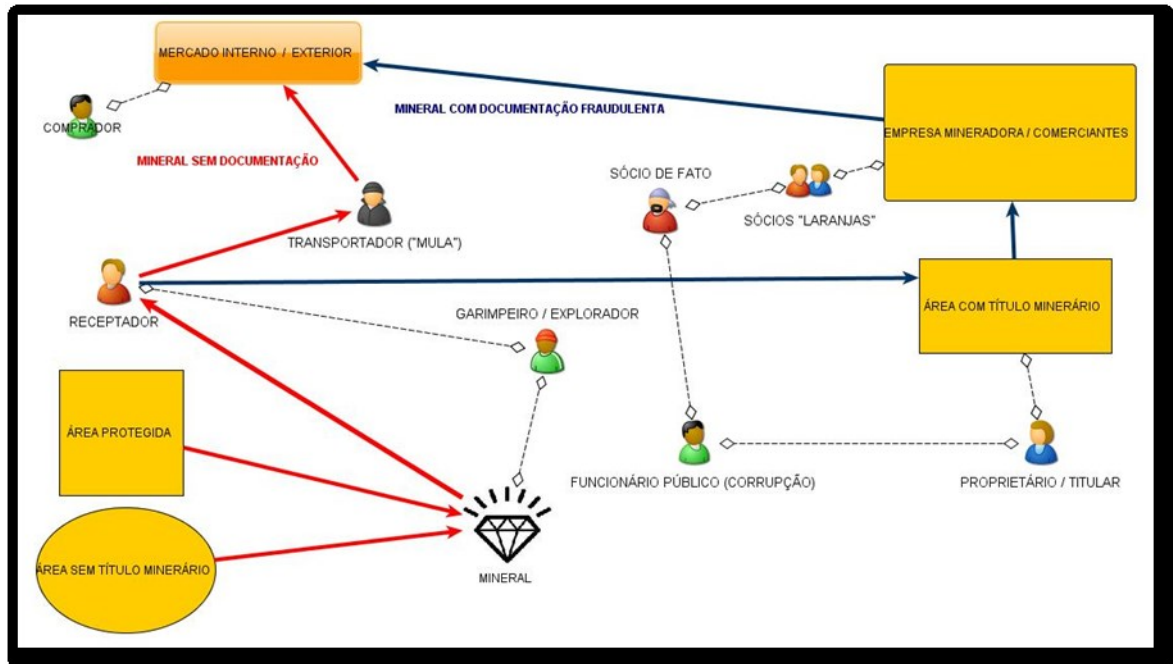


Figura 9: Fluxograma do crime de mineração
Fonte: Perazzoni 2010

Considerando que o presente trabalho é centrado em Modelação Multicritério e GEOINT, no próximo capítulo, veremos, com base nas doutrinas de Inteligência Clássica e GEOINT, como a Modelação Multicritério encaixa-se no contexto da GEOINT.

4. MODELAÇÃO MULTICRITÉRIO NO CICLO DE GEOINT

A avaliação espacial multicritério pode ser pensada como um processo que combina e transforma uma série de dados geográficos em uma decisão resultante (Malczewski 1999).

Em SIG, a avaliação multicritério tem sido mais comumente abordada duas formas. A primeira é booleana²⁰, ou seja, onde todos os critérios são convertidos em declarações falsas ou verdadeiras e então são combinadas por operadores lógicos, como interseção (AND) e união (OR) (Eastman 1999). A segunda é conhecida como combinação linear ponderada, em que critérios contínuos (fatores) são padronizados para um intervalo numérico comum e, em seguida, combinados por média ponderada (Jiang and Eastman 2000). Neste trabalho optou-se pela primeira, por ser mais adequada à maioria das análises voltadas à detecção de crimes (Cascardo Jr and Pauli 2020)

A avaliação multicritério em SIG é um dos métodos mais comumente utilizados para modelação que tem aplicação em diversos campos científicos (Domazetović et al. 2019). Diversas camadas de SIG são facilmente acessíveis para modelar mudanças no uso ou na cobertura do solo. Desde a década de 1990, vários conjuntos de dados de uso ou na cobertura do solo foram desenvolvidos com base na classificação de imagens de satélite (Bielecka 2020).

Parâmetros utilizados corriqueiramente por policiais para detecção de situações que indiquem possibilidade de ocorrência de crime podem ser espacializados, o que permite a utilização de técnicas de modelação em SIG como forma de auxiliar tal seleção de uma forma que seria praticamente impossível para seres humanos realizarem sozinhos (Cascardo Jr and Pauli 2020).

Neste capítulo será demonstrado como a modelação multicritério encaixa-se nas fases da metodologia GEOINT.

²⁰ O termo booleano é derivado do nome do matemático inglês George Boole, que abstraiu pela primeira vez as leis básicas da teoria dos conjuntos em meados de 1800.

4.1 As fases da metodologia GEOINT

Em (Perazzoni 2012), temos a apresentação das fases da atividade de inteligência proposta em Kahaner (1998) e adaptada por Meillón (2008).

O modelo de Kahaner (1998) apresenta quatro fases distintas para o ciclo de inteligência como pode ser visto na tabela 2:

Tabela 2: Fases do ciclo de Inteligência

Fase	Procedimento
Planejamento e Direção	Etapa em que é estabelecido o problema e decidido o que é necessário em termos de recursos e dados. Apesar de ser a primeira fase, também pode ser pensada como a outra extremidade do ciclo de inteligência, porque, uma vez que as informações produzidas são entregues ao tomador de decisão, suas ações subsequentes irão estimular novas necessidades de inteligência.
Coleta	Fase em que ocorre a coleta real de dados e informações brutas, apontados na fase anterior, e a partir das quais a inteligência será produzida. A maior parte do material coletado vem de fontes de domínio público.
Análise	Etapa em que se ponderam as informações a procura de padrões para produção de informações ou relatórios de inteligência.
Disseminação	Fase em que as informações e relatórios são entregues a quem as requisitou. Esse é o momento em que o analista sugere possíveis cursos de ação com base em seu trabalho. Caberá ao tomador de decisão determinar as medidas que entender cabíveis.

Fonte: Kahaner 1998

Essas fases, como visto no próprio quadro que as apresenta, formam um ciclo e não uma linha. Mesmo após o cumprimento de todas as etapas aqui descritas, após a fase de disseminação, o tomador de decisão pode identificar um novo problema que gera uma nova demanda e leve todo o processo para a fase de planejamento Kahaner (1998).

Em Meillón (2008), temos o ciclo de Kahaner (1998) adaptado ao contexto da GEOINT, onde há uma fase de processamento muito bem distinta, localizada entre a fase de coleta e a fase de análise, conforme pode-se ver na tabela 3:

Tabela 3: Fases do ciclo de Inteligência Geoespacial

Fase	Procedimento
Planejamento e Direção	Essa fase inclui o planejamento de SIG e o suporte de imagens, é definido o problema e os dados a serem utilizados, incluindo os produtos SIG. São escolhidas imagens (ópticas, SAR etc), mapas, tabelas e outros. No planejamento, molda-se o processo que será seguido e suas prioridades de forma a criar uma estratégia para os requisitos de coleta.
Coleta	Nessa etapa os dados são obtidos e avaliados, podendo-se retornar a fase de planejamento, caso sejam insuficientes ou corrompidos. Os dados são organizados e é criado um dataset ²¹ preliminar.
Processamento	Na fase de processamento, temos o carregamento dos dados coletados no SIG e seu processamento, bem como uma avaliação preliminar na inteligência de imagens.
Análise	Nessa fase é realizada uma análise integrada dos dados com uso de SIG e é produzida Inteligência Geoespacial propriamente dita, bem como é feita a preparação para a fase seguinte (disseminação).
Disseminação	Fase em que as informações e relatórios são entregues a quem as requisitou.

Fonte: Meillón 2008

Na figura 10, temos um quadro esquemático presente em Perazzoni (2012), com as fases da metodologia GEOINT aplicada a investigação policial.

²¹ Conjunto de dados úteis organizados (Perazzoni 2012)

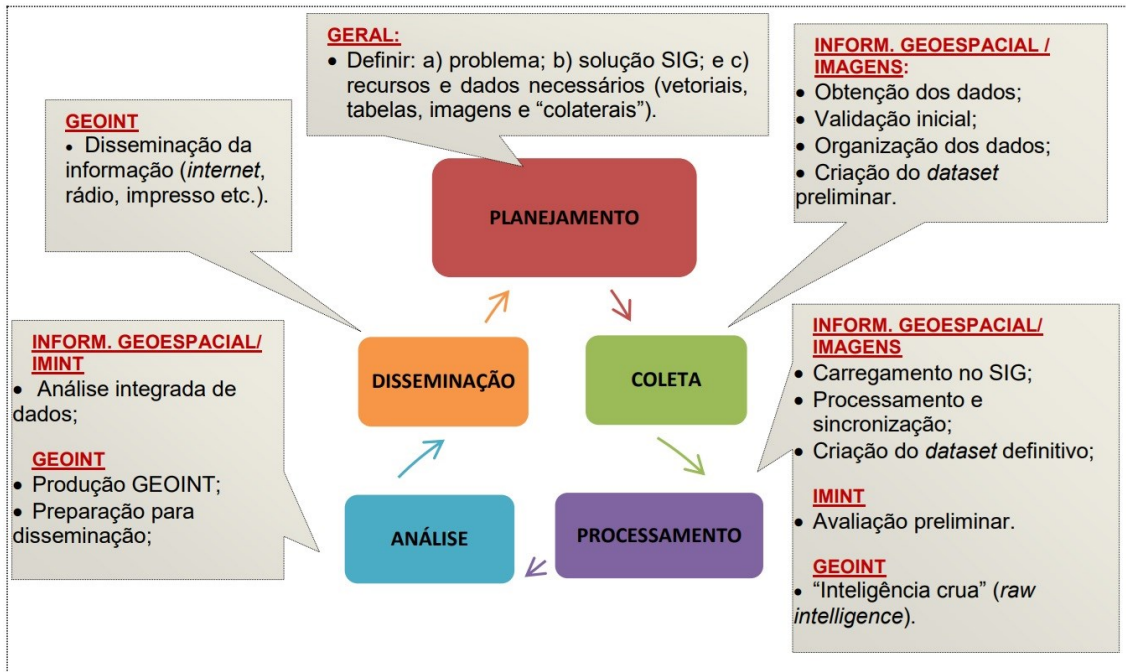


Figura 10: Ciclo de GEOINT adaptado a partir de Meillón
 Fonte: Perazzoni 2012

Processo similar ao de (Meillón 2008) está presente na *Geospatial Intelligence Support to Joint Operations* publicação que fornece doutrina para suporte de GEOINT para operações conjuntas nos Estados Unidos da América (JCS 2017). Na figura 11 temos uma apresentação resumida de tal processo.

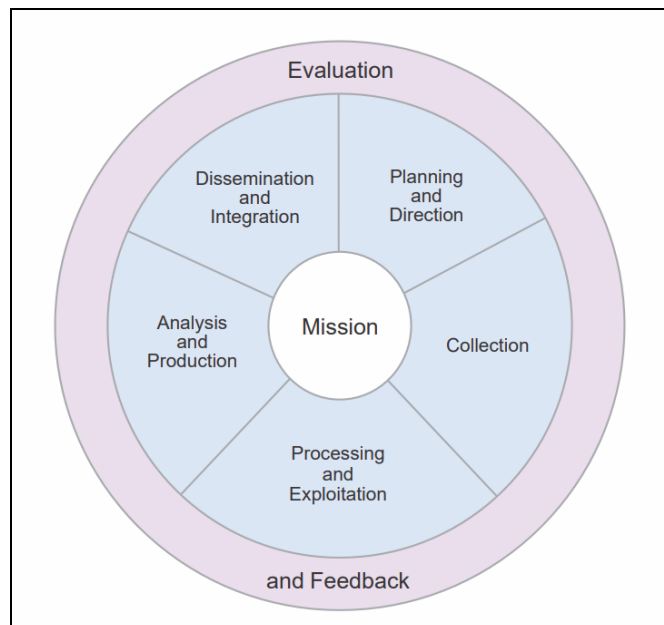


Figura 11: Ciclo de GEOINT
 Fonte: JCS 2017

4.2 Modelação dentro das fases da metodologia GEOINT

Observando os ciclos de GEOINT tanto em Meillón (2008) quanto em JCS (2017), verifica-se que, na fase de processamento, os dados são carregados em um SIG, ocorre a sincronização e o processamento dos dados coletados e é criado do *dataset* definitivo com o qual se trabalhará na fase de análise, ou seja, absolutamente tudo que é realizado durante a modelação de dados geográficos.

Em uma modelação multicritério que tenha imagens como parte de seu conjunto de dados, o resultado do processamento constitui verdadeira Inteligência de Imagens - IMINT, uma vez que são extraídas informações úteis a partir da interpretação ou análise de imagens e dados colaterais (demais dados do *dataset* preliminar).

Dessa forma, pode-se concluir que, tanto na metodologia de operações da GEOINT exposta em Meillón (2008), quanto em JCS (2017), a modelação espacial multicritério encaixar-se-ia na fase de processamento.

No próximo capítulo, será demonstrado, por meio de estudo de caso, como é possível espacializar parâmetros para detecção de crimes de mineração de forma a inseri-los em um SIG.

5. ESTUDO DE CASO

Neste item será apresentado um estudo de caso, composto por duas modelações, onde será demonstrado o resultado da aplicação do modelo a um caso concreto, bem como a verificação de possíveis falsos positivos.

Será utilizada como base a Operação Siroco da Polícia Federal brasileira, que vinculou a construção de usinas eólicas no Estado do Rio Grande à extração mineral criminosa, demonstrando, inclusive, fortes indícios de lavagem de capital por parte das empresas envolvidas (Costa 2020).

A referida investigação policial nasce da ideia de que seria possível encontrar locais suspeitos de crime por meio de uma busca independente de qualquer provocação externa, utilizando-se de SIG, Modelação e GEOINT sem que houvesse uma notícia de crime, denúncia ou iniciativa de qualquer órgão.

Dessa forma, essas tecnologias e metodologias foram empregadas em conjunto para descobrir crimes cuja existência era absolutamente desconhecida pela polícia. Com nenhuma informação sobre suspeitas, mas apenas com parâmetros já conhecidos pelos policiais, conseguiu se chegar a uma gigantesca empreitada criminosa onde foi detectado um considerável dano ambiental e se movimentaram centenas de milhões de euros.

5.1 As fases de planejamento e coleta do ciclo GEOINT aplicadas neste trabalho

Observando as fases iniciais do ciclo de GEOINT de Meillón (2008), temos:

a) **Planejamento**

De forma a realizar uma detecção de lugares suspeitos de mineração ilegal no estado do Rio Grande do Norte verificou-se a necessidade de:

- **Obter os dados georreferenciados de obras relevantes que tenham consumido grande quantidade de minerais de construção civil (areia, saibro etc.);**

Para este trabalho, foram consideradas obras relevantes a construção de usinas eólicas, entre 2013 e 2017, na região Nordeste do Brasil, mais especificamente no estado do Rio Grande do Norte. Apesar de, à primeira vista, não se imaginar que uma usina eólica consuma grandes quantidades de minerais, para construção do parque eólico são necessárias grandes quantidades de areia e saibro (Cascardo Jr and Pauli 2020).

De forma a tornar possível a montagem dos aerogeradores, bem como operações de reparo e manutenção que serão necessárias no futuro, plataformas de trabalho (caminhos pavimentados que ligam os aerogeradores) precisam ser construídas nos locais de implantação do parque (Costa 2015). Na figura 12, imagem de um parque eólico sendo visível a plataforma de trabalho.



Figura 12: Plataformas de trabalho em um parque eólico
Fonte: Piratini 2018

Na terraplenagem das plataformas de trabalho é utilizado saibro, e o concreto (consequentemente, areia) é usado em sua pavimentação (Da Silva 2014). A sapata, que é fixada logo abaixo de cada aerogerador também consome concreto. Em Da Silva (2014), são colocadas como exemplo uma base de sapata com as seguintes dimensões: 16 x 16 x 3,5 (m). Nesse caso, o volume seriam 896 metros cúbicos de concreto, o equivalente a cerca de 90 caminhões de mineral somente para a base da sapata de um único aerogerador. As plataformas de trabalho, que consomem quantidades muito maiores de minerais, têm muitos quilômetros de extensão.

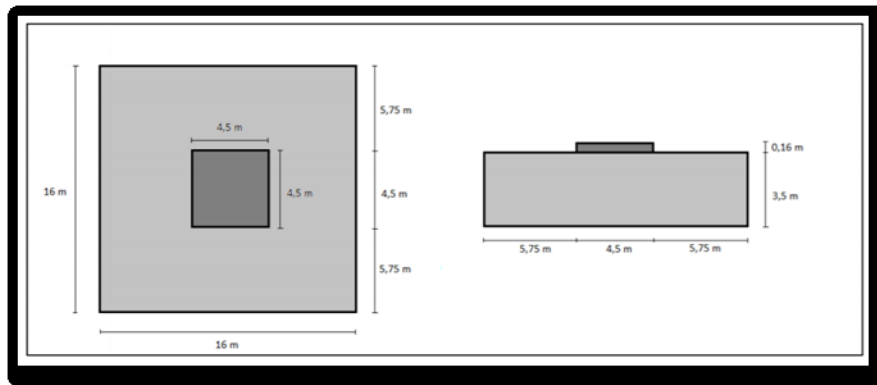


Figura 13: Esquema com dimensões de uma sapata quadrada
Fonte: Da Silva 2014



Figura 14: Imagem de uma sapata redonda
Fonte: Venosta 2016

- Adquirir geoespaciais dos processos minerários da área objeto de análise, ou seja, do estado do Rio Grande do Norte;

Os dados dos processos minerários no formato shape file permitem que a tabela de conteúdo seja utilizada na modelação multicritério.

- Obter imagens satelitais que permitam cálculo de índice de vegetação e análise multitemporal de forma a verificar se os alvos separados na fase de processamento (modelação multicritério) são falsos positivos.

Para redução dos custos e possibilidade de replicação da metodologia por outras equipes policiais, havia a necessidade de utilização de imagens satelitais de aquisição gratuita. Nesse ponto, foi necessário fazer a escolha entre as imagens dos satélites Landsat 8 e Sentinel 2, que possuem as melhores resoluções espacial e temporal nas condições pré-estabelecidas.

Nas tabela 4 e 5, as principais características de ambos os satélites.

Tabela 4: Dados do satélite Landsat 8

Landsat 8	
Data de lançamento	11/02/2013
Instrumentos sensores	OLI e TIRS
Bandas espectrais	9 bandas OLI 2 bandas TIRS
Resolução espacial	30 m (bandas 1-7 e 9) 15 m (banda 8) 100 m (bandas 10 e 11)
Resolução radiométrica	16 bits
Resolução Temporal	16 dias

Fonte: USGS 2019

Tabela 5: Dados do satélite Sentinel 2

Sentinel 2	
Data de lançamento	11/02/2013
Instrumentos sensores	2A - 23/06/2015 2B - 07/03/2017
Bandas espectrais	13 bandas
Resolução espacial	10 m (bandas 2-4 e 8B) 20 m (banda 5-8A, 11 e 12) 60 m (bandas 1, 9 e 10)
Resolução radiométrica	12 bits
Resolução Temporal	5 dias

Fonte: ESA 2015

Apesar de o satélite Sentinel 2 possuir as melhores resoluções espacial (dentro das bandas necessárias para este trabalho) e temporal, optou-se por usar as imagens do satélite Landsat 8, tendo em vista a facilidade de acesso, vasta literatura sobre índices de vegetação com bandas desse satélite e porque as imagens do satélite

Sentinel 2 não abrangiam os períodos de todas as obras que eram objeto de análise. Optou-se por imagens do período de inverno do hemisfério sul por conta da visibilidade (menos nuvens).

O Landsat 8 satélite foi lançado em 2013, possuindo 2 sensores (OLI e TIRS), sendo que o sensor OLI (*Operational Land Imager*) possui 9 bandas com resolução de 30 metros e o sensor TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) possui 2 bandas com resolução de 100 metros (Leite, Santos, and Santos 2017).

b) Coleta

Os dados relativos às usinas eólicas foram obtidos no sítio da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Tais dados estão disponíveis no formato *shapefile* e podem ser baixados em relação ao centroide de cada usina ou relação à localização de cada aerogerador já construído no Brasil. Optou-se pela última possibilidade em função de ser mais precisa.

Na figura 15, um exemplo de como é a visualização do *shapefile* dos aerogeradores.

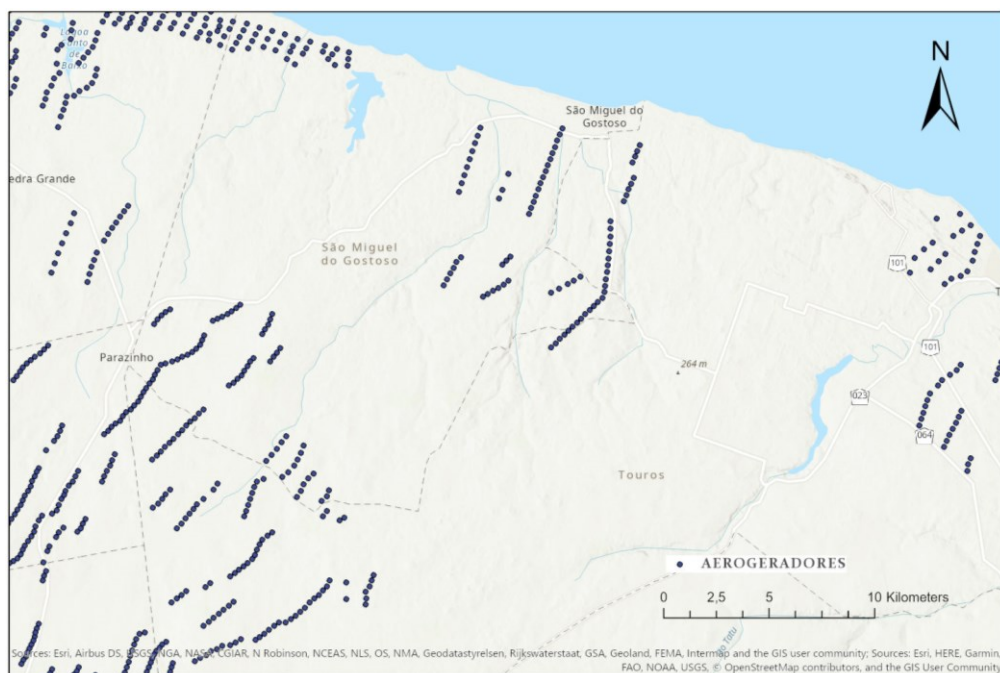


Figura 15: Shapefile de aerogeradores no Rio Grande do Norte - Brasil

Fonte: SIGEL 2019

Os dados dos processos minerários brasileiros estão disponíveis no SIGMINE, no sítio da Agência Nacional de Mineração (ANM), com informações atualizadas relativas às áreas dos processos minerários cadastrados na Agência, associadas a outras informações geográficas de interesse produzidas por órgãos públicos (Perazzoni 2018). É possível baixar o *shapefile* de todos os processos minerários do Brasil com informações relativas ao minério/mineral extraído, dados do responsável legal pela extração, poligonal demarcada (*datum* SIRGAS 2000), bem como informações sobre a fase do processo, revelando se a poligonal possui ou não título autorizativo (Perazzoni 2018). Os dados do SIGMINE são atualizados todos os dias à meia-noite, no horário de Brasília (SIGMINE 2021).

Na figura 16, a visualização do *shapefile* que contém todas as poligonais de processos minerários do estado do Rio Grande do Norte.

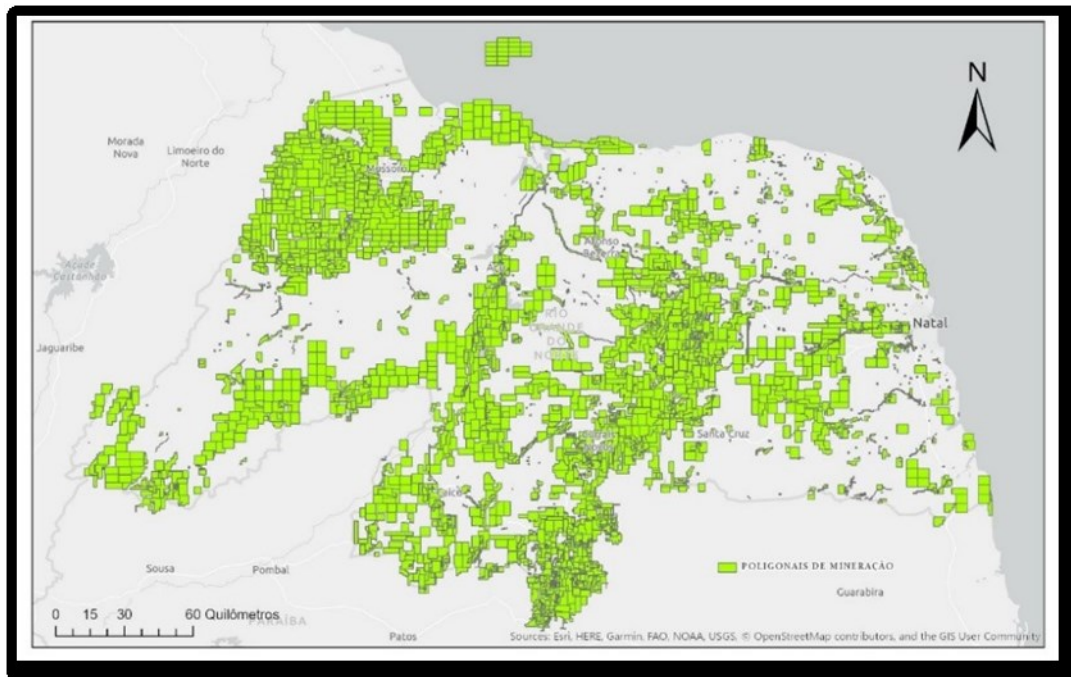
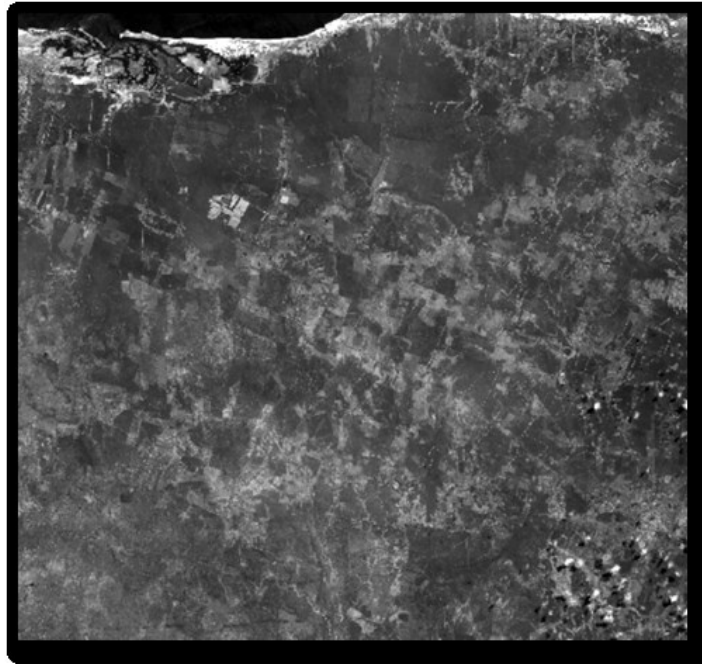


Figura 16: Poligonais dos processos minerários do RN
 Fonte: SIGMINE 2021

Foram escolhidas as imagens orbitais do satélite Landsat 8, em suas bandas 4 e 5 (vermelho e infravermelho próximo), que foram baixadas através do *Google Earth Engine* (GEE), uma plataforma baseada em nuvem para análise de dados em escala planetária, possuindo um conjunto de dados de petabytes de imagens satelitais, bem como APIs para *Javascript* e *Python* (Gorelick et al. 2017). Apesar de a plataforma permitir a composição de bandas e cálculos com *rasters*, optou-se por fazer o download das bandas necessárias e realizar os cálculos no ArcGIS Pro²². Na figura 17, uma das imagens orbitais utilizadas neste trabalho.

²² Sistema de Informação Geográfica da Environmental Systems Research Institute - ESRI (empresa americana especializada na produção de soluções para a área de informações geográficas).



*Figura 17: Imagem orbital Landsat 8 (banda 4) de junho de 2013
Fonte: GEE 2019*

Dentro da plataforma GEE estão disponíveis mais de 40 anos de imagens de satélite que cobrem toda a superfície terrestre (Villavicencio et al. 2018). Dentre as disponibilidades do catálogo, estão produtos como imagem de satélite, dados de radar e modelos climáticos globais, entre outros (Housman et al. 2015).

As imagens do satélite Landsat 8 presentes no GEE são provenientes da United States Geological Survey (USGS), devendo-se observar que todas as cenas já se encontram georreferenciadas, ortorretificadas e com correção atmosférica (Villavicencio et al. 2018), características que auxiliam no uso das informações.

Um critério usual de busca de imagens é por meio da indicação de órbita/ponto (INPE 2020), porém, no GEE, as imagens podem ser buscadas visualmente em função de suas datas e, uma vez escolhidas podem ser simplesmente recortadas, sendo gerado em função do recorte um arquivo ZIP. Dessa forma, podendo cada imagem ser observada em detalhes com possibilidade de aproximação, evita-se inconvenientes como o descarregamento de imagens com nuvens que atrapalhariam a visualização e os cálculos. Como o processamento dos dados é feito em nuvem de dados, o tempo gasto com a busca de imagens é mínimo (Cascardo Jr and Pauli 2020).

c) **Processamento**

Todos os dados colhidos são carregados em um SIG e sua integridade é verificada, em seguida é aplicado um modelo para verificação dos locais suspeitos de extração mineral ilegal, sendo criado o *dataset* definitivo.

No item 5.2 e seguintes, o modelo utilizado neste trabalho será devidamente explicado.

5.2 Parâmetros de modelação para detecção de mineração ilegal

Os parâmetros utilizados neste trabalho para selecionar lugares suspeitos de exploração mineral ilegal²³ e lavagem de capitais foram os seguintes:

I. Perda de cobertura vegetal no local;

O primeiro parâmetro explica-se por que a retirada de cobertura vegetal é a primeira medida que se toma ao iniciar uma exploração mineral. Além da retirada de cobertura vegetal, a exploração mineral gera a perda da capacidade de regeneração do local, uma vez que também retira a camada superior do solo que possui matéria orgânica (Franco et al. 1992). Além disso, as mudanças ocorridas na vegetação são um importante indicador na avaliação das mudanças geológicas em uma área de extração mineral ativa ou já recuperada (Padmanaban, Bhowmik, and Cabral 2017).

Os processos de extração mineral podem produzir danos irreversíveis, e as mudanças geológicas e os impactos ambientais associados à extração mineral podem persistir mesmo após uma recuperação da área, se as minas não forem adequadamente tratadas (Padmanaban et al. 2017).

Dessa forma, a perda de cobertura vegetal fica visível por muito tempo, o que facilita sua detecção por sensoriamento remoto, pois não há risco de que a cobertura vegetal se refaça sozinha (Cascardo Jr and Pauli 2020).

²³ No Brasil, a exploração de mineral sem título autorizativo constitui crime de Usurpação previsto na Lei 8.176/1991. Sua pena varia de 1 a 5 anos de detenção.

II. Proximidade de obras ou edificações que demandem grandes quantidades de materiais minerais destinados à construção civil;

O segundo parâmetro está mais ligado ao crime de lavagem de capitais do que ao crime de extração mineral ilegal, pois, uma vez que o responsável pela obra adquire uma grande quantidade de produtos minerais de origem ilícita, uma imensa quantidade de metros cúbicos de mineral de utilização em construção civil e existe a necessidade contábil de dissimular a origem ilícita desse material, fazendo com que se recorra ao uso de notas fiscais ideologicamente falsas para o acerto contábil (Cascardo Jr and Pauli 2020).

III. No interior de poligonal demarcada previamente para extração mineral com destino na construção, porém, sem título minerário.

Existem diversos títulos minerários no Brasil que autorizam a extração mineral: a) Concessão de Lavra; b) Concessão de Lavra Garimpeira; c) Licenciamento; d) Registro de Extração (Feigelson 2018).

De todos eles, o Licenciamento é voltado exclusivamente para a extração de minerais para uso na construção civil por particulares e deve ser requerido pelo proprietário da terra ou pessoa por ele autorizada (Feigelson 2018), o que se adequa perfeitamente aos objetivos deste estudo. É uma situação muito comum que o proprietário da terra ou seu procurador demarque a poligonal junto à Agência Nacional de Mineração, inicie o processo de requerimento de licenciamento e, mesmo sem título autorizativo algum, inicie a extração mineral criminosa (Cascardo Jr 2019b).

Cabe observar aqui que, diversos crimes ambientais estão fortemente ligados a extração mineral ilegal, todavia não há dados no estado do Rio Grande do Norte sobre licenciamento ambiental que estejam georreferenciados. De qualquer forma, em uma investigação policial, uma vez detectado o crime de extração ilegal, que é uma espécie de furto especial onde a vítima é a União Federal, os crimes ambientais são facilmente descobertos pelos investigadores criminais (Cascardo Jr 2019b).

5.3 Aplicação do modelo em um SIG

Os parâmetros apresentados anteriormente podem ser inseridos em um SIG para criação de um modelo capaz de gerar a interseção entre eles, demonstrando em um mapa quais são os locais suspeitos de extração mineral ilegal que merecem uma investigação policial mais profunda.

A perda de cobertura vegetal (I) é estimada em função dos índices de vegetação; a proximidade de uma obra relevante é calculada no SIG; e por meio da tabela de conteúdo do shape file é possível saber se a poligonal selecionada permite ou não a extração mineral. Esse processamento será melhor apresentado nos itens seguintes.

5.3.1 Índices de vegetação e perda de cobertura vegetal

A utilização de imagens obtidas através do sensoriamento remoto, usando dados de satélite multitemporais, é uma das principais fontes de dados para mapeamentos de uso e cobertura do solo ao longo do tempo (Villavicencio et al. 2018).

Para que seja possível analisar os índices de vegetação, cabe fazer algumas observações. A vegetação tem reflectância alta na região do infravermelho próximo, uma vez que as folhas absorvem pouco desses comprimentos de onda. Ao mesmo tempo, a vegetação também possui reflectância baixa na luz visível, pois a clorofila absorve a radiação solar para que seja possível a fotossíntese (Sartori et al. 2009).

Dessa forma, se houver estresse hídrico na cobertura vegetal, haverá uma tendência à absorção de menos radiação solar e uma consequente reflectância maior no espectro visível, bem como uma absorção maior no infravermelho próximo. Quanto maior for o nível de estresse hídrico de uma cobertura vegetal, menor será a diferença entre as reflectâncias nesses comprimentos de onda referidos (Sartori et al. 2009).

As técnicas de sensoriamento remoto permitem que seja calculado o Índice de Vegetação (IV) de uma região, sendo o Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI), proposto por Rouse et al. (1973), o IV mais utilizado (Lima et al. 2017).

Conforme Leite et al. (2017), o NDVI pode ser facilmente calculado conforme demonstrado na equação 1:

$$NDVI = \frac{(B5 + B4)}{(B5 - B4)} \quad (1)$$

onde:

- NDVI – Índice de Vegetação de Diferença Normalizada
- B5 – é a banda 5 do Landsat 8 (infravermelho próximo)
- B4 – é a banda 4 do Landsat 8 (vermelho)

O pigmento de clorofila em uma planta saudável absorve a maior parte da luz vermelha visível, enquanto a estrutura celular de uma planta reflete a maior parte do infravermelho próximo. Dessa forma, a alta atividade fotossintética, comumente associada à vegetação densa, terá menos refletância na faixa vermelha e maior refletância na faixa do infravermelho próximo. Observando como esses valores se comparam entre si, pode-se detectar e analisar com segurança a cobertura vegetal separadamente de outros tipos de cobertura natural da terra (Panek and Gozdowski 2020). A figura 18, demonstra de forma gráfica a mesma explicação.

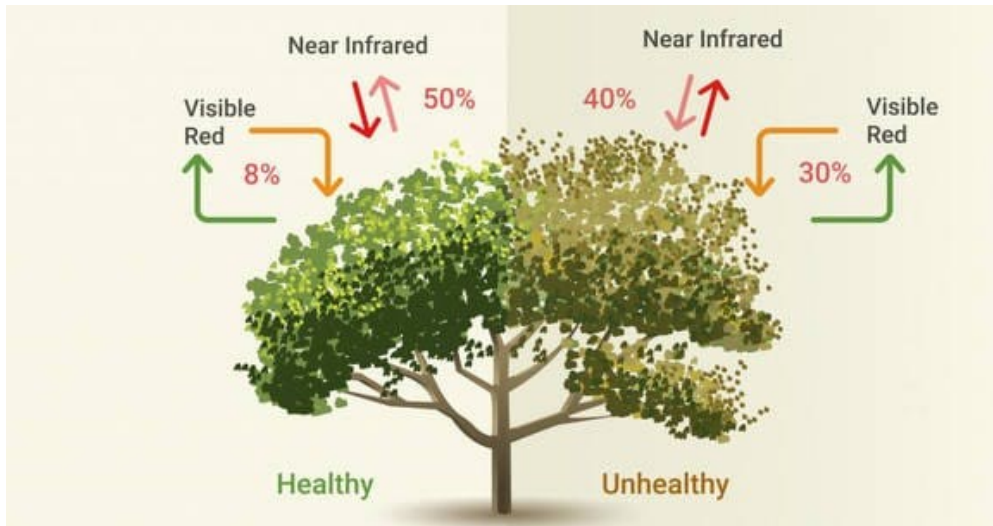


Figura 18: Reflectância das ondas R e NIR em função da densidade relativa da vegetação
 Fonte: EOS 2019

O NDVI é calculado por essa razão que tem como base o Infravermelho e o Vermelho para descrever a densidade relativa da vegetação. Dessa forma, o NDVI integra as funções ecológicas da planta com os dados radiométricos disponíveis da área de mineração associados aos princípios do espectro eletromagnético (Padmanaban et al. 2017).

Em função das limitações do NDVI para áreas onde a vegetação é mais esparsa e a incidência solar é maior, Huete (1988) desenvolveu o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI). Ele é usado para corrigir o NDVI da influência do brilho do solo em áreas onde a cobertura vegetal é baixa. Em tal índice é inserida uma nova variável nomeada “L”, que varia de 0 a 1, a depender das características do solo, sendo o valor zero ideal para vegetação densa e o valor 1 para vegetação mais rala (Leite et al. 2017). O valor de L como sendo 0,5 é o mais utilizado (Bezerra et al. 2020; Boratto and Gomide 2013).

A fórmula do SAVI (equação 2) é muito similar à do NDVI (Leite et al. 2017):

$$SAVI = \frac{(B5 + B4)}{(B5 - B4 + L)} \times (1 + L) \quad (2)$$

onde:

- SAVI – Índice de Vegetação Ajustada ao Solo
- B5 – é a banda 5 do Landsat 8 (infravermelho próximo)
- B4 – é a banda 4 do Landsat 8 (vermelho)
- L – é o fator de ajuste de índice

O estado do Rio Grande do Norte está inserido na região Nordeste brasileira, com vegetação prevalente de caatinga, localizado em zona semiárida. Em tal região, o SAVI apresenta melhores resultados que o NDVI, mostrando-se o IV mais adequado (Araújo et al. 2018; Bezerra et al. 2020).

Uma forma de verificar alterações na vegetação é feita pelo cálculo da subtração dos IVs de dois *rasters* relativos a mesma localização (Sartori et al. 2009). Considerando que nos resultados do SAVI números positivos indicam cobertura vegetal e negativos indicam áreas sem vegetação, água ou nuvens (Leite et al. 2017), o resultado que se procura para tal diferença é representado por um número positivo.

Dessa forma, uma vez obtidas as imagens orbitais das bandas 4 e 5 de um determinado local, em data anterior ao início da obra e posterior a conclusão da obra, pode-se calcular o SAVI e ambas e subtrair esses resultados para que se encontre os locais onde houve perda de cobertura vegetal.

Após diversos testes, foi verificado que a diferença de SAVI que melhor demonstrava a perda de cobertura vegetal condizente com indícios de extração mineral eram os valores superiores a 0,15, o que é aproximadamente duas vezes o desvio padrão das diferenças observado no resultado, como pode ser visto no gráfico de distribuição na figura 19.

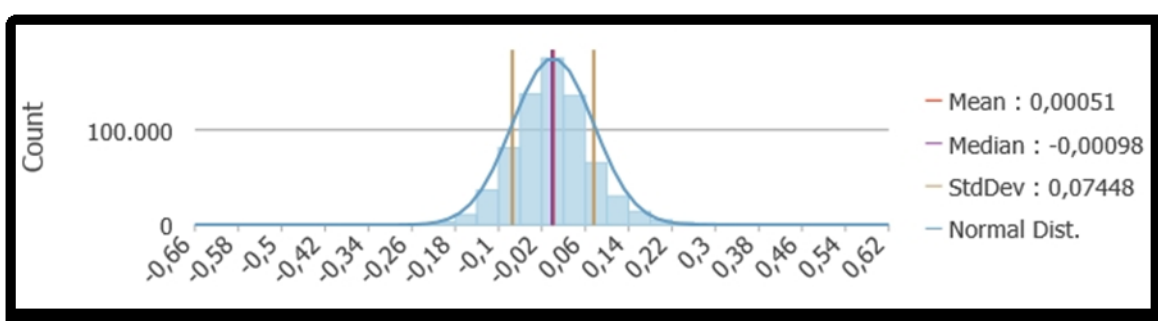


Figura 19: Distribuição da diferença de SAVI no modelo
Fonte: autoral

Por último, de forma a permitir a modelação binária, os dados são reclassificados para que as células relativas à subtração dos *rasters* que tenham resultados superiores a 0,15 tenham valor 1, enquanto as restantes tenham valor 0.

5.3.1.1 Acurácia

Para o cálculo da acurácia do uso de SAVI, utilizaremos as conclusões de Guedes (2016), que realizou um estudo em 125 pontos no estado do Rio Grande do Norte, com imagens da Landsat 8 (sensor OLI), que compara a acurácia dos índices NDVI e SAVI, ou seja, estudos realizados poucos anos antes deste trabalho, no mesmo local objeto deste estudo, bem como os estudos de Monteiro (2013) e Araújo et al. (2018), que foram realizados na mesma região em locais com vegetação e clima similares.

No NDVI, o índice de Exatidão Global foi de 74,30% para a acurácia do produtor. Já o índice de Exatidão Global para a acurácia do usuário foi de 81,30%. Para toda a matriz, o índice foi de 68,80%, com um índice Kappa de 61,91% (Guedes 2016).

No SAVI, o índice de Exatidão Global foi de 79,02% para a acurácia do produtor. Já o índice de Exatidão Global para a acurácia do usuário foi de 79,26%. Para toda a matriz, o índice foi de 72,80%, com um índice Kappa de 66,98% (Guedes 2016).

Já o resultado comparativo das acurácias dos mapeamentos de cobertura da terra entre NDVI e SAVI ficou como disposto na tabela 6:

Tabela 6: Comparativo de acurácia entre NDVI e SAVI

CLASSES DE COBERTURA DA TERRA	ÍNDICES DE EXATIDÃO GLOBAL	ÍNDICE KAPPA (%)
NDVI	66,8	61,91
SAVI	72,8	66,96

Fonte: Guedes 2016

A conclusão do estudo de Guedes (2016) foi de que o SAVI foi o IV que apresentou resultados melhores para a região de estudo deste trabalho.

No estudo de Monteiro (2013), que foi aplicado ao estado da Paraíba, região da caatinga nordestina, mesma região administrativa e mesmo bioma dos locais objeto deste estudo, concluiu-se que a resposta do SAVI "foi mais satisfatória à realidade de campo observada, sendo, portanto, mais sensível à diversidade dos elementos encontrados na paisagem".

No estudo de Araújo et al. (2018), que também foi aplicado ao estado do Rio Grande do Norte, as conclusões foram similares.

5.3.2 Proximidade de uma obra relevante

Os principais minerais utilizados para a construção de uma usina eólica são areia e brita, utilizados na fabricação de concreto para a pavimentação das plataformas de trabalho, bem como saibro, que é utilizado na terraplenagem de tais plataformas (Da Silva 2014).

Foram consideradas como sendo próximas a tais obras as explorações minerais que ocorressem num raio de até 10 km. Quanto mais próximo uma exploração mineral está de uma obra, menos combustível se utiliza no transporte e mais competitivo é o preço do minério/mineral (Borges 2013).

A criação de parques eólicos aumenta em muito a demanda por minerais de construção civil em seu entorno (Costa 2015). Nos transportes de minerais por caminhão, como no caso em estudo, o custo de transporte representa 66% do custo operacional da atividade de mineração e, com o aumento da distância, é exigível um aumento da frota de caminhões para atendimento eficiente da demanda (Borges 2013). Dessa forma, com o aumento da distância entre a exploração mineral e a obra, maior será a possibilidade de o mineral extraído estar sendo utilizado em obra distinta daquela que é objeto do modelo.

Considerando que o objetivo deste estudo é verificar não só áreas suspeitas de crimes de extração ilegal (e crime ambiental por consequência), mas também indícios de lavagem de capitais na construção de uma obra relevante, foi estipulada, com base no trabalho de Borges (2013), uma distância máxima de 10 quilômetros para que uma extração fosse considerada próxima à obra.

A área de interesse é calculada por meio de *buffer*, que logo após é transformado em *raster* e, em seguida, é reclassificada para valores iguais a 1 na área de interesse (distância de até 10 km de uma obra relevante) e 0 nas demais áreas.

5.3.3 Poligonal demarcada sem título minerário

Os dados disponíveis relativos aos processos minerários estão em formato vetorial, possuindo sua tabela de atributos informações relevantes como número do processo minerário, fase em que se encontra o processo, nome do responsável legal, substância mineral a que diz respeito e muitas outras informações.

Para realização de uma modelação multicritério com base em SIG, esses dados vetoriais precisam ser transformados em *raster*. Dessa forma, escolheu-se o atributo FASE, que indica a fase atual do processo minerário, como campo de valor relevante na transformação. Apesar de não demonstrar a fase que o processo apresentava na época do estudo, é correto afirmar que, se determinada poligonal não está autorizada hoje a explorar minerais, também não o estava na época investigada, uma vez que perda de título é algo raro e, geralmente, encerra o processo minerário, não sendo mais possível sua visualização no *shapefile*.

Uma vez transformados os dados vetoriais em *raster*, é feita a reclassificação para que se atribua valor 1 para os casos de Requerimento de Licenciamento e valor 0 para os demais.

5.3.4 Combinação dos resultados obtidos

Tendo os três resultados binários dos três parâmetros já apresentados, teremos a combinação deles, onde todos os critérios sejam aplicáveis ao mesmo tempo, que seriam os locais onde as células tiverem valor 1 para todos os critérios. A melhor forma de se calcular isso num SIG é multiplicando as células de cada *raster*, uma vez que, se

em um determinado local, todas as células apresentarem valor 1, o resultado final também apresentará. Porém, se uma das células o valor for 0, o resultado final também terá valor 0.

Dessa forma, o passo final seria a multiplicação dos mapas obtidos nos três primeiros passos, tendo como resultado as áreas suspeitas de estarem relacionadas de crimes de extração mineral ilegal e lavagem de capitais.

O esquema do modelo utilizado neste estudo é representado na figura 20.

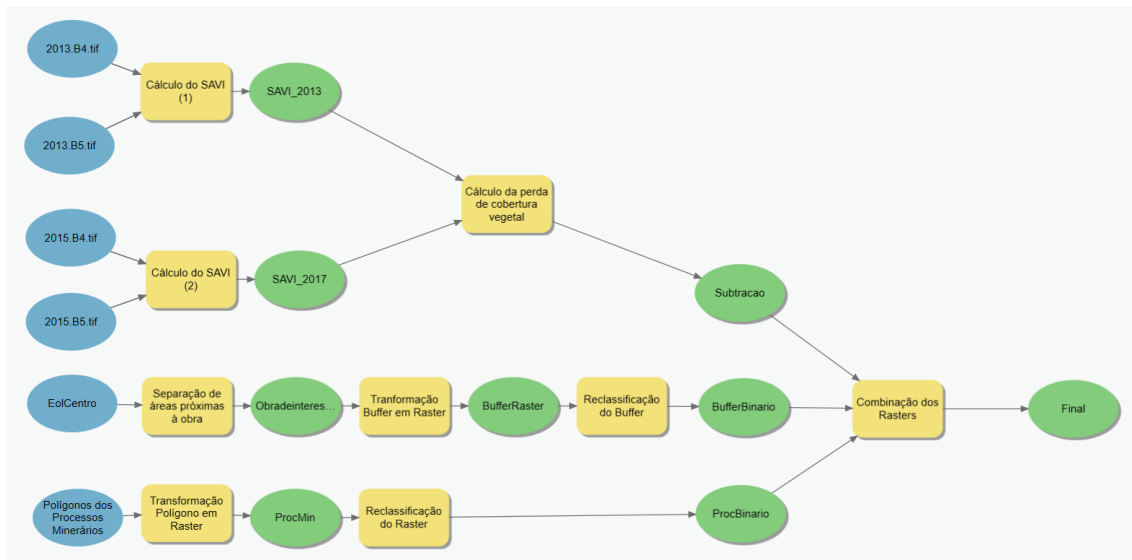


Figura 20: Esquema geral do modelo aplicado
Fonte: Autoral

Tal modelo será utilizado duas vezes no estudo de caso neste trabalho, sendo modificados apenas os dados iniciais relativos a imagens orbitais e obra de interesse. Os dados de processos minerários não precisarão ser modificados, pois nas duas vezes a modelação será aplicada em locais relativos a obras de parques eólicos construídos no estado do RN e os dados dos processos são relativos a todo o estado.

A modelação geoespacial permite realização de uma análise multitemporal em um grande arquivo de dados e torna possível escolher apenas mudanças significativas na cobertura da terra que, aliadas a outros parâmetros, merecem um exame especializado mais cuidadoso, fornecendo, assim, informações úteis para monitoramento e análise ambiental, o que permite um monitoramento aeroespacial

mais rápido e abrangente (Cabral and Zamyatin 2009; Zamyatin, Afanasyev, and Cabral 2015).

5.4 Aplicação do modelo e análise GEOINT

Neste item, será demonstrada aplicação do modelo proposto, que, como já visto, está contido na fase de processamento do Ciclo GEOINT, e, em seguida, passar-se-á às fases de análise e disseminação.

5.4.1 Primeira modelação

A primeira modelação terá como base o complexo de usinas eólicas composto pelas usinas de São Miguel I, São Miguel II e São Miguel III (figura 21). Com um total de 30 aerogeradores e com plataformas de trabalho que somadas chegam a 12 km de extensão, o início da obra foi autorizado em agosto de 2015, sendo o início da concretagem das bases previsto para até fevereiro de 2016 e conclusão da montagem das torres até abril de 2017 (Brasil 2015). Em função disso, foram utilizadas imagens orbitais de agosto de 2015 e julho de 2017.



Figura 21: Imagem orbital do Complexo
Fonte: GEP 2017

Aplicado o modelo ao caso, o resultado apresentado no SIG revelou três áreas suspeitas conforme pode ser visto nas figuras 22 e 23.

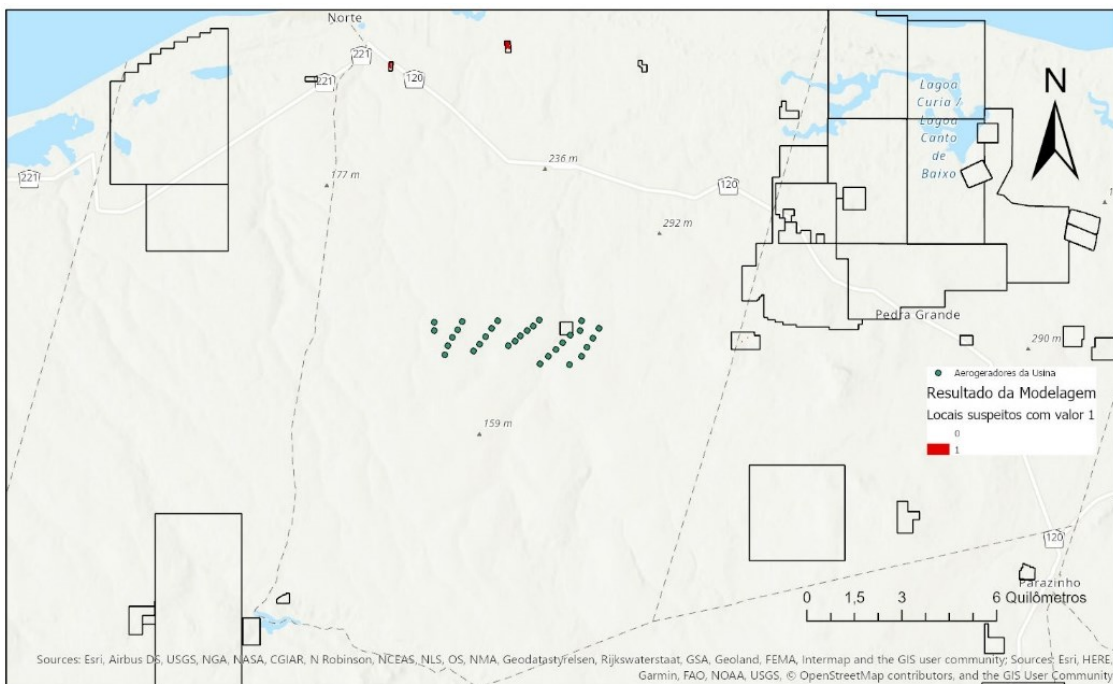


Figura 22: Mapa de resultados da aplicação do modelo (primeira modelação)
Fonte: autoral

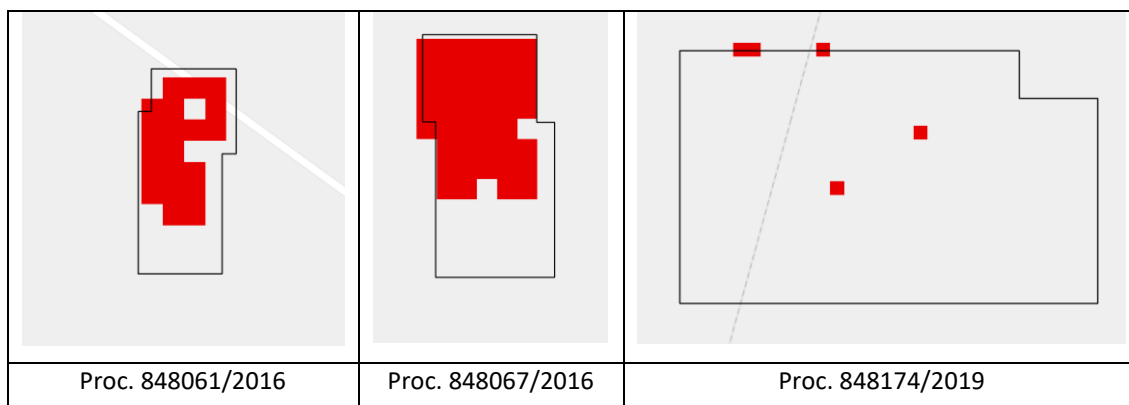


Figura 23: Resultado da aplicação do modelo (visão ampliada)

Fonte: autoral

Uma vez terminada a modelação e, conseqüentemente, a fase de processamento, com a criação do *dataset* definitivo, passa-se à fase de análise (Meillón 2008), onde é realizada uma análise integrada com todos os dados colhidos.

É verificado se há reais indícios de extração mineral criminosa. Considerando que a modelação já separa apenas poligonais em que é proibida a extração mineral, é realizada uma análise multitemporal das imagens para verificar principalmente a existência de falsos positivos.

Conforme (Cascardo Jr and Pauli 2020), falsos positivos esperados para o caso são principalmente relativos à perda de cobertura vegetal como:

- I. Construções diversas – No caso de haver construções de casas, rodovias, p. ex., dentro da área de interesse, haverá perda da cobertura vegetal sem que haja necessariamente uma exploração mineral ilícita.
- II. Agricultura – Aragem da terra e colheita de produtos agrícolas pode gerar variações no IV.
- III. Queimadas – Também geram variação no IV e, apesar de serem consideradas crime, não são objeto deste estudo.
- IV. Processo minerário posterior – Este falso positivo não possui relação com o IV. Se o processo minerário é recente, ou seja, se a demarcação da área é posterior ao período de exame, a responsabilidade do proprietário não pode ser aferida, pois não é possível dizer, com base nos dados disponíveis, se houve ou não extração ilegal na época do fato analisado.

A eliminação de falsos positivos foi feita com análise de imagens de alta resolução e/ou visitas aos locais de interesse. As imagens de alta resolução foram obtidas por meio do Google Earth Pro (GEP), que é serviço gratuito de pesquisa e visualização de mapas e imagens de satélite. Apesar de não ser um SIG, nem de ter os recursos disponíveis no GEE, a ferramenta tem sido muito usada por forças policiais em função de sua facilidade de utilização e simplicidade (Terdiman 2007).

a) Processo 848061/2016

A imagem orbital anterior ao início da obra (figura 24) disponível no acevo do Google Earth é de 27/02/2013 e mostra a poligonal com marcas de início de exploração, mas ainda com uma extensa cobertura vegetal.



*Figura 24: Imagem satelital Processo 848061/2016 em 27/07/2013
Fonte: GEP 2017*

Já a imagem posterior da mina (figura 25), que é de 4/05/2017, mostra a mesma área após intensa extração mineral. De acordo com os dados que constam do *shapefile* do processo mineralário, que podem ser consultados na tabela de atributos ou no sítio da ANM, o mineral explorado foi areia.



Figura 25: Imagem satelital Processo 848061/2016 em 4/05/2017
Fonte: GEP 2017

Policiais Federais realizaram uma visita ao local e utilizou-se de um drone para que fossem produzidas diversas fotografias, que foram montadas em um arquivo KML para produzirem uma só imagem, que foi sobreposta às imagens satelitais no GEP (figura 26).



Figura 26: Imagem drone Processo 848061/2016 em 3/02/2020
Fonte: GEP 2017

Na Figura 27 há a imagem de drone ampliada mostrando a devastação deixada no local. Também é possível concluir, pelo tamanho da área explorada, que continuou havendo exploração mineral mesmo após 2017. A parte da mina que foi explorada tem um perímetro aproximado de 630 metros e cerca de 22.500 metros quadrados de área.



Figura 27: Imagem drone aproximada
Fonte: GEP 2017

Na fotografia disposta na figura 28, registrada por policiais federais como parte do inquérito policial, é possível ver que a exploração teve uma profundidade de cerca de 2 metros. Calculando o volume, teríamos um valor aproximado de 45.000 metros cúbicos. Considerando que a área demarcada é referente a uma exploração de saibro, que o preço de mercado desse mineral é de R\$ 60,00 e que o aproveitamento para esse tipo de mineral beira 100%, teríamos um valor de exploração de R\$ 2.700.000,00 (\cong € 430.000,00²⁴) apenas para essa mina.

²⁴ Câmbio de 10 de outubro de 2021.



*Figura 28: Fotografia do local Processo 848061/2016 em 3/02/2020
Fonte: autoral*

b) Processo 848067/2016

A imagem orbital anterior ao início da obra (figura 29) disponível no GEP é de 21/07/2016 e mostra a poligonal praticamente intacta e sem qualquer sinal de exploração mineral.

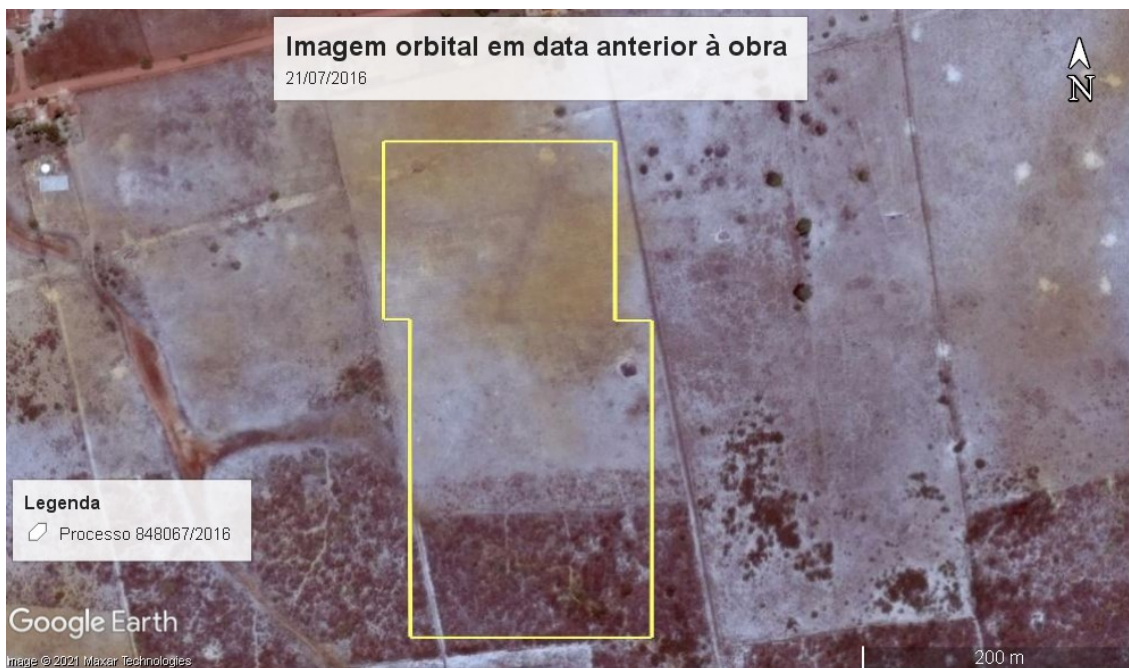


Figura 29: Imagem satelital Processo 848067/2016 em 21/07/2016
Fonte: GEP 2017

A imagem posterior (figura 30) é de 4/05/2017. Nela, os sinais de exploração mineral são evidentes. De acordo com a tabela do *shapefile* da poligonal, o mineral explorado no local foi areia.



Figura 30: Imagem satelital Processo 848067/2016 em 4/05/2017
Fonte: GEP 2017

Policiais Federais realizaram, então, visita ao local, e uma das fotografias está na figura 31. No local, assim como na imagem orbital de alta definição, foi constatada a exploração mineral. A parte da mina que foi explorada tem um perímetro aproximado de 400 metros e cerca de 8.000 metros quadrados de área.



*Figura 31: Fotografia do local Processo 848067/2016 em 3/02/2020
Fonte: autoral*

c) Processo 848174/2019

Há sinais claros de exploração mineral nas imagens de alta definição, conforme disposto nas figuras 32 e 33.

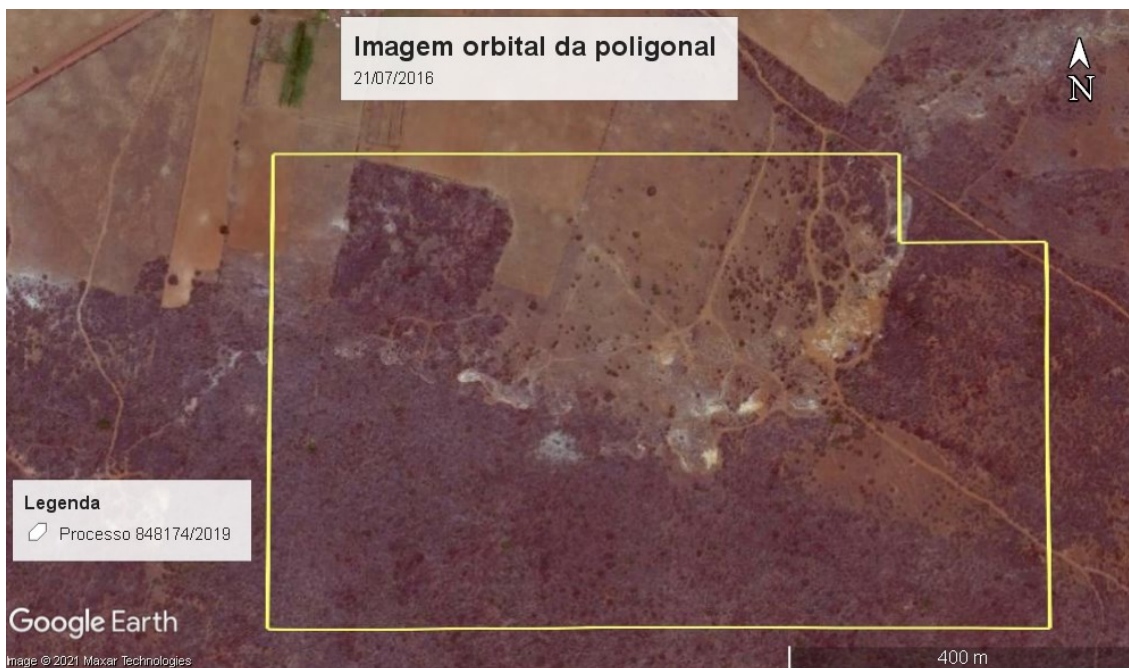


Figura 32: Imagem satelital Processo 848174/2019 em 21/07/2016
Fonte: GEP 2017



Figura 33: Imagem satelital aproximada
Fonte: GEP 2017

Ocorre que o processo minerário aqui apontado na modelação é de 2019, e os fatos investigados são de um período que se inicia em 2015 e termina em 2017. Dessa forma, não é possível dizer, sem uma consulta formal à ANM, se, no período de análise, a exploração mineral naquele local era ou não lícita.

Portanto, há que se concluir que o resultado apresentado para o processo 848174/2019 trata-se, na verdade, de um falso positivo (capítulo 5, item d).

5.4.2 Segunda modelação

A segunda modelação terá como base o complexo de usinas eólicas composto pelas usinas de Baixa do Feijão II, Baixa do Feijão III e Baixa do Feijão IV (figura 34). Com um total de 45 aerogeradores e com plataformas de trabalho que somadas chegam a 11,2 km de extensão, o início da obra foi autorizado em agosto de 2012, sendo o início da concretagem das bases previsto para até agosto de 2015 e conclusão da montagem das torres até novembro de 2015 (Brasil 2012). Em função disso, foram utilizadas imagens orbitais de maio de 2013 e agosto de 2015.



Figura 34: Imagem satelital do Complexo Eólico
Fonte: GEP 2017

Após aplicação do modelo ao segundo caso, foram reveladas três áreas suspeitas de extração mineral ilegal conforme pode ser visto nas figuras 35 e 36.

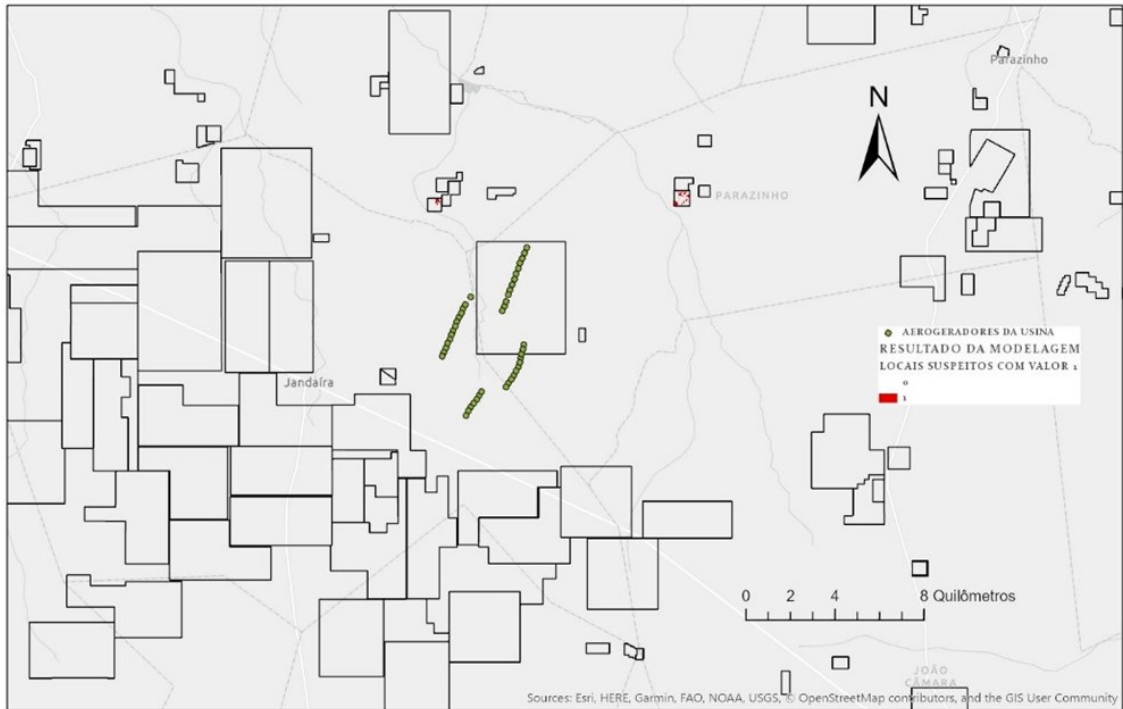


Figura 35: Resultado da aplicação da segunda modelação
 Fonte: autoral

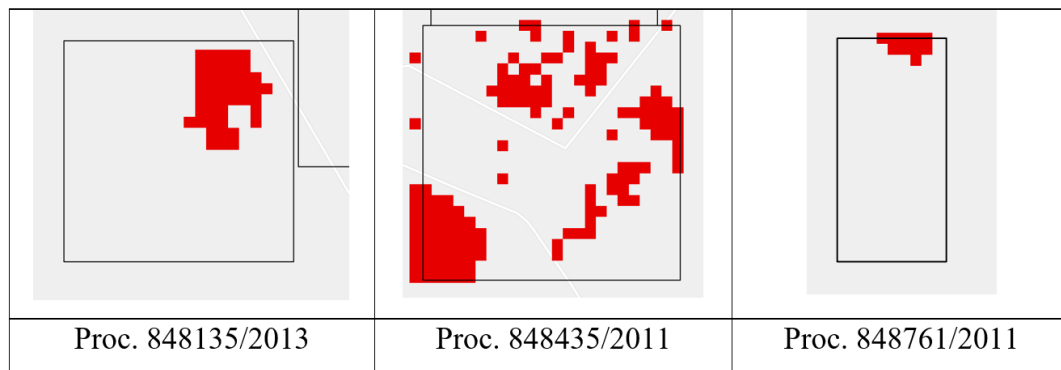


Figura 36: Resultado da segunda aplicação do modelo
 Fonte: autoral

Terminada a segunda modelação e, conseqüentemente, a fase de processamento, com a criação do *dataset* definitivo, passa-se à fase de análise (Meillón 2008), onde é realizada uma análise integrada com todos os dados colhidos, da mesma forma explicada no item 4.1.

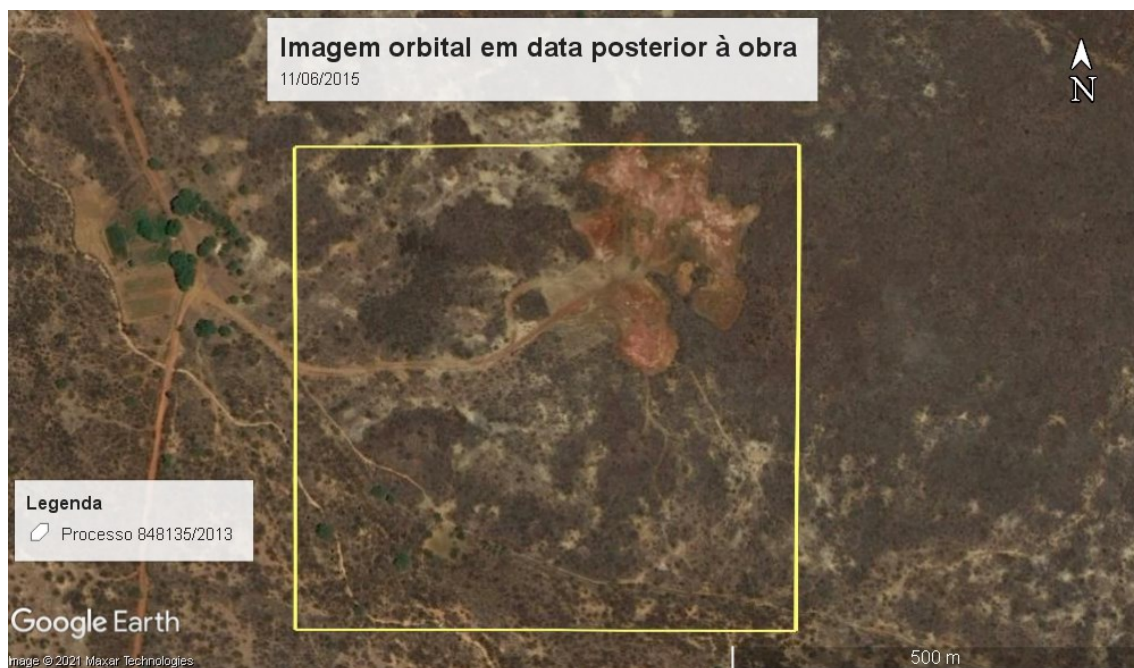
a) Processo 848135/2013

A imagem orbital de 27/07/2013 (figura 37) mostra uma área com vegetação nativa preservada, não havendo qualquer sinal de exploração mineral.



Figura 37: Imagem satelital Processo 848135/2013 em 27/07/2013
Fonte: GEP 2017

A imagem orbital de 6/11/2015 (figura 38), porém, mostra o resultado de intensa atividade de mineração na parte nordeste da mina. A área total explorada é de cerca de 35.000 metros quadrados, com um perímetro aproximado de 1.000 metros. De acordo com os dados do arquivo KLM, o mineral explorado no local foi saibro.



*Figura 38: Imagem satelital Processo 848135/2013 em 11/06/2015
Fonte: GEP 2017*

Em visita ao local policiais federais constataram a exploração mineral, bem como confirmaram o que é muito bem explicado em Franco et al (1992), pois, mesmo depois de quase cinco anos, a área não foi regenerada (figura 39).



*Figura 39: Fotografia do local Processo 848135/2013 em 5/02/2020
Fonte: autoral*

Na área central da exploração, nem mesmo ervas daninhas nascem, em função da perda da camada superior do solo que possuía matéria orgânica.

b) Processo 848435/2011

Nesse caso, a imagem orbital anterior à obra é a de março de 2012 (figura 40). Nela é vista uma área sem qualquer evidência de atividade minerária.



Figura 40: Imagem satelital Processo 848435/2011 em março de 2012

Fonte: GEP 2017

Na imagem seguinte (vide figura 41), que é de 6/11/2015, vemos que houve no local a construção de uma outra usina eólica, mas que há sinais de exploração minerária na parte centro-sul da poligonal e também há sinais de agricultura na parte sudoeste da poligonal. Na imagem aproximada (figura 42), vemos que a área explorada tem cerca de 28.000 metros quadrados. O quadro indica que o mineral explorado no local foi saibro.

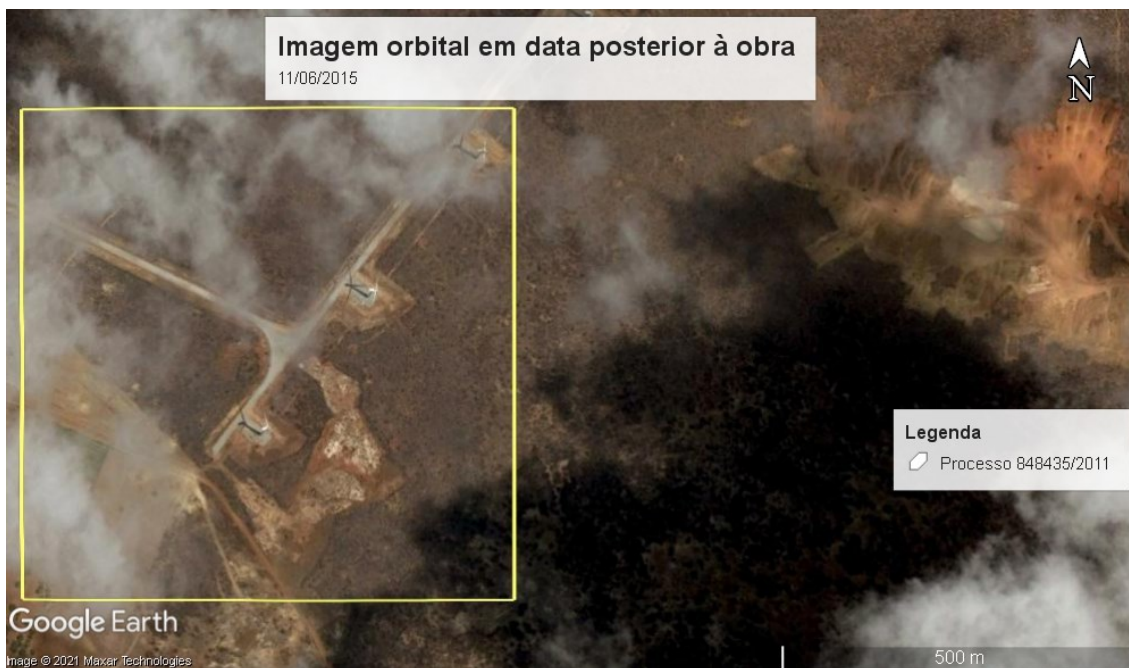


Figura 41: Imagem satelital Processo 848435/2011 em 6/11/2015

Fonte: GEP 2017

Aproximando um pouco a imagem da figura 41 e utilizando recursos simples do aplicativo GEP, podemos verificar, conforme consta da figura 42, que a área afetada tem cerca de 28 mil m². Dessa forma, pode-se ter uma ideia da degradação do solo causada pelo crime.

Deve-se observar que o GEP não é um SIG e possui uma série de limitações, porém fica claro que a metodologia GEOINT pode ser utilizada não só para demonstrar a existência de crime, indicar o período temporal em que ocorreu e os possíveis autores, mas também pode auxiliar no dimensionamento dos danos causados. No caso da figura 42, mesmo quando o solo degradado conseguir regenerar-se, a imagem que registra o dano continuará existindo.



Figura 42: Imagem satelital aproximada
Fonte: GEP 2017

No caso do processo 848435/2011, temos, então, uma situação híbrida, uma vez que, apesar de o modelo ter apontado uma extração mineral ilegal, também fica claro que houve no caso um falso positivo gerado pela construção de uma eólica e por atividade de agricultura.

c) Processo 848761/2011

Nesse último processo minerário da segunda modelação, comparando-se as imagens orbitais de 18/04/2012 (figura 43) e de 6/11/2015 (figura 44), verifica-se que não houve atividade minerária na região, mas sim uma diferença de cobertura vegetal que foi causada, muito provavelmente, por uma atividade de agricultura, gerando um falso positivo.

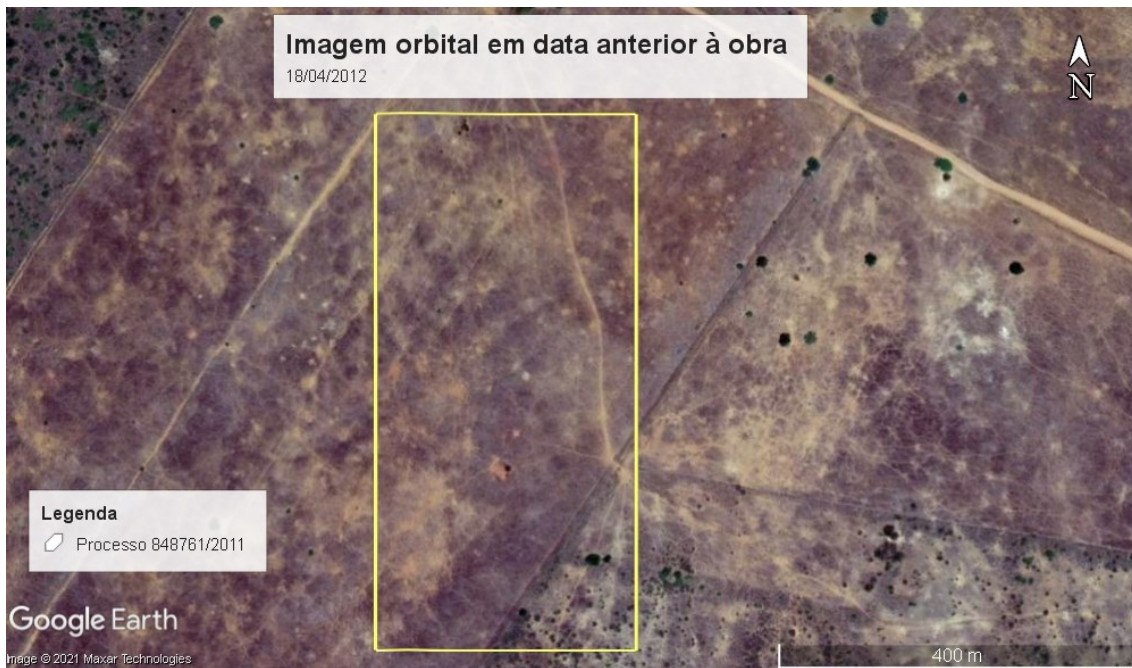


Figura 43: Imagem satelital Processo 848761/2011 em 18/04/2012
Fonte: GEP 2017



Figura 44: Imagem satelital Processo 848761/2011 em 6/11/2015
Fonte: GEP 2017

Vendo a comparação das figuras 43 e 44 com a terceira parte da figura 36, verifica-se que a localização dos pixels vermelhos (que indicam perda de cobertura vegetal em local de mineração proibida) é muito similar ao local onde encontra-se a

área de agricultura. Locais com tal atividade têm plantações e colheitas periódicas, o que pode gerar alteração no IV.

5.5 Fase de disseminação

Foi elaborado um relatório de inteligência geoespacial que foi encaminhado ao presidente do inquérito policial. Em tal relatório estava a análise não só dos locais descritos neste trabalho, mas também de outros na mesma região envolvendo as mesmas empresas.

O resultado obtido foi a deflagração da operação Siroco²⁵, que apurou mais de 800.00 m² de degradação de solo e um esquema que movimentou mais de R\$ 9 bilhões²⁶²⁷.

5.6 Observação sobre lavagem de capitais aplicável às duas modelações

Uma investigação sobre o crime de lavagem de capitais demanda poderes de polícia, bem como decisões judiciais específicas como quebra de sigilo fiscal e quebra de sigilo de dados bancários. Porém, o presente estudo presta-se exclusivamente ao apontamento de indícios necessários para o início de uma investigação criminal formal, seja para os crimes de exploração mineral ilegal, crimes ambientais ou lavagem de capitais.

O fato de as explorações serem próximas a obras relevantes e terem ocorrido em concomitância com as explorações minerais ilícitas já seria, por si só, um indício

²⁵ Reportagem disponível em: <<https://www.reuters.com/article/energia-eolica-policia-idBRKBN24B2W1-OBRBS>> . Acesso em: 5 set. de 2021.

²⁶ O equivalente a € 1,45 mil milhões em 5 set. de 2021.

²⁷ Reportagem disponível em: <<https://g1.globo.com/rn/rio-grande-do-norte/noticia/2020/06/26/operacao-da-pf-combate-extracao-ilegal-de-minerio-para-construcao-de-parques-eolicos-no-rn-esquema-movimentou-cerca-de-r-9-bi.ghtml>> . Acesso em: 5 set. de 2021.

suficiente para instauração de inquérito policial para investigar crimes de lavagem de capitais

Ocorre que, somado a isso, há diversos dados da tabela de conteúdo do shapefile dos dados da ANM, bem como no pop-up do arquivo KML²⁸ relativo aos mesmos dados. Neles é possível saber detalhes do processo minerário como seu número, ano, a fase atual, a área da poligonal em hectares, a substância a ser explorada e, principalmente, o titular da exploração. Nos dados referentes aos itens 5.4.1.a e 5.4.1.b deste trabalho, vemos que a empresa responsável pela extração é uma construtora, conforme vê-se na tabela 7:

Tabela 7: Dados dos processos minerários referentes aos itens 5.4.1.a e 5.4.1.b

Processo Minerário	848061/2016 (5.4.1.a)	848067/2016 (5.4.1.b)		
Dados constantes do pop-up do arquivo KML da Agência Nacional de Mineração	Atributo	Valor	Atributo	Valor
	Processo	848061/2016	Processo	848067/2016
	ID	{BF0C37FB-7049-4933-93AF-B5843919B3A4}	ID	{796F41A4-B002-47C4-836D-08F1175DB1E5}
	Número	848061	Número	848067
	Ano	2016	Ano	2016
	Área (ha)	3,56	Área (ha)	6,26
	Fase	REQUERIMENTO DE LICENCIAMENTO	Fase	REQUERIMENTO DE LICENCIAMENTO
	Último Evento	2095 - REQ LICEN/INDEFERIMENTO COM ONERAÇÃO EM 13/10/2016	Último Evento	1350 - DISPONIB/TORNAS/EFEITO DISPONIB ART 26-ÁREA REQ LICEN EM 08/02/2017
	Titular	Dois A Engenharia e Tecnologia Ltda	Titular	Dois A Engenharia e Tecnologia Ltda
	Substância	AREIA	Substância	AREIA
	Uso	Construção civil	Uso	Construção civil
	UF	RN	UF	RN

Fonte: SIGMINE 2021

²⁸ Keyhole Markup Language é uma linguagem baseada em XML e serve para expressar anotações geográficas e visualização de conteúdos existentes nessa linguagem como mapas em 2D e navegadores terrestre em 3D

Acessando o sítio da construtora titular do processo minerário e observando seu portfólio²⁹, verifica-se que a empresa tem como principais obras construídas, diversas usinas eólicas.

A mesma situação ocorreu no caso dos itens 5.4.2 a e 5.4.2 b, onde a empresa responsável pela extração mineral é também uma construtora, conforme pode ser visto na tabela 8.

Tabela 8: Dados dos processos minerários referentes aos itens 5.4.2.a e 5.4.2.b

Processo Minerário	848135/2013 (5.4.2.a)	848435/2011 (5.4.2.b)		
Dados constantes do pop-up do arquivo KML da Agência Nacional de Mineração	Atributo	Valor	Atributo	Valor
	Processo	848135/2013	Processo	848435/2011
	ID	{C200C8D8-1BC8-4A99-877D-35020DD0253A}	ID	{906439EB-3766-471B-8ECD-205B58A1D2A0}
	Número	848135	Número	848435
	Ano	2013	Ano	2011
	Área (ha)	36,7	Área (ha)	48,65
	Fase	REQUERIMENTO DE LICENCIAMENTO	Fase	REQUERIMENTO DE LICENCIAMENTO
	Último Evento	783 - REQ LICEN/DESISTÊNCIA REQ LICEN HOMOLOGADA PUBL EM 04/10/2017	Último Evento	783 - REQ LICEN/DESISTÊNCIA REQ LICEN HOMOLOGADA PUBL EM 02/03/2016
	Titular	Cromo Construções Ltda	Titular	Cromo Construções Ltda
	Substância	SAIBRO	Substância	SAIBRO
	Uso	Construção civil	Uso	Construção civil
	UF	RN	UF	RN

Fonte: SIGMINE 2021

Acessando o sítio da construtora titular do processo minerário e observando seu portfólio³⁰, vemos, também, que a empresa titular dos processos minerários tem como seu objeto principal a construção de usinas eólicas.

A extração mineral ilegal, em quantidades como as já demonstradas, exigem manobras financeiras capazes de dissimular a origem ilícita do mineral na contabilidade das empresas, fato que, por si só, já configura o crime de lavagem de capitais. No caso objeto de análise foram detectadas fortes suspeitas de emissões de

²⁹ Disponível em: <<https://www.doisa.com/portfolio>> . Acesso em: 6 set. 2021.

³⁰ Disponível em: <<https://cortezengenharia.com.br/obras-do-grupo-cortez/>> . Acesso em: 6 set. 2021.

notas fiscais ideologicamente falsas para dissimular a origem criminosa da matéria-prima extraída (PF 2020).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho demonstra como a metodologia GEOINT, juntamente com a Modelação Multicritério em SIG, podem ser aplicadas para possibilitar a constatação de crimes de extração mineral ilegal, bem como apontar fortes indícios de lavagem de capitais, da mesma forma que são úteis na determinação de quando e como ocorreram tais crimes, assim como na quantificação dos respectivos danos ambientais.

A vantagem deste trabalho foi apresentar, de forma simples, como a GEOINT e a Modelação com base em uma análise multicritério podem demonstrar situações suspeitas que podem levar à evidência criminal capaz de identificar crimes e apontar sua autoria, sendo possível reproduzir o que aqui foi realizado com os mesmos dados ou com outros, o que gera grandes possibilidades de aplicação em massa da técnica para investigações em diversos outros locais. Outra vantagem é a comprovação de que é possível a produção de evidências criminais mesmo com imagens gratuitas.

A principal dificuldade enfrentada nesta pesquisa foi encontrar imagens satelitais da área do Rio Grande do Norte onde não houvesse nuvens. Mesmo com a resolução temporal do satélite Landsat 8 sendo de apenas 16 dias, ou seja, cerca de 22 imagens disponíveis por ano, foi possível obter apenas cerca de 2 imagens a cada ano pesquisado, relativas às áreas de interesse, que estivessem livres de nuvens.

As limitações do trabalho estão relacionadas, em primeiro lugar, à ausência de dados georreferenciados sobre licenciamentos ambientais, que são de responsabilidade dos estados da federação e nem sempre estão disponíveis para acesso público, o que atrasa a conclusão sobre crimes ambientais. Em segundo lugar, o modelo utilizado no estudo fica limitado pela ocorrência de falsos positivos, como os demonstrados no estudo de caso.

É inegável, porém, que o modelo, apesar da necessidade de eliminação posterior de falsos positivos na fase de análise do ciclo GEOINT (com análise multitemporal de imagens com melhor resolução espacial), reduz, em muito, o tempo

de trabalho policial, permitindo a economia de recursos humanos e materiais. Quanto aos crimes ambientais, como já dito no item 5.2, uma vez que surjam evidências de crimes de extração mineral ilegal, a conclusão acerca da sua existência fica muito mais simples.

Seria impossível reproduzir, apenas com os métodos tradicionais de investigação criminal, uma varredura sobre duas áreas de mais de 60 quilômetros quadrados, com intervalos de dois anos, chegar-se a todos locais indicados como suspeitos neste trabalho e concluir acerca de mineração criminosa e, principalmente, de lavagem de dinheiro sem o uso da metodologia GEOINT e de Modelação Multicritério em SIG, que funcionam como uma espécie de máquina do tempo, uma vez os crimes aqui analisados ocorreram há muitos anos, em locais ermos e onde as testemunhas são, quase sempre, os próprios criminosos.

Apesar de este estudo demonstrar que, por meio da mensuração da área de solo degradado e de análise multitemporal de imagens é possível a quantificação dos respectivos danos ambientais, estudos futuros poderiam aprofundar-se no tema de quantificação do dano ambiental causado pela degradação do solo, bem como da quantificação de minério usurpado para eventuais ações de ressarcimento da União.

BIBLIOGRAFIA

- ALEMG. 2019. *CPI Da Barragem de Brumadinho: Relatório Final*.
- Araújo, Ana Beatriz Alves de, Isaac Alves da Silva Freitas, Antônio Aldísio Carlos Jr, Suedêmio de Lima e Silva, Paulo Cesar Da Silva, and Moura. 2018. "Análise Dos Índices de Vegetação NDVI e SAVI No Município de Mossoró Utilizando Imagens Landsat 8." in *III Congresso Internacional Das Ciências Agrárias 2018*.
- Bacastow, Todd S., and Dennis Bellafiore. 2009. "Redefining Geospatial Intelligence." *American Intelligence Journal* 27(1):3.
- Bandeira, Ricardo Murari. 2011. *Dos Contratos de Cessão de Direito de Exploração Mineral*. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.
- BBC. 2018. *Cameroon Atrocity: Finding the Soldiers Who Killed This Woman*. UK.
- Bezerra, Alan César, Jhon Lennon Bezerra da Silva, Douglas Alberto De Oliveira Silva, Pedro Henrique Dias Batista, Liliane Da Cruz Pinheiro, Pabricio Marcos Oliveira Lopes, and Geber Barbosa Albuquerque Moura. 2020. "Monitoramento Espaço-Temporal Da Detecção de Mudanças Em Vegetação de Caatinga Por Sensoriamento Remoto No Semiárido Brasileiro." *Revista Brasileira de Geografia Física* 13(1):286. doi: 10.26848/rbgf.v13.1.p286-301.
- Bielecka, Elzbieta. 2020. "GIS Spatial Analysis Modeling for Land Use Change. A Bibliometric Analysis of the Intellectual Base and Trends." *Geosciences* 10(11):421. doi: 10.3390/geosciences10110421.
- Boratto, Isa Maria De Paula, and Reinaldo Lúcio Gomide. 2013. "Aplicação Dos Índices de Vegetação NDVI, SAVI e IAF Na Caracterização Da Cobertura Vegetativa Da Região Norte de Minas Gerais." *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto* 7345–52.
- Borges, Thiago Campos. 2013. "Análise Dos Custos Operacionais de Produção No Transporte Em Mineração." Universidade Federal de Ouro Preto.
- Brantingham, Paul J, and Patricia J Brantingham. 2017. "Notes on the Geometry of Crime." Pp. 97–124 in *Principles of Geographical Offender Profiling*. Beverly Hills: Routledge.
- Brasil. 1967. *Decreto-Lei n 227, de 28 de Fevereiro de 1967*. Brasília: Presidência da República.
- Brasil. 1978. *Lei n.º 6.567, de 24 de Setembro de 1978*. Brasília: Presidência da República.
- Brasil. 1988. *Constituição Da República Federativa Do Brasil*. Brasília: Congresso Nacional.
- Brasil. 1989. *Lei n.º 7.805, de 18 de Julho de 1989*. Brasília: Presidência da República.

- Brasil. 1991. *Lei n.º 8.176, de 08 de Fevereiro de 1991*. Brasília: Presidência da República.
- Brasil. 1998. *Lei n.º 9.605, de 12 de Fevereiro de 1998*. Brasília: Presidência da República.
- Brasil. 2012. *Portaria 472, de 10 de Agosto de 2012*. Brasília: Ministério de Minas e Energia.
- Brasil. 2015. *Portaria 350, de 3 de Agosto de 2015*. Ministério de Minas e Energia.
- Brasil. 2018. *Decreto n.º 9.406, de 12 de Junho de 2018*. Brasília: Presidência da República.
- Burrough, Peter A., Rachael A. McDonnell, and Christopher D. Lloyd. 2015. *Principles of Geographical Information Systems*. 3rd ed. Oxford: Oxford Press.
- Cabral, Pedro. 2000. "SISTEMAS ESPACIAIS DE APOIO À DECISÃO: O Sistema de Apoio Ao Licenciamento Da Direcção Regional Do Ambiente Do Alentejo." Universidade Técnica de Lisboa.
- Cabral, Pedro, and Alexander Zamyatin. 2009. "Markov Processes in Modeling Land Use and Land Cover Changes in Sintra-Cascais, Portugal." *Dyna* 76(158):191–98.
- Carnaghi, J., and T. McEwen. 1970. "Automatic Pinning" edited by S. I. Cohn and W. E. McMahon. *Law Enforcement Science and Technology* III:399–403.
- Cascardo Jr, Agostinho Gomes. 2019a. "O Uso Da C&SIG Na Solução de Crimes." Trabalho apresentado na disciplina C&SIG do mestrado de Ciência e Sistemas de Informação Geográfica como requisito parcial para a obtenção de nota semestral. Universidade Nova de Lisboa.
- Cascardo Jr, Agostinho Gomes. 2019b. *Uso Da Geointeligência Como Ferramenta de Investigação Nos Crimes de Mineração*. Belo Horizonte.
- Cascardo Jr, Agostinho Gomes, and Alexandre Lourenço Pauli. 2020. "Análise Multicritério Com Base Em SIG Para Seleção de Locais Suspeitos de Crime." Trabalho apresentado na disciplina MODSIG do mestrado de Ciência e Sistemas de Informação Geográfica como requisito parcial para a obtenção de nota semestral. Universidade Nova de Lisboa.
- Chainey, Spencer, and Jerry Ratcliffe. 2005. *GIS and Crime Mapping*. edited by John Wiley & Sons. Chichester, West Sussex, England: John Wiley & Sons, Inc.
- Costa, Luciano. 2020. "PF Investiga Construtoras Por Uso de Minério Ilegal Em Usinas Eólicas No Nordeste." *Reuters*, July 10.
- Costa, Rafael Fonseca da. 2015. "Ventos Que Transformam? Um Estudo Sobre o Impacto Econômico e Social Da Instalação Dos Parques Eólicos No Rio Grande Do Norte/Brasil." Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- Datcu, Mihai, Roger L. King, and Sergio D'Elia. 2010. "Introduction to the Special Issue

- on Image Information Mining: Pursuing Automation of Geospatial Intelligence for Environment and Security.” *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 7(1):3–6. doi: 10.1109/LGRS.2009.2034822.
- Diesel, Lilian Elizabeth. 2009. “Proposta de Um Sistema de Gestão de Riscos Viários (SIGRAV/2009) Usando Geointeligência Para Rodovias Do Estado de Santa Catarina – Sul Do Brasil.” Universidade Federal de Santa Catarina.
- DNPM. 2004. *Portaria DNPM Nº 178, de 12 de Abril de 2004*. Brasília: Agência Nacional de Mineração.
- Domazetović, Fran, Ante Šiljeg, Nina Lončar, and Ivan Marić. 2019. “GIS Automated Multicriteria Analysis (GAMA) Method for Susceptibility Modelling.” *MethodsX* 6:2553–61. doi: 10.1016/j.mex.2019.10.031.
- Eastman, J. R. 1999. “Multi-Criteria Evaluation and GIS.” Pp. 493–502 in *Geographical Information Systems*, edited by M. F. Goodchild, D. J. Maguire, and D. W. Rhind. New York: Longley, John Wiley and Sons.
- EOS. 2019. “NDVI FAQ: All You Need To Know About Index.” Retrieved February 9, 2021 (<https://eos.com/blog/ndvi-faq-all-you-need-to-know-about-ndvi/>).
- ESA. 2015. “Sentinel-2 User Handbook.” 64. Retrieved September 6, 2021 (https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/document-library/-/asset_publisher/xslst4309D5h/content/sentinel-2-user-handbook).
- ESRI. 2020. “Suitability Modeling: Introduction.” *Esri Academy*. Retrieved September 6, 2021 (<https://www.esri.com/training/catalog/6007454b6bf5b1688a23b581/suitability-modeling%3A-introduction/>).
- Farias, Carlos Eugênio Gomes, and José Mário Coelho. 2002. “Mineração e Meio Ambiente No Brasil.” *Relatório Preparado Para o CGEE* 39.
- Feigelson, Bruno. 2018. *Curso De Direito Minerário*. 3rd ed. São Paulo: Saraiva.
- Fingas, Merv, and Carl Brown. 2017. “A Review of Oil Spill Remote Sensing.” *Sensors* 18(2):91. doi: 10.3390/s18010091.
- Franco, Avílio Antônio, Eduardo F. Campello, Elaine M. R. da Silva, and Sergio Miana de Faria. 1992. “Revegetação de Solos Degradados.” *Embrapa Agrobiologia - Comunicado Técnico* (09):1–9.
- Freire, Willian. 2007. “Regime Jurídico Dos Recursos Minerais No Direito Brasileiro: Regime Constitucional Brasileiro e Aproveitamento Das Riquezas Minerais.” *Revista Jurídica Da Presidência Da República* 9(84):16–41.
- GEE. 2019. “Google Earth Engine.” Retrieved May 5, 2021 (<https://www.google.com.br/earth/download/gep/agree.html>).
- GEP. 2017. “Google Earth Pro.” Retrieved May 5, 2021 (<https://www.google.com.br/earth/download/gep/agree.html>).

- Goodchild, Michael F. 1992. "Geographical Information Science3." *International Journal of Geographical Information Systems* 6(1):31–45. doi: 10.1080/02693799208901893.
- Gorelick, Noel, Matt Hancher, Mike Dixon, Simon Ilyushchenko, David Thau, and Rebecca Moore. 2017. "Google Earth Engine: Planetary-Scale Geospatial Analysis for Everyone." *Remote Sensing of Environment* 202:18–27. doi: 10.1016/j.rse.2017.06.031.
- Guedes, Jânio Carlos Fernandes. 2016. "Comparação de Índices de Vegetação No Mapeamento Da Cobertura Da Terra No Semiárido: Estudo de Caso No Município de Martins/RN." Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- Habibi, Roojin, and Steven J. Hoffman. 2018. "Legalizing Cannabis Violates the UN Drug Control Treaties but Progressive Countries like Canada Have Options." *Ottawa Law Review* 49(2):427–60.
- Harries, Keith. 1999. *Mapping Crime: Principle and Practice*. Washington DC: Crime Mapping Research Center.
- Houmi, M., B. Mohamadi, and T. Balz. 2018. "A Hyperspectral Based Method to Detect Cannabis Plantation in Inaccessible Areas." *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLII-3:547–51*. doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-3-547-2018.
- Housman, Ian, Veerachai Tanpipat, Tanushree Biswas, Adam Clark, Peter Stephen, Paul Maus, and Kevin Megown. 2015. "Monitoring Forest Change in Southeast Asia : Case Studies for USAID Lowering Emissions in Asia's Forests." (November):16.
- Huete, A. R. 1988. "A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI)." *Remote Sensing of Environment* 25(3):295–309. doi: 10.1016/0034-4257(88)90106-X.
- INPE. 2020. "Manual de Uso - Catálogo de Imagens INPE/OBT."
- JCS. 2017. *Geospatial Intelligence Support to Joint Operations*. USA.
- Jensen, John R., Sunil Narumalani, Oliver Weatherbee, Maylo Murday, Walter J. Sexton, and Colin J. Green. 1993. "Coastal Environmental Sensitivity Mapping for Oil Spills in the United Arab Emirates Using Remote Sensing and GIS Technology." *Geocarto International* 8(2):5–13. doi: 10.1080/10106049309354404.
- Jiang, Hong, and J. Ronald Eastman. 2000. "Application of Fuzzy Measures in Multi-Criteria Evaluation in GIS." *International Journal of Geographical Information Science* 14(2):173–84. doi: 10.1080/136588100240903.
- Johas, Fabio dos Santos. 2006. "Análise Do Passivo Socioeconômico Do Rompimento Da Barragem De Fundão (Mariana, Mg) Em Novembro De 2015 Na Bacia Do Rio Doce." *Economia – Texto Para Discussão* 60.
- Kahaner, Larry. 1998. *Competitive Intelligence: How to Gather Analyze and Use Information to Move Your Business to the Top*. 1st ed. edited by Toughstone. New

York.

- Kennedy, Michael, Peter Reuter, and Kevin Jack Riley. 1993. "A Simple Economic Model of Cocaine Production." *Mathematical and Computer Modelling* 17(2):19–36. doi: 10.1016/0895-7177(93)90237-S.
- Koutsias, N., and M. Karteris. 1998. "Logistic Regression Modelling of Multitemporal Thematic Mapper Data for Burned Area Mapping." *International Journal of Remote Sensing* 19(18):3499–3514. doi: 10.1080/014311698213777.
- Leite, Ana Paula, Glaucia Regina Santos, and Jannaylton Éverton Oliveira Santos. 2017. "Análise Temporal Dos Índices de Vegetação NDVI e SAVI Na Estação Experimental de Itatinga Utilizando Imagens Landsat 8." *Revista Brasileira de Energias Renováveis* 6(4). doi: 10.5380/rber.v6i4.45830.
- Lima, Diego Ricardo Medeiros de, Fernando Luís Dlugosz, Mariângela Ceschim Iurk, and Vagner Alex Pesck. 2017. "Uso de NDVI e SAVI Para Caracterização Da Cobertura Da Terra e Análise Temporal Em Imagens RapidEye. Use of NDVI and SAVI for Characterization of the Earth's Coverage and Temporal Analysis in Images RapidEye." *Revista Espacios* 38.
- Longley, Paul A., Michael F. Goodchild, David J. Maguire, and David W. Rhind. 2015. *Geographic Information: System and Science*. 4th ed. edited by John Wiley & Sons Ltd. New Jersey: John Wiley & Sons Ltd.
- Machado, Iran F. 1989. *Recursos Minerais, Política e Sociedade*. São Paulo: Edgard Blücher.
- Malczewski, Jacek. 1999. *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. 1st ed. Wiley.
- Meillón, S. C. 2008. *Geospatial Intelligence and Geospatial Information Systems*. Monterey: NPS - Naval Postgraduation School.
- Monteiro, Thereza Rachel Rodrigues. 2013. "Uso Dos Solos, Índices de Vegetação e Degradação Na Apa Das Onças-PB." Universidade Federal da Paraíba.
- MPF. 2018. "Eleições 2018: A Pedido Do MP Eleitoral, Justiça Limita Saques Bancários a R\$ 5 Mil." Retrieved May 11, 2021 (<http://www.mpf.mp.br/ap/sala-de-imprensa/noticias-ap/eleicoes-2018-a-pedido-do-mp-eleitoral-justica-limita-saques-bancarios-a-r-5-mil>).
- NGA. 2006. "Geospatial Intelligence (GEOINT) Basic Doctrine." *National Geospatial-Intelligence Agency* 1–52.
- Padmanaban, Rajchandar, Avit Bhowmik, and Pedro Cabral. 2017. "A Remote Sensing Approach to Environmental Monitoring in a Reclaimed Mine Area." *ISPRS International Journal of Geo-Information* 6(12):401. doi: 10.3390/ijgi6120401.
- Panek, Ewa, and Dariusz Gozdowski. 2020. "Analysis of Relationship between Cereal Yield and NDVI for Selected Regions of Central Europe Based on MODIS Satellite Data." *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 17:100286. doi:

10.1016/j.rsase.2019.100286.

- Pauly, G. A., T. McEwen, and S. Finch. 1967. *Computer Mapping – a New Technique in Crime Analysis*. Vol. 1. edited by S. A. Yefsky. New York: Thompson Book Company.
- Perazzoni, Franco. 2010. *Caderno Didático de Polícia Ambiental*. Brasília: Academia Nacional de Polícia.
- Perazzoni, Franco. 2012. “SIG, AMAZÔNIA E POLÍCIA FEDERAL: Geointeligência No Combate Ao Desmatamento Ilegal Na Amazônia.” Universidade Nova de Lisboa.
- Perazzoni, Franco. 2018. “Amazonia, Organized Crime and Illegal Deforestation: Best Practices for the Protection of the Brazilian Amazon.” Pp. 21–55 in *The 21st Century Fight for the Amazon*. Cham: Springer International Publishing.
- Perazzoni, Franco. 2021. “INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA, SUSTENTABILIDADE E AMAZÔNIA: Geointeligência Aplicada à Avaliação de Manejos Florestais Sustentáveis No Sul Do Amazonas.” Universidade Aberta de Lisboa.
- Perazzoni, Franco, Paula Bacelar-Nicolau, and Marco Painho. 2020. “Geointelligence against Illegal Deforestation and Timber Laundering in the Brazilian Amazon.” *ISPRS International Journal of Geo-Information* 9(6):398. doi: 10.3390/ijgi9060398.
- Pesaresi, M. 2008. “Textural Analysis of Coca Plantations Using Remotely Sensed Data with Resolution of 1 Metre.” *International Journal of Remote Sensing* 29(23):6985–7002. doi: 10.1080/01431160802220177.
- PF. 2020. “PF Combate Usurpação de Minério e Lavagem de Dinheiro Com Inteligência Geoespacial.” *Comunicação Social Da Polícia Federal*. Retrieved February 9, 2021 (<http://www.pf.gov.br/imprensa/noticias/2020/06-noticias-de-junho-de-2020/pf-combate-usurpacao-de-minerio-e-lavagem-de-dinheiro-com-inteligencia-geoespacial>).
- Piratini, Palácio. 2018. “Associação Brasileira de Agências de Regulação.” *Acontece Nas Agências*. Retrieved September 6, 2021 (<https://abar.org.br/2018/04/13/doze-usinas-eolicas-serao-fiscalizadas-pela-arce/>).
- Resende, Elaine. 2007. “Justiça Acolhe Denúncia Contra Acusados de Desmatamento.” *Consultor Jurídico*, June.
- Rossmo, Darcy Kim. 1987. “Geographic Profiling: Target Patterns of Serial Murderers.” Simon Fraser University.
- Rouse, J. W., R. H. Haas, J. A. Schell, and D. W. Deering. 1973. “Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS.” Pp. 309–17 in *Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium*, edited by S. Freden, E. Mercanti, and M. Becker. Washington: Nasa.

- Sader, Steven A., Thomas A. Stone, and Armond T. Joyce. 1990. "Remote Sensing of Tropical Forests: An Overview of Research and Applications Using Non-Photographic Sensors." *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 56(10):1343–51.
- Sartori, Anderson Antonio da Conceição, Ramon Felipe Bicudo da Silva, Marcela Navarro Pianucci, and Célia Regia Lopez Zimback. 2009. "Influência Do Período de Estiagem No Índice de Vegetação (NDVI), No Município de Botucatu-SP." *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 Abril 2009, INPE* 1(2006):4363–69.
- Shaw, Clifford R., and Henry D. McKay. 1943. "Juvenile Delinquency and Urban Areas: A Study of Rates of Delinquents in Relation to Differential Characteristics of Local Communities in American Cities." *American Journal of Sociology* 49(1):100–101. doi: 10.1086/219339.
- SIGEL. 2019. "Sistema de Informações Geográficas Do Setor Elétrico." *ANEEL*. Retrieved September 6, 2021 (<https://sigel.aneel.gov.br/Down/>).
- SIGMINE. 2021. "Sistema de Informações Geográficas Da Mineração." *ANM*. Retrieved September 6, 2021 (<https://geo.anm.gov.br/portal/apps/webappviewer/index.html?id=6a8f5ccc4b6a4c2bba79759aa952d908>).
- Da Silva, Alexandre Corrêa, William Gomes De Branco, Dagnaldo Penha, Lui Txai Calvoso, Thaise Rachel Sarmento, and Mariano Federico Pascual. 2017. "Semi-Automatic Oil Spill Detection in Sentinel- 1 SAR Images at Brazil ' s Coast." *9th International Conference on Advanced Geographic Information Systems, Applications and Services* (c):1–5.
- Da Silva, Manuel Duarte. 2014. "Tipificação de Fundações de Torres Eólicas Em Parques Industriais, Para Diversos Tipos de Solos." Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- Sloan, Sean. 2012. "Historical Tropical Successional Forest Cover Mapped with Landsat MSS Imagery." *International Journal of Remote Sensing* 33(24):7902–35. doi: 10.1080/01431161.2012.703344.
- Terdiman, Daniel. 2007. "How Law Enforcement Uses Google Earth." *CNET*. Retrieved May 19, 2021 (<https://www.cnet.com/news/how-law-enforcement-uses-google-earth/>).
- Trindade, Carlos Alberto, Bárbara Oliveira Trindade, and Carla Rafaela Santana. 2013. "Uso de Imagens de Satélite Para Identificação de Áreas Queimadas Para Uso Em Laudos Periciais de Incêndios Florestais." *Anais XVI Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR* d(1986):2809–16.
- US House of Representatives. 2017. *The United States Code*. Washington DC, United States of America: Government Publishing Office.

- USGS. 2019. "Landsat 8 Data Users Handbook." 114. Retrieved June 6, 2021 (<https://www.usgs.gov/media/files/landsat-8-data-users-handbook>).
- Venosta, Jeremy. 2016. "Ararat Wind Farm Foundations Underway." *The Ararat Advertiser*.
- Villavicencio, Lourdes Milagros Mendoza, David Mendes, Lára de Melo Barbosa Andrade, and Felipe Ferreira Monteiro. 2018. "Google Earth Engine: Mapping Changes in the Vilcanota-Peru Mountain Range." *Anuário Do Instituto de Geociências - UFRJ* 41(3):427–33. doi: 10.11137/2018_3_427_433.
- Vollaard, Ben. 2017. "Temporal Displacement of Environmental Crime: Evidence from Marine Oil Pollution." *Journal of Environmental Economics and Management* 82:168–80. doi: 10.1016/j.jeem.2016.11.001.
- Weisburd, David L., and Tom McEwen. 2015. "Introduction: Crime Mapping and Crime Prevention." *SSRN Electronic Journal*. doi: 10.2139/ssrn.2629850.
- Zamyatin, A. V., A. A. Afanasyev, and P. Cabral. 2015. "Approach to the Analysis of Land Cover Dynamics Using Change Detection and Spatial Stochastic Modeling." *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing* 51(4):354–63. doi: 10.3103/S8756699015040056.