



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**TRANSFORMAÇÃO DIGITAL E O CONTROLE EXTERNO
EXERCIDO PELA ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA: O CASO DO
SENSORIAMENTO REMOTO PARA FISCALIZAÇÃO DE OBRAS
NO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO POR MEIO DE INSUMOS
GRATUITOS**

ALEX GOIS ORLANDI

TESE DE DOUTORADO

Brasília – DF
Dezembro de 2022

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**TRANSFORMAÇÃO DIGITAL E O CONTROLE EXTERNO
EXERCIDO PELA ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA: O CASO DO
SENSORIAMENTO REMOTO PARA FISCALIZAÇÃO DE OBRAS
NO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO POR MEIO DE INSUMOS
GRATUITOS**

ALEX GOIS ORLANDI

Orientador:
Prof. Dr. Osmar Abílio de Carvalho Júnior

TESE DE DOUTORADO

Brasília – DF
Dezembro de 2022

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**TRANSFORMAÇÃO DIGITAL E O CONTROLE EXTERNO
EXERCIDO PELA ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA: O CASO DO
SENSORIAMENTO REMOTO PARA FISCALIZAÇÃO DE OBRAS
NO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO POR MEIO DE INSUMOS
GRATUITOS**

ALEX GOIS ORLANDI

Tese de doutorado submetida ao Departamento de Geografia da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Doutor em Geografia, área de concentração Gestão Ambiental e Territorial, opção Acadêmica.

Aprovado por:

Prof. Dr. Osmar Abílio de Carvalho Júnior
Universidade de Brasília
(Orientador)

Prof. Dr. Renato Fontes Guimarães
Universidade de Brasília
(Co-orientador)

Prof. Dr. Ivanildo Barbosa
Instituto Militar de Engenharia-IME/RJ
(Examinador Externo)

Prof. Dr. Jayme Milanezi Junior
Agência Nacional de energia Elétrica-ANEEL
(Examinador Externo)

Dr. Luiz Gustavo Nascentes Baena
Agência Nacional de energia Elétrica-ANEEL
(Examinador Externo)

Brasília, DF, 19 de dezembro de 2022.

FICHA CATALOGRÁFICA

ORLANDI, ALEX GOIS

Transformação Digital e o Controle Externo Exercido Pela Administração Pública: O Caso Do Sensoriamento Remoto Para Fiscalização De Obras No Setor Elétrico Brasileiro Por Meio De Insumos Gratuitos.

2022. 105p. (GEA/IH/UnB, Doutor, Geografia - Geoprocessamento, 2022).

Tese de Doutorado – Universidade de Brasília. Departamento de Geografia.

1. Transformação Digital
2. Controle Externo na Administração Pública
3. Setor Elétrico
4. Fiscalização de Obras

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ORLANDI, A. G. Transformação Digital e o Controle Externo Exercido Pela Administração Pública: O Caso Do Sensoriamento Remoto Para Fiscalização De Obras No Setor Elétrico Brasileiro Por Meio De Insumos Gratuitos. 2022. 105p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2022.

CESSÃO DE DIREITOS

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta Tese e emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta Tese de Doutorado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Alex Gois Orlandi

Dedicatória

Dedico este trabalho primeiramente a Jesus Cristo, autor e consumidor da minha fé, que me ensinou a equilibrar as diversas atividades da vida e me guiou com sabedoria para encontrar as prioridades corretas em cada fase ao longo desses anos de pesquisa.

Certamente após Ele, só poderia vir minha amada esposa Loana, por ser aquela voz de incentivo constante e pela confiança inquestionável de que eu seria capaz de cumprir minhas missões! Lu, eu te amo para sempre, minha Linda!!

Ao meu filho Álex Baruc e aos futuros herdeiros que são minha constante motivação de ser o melhor para eles e de deixar o melhor legado que eu puder: filhos, papai os ama e se esforça para ser para vocês o melhor exemplo que eu puder!!

Aos meus irmãos, Alexandre e Aline, soldados honrados nessa vida e sentinelas atentos que cuidaram de mim desde a infância e estão comigo para qualquer situação.

À minha amada mãe, exemplo de resiliência, mulher de ferro. Quanto mais o tempo passa, mais vejo o quanto aprendi com ela! Mãe, te amo!!

Ao meu pai, que me deu a vida e que se orgulha das minhas conquistas e da minha trajetória e que teve dias especiais nas comemorações das minhas vitórias. Deixou-me legado de honestidade e de trabalhador incansável. Obrigado pai!! (*In memoriam*)

Sucesso verdadeiro é aquele que eu encontro ao abrir a porta de casa!

Agradecimentos

Este é um momento muito especial no qual não poderia deixar de agradecer a algumas pessoas que se fizeram presentes nos momentos mais significativos durante a realização desta pesquisa.

Gostaria de agradecer à Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) por possibilitar o desenvolvimento deste estudo colaborando não só com os dados, mas também com todo o incentivo para a conclusão deste trabalho, particularmente à Superintendência de Gestão Técnica da Informação (SGI) e à equipe de Geoprocessamento da Agência.

Obrigado aos Professores Osmar e Renato pelas correções e orientações enriquecedoras e pelas ideias que melhoraram bastante a qualidade final dos artigos, além da paciência e calma ao longo desses anos.

Gratidão ao Tenente-Coronel Ivanildo, professor do Instituto Militar de Engenharia-IME, pela pronta resposta em contribuir no trabalho deste ex-aluno do curso de graduação em Engenharia Cartográfica daquele honrado Instituto Militar.

Aos amigos Jayme Milanezi, pela disponibilidade em somar esforços nessa empreitada desde a qualificação deste doutorado, e Luiz Gustavo, por responder ao convite de forma positiva e ombrear comigo nessa conquista, minha gratidão e honra em ter vocês nesse trabalho.

*"Que darei eu ao Senhor, por todos os benefícios
que me tem feito? Tomarei o cálice da salvação, e
invocarei o nome do Senhor." Salmos 116:12 e 13.*

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xi
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO 1 – APRESENTAÇÃO GERAL	1
1.1 INTRODUÇÃO	1
1.2 CARACTERÍSTICAS ESPECTRAIS DAS IMAGENS ORBITAIS DE SATÉLITE	5
1.3 CARACTERÍSTICAS ESPACIAIS DA IMAGENS ORBITAIS DE SATÉLITE	8
1.4 CARACTERÍSTICAS TEMPORAIS DA IMAGENS ORBITAIS DE SATÉLITE	9
1.5 METODOLOGIA	11
1.6 ORGANIZAÇÃO DA TESE	13
1.7 BIBLIOGRÁFICAS BIBLIGRÁFICAS	14
CAPÍTULO 2 TRANSFORMAÇÃO DIGITAL E CONTROLE NA ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA: SENSORIAMENTO REMOTO NA FISCALIZAÇÃO DE OBRAS.	17
2.1 INTRODUÇÃO	18
2.2 MATERIAIS	23
2.3 METODOLOGIA	24
2.4 RESULTADO	27
2.5 DISCUSSÃO	31
2.6 CONCLUSÃO	36
2.7 BIBLIOGRAFIA	37
CAPÍTULO 3 GESTÃO E DESENVOLVIMENTO REGIONAL COM IMAGENS GRATUITAS MULTITEMPORAIS: O CASO DA FISCALIZAÇÃO DE HIDRELÉTRICAS	
3.1 INTRODUÇÃO	44
3.2 MATERIAIS E MÉTODOS	50
3.3 RESULTADO	52
3.4 DISCUSSÃO	57
3.5 CONCLUSÃO	58
3.6 BIBLIOGRAFIA	59
CAPÍTULO 4- EVOLUÇÃO DAS FONTES EÓLICAS E SOLAR E O CONTROLE EXTERNO DA AGENCIA REGULADORA BRASILEIRA	
4.1 INTRODUÇÃO	64
4.2 MATERIAIS E METODOLOGIA	67
4.3 RESULTADO	68
4.4 DISCUSSÃO	77
4.5 CONCLUSÃO	82
4.6 BIBLIOGRAFIA	82
CAPÍTULO 5- CONSIDERAÇÕES FINAIS	89
5.1 LIMITAÇÕES	89
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	90
5.3 CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO	91
5.4 BIBLIOGRAFIA	91

LISTA DE FIGURAS

Capítulo	Página
Capítulo 1-Introdução	
FIGURA 1.1 – Composição da Matriz Energética brasileira em 2019. CGH-Central Geradora Hidrelétrica; CGU- Central Geradora Undi-elétrica; EOL-Central Geradora Eólica; PCH-Pequena Central hidrelétrica; UFV-Central Geradora Solar Fotovoltaica; UHE-Usina Hidrelétrica; UTE-Usina Termelétrica; e UTN- Usina Termonuclear	1
FIGURA 1.2 – Imagem gratuita CBERS4A- LhaSa, província do Tibete - Composição em cores reais, banda pancromática com 2,0m e bandas multiespectrais com 8,0m	4
FIGURA 1.3 – Espectro eletromagnético	5
FIGURA 1.4 – Assinaturas espectrais	6
FIGURA 1.5 – Imagens Sentinel2 da Cidade de Pirapora-MG	7
FIGURA 1.6 – satélite Pleiades com resolução espacial de 0,50m e satélite Resourcesat com 23,5m de resolução espacial	9
FIGURA 1.7 – a-Imagem Sentinel-2 de 29/06/2018; b-Imagem Sentinel-2 de 25/01/2019	11
FIGURA 1.8 – Estrutura da Tese	14
Capítulo 2- CONTROLE GERENCIAL NA ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA E TRANSFORMAÇÃO DIGITAL: SENSORIAMENTO REMOTO PARA FISCALIZAR	
FIGURA 1– Imagens multitemporais do Sentinel 2 com resolução espacial de 10 m.....	25
FIGURA 2– Série temporal de imagens PAN CBERS4	26
FIGURA 3–Imagem CBERS4	28
FIGURA 4– Sistema de detecção automática	30
FIGURA 5– Imagem RADAR Sentinel1A e Sentinel2	32
FIGURA 6– Imagem LandSat8 da UFV Pirapora	33
FIGURA 7– Imagem do satélite Pleiades	34
CAPÍTULO 3 - GESTÃO E DESENVOLVIMENTO REGIONAL COM IMAGENS GRATUITAS MULTITEMPORAIS: O CASO DA FISCALIZAÇÃO DE HIDRELÉTRICAS	
FIGURA 1– Imagens de Pirapora-MG	48
FIGURA 2– Satélite Pleiades e Satélite Resourcesat	49
FIGURA 3– Imagens Sentinel-2	49
FIGURA 4– Imagens multitemporais da UHE SINOP	52
FIGURA 5– Sentinel-2 imagens da PCH BANDEIRANTE (MS)	53
FIGURA 6– Imagens CBERS4 da UHE-SINOP (MT)	54
FIGURA 7– Imagens Sentinel-2 da UHE-SINOP (MT)	56
FIGURA 8– PCH BANDEIRANTE (MS)	56
CAPÍTULO 4 - EVOLUÇÃO DAS FONTES EÓLICAS E SOLAR E O CONTROLE EXTERNO DA AGENCIA REGULADORA BRASILEIRA	
FIGURA 1–Composição da Matriz Elétrica brasileira em 2022. CGH – Central Geradora Hidrelétrica; EOL – Central Geradora Eólica; PCH – Pequena Central hidrelétrica; UFV – Central Geradora Solar Fotovoltaica; UHE – Usina Hidrelétrica; UTE – Usina Termelétrica; e UTN – Usina Termonuclear	65
FIGURA 2– Expansão da energia eólica no Brasil	69

FIGURA 3– Distribuição de Usinas eólicas no Brasil	70
FIGURA 4– Previsão da quantidade e potência das usinas Eólicas para os próximos anos	71
FIGURA 5– Expansão da energia solar no Brasil	73
FIGURA 6– Quantidade e potência das usinas Fotovoltaicas para os próximos anos no Brasil	73
FIGURA 7– Usinas solares com mais de 50KW em operação no Brasil	74
FIGURA 8– Preços médios obtidos em LEN A-4	76
FIGURA 9– Participação das fontes de energia nos leilões	77
FIGURA 10– Expansão das fontes eólicas e solar em que a expansão solar se deu exponencialmente em relação à eólica	78
FIGURA 11– Classificação semântica de painéis fotovoltaicos	80
FIGURA 12– Sistema AGUIA mostrando a evolução de obras de usina UFV	81
FIGURA 13– Usina eólica no estado do Ceará: imagens Pancromática, Colorida e fusão	82

LISTA DE TABELAS

Capítulo	Página
Capítulo 1-Introdução	
TABELA 1.1 – Empreendimentos de Geração a serem fiscalizados pela ANEEL	2
TABELA 1.2 – Quantidade de Servidores da ANEEL	3
TABELA 1.3 – Características Técnicas das Câmeras do Satélite CBERS4	8
TABELA 1.4 – Exemplo de etapas utilizadas para comprovação da viabilidade do uso das imagens de satélite no monitoramento das usinas de geração de energia elétrica	12
Capítulo 2- CONTROLE GERENCIAL NA ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA E TRANSFORMAÇÃO DIGITAL: SENSORIAMENTO REMOTO PARA FISCALIZAR	
TABELA 1– Etapas utilizadas para comprovação da viabilidade do uso das imagens de satélite no monitoramento das usinas de geração	24
TABELA 2– Número de usinas UFV selecionadas para incorporação do sensoriamento remoto à rotina da fiscalização	27
TABELA 3– Resultados das análises da Usinas UFV da tabela 2	28
TABELA 4–Viabilidade de verificação dos marcos fiscalizados para usinas UFV	30
CAPÍTULO 3 - GESTÃO E DESENVOLVIMENTO REGIONAL COM IMAGENS GRATUITAS MULTITEMPORAIS: O CASO DA FISCALIZAÇÃO DE HIDRELÉTRICAS	
TABELA 1– Projetos de geração de energia fiscalizados pela ANEEL	44
TABELA 2– Número de servidores (Abr / 2020)	45
TABELA 3– Marcos utilizados pela ANEEL para monitoramento das usinas hidrelétricas	50
TABELA 4– Características Técnicas das cameras do satélite CBERS4	51
TABELA 5– Características Técnicas do Instrumento Multiespectral (Sentinel-2)	51
TABELA 6– Custos estimados de Fiscalização presencial com 2 fiscais	55
CAPÍTULO 4 - EVOLUÇÃO DAS FONTES EÓLICAS E SOLAR E O CONTROLE EXTERNO DA AGENCIA REGULADORA BRASILEIRA	
TABELA 1– Distribuição por Estado da Federação dos mais de 22GWs instalados no Brasil	69
CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	
TABELA 1– Informações técnicas de imagens de satélite	91

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CBERS	China-Brazil Earth Resources Satellite)
CGH	Central Geradora Hidrelétrica
EOL	Central Geradora Eólica
EPE	Empresa de Pesquisa energética
ESA	Europeia Space Agency
GGT	Sistema de Gestão Geoespacializada da Transmissão
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPEA	Instituto de Pesquisas Econômica Aplicada
LAI	Lei de Acesso à Informação
LEN	Leilão de Energia Nova
PAN	Pancromática
PCH	Pequena Central hidrelétrica
SFG	Superintendência de Fiscalização da Geração
TCU	Tribunal de Contas da União
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
UFV	Central Geradora Solar Fotovoltáica
UHE	Usina Hidrelétrica
UTE	Usina Térmelétrica
UTN	Usina Termonuclear

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade e a aplicação de imagens gratuitas de satélite no processo de monitoramento e fiscalização das obras de usinas de geração de energia em implantação, tendo por base um projeto piloto em desenvolvimento na Agência Nacional de Energia Elétrica. O estudo foi feito em todo o território nacional nos locais onde havia usinas em implantação com o objetivo de verificar essa aplicabilidade por meio de imagens dos satélites CBERS4, CBERS4A e Sentinel 2. Os resultados obtidos sinalizam o potencial de enriquecimento que o uso de imagens traz aos processos de controle na Administração Pública, ao fortalecimento da accountability no setor público e ao efeito positivo da transformação digital como ferramenta simples e moderna de fiscalização, propiciando economicidade e eficiência ao controle externo na administração pública.

Palavras-chave: Transformação Digital, Fiscalização de Obras, Controle na Administração Pública, Setor Elétrico.

ABSTRACT

The objective of this work is to analyze the feasibility and application of free satellite images in the process of monitoring and inspecting the works of power generation plants under implementation, based on a pilot project under development at the National Electric Energy Agency. The study was carried out throughout the national territory in places where there were plants being implemented in order to verify this applicability through images from the CBERS4, CBERS4A and Sentinel 2 satellites. The results obtained indicate the potential for enrichment that the use of images brings to the control processes in the Public Administration, to the strengthening of accountability in the public sector and to the positive effect of digital transformation as a simple and modern inspection tool, providing economic and efficient external control in public administration.

Keywords: *Digital Transformation, Construction Supervision, Public Administration Control, Electrical Sector.*

CAPÍTULO 1 – APRESENTAÇÃO GERAL

1.1 INTRODUÇÃO

A Agência Nacional de Energia Elétrica, com sede em Brasília, Distrito Federal, tem a missão de regular e fiscalizar a produção, transmissão e comercialização de energia elétrica no Brasil, conforme explicita a lei nº 9.427 de 26 de dezembro de 1996 (Brasil, 1996) que cria a ANEEL como autarquia em regime especial.

O Brasil possui 7.534 empreendimentos de geração de energia elétrica em operação, totalizando 166GW de potência instalada. Dessa potência, destacam-se a fonte hidráulica, com mais de 60% da nossa matriz energética e, em segundo lugar, a fonte térmica com 24,60%, como mostrado na Figura 1. Há ainda a previsão para os próximos anos de um incremento aproximado de 23GW na capacidade de geração de energia pelo país, derivados de 203 empreendimentos em construção e 411 com obras não iniciadas, somando 614 obras iniciadas ou com início próximo distribuídas em todo o país e das diversas fontes de geração (ANEEL, 2019).

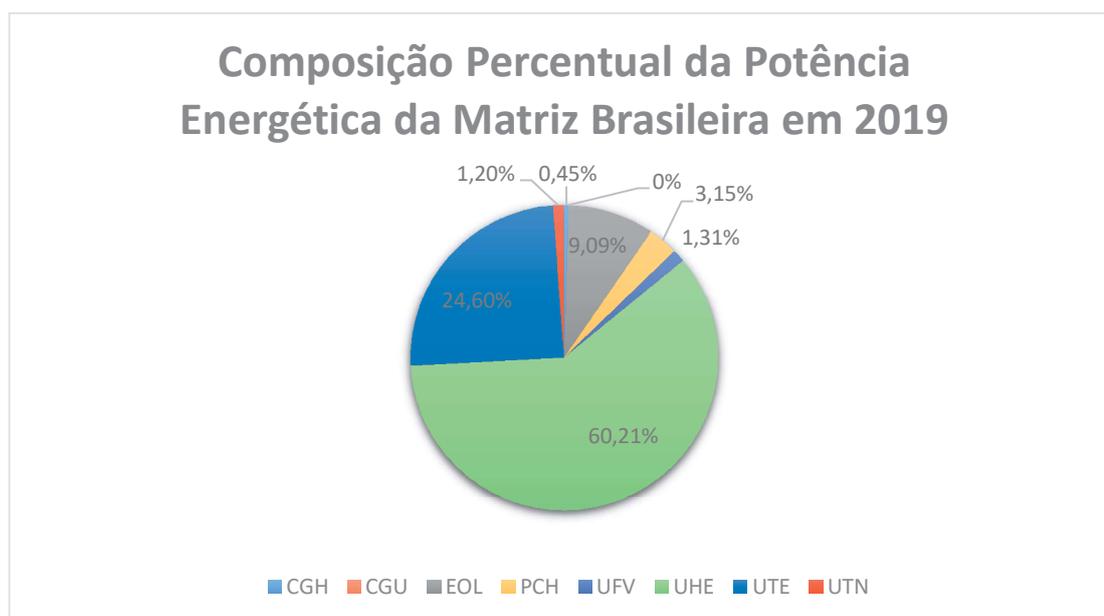


Figura 1- Composição da Matriz Energética brasileira em 2019. CGH-Central Geradora Hidrelétrica; CGU- Central Geradora Undi-elétrica; EOL-Central Geradora Eólica; PCH-Pequena Central hidrelétrica; UFV-Central Geradora Solar Fotovoltáica; UHE-Usina Hidrelétrica; UTE- Usina Térmelétrica; e UTN- Usina Termonuclear.

O processo de fiscalização das usinas geradoras de energia elétrica em implantação realizado pela ANEEL tem o objetivo de verificar a execução do projeto e sua aderência ao cronograma previamente aprovado pela Agência a fim de garantir que a usina entrará em operação comercial na data prevista. Dessa forma, a Agência cumpre seu papel de propiciar a segurança no fornecimento de energia elétrica ao país. Ressalta-se que essa fiscalização engloba todas as usinas geradoras em implantação, sejam elas hidrelétricas, eólicas, fotovoltaicas ou qualquer outra fonte. A tabela 1.1 (ANEEL, 2019) contempla um espectro dos empreendimentos que estão dentro das diferentes fases de implantação em 2019, passando pelos processos de fiscalização pela Superintendência de Fiscalização da Geração-SFG da ANEEL.

Tabela 1.1- Empreendimentos de Geração a serem fiscalizados pela ANEEL

Empreendimentos em Construção				Construção não iniciada		
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	%	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	%
CGH	4	8.512	0,11	2	5.100	0,03
EOL	56	1.136.585	14,19	150	5.112.585	34,55
PCH	28	346.979	4,33	102	1.448.771	9,79
UFV	28	741.548	9,26	90	3.409.642	23,04
UHE	3	579.780	7,24	6	659.000	4,45
UTE	83	3.844.736	48,01	61	4.163.437	28,13
UTN	1	1.350.000	16,86	0	0	0
Total	203	8.008.140	100	411	14.798.535	100

Atualmente, o monitoramento das usinas de geração em implantação é realizado por meio de informações e dados obtidos dos agentes de geração, bem como por meio de inspeções *in loco* por parte da equipe de fiscalização. Os agentes de geração, outorgados pelo Poder Concedente, o qual confere o direito de implantar e explorar a energia de determinada usina de geração, enviam periodicamente relatórios de acompanhamento dos empreendimentos para a equipe de fiscalização da ANEEL. Como um dos subsídios para a comprovação do avanço da implantação das usinas, os agentes enviam relatórios fotográficos, que são analisados pela fiscalização, gerando assimetria de informações entre Regulador e Regulado.

Contudo, a Agência apresenta um quadro de servidores bastante reduzido, tendo em vista as diversas atribuições legais e o fato de, ainda assim, não possuir tal quadro completo por estar sem realizar concurso público desde 2010. A tabela 1.2 exemplifica essa situação de pessoal e mostra que

a quantidade de servidores para fiscalizar as obras dos empreendimentos de geração é pequena, haja vista que a SFG, que é o nível operacional responsável pelo controle estatal sobre as obras de empreendimentos de geração, é somente uma das 20 (vinte) superintendências nas quais a área de atuação da Agência é dividida.

Tabela 1.2- Quantidade de Servidores da ANEEL (Goes, 2022)

Discriminação do Cargo	Lei 10.871/2004	cargos preenchidos	Déficit (%)
Especialista em Regulação	365	311	14,79%
Analista Administrativo	200	155	22,50%
Técnico Administrativo	200	115	42,50%
Total	765	581	24,05%

Considerando uma distribuição equitativa de pessoal entre as 20 superintendências que compõem a Agência, já que há constantes movimentações internas de pessoal entre as áreas, e o fato de que as fiscalizações são realizadas somente por Especialistas em Regulação, cargo da atividade fim da Agência, a SFG contaria com 16 servidores Especialistas em Regulação para todas as suas atribuições, inclusive as fiscalizações de obras das usinas em implantação (ANEEL, 2013).

Assim, é necessário um constante esforço da Agência para manter os padrões de controle e fiscalizações do Estado sobre os agentes a fim de garantir uma expansão da oferta de energia, mantendo a qualidade no fornecimento, ao mesmo tempo em que busca a modicidade tarifária num insumo essencial para o cotidiano de todo o país. Para isso, a inovação nas atividades de controle realizadas pela Administração Pública por meio da ANEEL é fundamental para o desenvolvimento nacional e segurança do sistema elétrico do Brasil.

Nesse sentido, percebemos que o uso de Geoprocessamento pode ser uma alternativa para continuar o avanço na evolução dos processos de controle e fiscalização por meio do uso de sensoriamento remoto, haja vista que as obras relacionadas aos empreendimentos de Geração provocam mudanças consideráveis no ambiente em que as usinas são instaladas.

Além disso, é relevante ressaltar a disponibilidade atual de imagens gratuitas como por exemplo as imagens do Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres CBERS4 (*China-Brazil Earth Resources Satellite*) com resolução espacial de 5 metros na banda pancromática. Contudo, essa resolução espacial evoluiu na última versão do satélite lançado em 2021, CBERS4A. Houve um salto de qualidade nas

imagens gratuitas a partir de agosto de 2021 pelo CBERS4A que passou a disponibilizar imagens com 2,0m de resolução espacial na banda pancromática, como vemos na figura 1.2.



Figura 1.2- Imagem gratuita CBERS4A- LhaSa, província do Tibete - Composição em cores reais, banda pancromática com 2,0m e bandas multiespectrais com 8,0m (Fonte: INPE, 2021).

Desse modo, busca-se a interação entre o binômio inovação (Chen, et al., 2009) e sensoriamento remoto a fim de ser um propulsor da transformação digital que pode ser a saída para fazer mais, com menos recursos humanos e materiais, além de buscar a otimização dos recursos estatais (Costa & Azeredo, 2005). O escopo da transformação digital dessa pesquisa engloba o uso de novas ferramentas no setor público, como Big Data, inteligência artificial, geotecnologias e outras ferramentas que permitam o avanço dos governos eletrônicos para formas ainda mais modernas e inteligentes, mantendo a transparência, proteção de dados do cidadão e fortalecendo a accountability no setor público (Wu; & Sarker, 2018). Assim, a transformação digital refere-se ao uso de informática e tecnologias para um atendimento mais eficiente e efetivo, criando valor econômico e na vida dos indivíduos e da sociedade em geral (Reddy; & Reinatz, 2020).

Assim, o objetivo geral da tese é analisar o Geoprocessamento como ferramenta de transformação digital aplicada ao Controle Externo a ser exercido pela Administração Pública

(Carvalho Junior *et al.*, 2016) e propor uma metodologia de uso na fiscalização de obras de usinas geradoras de energia elétrica por meio de insumos de sensoriamento remoto gratuitos.

Os objetivos específicos são:

- a) Mostrar a transformação digital e o controle exercido pela administração pública por meio do sensoriamento remoto com imagens gratuitas CBERS e Sentinel para fiscalizar obras de usinas solares fotovoltaicas-UFV;
- b) Demonstrar o uso do sensoriamento remoto com insumos gratuitos para a fiscalização de Obras de Usinas Hidrelétricas; e
- c) Analisar a expansão das fontes eólica e solar na matriz elétrica nacional e como as imagens de satélite estão sendo utilizadas para um efetivo controle pela ANEEL nesse contexto.

1.2 CARACTERÍSTICAS ESPECTRAL DAS IMAGENS ORBITAIS DE SATÉLITE

O espectro eletromagnético representado na Figura 1.3 (Baumer, 2017) mostra a faixa de alguns comprimentos de onda conhecidos, como as micro-ondas e a luz visível. Os sensores passivos dos satélites, isto é, aqueles sensores que apenas captam a energia eletromagnética emitida pelos alvos, adquirem em sua maioria as imagens na faixa do espectro visível e infravermelho. Já os radares (*Radio Detection And Ranging-RADAR*) são sensores ativos, isto é, não dependem do Sol para operar, pois emitem energia na faixa do espectro eletromagnético que corresponde à Micro-ondas, recebendo-a para gerar seus produtos de sensoriamento remoto.

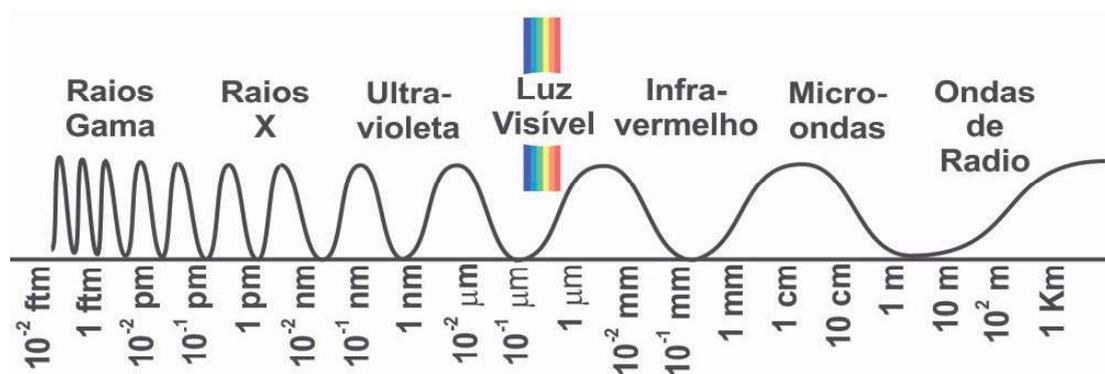


Figura 1.3-Espectro eletromagnético (Fonte: Baumer, 2017)

Quando a radiação interage com um objeto parte dela é refletida, indicando sua reflectância. Ao colocarmos essa Reflectância em um gráfico, temos uma curva de reflectância. A Figura 1.4 (Steffen, 2019) mostra a reflectância para uma folha verde. A resposta de um objeto para os diferentes comprimentos de onda se chama de Assinatura Espectral.

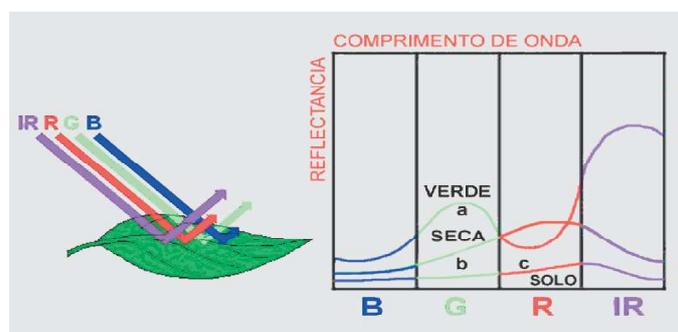


Figura 1.4-Assinaturas espectrais. Fonte: (INPE, 2022).

Cada produto tem especificidades diferentes com aplicações e processamentos distintos. Assim, cada tipo de imagem terá uma aplicação distinta. Por exemplo, em uma região que está constantemente coberta por nuvens, será inviável o uso de imagens óticas, sendo imperativo o emprego de imagens RADAR.

Assim, a resolução espectral envolve o número de bandas e a espessura de cada banda do espectro eletromagnético que uma determinada câmera do satélite é capaz de cobrir. Uma câmera pancromática cobre a faixa do visível, por exemplo. Uma câmera que consegue obter uma imagem colorida cobre a mesma faixa, mas em três bandas diferentes: vermelho, azul e verde. Como ela tem três bandas e cada banda é mais estreita do que a pancromática, já que esta faixa se refere aos comprimentos de onda das três faixas (vermelho, verde e azul) unidas, pode-se dizer que a câmera que consegue captar somente uma banda do espectro eletromagnético (a faixa do azul, por exemplo) tem maior resolução espectral do que o pancromático (Coelho & Brito, 2007).

Uma imagem de sensoriamento remoto colorida é resultante da combinação das três cores básicas (azul, verde e vermelho). A figura 1.5 é uma imagem obtida pelo satélite Sentinel-2 da cidade de Pirapora em Minas Gerais, MG, e exemplifica essa situação de forma bastante ilustrativa. A Figura 1.5a é a imagem obtida pelo satélite Sentinel-2 na banda 02 (azul), a Figura 1.5b é a imagem obtida pelo satélite Sentinel-2 na banda 03 (verde), a Figura 1.5c é a imagem obtida pelo

satélite Sentinel2 na banda 04 (vermelho) e a Figura 1.5d é a composição colorida obtida pela fusão das três bandas.

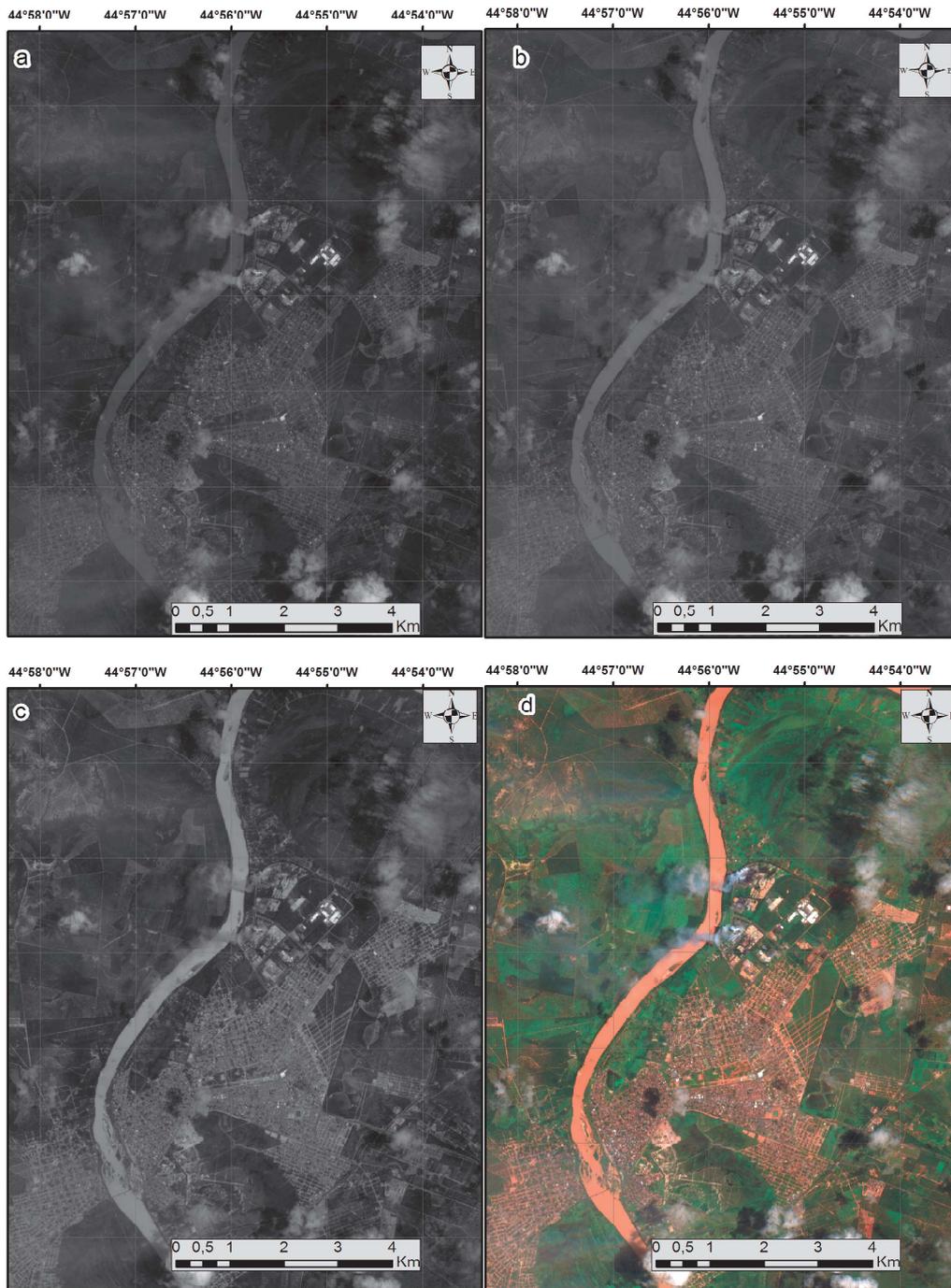


Figura 1.5-Cidade de Pirapora-MG. Composição colorida: a- azul (banda 02); b-verde (banda 03); c-vermelho (banda 04); e d-composição das bandas do satélite Sentinel-2.

A Tabela 1.3 (INPE, 2018) traz as características espectrais de alguns tipos de imagens que podem ser obtidas gratuitamente pelo satélite CBERS4. Contudo, gerações anteriores desses satélites também já eram bastante utilizadas em estudos, apesar de possuírem resoluções espaciais e temporais de menor qualidade do que as atuais (Viana & Bauch, 2009).

Tabela 1.3- Características Técnicas das Câmeras do Satélite CBERS4

Câmera Pancromática e Multiespectral (PAN)	
Característica	Dado
Bandas Espectrais	B01: 0,51 - 0,85 μm
	B02: 0,52 - 0,59 μm
	B03: 0,63 - 0,69 μm
	B04: 0,77 - 0,89 μm
Largura da Faixa Imageada	60 km
Resolução Espacial	5 m (B01)/10 m (B02,B03,B04)

1.3 CARACTERÍSTICA ESPACIAL IMAGENS ORBITAIS DE SATÉLITE

A capacidade de observarmos os detalhes nas imagens de sensoriamento remoto chamamos de resolução espacial, ou seja, é a capacidade de o sensor discriminar objetos de acordo com suas dimensões no mundo real (INPE, 2022). É por meio da resolução espacial que podemos perceber qual será o menor elemento que pode ser observado em determinada imagem de satélite. Por exemplo, nas imagens CBERS4 que possuam resolução espacial de 5,0m será possível ver maiores detalhes em relação a uma mesma imagem obtida pelo satélite Sentinel-2 com 10,0m de resolução espacial.

A Figura 1.6a apresenta uma imagem do satélite Pleiades com resolução espacial de 0,50m, enquanto a imagem 1.6b é a mesma imagem, mas com resolução espacial de 23,5m do satélite Resourcesat.

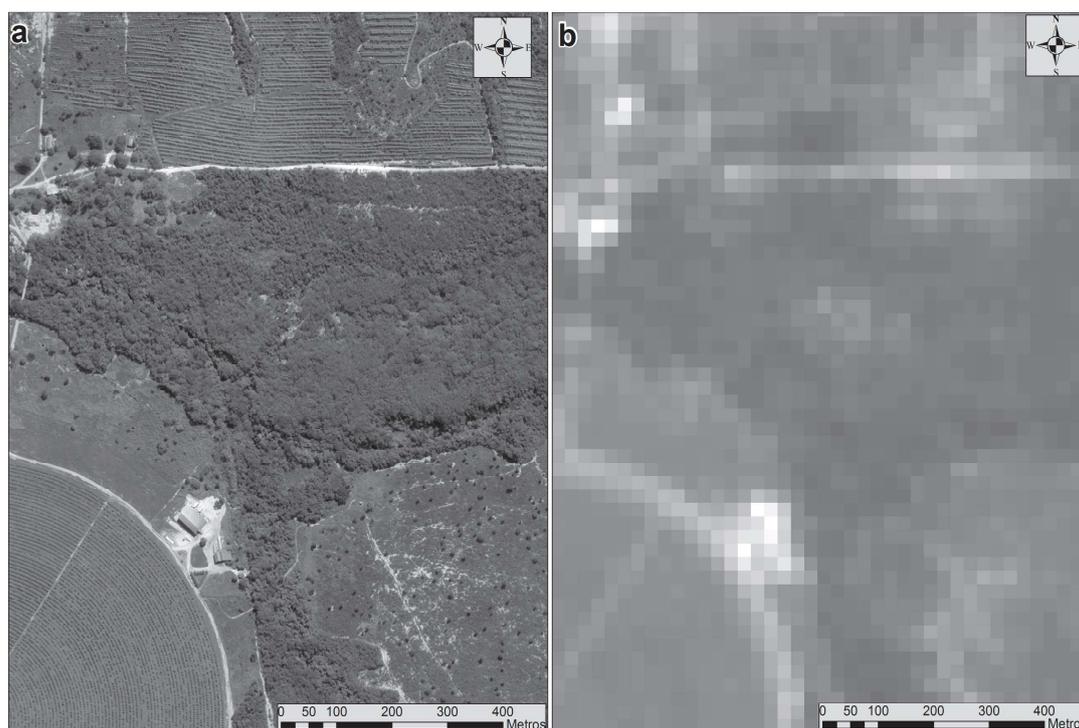


Figura 1.6- a-satélite Pleiades com resolução espacial de 0,50m e b- satélite Resourcesat com 23,5m de resolução espacial.

Um mesmo satélite pode ter câmeras com resoluções espaciais diferentes, ou seja, um satélite pode gerar imagens que serão úteis para visualizar objetos com proporções diferentes. O satélite CBERS4 por exemplo, possui câmeras com resoluções espaciais de 5,0m ou 10,0m, como mostra a Tabela 1.3 acima, sendo 5,0m para a banda 01 (Pancromática) e 10,0m para as bandas 2, 3 e 4.

Nos casos das usinas geradoras de energia, a característica espacial será fundamental, haja vista que o objetivo é fiscalizar as obras das usinas. Assim, sem a resolução espacial adequada não será possível visualizar se determinada usina executou ou não a obra a ser fiscalizada. Isso quer dizer que: se é preciso verificar as instalações de painéis fotovoltaicos, a resolução espacial deve ser suficiente para que o especialista note claramente a presença dessa feição na imagem.

1.4 CARACTERÍSTICA TEMPORAL DAS IMAGENS ORBITAIS DE SATÉLITE

A frequência com que um mesmo ponto na superfície terrestre é observado pelo satélite é denominada Resolução Temporal. Isso quer dizer que, depois desse tempo, é possível obter uma nova imagem de um mesmo local. A resolução temporal do satélite CBERS4 é de 52 dias, enquanto o Sentinel 2 possui uma resolução temporal de 5 dias. A resolução temporal também é chamada de Tempo de Revisita. Assim, esse tempo de revisita é a frequência que o sensor revisita uma área e obtém imagens

periódicas ao longo de toda sua vida útil. Os satélites orbitam a Terra com uma inclinação em relação ao equador de 97° a 98° e a uma altitude nominal de 550 a 900 km. A resolução temporal é fundamental para detectar mudanças que ocorrem na Terra, sobremaneira os alvos sabidamente dinâmicos (Almeida & Menezes, 2012).

A Resolução Temporal é uma questão basilar nas análises das fiscalizações que se deseja fazer e deve haver uma sensibilidade adequada, haja vista que se tomarmos duas imagens com datas muito próximas, não haverá uma diferença visível de alteração nas imagens que retratem o avanço das obras. Contudo, se tomarmos imagens espaçadas demais, haverá perda de informações e a consequente ineficácia do processo para fiscalizar o cumprimento dos marcos que delimitam o término de cada etapa de implantação dos empreendimentos de geração.

A Figura 1.7 elucidada essa situação, onde a imagem 1.7a foi obtida em 29/06/2018 e a Figura 1.7b data de 25/01/2019. As diferenças mostradas em função do tempo são marcantes especialmente nas áreas verdes agricultáveis, revelando o potencial das imagens de satélite para o acompanhamento das variações ocorridas no ambiente físico. As imagens foram obtidas pelo satélite Sentinel-2 e são gratuitas.



Figura 1.7- a-Imagem Sentinel-2 de 29/06/2018; b-Imagem Sentinel-2 de 25/01/2019.

1.5 METODOLOGIA

Importante ressaltar que o foco desta pesquisa são os alvos correspondentes às usinas em instalação no setor elétrico brasileiro. Dessa forma, as feições buscadas nas imagens estão relacionadas aos painéis fotovoltaicos, aos aerogeradores, às estruturas das usinas hidrelétricas e seus reservatórios, bem como às linhas de transmissão de interesse restrito das usinas.

Para este trabalho, foram utilizadas tanto informações externas contidas nos relatórios de acompanhamento de obras e fotografias, encaminhados mensalmente pelos próprios agentes à área de fiscalização da ANEEL, como também as informações obtidas internamente nos relatórios gerados pela Agência durante as fiscalizações que realiza periodicamente (ANEEL, 2013).

A rotina de monitoramento das usinas de geração envolve a análise dos dados enviados pelos agentes outorgados sobre o cumprimento do seu cronograma de implantação (ANEEL, 2004). Os dados dos agentes acerca do andamento do cronograma de execução de obras das usinas são então comparados com as fotografias enviadas a fim de se comprovar se houve de fato o cumprimento de determinado marco, ocorrendo uma análise realizada visualmente por cada fiscal para cada usina.

Além dessas informações, obviamente há a seleção das imagens gratuitas de satélite que melhor se adequam a um determinado tipo de usina. Isso é fundamental a fim de que, dentro os vários insumos gratuitos que existem, escolha-se o insumo mais adequado a cada tipo de usina que se deseja fiscalizar. Essa escolha considera principalmente as resoluções temporal e espacial das imagens. Ademais, poderia haver também escolhas mais específicas, como por exemplo, usar a banda 04 da imagem sentinel-2, haja vista que a imagem com essa faixa do espectro poderia fornecer melhor resultado para analisar o avanço da instalação dos painéis fotovoltaicos. Isso pode ocorrer em função de a resposta desses “alvos” para essa faixa de comprimento de onda ser bastante marcante, revelando com clareza a diferença entre região da usina que está sem vegetação e pronta para receber os painéis daquela que já está com os painéis instalados, ou seja, a banda do vermelho seria mais adequada para perceber a diferença entre “solo exposto” e “painel fotovoltaico”.

Após essas considerações sobre os insumos, podemos dizer que a metodologia está dividida basicamente em duas fases.

A primeira fase tem como objetivo em testar e comprovar a viabilidade do uso das imagens de satélite no processo de monitoramento da implantação das usinas de geração. Dentro dessa fase, há uma seleção dos insumos com a análise sobre a clareza com que se obtém a observação dos marcos que delimitam as fases de implantação conforme seu respectivo cronograma pactuado entre o agente e o

Estado. Assim, passa-se a caracterização dos alvos. Após testar várias imagens com distintas resoluções temporais e espaciais, tem que ficar provada a capacidade de o insumo gratuito escolhido ser apto para comprovar se um marco específico foi cumprido ou não pelo agente responsável pela Usina em implantação. A Tabela 1.4 traz uma abordagem geral e exemplificativa desses marcos.

Tabela 1.4- Exemplo de etapas de construção utilizadas para comprovação da viabilidade do uso das imagens de satélite no monitoramento das usinas de geração de energia elétrica

Etapas	Objetivo
1	Comprovação de início de obras civis das estruturas das usinas do sistema de transmissão de interesse restrito
2	Comprovação de paralisação e retomada de obras
3	Analisar e elencar os marcos dos cronogramas de implantação, por tipo de geração,
4	Validação da localização espacial das estruturas implantadas das usinas conforme suas outorgas de geração

Assim, de posse das análises teóricas de adequabilidade entre insumo e objetivos a serem atingidos, caminha-se para a segunda fase da metodologia.

Na segunda fase, cuida-se de colocar em prática a utilização das imagens nos processos de fiscalização realizados pela Superintendência de Fiscalização da Geração-SFG. Portanto, após a comprovação da viabilidade da utilização das imagens de satélite no monitoramento das usinas de geração, foi realizado estudo para incorporação do sensoriamento remoto na rotina da fiscalização. Para isso, as imagens de satélite selecionadas na fase anterior foram utilizadas para a realização do trabalho cotidiano de fiscalização executado pela SFG. Dessa forma, mantinham-se dois processos sendo realizados *pari passu*, ou seja, faz-se a fiscalização tradicionalmente e também com o uso das imagens selecionadas a fim de concluir pela possibilidade ou não de quais etapas poderiam ser feitas com a nova tecnologia. Além disso, buscou-se avaliar a conformidade dos resultados, esclarecendo as potencialidades e limitações do emprego dessa inovação.

Ademais, optou-se nesse estudo por começar as investigações e testes pelas usinas solares fotovoltaicas em função de ser aquela em que a geometria dos painéis fotovoltaicos instalados proporciona interpretações visuais mais simples e sem requerer experiência na atividade de fotointerpretação.

Também foram realizadas análises de evolução da expansão das fontes eólica e solar na composição da matriz elétrica nacional, incluindo o comportamento dessas fontes nos leilões e a aderência entre as participações no incremento de energia nova contratado pela ANEEL. Essa análise final foi

fundamental para esclarecer o papel de destaque que o sensoriamento remoto passa a ter na Agência, haja vista o número expresso de novos empreendimentos a fiscalizar espalhados em todo país e como a ferramenta Geoespacial já em uso participa da transformação digital aplicada ao Controle Externo exercido pela ANEEL.

1.6 ORGANIZAÇÃO DA TESE

A tese foi estruturada de forma didática em uma introdução geral, onde foram apresentados os objetivos específicos e o objetivo geral da tese, três artigos e as considerações finais. Além disso, houve a apresentação de conceitos básicos de sensoriamento remoto que foram utilizados no desenvolvimento dos estudos realizados.

A parte do desenvolvimento é apresentado no formato dos três artigos científicos que foram produzidos como resultado de todo o trabalho feito.

O primeiro artigo mostra a aplicação da metodologia para o caso de fiscalização de obras de implantação de usinas solares fotovoltaicas, sendo a primeira fase dos estudos e objeto de teste inclusive da metodologia aplicada nas demais fases da pesquisa. O primeiro artigo já está publicado e disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/cgpc/article/view/80456> .

O segundo artigo abordou a fiscalização de obras de Usinas Hidrelétricas-UHE e Pequenas Centrais Hidrelétricas-PCH, demandando maiores esforços do que o primeiro, haja vista o fato de as obras de usinas hidrelétricas possuírem marcos mais complexos de serem avaliados, além de abrangerem áreas consideravelmente maiores. O segundo artigo também já está publicado e disponível em: <https://www.rbgdr.net/revista/index.php/rbgdr/article/view/6430> .

O terceiro artigo teve como foco a evolução das fontes eólicas e solar e o controle externo da agência reguladora brasileira por meio de sensoriamento remoto e Inteligência Artificial-IA. O terceiro artigo será enviado para publicação após os últimos ajustes, constando no capítulo 4 da tese.

Dessa forma, como ilustrado na Figura 1.8, os três artigos se complementam no atingimento dos objetivos específicos e, por consequência, e no objetivo geral dos estudos sobre o potencial dos insumos gratuitos de sensoriamento remoto para fiscalização de obras de usinas para geração de energia elétrica no Brasil.

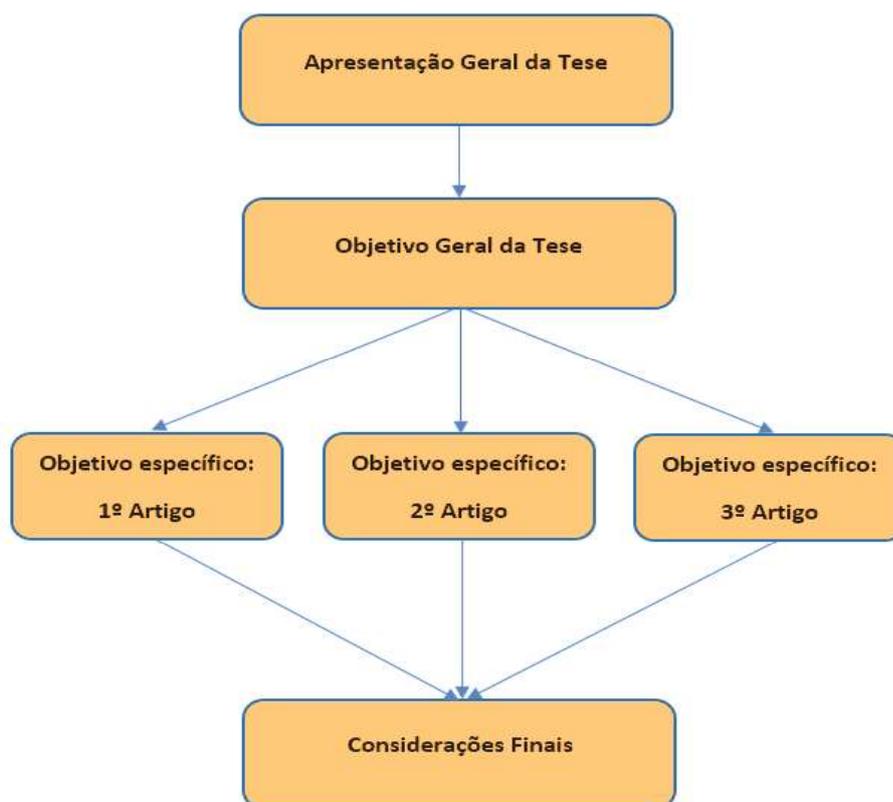


Figura 1.8- Estrutura da Tese

No último capítulo serão apresentadas as considerações finais dos estudos realizados e aspectos conclusivos de forma geral sobre os objetivos da tese.

1.7 BIBLIOGRAFIA

Almeida, T.; Meneses, P.R. (2012). Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. Brasília: Unb, 266 p.

Agência Nacional De Energia Elétrica-Aneel. (2013). Resolução Normativa nº 583, de 22 de outubro de 2013. Estabelece os procedimentos e condições para obtenção e manutenção da situação operacional e definição de potência instalada e líquida de empreendimento de geração de energia elétrica. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/documents>. Acesso em dezembro de 2017.

Agência Nacional De Energia Elétrica-Aneel . (2019). Capacidade de geração do Brasil. Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Acesso em 24 de agosto de 2019.

Agência Nacional De Energia Elétrica-Aneel. (2004). Resolução Normativa nº 63, DE 12 de maio de 2004. Aprova procedimentos para regular a imposição de penalidades aos concessionários, permissionários, autorizados e demais agentes de instalações e serviços de energia elétrica, bem como às entidades responsáveis pela operação do sistema, pela comercialização de energia elétrica e pela gestão de recursos provenientes de encargos setoriais. Disponível em:

http://www.aneel.gov.br/documents/655816/14689417/Resolu%C3%A7%C3%A3o+Normativa+Aneel+63+2004_ren2004063.pdf/b202aa21-a235-4d02-9b1d-1d1547cdec37 .

Baumer, A. L. (2019). Sequência De Ensino Investigativa Sobre A Irradiação De Alimentos. Universidade Do Estado De Santa Catarina – Udesc. Disponível em

https://www.udesc.br/arquivos/cct/id_cpmenu/846/produto_educacional_ppgecmt_ana_luiza_baumerr_15163025213297_846.pdf . Acesso em 20 de agosto de 2019.

Brasil-1996. Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências.

Steffen, C. (2019).A. Introdução ao Sensoriamento Remoto. Disponível em

<http://www3.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm#carlos>. Acesso em 23 de agosto de 2019.

Carvalho Júnior, O.A., Gomes, R.A.T & Guimarães, R.F. (2016)“O potencial de dados de sensoriamento remoto na fiscalização de obras públicas”. Revista do Tribunal de Contas da União,v., 48, n. 137, p. 76-91. Disponível em: <<http://revista.tcu.gov.br/ojsp/index.php/RTCU/article/view/1381>>.

Coelho Filho, L. C. T., & Brito, J. L. N. S. (2007). Fotogrametria Digital. Editora da Universidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Brasil: 2007.

Costa, B. L. D., & Azeredo, T. M. A. (2005). Inovação, eficiência e eficácia em políticas sociais: Reflexões a partir do Programa Bolsa Escola de Belo Horizonte. Cadernos Gestão Pública e Cidadania, 10(46), 81-107. doi:10.12660/cgpc.v10n46.44040.

Chen, J., Tsou, H. T., & Huang, A. Y. (2009). Service delivery innovation: Antecedents and impact on firm performance. Journal of Service Research, 12(1), 36-55. doi:10.1177/1094670509338619.

Goes, J. (2022). Com 184 cargos vagos, concurso Aneel será solicitado à Economia.

FOLHADIRIGIDA, Rio de Janeiro, 03 maio 2022. Disponível:

<https://folhadirigida.com.br/concursos/noticias/aneel/pedido-de-concurso-aneel-2023>.

Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais – INPE. (2018) Camarâs imageadoras CBERS-3 e 4.

Disponível em: <http://www.cbers.inpe.br/sobre/cameras/cbers3-4.php>. Acesso em outubro de 2018.

Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais – INPE.(2019). Disponível em

<http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites> . Acesso em 24 de agosto de 2019.

Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais – INPE. (2021). Disponível em

http://www.cbers.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=5331. Acesso em 10 de maio de 2021.

Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais – INPE. (2023). Disponível em

<http://www3.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/>.

Reinartz, W.; & Reddy, S. (2017). Digital transformation and value creation: sea change ahead. *Value in the Digital Era*, 9(1).

Wu, M.; & Sarker, M.N. I. (2018). Smart Governance through Bigdata: Digital Transformation of Public Agencies. *International Conference on Artificial Intelligence and Big Data*.

Viana, S.N., & Bauch, M.A. (2009). “O uso de imagens CBERS no monitoramento da cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio São Francisco – estudo de caso: Oeste Baiano”. *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, Brasil, INPE, p. 1567-1571, 25-30 .

CAPÍTULO 2 – CONTROLE GERENCIAL NA ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA E TRANSFORMAÇÃO DIGITAL: SENSORIAMENTO REMOTO PARA FISCALIZAR

CONTROLE GERENCIAL NA ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA E TRANSFORMAÇÃO DIGITAL: SENSORIAMENTO REMOTO PARA FISCALIZAR

Management Control In Public Administration And Digital Transformation: Remote Sensing for Supervision.

Control de gestión en la administración pública y la transformación digital: teledetección a supervisión.

RESUMO

A presente pesquisa tem como objetivo demonstrar como o controle gerencial na administração pública pode aplicar o sensoriamento remoto por meio de imagens gratuitas de satélite como ferramenta de transformação digital, gerando economia e eficiência. O trabalho tem como base um projeto piloto em desenvolvimento na Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) para a fiscalização das obras de usinas fotovoltaicas de geração de energia em implantação. Os resultados obtidos mostram o potencial de enriquecimento que o uso de imagens traz aos processos de controle gerencial na administração pública, ao fortalecimento da prestação de contas no setor público e ao efeito positivo da transformação digital como ferramenta simples e moderna de fiscalização, propiciando economia e eficiência ao controle público.

PALAVRAS-CHAVE: controle na administração pública, fiscalização, energia elétrica, imagens de satélite, monitoramento.

ABSTRACT

This research aims to demonstrate how management control in Public Administration can apply remote sensing through free satellite images as a tool for digital transformation, generating savings and efficiency. The work is based on a pilot project under development at the National Electric Energy Agency for the inspection of the works of photovoltaic power generation plants under implementation. The results obtained signal the potential for enrichment that the use of images brings to management control processes in Public Administration, to the strengthening of accountability in the public sector and to the positive effect of digital transformation as a simple and modern inspection tool, providing economy and efficiency to public control.

KEYWORDS — Control in Public Administration, supervision, electricity, satellite images, monitoring.

RESUMEN

Esta investigación tiene como objetivo demostrar cómo el control de gestión en la Administración Pública puede aplicar la teledetección por medio de imágenes satelitales gratuitas como una herramienta para la transformación digital, generando ahorros y eficiencia. El trabajo se basa en un proyecto piloto en desarrollo en la Agencia Nacional de Energía Eléctrica para la inspección de los trabajos en ejecución de las plantas de generación de energía fotovoltaica. Los resultados obtenidos señalan el potencial de enriquecimiento que el uso de imágenes aporta a los procesos de control de gestión en la Administración Pública, al fortalecimiento de la rendición de cuentas en el sector público y al efecto positivo de la transformación digital como una herramienta de inspección simple y moderna, que proporciona eficiencia al control público.

PALABRAS CLAVE: *Control en la Administración Pública, supervisión, electricidad, imágenes satelitales, monitoreo.*

2.1 INTRODUÇÃO

A governança dos recursos investidos em obras de infraestrutura no país deve ser pautada no interesse público dentro de um contexto de transparência, redução dos custos logísticos e aumento da eficácia dos serviços. O governo federal investe anualmente bilhões de reais em obras de infraestrutura, contudo ocorrem frequentemente irregularidades provenientes de problemas no projeto básico e na fiscalização deficiente (Miranda & de Matos, 2015). No controle gerencial, os recursos escassos e a capacidade operacional comprometida tornam a inovação tecnológica uma prioridade do gestor público por permitirem otimizar os recursos humanos e financeiros que são tão caros à sociedade (Castro, Isidro-Filho, Menelau, & Fernandez, 2017; Gomes & Machado, 2018). Muitos estudos abordam a inovação tecnológica como auxílio à gestão (Vaz, 2017; Vagnani & Volpe, 2017; Chen, 2017; e Talukder, 2012) e na melhoria dos resultados da atuação do Estado (Costa & Azeredo 2005; Vargas, Bohrer, Ferreira & Moreira, 2013).

Nesse contexto, os empreendimentos de geração de energia são relevantes, pois adquirem um papel estruturante no desenvolvimento do país. Uma tecnologia potencial para o aprimoramento de sua fiscalização e controle é o uso de dados de sensoriamento remoto que permite o imageamento da Terra de forma periódica, rápida e com baixos custos. O escopo da presente pesquisa é desenvolver e avaliar uma metodologia baseada no emprego de imagens de satélite na fiscalização de obras de usinas fotovoltaicas geradoras de energia elétrica (UFV) sob a gerência da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). A

pesquisa possui um caráter de inovação tecnológica no controle gerencial da administração pública sobre obras destinadas à geração de energia, proporcionando aumento da eficiência e diminuição dos gastos de fiscalização.

Atualmente, a transformação digital aplicada ao controle gerencial é um fenômeno estudado que se torna um dos principais vetores para modernização e transformação do Estado brasileiro (Brognoli & Ferenhof, 2020; Figueiras, Cireno & Palotti, 2019). O termo “transformação digital” possui variações de definição e abordagens, mas pode ser entendido como a integração da tecnologia digital e da análise de dados com processos inteligentes que transformam sua cadeia de valor (Mundim & Siestrup, 2019).

Dentro da administração pública, podem-se citar os seguintes exemplos: aplicação de *big data* para a transformação da administração pública tradicional em um modelo moderno e inteligente (De Souza & Jacob, 2017; Rogge, Agasisti, & De Witte, 2017; Singh, Srivastava & Johri, 2014); uso de técnicas de inteligência artificial para subsidiar ações de controle externo no Tribunal de Contas da União (TCU) (Silva, 2016); criação de modelos para análise dos recursos recebidos pelo Supremo Tribunal Federal quanto aos temas de repercussão geral (Maia Filho & Junquilha, 2018); e aperfeiçoamento do controle das finanças públicas (Porto, 2017). A transformação digital, usando Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), tem potencial para economizar recursos públicos de forma considerável, pois o trabalho digital pode custar até 97% menos do que aqueles feitos presencialmente (Brognoli & Ferenhof, 2020). A transformação digital é também vista como parte da quarta revolução industrial, em que tecnologias disruptivas (inteligência artificial, computação em nuvem e *big data*) mudam radicalmente os resultados, custos e a forma de atuação das instituições (Corvalán, 2017, Mendonça & Andrade, 2018, Shava, & Hofisi, 2017).

Nesse contexto, o setor elétrico brasileiro deve aprimorar o seu controle gerencial usando ferramentas digitais. O setor é bastante complexo, tendo o papel de gerar, transmitir e distribuir energia para atender mais de 200 milhões de brasileiros em um país com pontos extremos que distam cerca de 4.300 Km (Vieira, 2009). Tomando a transmissão como exemplo: trata-se de um sistema que possui sua maior parte interligada (Sistema Interligado Nacional-SIN) e parte, majoritariamente na região Norte do País, ainda isolada (Sistema Isolado), sendo constituído, em 2019, por mais de 140 mil km de linhas de transmissão para transportar os mais de 172 mil MW de capacidade instalada de energia (ONS, 2020). Em um setor com essas características, sejam elas para gerenciar os custos em distribuidoras de energia (Santana, Colauto & Carrieri, 2012), para analisar o risco setorial (Gartner, Moreira & Galves, 2008) ou para dar

suporte às escolhas estratégicas (Zaluski, Hedlund, Sausen & Thesing, 2019), as ferramentas de controle gerencial são essenciais para fornecer informações úteis ao planejamento, à avaliação e ao controle. Como exemplo da importância do controle gerencial nesse setor, cita-se o estudo realizado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), cuja constatação foi de que as ferramentas de gestão e monitoramento têm potencial para reduzir os problemas e prevenir atrasos, sobretudo em obras de grande porte como ferrovias, rodovias e usinas de geração de energia (Olivieri, 2016). Nesse caso, foram analisadas seis grandes obras de infraestrutura: ferrovia Transnordestina, rodovia BR-163, Usina Termelétrica Candiota III, Usina Hidrelétrica Teles Pires, BRT do Distrito Federal e metrô de Salvador.

Dentro das inovações tecnológicas, as geotecnologias e o processamento digital de imagem destacam-se como promissoras para o controle e a fiscalização de obras. O sensoriamento remoto tem sido utilizado para detectar mudanças na superfície terrestre em diversos cenários naturais (Yadav, Kapoor, & Sarma 2012) e urbanos (Hegazy & Kaloop, 2015). Na fiscalização de obras públicas, estudos baseados em geotecnologias têm obtido resultados significativos (Souza, Sobral & Candeias, 2017; Carvalho, Gomes & Guimarães, 2016; Souza, 2016; Ferraz, Berberian, Filho, Vieira, & Nóbrega, 2015). As imagens orbitais também são utilizadas para atualização cadastral e controle das plantas urbanas para fins de tributação do Imposto Predial e Territorial Urbano-IPTU, substituindo em parte os trabalhos de campo nas atividades de mensuração e avaliação (Santos, Pelegrina & Julião, 2015). No tocante ao controle externo, o TCU também está investindo nesse tipo de utilização do sensoriamento remoto para a fiscalização de obras em um projeto denominado “Geocontrole” (TCU, 2020).

Dentro desse escopo, a ANEEL desenvolveu a partir de 2015 o Sistema de Gestão Geoespacializada da Transmissão (GGT) que utiliza dados de sensoriamento para estudos nas linhas de transmissão. Após o emprego desse sistema, os resultados para os desligamentos nas linhas que são monitoradas pelo GGT mostraram uma redução de 52% no período de novembro de 2015 a setembro de 2018 (ANEEL, 2020), exemplificando o potencial do monitoramento por meio de imagens de satélite quando empregado pelo ente regulador.

No entanto, o controle gerencial sobre as usinas de geração em implantação é realizado externamente pela ANEEL por meio de informações e dados obtidos pelos agentes de geração e de outros órgãos envolvidos no processo da implantação da usina, bem como por meio de inspeções *in loco* por parte da equipe de fiscalização. Como um dos subsídios para a comprovação do avanço da implantação das usinas, os agentes enviam relatórios fotográficos, que são analisados pela fiscalização, gerando assimetria de

informações entre regulador e regulado. O território brasileiro, por suas dimensões continentais, exige fiscalização que envolve grande quantidade de mão-de-obra na atuação. A ANEEL, possuindo uma única sede em Brasília-DF, tem a missão de fiscalizar obras em todo o país (Carvalho, Gomes & Guimarães, 2016). Atualmente, há 591 empreendimentos de geração de energia elétrica outorgados pela ANEEL e em implantação no país (ANEEL, 2019). Portanto, uma lacuna de conhecimento é o aprimoramento de técnicas de fiscalização remota da evolução das obras nas usinas de geração, obtendo maior quantidade de dados precisos no espaço e no tempo sem que haja o deslocamento de técnicos ao local.

Nesse escopo, o presente trabalho busca estabelecer os potenciais e as limitações do emprego do sensoriamento remoto no controle gerencial aplicável no nicho de grandes obras (Olivieri, 2016), sobretudo na fiscalização do setor elétrico, mediante uma análise evolutiva dentro do seu cronograma de execução. Sendo o controle gerencial o centro desse trabalho, a retomada do binômio controle gerencial e transformação digital, sob a égide do sensoriamento remoto, fornece uma alternativa para modernizar o formato atual dos trabalhos na agência e o controle gerencial que realiza externamente sobre os agentes. Isso adiciona também subsídios para a reflexão de aplicações no controle gerencial e na administração pública no contexto de transformação digital, além de fortalecer a *accountability* vertical, haja vista a gratuidade e o livre acesso às imagens aqui empregadas.

Fundamentos teóricos

Para uma adequada compreensão técnica do fenômeno ora explorado, é necessária uma abordagem mínima de fundamentos teóricos e como essas variáveis e conceitos se relacionam, justificando sua especificidade aplicada no escopo do controle gerencial abordado.

A administração pública está sujeita a controles por parte do Legislativo, do Judiciário e do Ministério Público, além do controle que ela mesma exerce sobre seus atos, como decorrência do princípio da autotutela (Alexandrino & Paulo, 2008). No último caso, verifica-se o mérito e a legalidade de seus atos emanados, independentemente de qualquer provocação externa, podendo anular aqueles atos julgados ilegais ou revogá-los por motivo de conveniência e oportunidade. Dessa forma, o controle de atividades é inerente ao Estado que deseja proteger os interesses individuais ou coletivos, especialmente com a introdução da eficiência como princípio fundamental, descrita no caput do Artigo 37 da Carta Magna por meio da Emenda Constitucional nº 19/1998 (Constituição, 1988).

Dentro da administração pública, existem classificações de controle, quanto ao órgão que o exerce (administrativo, judicial ou legislativo), quanto ao momento em que ocorre (prévio, concomitante ou posterior) e se é interno ou externo ao controlado (Di Pietro, 2014). Além disso, a própria Constituição da República Federativa do Brasil (CF/88) estabelece os princípios para os controles estatais em seus artigos 37 e 74 (Constituição, 1988).

Também externo aos órgãos e entidades da administração pública e ultrapassando a fronteira tradicional da atuação dos poderes Legislativo, Executivo e Judiciário (*accountability* horizontal), o papel do controle social ganha importância no Estado atual como materialização da *accountability* vertical. O termo *accountability* encerra em seu significado os aspectos de controle, prestação de contas e transparência (Morais & Teixeira, 2016). A vertente de *accountability* vertical está presente de diferentes formas, seja pela obrigação de o Estado fornecer as informações solicitadas pelo cidadão, via Lei de Acesso à Informação (LAI) -- Lei Federal nº 12.527/2011 --, seja pela própria participação popular na construção dos orçamentos públicos pregada pela Lei de Responsabilidade Fiscal (LRF) -- Lei Complementar Federal nº 101/200. Numa democracia, o controle social é exercido também por meio de consultas ou audiências públicas, em que a transparência e participação popular são fatores determinantes (Lima, 2011).

Em que pese haver regulamentos e normativos que orientam a conduta dos agentes vinculados ao poder público, só os regulamentos não bastam, pois é imperativo uma correta gestão sobre o cumprimento de tais marcos regulatórios e legais (Freitas & Brito, 2017). Nesse aspecto, com maior presença do Estado na economia e expansão dos serviços públicos prestados, o controle como função gerencial passa a ocupar lugar de destaque (Rocha, 2000).

A par de outras definições e abordagens (Silva & Fonseca, 2008), o controle gerencial possui os aspectos de oferecer indicadores que traduzam o cumprimento de metas, com medidas de fácil interpretação, permitindo a construção de cenários para a tomada de decisão. As ferramentas de controle gerencial auxiliam a gestão e o controle, possuindo aplicação direta ao alinhar-se com os avanços da administração pública em direção ao modelo gerencial, necessitando que o controle incorpore a dimensão prática no curto prazo, com respostas por meio de ferramentas que materializem as discussões teóricas sobre o tema (Ribeiro Filho, 1997). Portanto, as ferramentas de controle gerencial são fundamentais para o aperfeiçoamento da gestão pública e fortalecimento da prestação de contas (Assis, Silva & Catapan, 2016).

2.2 MATERIAIS

Imagens e dados complementares

O presente trabalho focou na análise de imagens gratuitas, ou seja, aquelas que outros países e o próprio Brasil já despenderam investimentos para obter. Assim, privilegiaram-se as imagens gratuitas “CBERS4” fornecidas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e imagens “Sentinel 2” disponibilizadas pela Agência Espacial Europeia (European Space Agency-ESA).

As imagens de sensoriamento remoto possuem características intrínsecas referentes aos seguintes fatores: resolução espectral que envolve o número de bandas ou faixas do espectro eletromagnético que o sensor é capaz de detectar (Alvarez, Silva Filho, Couto & Polizel, 2010); resolução espacial que é a propriedade de o sensor discriminar objetos de acordo com suas dimensões no mundo real; e resolução temporal que é o tempo de revisita ou a frequência com que um mesmo ponto na superfície terrestre é observado pelo satélite. As imagens adquiridas apresentam resoluções espaciais e temporais adequadas ao monitoramento das obras no setor elétrico. O satélite sino-brasileiro CBERS4 possui quatro câmeras (Viana & Bauch, 2009) com diferentes tipos de aplicações. A imagem da câmera pancromática (PAN) do CBERS4 possui resolução espacial de 5,0m e temporal de 52 dias (INPE, 2019), sendo adequada para essa pesquisa. A imagem Sentinel 2 possui resolução espacial de 10,0m e temporal de dez dias (ESA, 2019).

Também foram utilizadas as informações de controle gerencial constantes em relatórios de acompanhamento de obras e as fotografias encaminhadas mensalmente pelos próprios agentes à Superintendência de Fiscalização dos Serviços de Geração (SFG) da ANEEL, responsável pelo monitoramento e pela fiscalização das usinas de geração de energia elétrica do país. A rotina de monitoramento das usinas de geração em implantação pela SFG perpassa por um controle gerencial que engloba a análise e consolidação dos dados enviados pelos agentes outorgados sobre o cumprimento de cada marco de seu cronograma de implantação estabelecido no ato de outorga, bem como sobre demais informações a respeito da situação da implantação da usina, inclusive sobre os avanços das obras. As datas de cumprimento de cada marco são fornecidas pelos agentes por meio do relatório de acompanhamento. Dessa forma, a SFG valida essas datas comparando-as com as fotos enviadas naquele mês para a comprovação do cumprimento do referido marco, juntamente com outros relatórios gerenciais enviados pelos agentes. Isso porque alguns agentes dizem que cumpriram determinado marco, sem comprovação

da realização por foto, ou às vezes com fotos que não o comprovam. O processo de análise é feito visualmente por cada fiscal para cada usina, contando com a experiência individual de cada servidor.

2.3 METODOLOGIA

Com a finalidade de atingir o objetivo proposto na introdução, o presente trabalho de pesquisa foi dividido em duas etapas: comprovação da viabilidade do uso das imagens de satélite no processo de controle gerencial da implantação das centrais geradoras fotovoltaicas (Tabela 1); e incorporação do sensoriamento remoto como ferramenta de controle gerencial à rotina de fiscalização das usinas de geração para verificar a viabilidade do uso de imagens de satélite no monitoramento e fiscalização.

Tabela 1- Etapas utilizadas para comprovação da viabilidade do uso das imagens de satélite no monitoramento das usinas de geração (centrais geradoras fotovoltaicas-UFV).

Etapas	Objetivo	Amostragem
1	Comprovação de início de obras civis das estruturas das usinas do sistema de transmissão de interesse restrito.	04-UFV
2	Início da instalação dos painéis que materializam a Usina UFV.	04- UFV
3	Validação da localização espacial das estruturas implantadas das usinas conforme suas outorgas de geração.	05-UFV

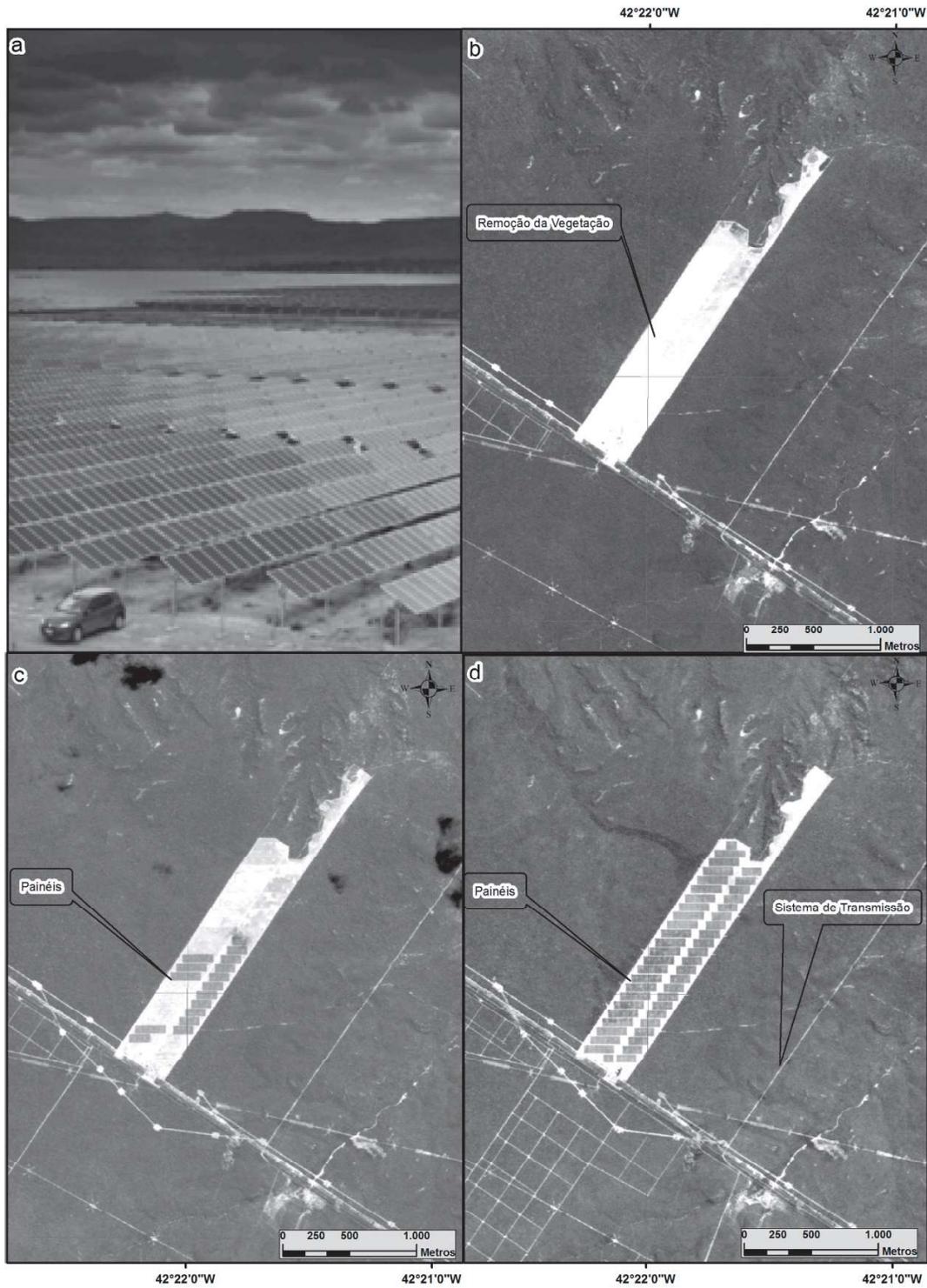
As imagens CBERS4 e Sentinel 2 foram obtidas em datas próximas aos marcos das fases de instalação. A resolução espacial permitiu visualizar de forma clara tanto a limpeza da área em que serão instalados os painéis fotovoltaicos, quanto sua instalação propriamente dita. A Figura 1 mostra claramente o começo das obras com a remoção da vegetação e os movimentos de terraplanagem. A Figura 1a demonstra a remoção da vegetação e preparação para o início das instalações da Usina UFV em 11 de fevereiro de 2018. Assim, de forma incontestável, houve o início das obras da Usina Fotovoltaica Pirapora, em Minas Gerais (MG). Na Figura 1b, de 28 de março de 2018, já se percebe o início da montagem dos painéis na região central da respectiva imagem de satélite.

Figura 1- Imagens multitemporais do Sentinel 2 com resolução espacial de 10 m (Pirapora, MG): (a) dia 11/02/2018-identifica a limpeza da área para a futura instalação dos painéis fotovoltaicos; e (b) dia 28/03/2018- início da instalação dos painéis fotovoltaicos



A Figura 2a mostra uma foto do local de implantação da UFV Pirapora e um veículo ao lado dos painéis, permitindo uma comparação com as imagens de satélite. As Figuras 2b, 2c e 2d mostram três imagens espaçadas aproximadamente em 50 dias da instalação da Usina UFV Sobral, localizada em São João do Piauí (PI), evidenciando a evolução das instalações de painéis, do sistema de transmissão e se a obra está avançando em ritmo adequado ao cronograma previamente estabelecido (Tabela 1 – etapa 1 e 2).

Figura 2- Série temporal de imagens PAN CBERS4: (a) Foto da UFV Pirapora (Fonte: G1-Notícias, 2019); (b) 22/04/2017 - remoção de vegetação para iniciar a instalação; (c) 13/06/2017 - instalação dos painéis fotovoltaicos e sistema de transmissão de usina; e (d) 04/08/2017-complementação da instalação



Em relação ao item 3 da Tabela 1, “Validação da localização espacial das estruturas implantadas das usinas conforme suas outorgas de geração”, observa-se que as imagens de satélite CBERS4 e Sentinel 2 já são fornecidas georreferenciadas, ou seja, já possuem um sistema de coordenadas que permite que elas sejam utilizadas em softwares de cartografia com as coordenadas que possuem no mundo real (Oliveira, Figueiredo, Brum, & Camargo, 2006).

Incorporação do sensoriamento remoto à rotina da fiscalização das usinas de geração

Nessa etapa foi realizado o estudo para incorporação do sensoriamento remoto na rotina da fiscalização. Para isso, foram utilizadas as imagens de satélite na comprovação do cumprimento de marcos dos cronogramas de implantação de usinas de geração acompanhadas atualmente pela Superintendência de Fiscalização da Geração (SFG). Essa atividade foi realizada em paralelo com o trabalho rotineiro da fiscalização, que comprova ou não o cumprimento de determinado marco por meio do envio dos relatórios fotográficos e/ou visitas a campo. Assim, esse processo foi aplicado nos meses de abril, maio e junho de 2018, para a comprovação do cumprimento de marcos dos cronogramas de 65 usinas no total (Tabela 2).

Tabela 2- Número de usinas UFV selecionadas para incorporação do sensoriamento remoto à rotina da fiscalização

Tipo	Abril	Mai	Junho	Total
UFV	24	18	23	65

O número de usinas UFV selecionadas foi considerado representativo em relação ao total de 186 usinas fiscalizadas nesses três meses de trabalho na SFG.

2.4 RESULTADOS

A Tabela 3 lista um resumo da viabilidade do emprego das imagens para o controle gerencial das obras de UFV em implantação. A alta cobertura de nuvens nas imagens comprometeu cerca de 9% (seis usinas) das análises pretendidas. Essas limitações são intrínsecas ao método e foram classificadas como “limitação

tecnológica”. A Figura 3 exemplifica essa situação para a UFV Sobral, onde a sombra das nuvens não permite afirmar de forma incontroversa se a área sob a sombra possui ou não painéis instalados.

Tabela 3- Resultados das análises da Usinas UFV da tabela 2

Mês	Usinas	Viável	Não Viável (N/P/R)
Abril	24	18	6 (6/0/0)
Maio	18	15	3 (0/3/0)
Junho	23	4	19 (0/19/0)
Total	65	37	28
N:Nuvens; P: Polígono não Georreferenciado; e R: Resolução Espacial ou Temporal Inadequada.			

Figura 3- Imagem CBERS4, de 28/2/2018, resolução espacial de 5,0m, identificando regiões cuja interpretação foi comprometida pela ocorrência de nuvens e sombras (UFV Sobral)



A indisponibilidade dos vetores georreferenciados das estruturas das usinas impediu a análise de 34% das usinas (22 usinas). Esse problema foi denominado “limitação de informações dos agentes”, sendo a maior limitação do emprego do sensoriamento remoto para o presente estudo.

A resolução espacial ou a temporal das imagens gratuitas não provocaram qualquer óbice às análises realizadas, não configurando limitação para a detecção dos alvos analisados.

Essa abordagem inovadora na fiscalização das obras possibilita economia financeira e de tempo. Num exemplo de situação real ocorrido, a agência investiu aproximadamente R\$7 mil no emprego de dois fiscais por dois dias para “comprovar o início de obras” relativas à Usina UFV Guaimbé, considerando diárias, passagens, aluguel de carro e homem-hora médio de um fiscal. Essa mesma fiscalização pode ser feita em duas horas com análise das imagens por um único servidor da agência, haja vista que as imagens são gratuitas e que o software para manipular as imagens também já está contratado, existindo também softwares livres que podem ser utilizados para isso (Bruno, 2017).

Nesse contexto, a agência evoluiu para um sistema de busca automatizada dessas imagens para as áreas nas quais há empreendimentos de geração, em que o servidor público insere a área a ser analisada e a data de referência em que quer saber se houve algum avanço nas obras. Após buscar essas imagens e verificar aquelas que tenham no máximo 10% de cobertura de nuvens (minimizar essa limitação intrínseca), o sistema fornece como resposta duas imagens, uma mais recente com a alteração e outra mais antiga sem a alteração indicada e um polígono hachurado indicando a área em que houve alteração. A Figura 4a, 4b e 4c mostram a aplicação do sistema para detectar o avanço das obras indicado pela Figura 2, destacando que o tempo de processamento é em torno de 10 minutos. Ressalta-se que o polígono hachurado serve como alerta das áreas onde houve alteração, não sendo relevantes pequenas diferenças de área indicadas e suas alterações nas imagens também fornecidas pelo sistema, pois a análise se concentrará nas imagens e não no polígono. A principal função desse polígono é chamar atenção para eventuais alterações físicas na região.

Ademais, os relatórios passaram a informar uma visão mais global da área da usina fiscalizada, fato inviável para uma fiscalização com profissionais no terreno. Além dos custos diretos, não há como negar os demais custos administrativos envolvidos para planejar as viagens, comprar passagens, alugar veículo e pagar as diárias. As vantagens econômica e processual na utilização dessa inovação tecnológica para fiscalização das usinas UFV são claras, pois a atividade de fiscalização pode ser executada em poucas horas e com poucos recursos humanos e materiais nesse novo ambiente criado por meio da transformação digital. Tecnicamente, as imagens permitiram também retificar ou confirmar informações que constavam no relatório enviados pelos agentes. De forma geral, os resultados mostram que os marcos da Tabela 4 necessários para fiscalização das Usinas UFV foram possíveis de serem visualizados com imagens de

satélite gratuitas. Adiciona-se a isso o fato de a fiscalização poder ser executada rapidamente em qualquer lugar do país se não houver as limitações já citadas. Como exemplificamos, as análises puderam ser realizadas nos Estados de Minas Gerais e Piauí.

Figura 4- Sistema de detecção automática de mudança indicando, com polígono hachurado, as áreas em que houve mudanças (UFV Sobral)

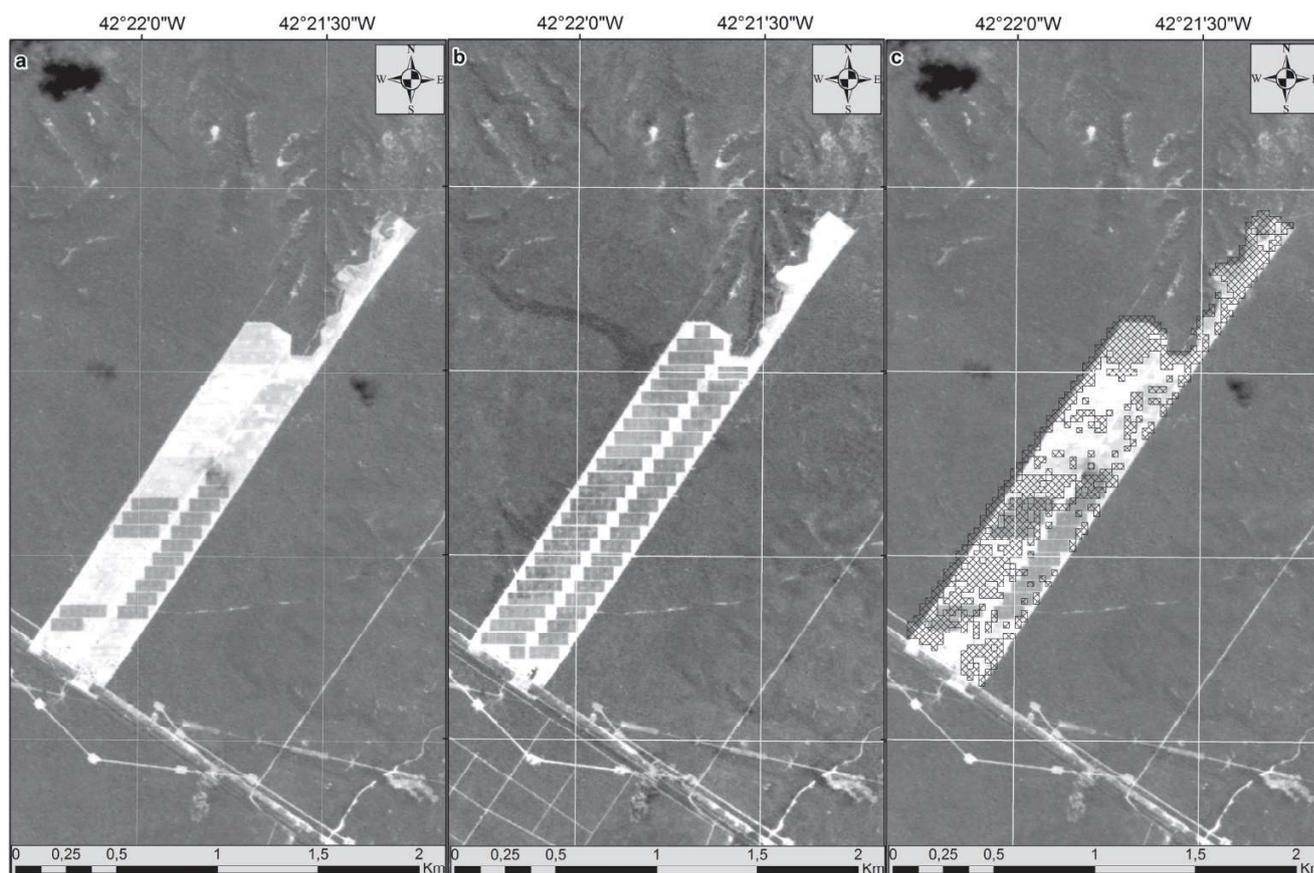


Tabela 4- Viabilidade de verificação dos marcos fiscalizados para usinas UFV

Usina	Marcos	Monitoramento por imagens de satélite
UFV	Início das obras civis (supressão vegetal)	Viável
	Início da montagem dos painéis fotovoltaicos	Viável
	Início das obras do sistema de transmissão de interesse restrito	Viável

2.5 DISCUSSÃO

Limitações

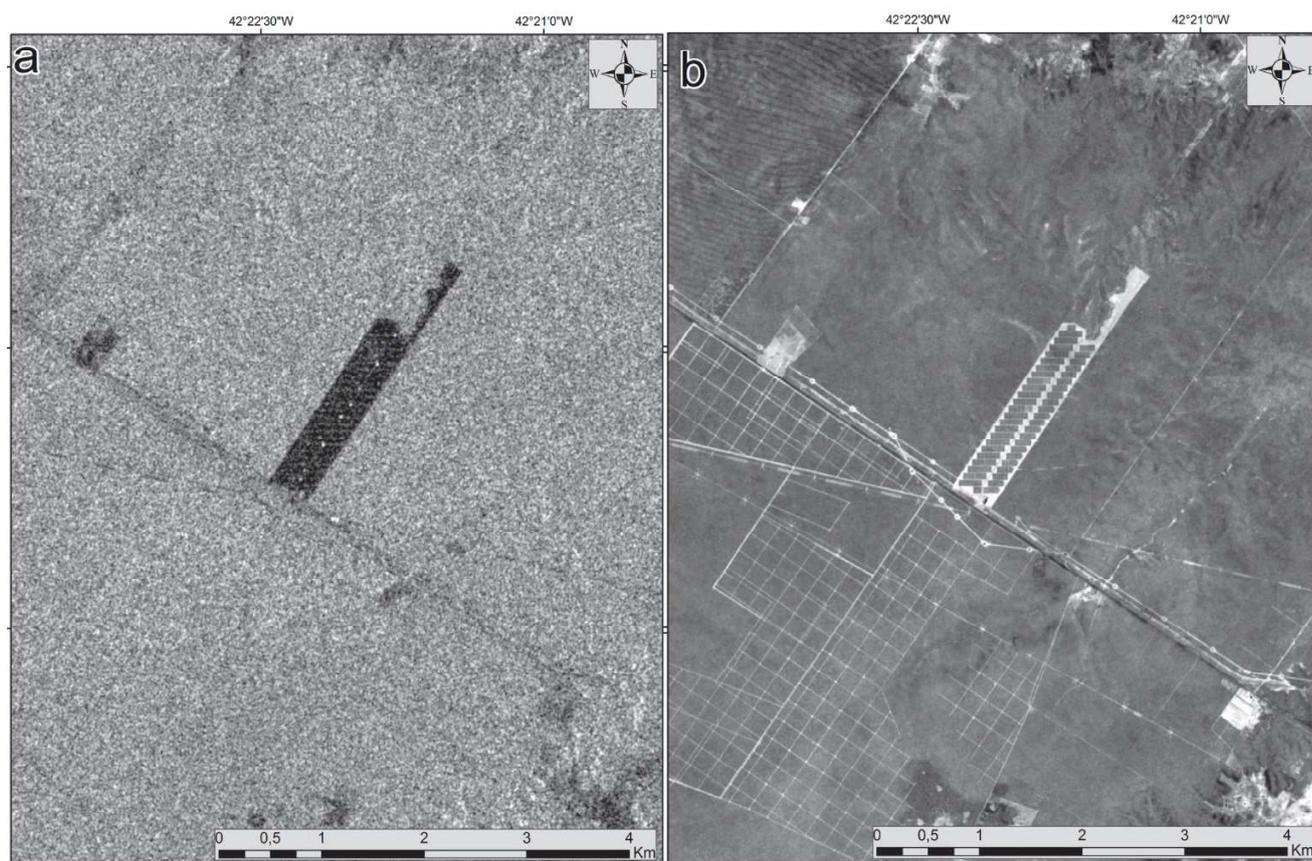
Como outras soluções de controle gerencial há limites de aplicação. As limitações tecnológicas intrínsecas ao método, como a presença de nuvens, representaram um número baixo de usinas afetadas, em torno de 9% do total. Ademais, é possível que não seja viável obter imagens sem nuvens em determinada época do ano em uma região de interesse, principalmente em estações muito chuvosas. Nesse caso, a opção é mudar o insumo --utilização de imagens via Radio Detection And Ranging (RADAR) que conseguem ultrapassar as nuvens, por exemplo-- ou aplicar os métodos tradicionais com idas a campo para a fiscalização.

O RADAR é o mais usado dentre os sistemas ativos de sensoriamento remoto, que operam de forma independente da energia eletromagnética do Sol, pois emitem as próprias ondas que, refletidas nos alvos, retornarão para gerar as imagens. Além disso, outra característica importante desse sistema é que não sofre influência das nuvens, isto é, suas ondas as perpassam sem sofrerem limitação do produto gerado por ele, podendo inclusive gerar imagens no período noturno. Os satélites para obtenção de dados RADAR têm sido lançados desde a década de 90, como o canadense RADARSAT (Thaise, 2018). Assim, o emprego radar desse sistema para identificar alvos específicos é de uso bastante difundido, seja para classificar áreas de um território em geral (Miguel & Sano, 2019) áreas específicas, como identificação dos tipos de gelo marinho na Antártica (Hildebrand, Rosa, Costi & Bremer, 2019). Dessa forma, em que pesem os dados de RADAR serem de maior complexidade tanto para o processamento quanto para a interpretação, há a vantagem de não haver a limitação de visibilidade atmosférica como ocorre nas imagens que operem na faixa do visível (Miguel & Sano, 2019). Para exemplificar o produto gerado pelo RADAR, a Figura 5 mostra uma imagem do satélite Sentinel 1A, na região da Usina UFV Sobral (Figura 5.a) e, para fins de comparação, uma imagem na faixa do visível obtida pelo satélite Sentinel 2 na mesma área (Figura 5.b), ambas com resolução espacial de 10,0m.

Ainda que de forma superficial, é notável que, apesar de a aparência da imagem RADAR não ser visivelmente agradável como imagem ótica, é útil para identificar mudanças, mostrando claramente que existe uma região que se destaca do seu entorno (Figura 5a). Nesse estudo, optou-se por seguir com as

análises das imagens na faixa do visível, haja vista que são satisfatoriamente suficientes para os resultados aqui almejados.

Figura 5- (a) Imagem RADAR Sentinel1A 07/10/2019; e (b) Imagem na faixa do visível Sentinel2 de 09/10/2019



Durante a implantação do projeto, também foi verificada uma carência de informações a respeito do posicionamento georreferenciado dos limites de algumas usinas e suas estruturas. Sem os vetores georreferenciados das estruturas das usinas, parte da análise fica comprometida, pois não é possível identificar a localização exata do empreendimento, bem como sua área de delimitação. Dessa forma, tendo em vista que usinas podem ser contíguas, é imperioso que haja o polígono georreferenciado das usinas que serão fiscalizadas. Portanto, para aumentar a capacidade do controle gerencial, essas informações passarão a ser obrigatoriamente enviadas pelos agentes do setor.

A resolução temporal (tempo de revisita) pode ser uma limitação intrínseca a depender do objeto fiscalizado e da velocidade com que as mudanças acontecem, mas essa não foi uma limitação para o caso apresentado. No entanto, se o controle gerencial exigir que o objeto seja revisitado a cada dois ou três dias, o tempo de revisita passa a ser tão importante quanto a resolução espacial.

Adicione-se que, em caso de limitação de cobertura de nuvens ou da resolução temporal, há a possibilidade de utilização outras fontes de imagens gratuitas além das imagens CBERS4 e Sentinel 2, como as do satélite indiano Resource ou do norte-americano LandSat com resolução espacial de até 15 metros. No entanto, ao trabalhar com resoluções espaciais de qualidade inferior, há maior dependência do conhecimento prévio do profissional que interpretará as imagens, compensando a perda de detalhamento. A Figura 6 mostra o Complexo de Usinas UFV Pirapora, mas com resolução espacial de 15 m, com nitidez sensivelmente diferente da Figura 1 (resolução de 10 m), sendo possível notar até mesmo a geometria do pixel que compõe a imagem nos limites da UFV.

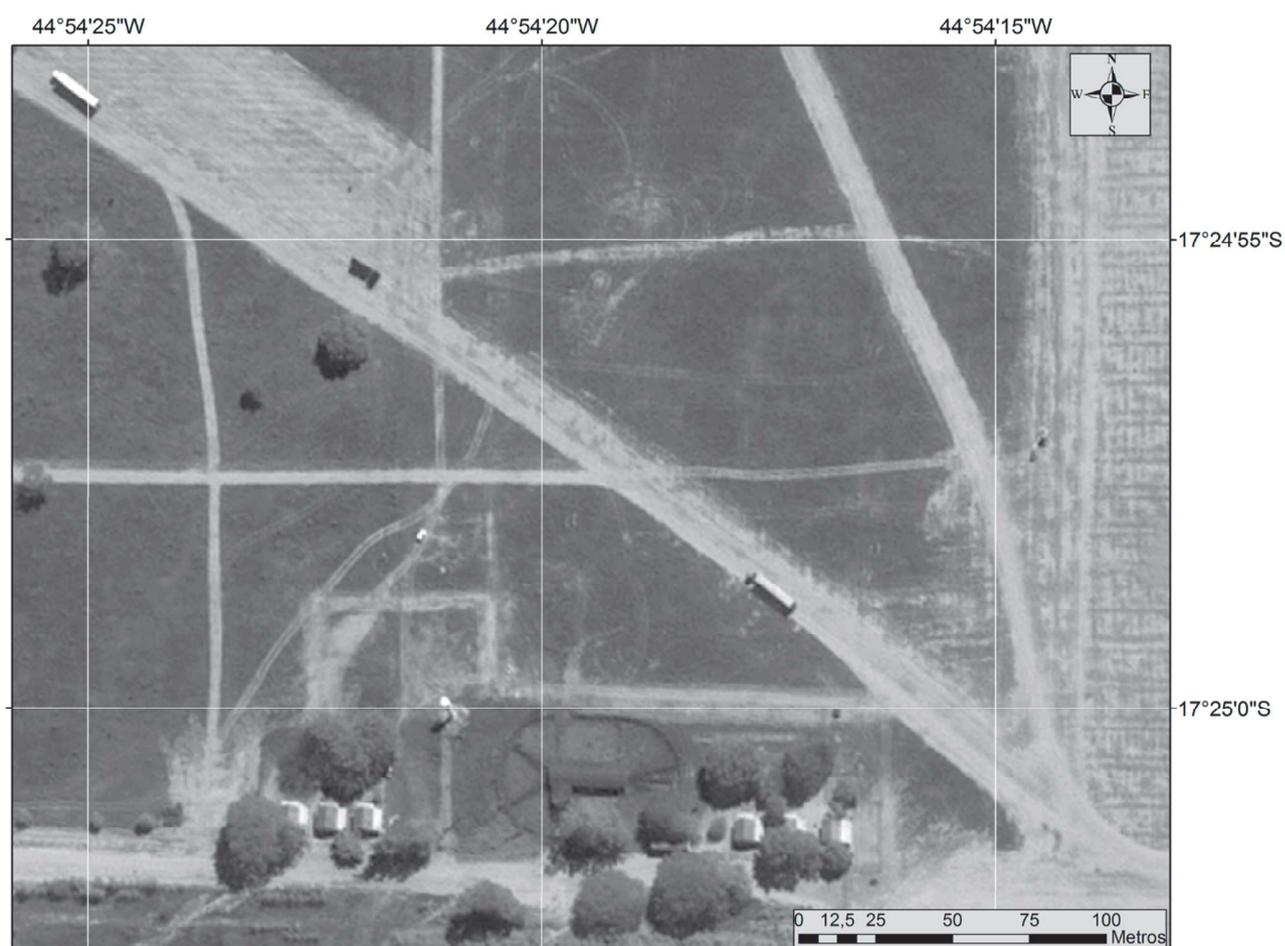
Figura 6- Imagem LandSat8 da UFV Pirapora com 15 m de resolução espacial



Embora o objetivo principal da pesquisa seja o controle gerencial com utilização de imagens gratuitas, a compra de imagens com melhor resolução espacial também pode ser uma opção a ser considerada (Figura 7). Por exemplo, o custo para obtenção de uma área de 25 Km² de imagens do satélite Pleiades, com resolução espacial de 50 cm, custa R\$1,8 mil, valor bastante inferior aos R\$ 7 mil pagos pela agência

em uma fiscalização de dois dias como já citado no estudo de caso apresentado. Dessa forma, para demandas específicas ou com nível de detalhamento maior, há solução ainda de baixo custo se comparada aos meios tradicionais com idas ao campo pelos servidores da área de fiscalização.

Figura 7- Imagem do satélite Pleiades com 50 cm de resolução espacial



Assim, não importa somente a análise da gratuidade da imagem a ser utilizada, mas principalmente a finalidade da análise e o alvo a ser identificado. Por exemplo, para identificar o início de obras ou mesmo as instalações de painéis fotovoltaicos, não há necessidade de imagens com uma resolução espacial melhor do que 5 m, fazendo com que as imagens gratuitas tenham um alto potencial de uso.

No espectro da transformação digital do Estado, é natural que novas possibilidades incrementais surjam. A exemplo disso, pode-se citar que novos satélites são lançados e disponibilizam produtos ainda melhores que podem viabilizar novas vertentes para o controle gerencial com essa tecnologia, como o

satélite CBERS4A, a nova geração CBERS lançada ao espaço em dezembro de 2019 (INPE, 2020), que fornecerá, em breve, imagens com 2,0 m de resolução espacial também gratuitas.

Além disso, como outras ferramentas de controle gerencial, o uso da ferramenta requer uma capacitação mínima na área de sensoriamento remoto para manipular as imagens nos softwares adequados e localizar onde as imagens estão disponibilizadas para download, ressaltando a possibilidade de softwares livres.

Impactos da transformação digital

Além da economia e otimização de recursos humanos, um impacto relevante do controle gerencial com uso das imagens de satélite é o fato de as imagens tornarem o processo de fiscalização mais robusto, haja vista que as imagens permitiram confirmações já obtidas pelos relatórios enviados pelos agentes. Além disso, possibilitaram a correção de erros nas informações enviadas pelos fiscalizados, tornando a fiscalização mais célere, abrangente e confiável. Afinal, há também provas irrefutáveis nas imagens demonstrando se houve o cumprimento do marco verificado ou não. Esse fato propiciou a correção de eventuais divergências, em que a fiscalização estava equivocada em virtude de limitação do método atual de monitoramento in loco sem o uso das imagens.

A percepção dos servidores que trabalham na fiscalização também é no sentido de que esse controle gerencial mais constante e consistente por meio das imagens proporciona um fator de dissuasão bastante forte, uma vez que os agentes sabem que estão sendo monitorados por imagens de satélite de forma contínua. É inegável que essa percepção de controle constante inibe condutas que desvirtuem uma realidade física do andamento das obras. Adicionalmente, como as imagens de satélite ficam armazenadas em banco de dados, a administração pública pode fazer uma inspeção por meio das imagens a qualquer momento que julgue pertinente e em qualquer lugar do país. Essa disponibilidade mitiga a assimetria de informações entre o fiscalizador e o fiscalizado, pois fornece à administração pública informações sobre uma área mais abrangente e com uma atualização dinâmica, além de fortalecer a transparência e a accountability no setor público na medida em que essas imagens são públicas e livremente acessadas.

Há ainda um fator de modernidade e satisfação dos servidores envolvidos pela utilização da ferramenta de tecnologia simples e visualmente agradável, além da sensação de otimização do tempo empregado nas suas atividades e o conforto técnico na análise que realiza por estar visualizando de fato o empreendimento fiscalizado e suas conclusões estarem substancialmente mais embasadas pelas imagens de satélite.

2.6 CONCLUSÃO

Torna-se cada vez mais premente a necessidade do advento de tecnologias e processos que amplifiquem a eficácia das atividades de controle e fiscalização de obras. Para cumprir o objetivo proposto, estudou-se a viabilidade do uso de sensoriamento remoto com imagens de satélite gratuitas aplicadas ao controle gerencial para fiscalização de obras em usinas de geração fotovoltaicas em implantação, de forma a aprimorar o resultado do controle gerencial na fiscalização realizada pela ANEEL. A ferramenta mostrou-se adequada para o controle gerencial e vai ao encontro de ajudar a preencher a lacuna de integração entre teoria e prática, fornecendo ferramenta capaz de empoderar a administração pública para fiscalizar grandes obras, sobretudo no setor elétrico brasileiro. Soma-se a isso a relevância de os resultados materializarem a transformação digital aplicada ao controle gerencial, possibilitando uma reflexão de outras possíveis aplicações semelhantes.

Concernente à economia e eficiência, demonstrou-se que ocorrem, de forma geral, nas etapas de planejamento e execução de fiscalização, haja vista a modernidade e agilidade na execução de parte do processo de fiscalização, exemplificado na redução dos recursos materiais, financeiros e humanos utilizados neste trabalho, inclusive citados em termos numericamente financeiros. A eficiência também se revela por meio da correção ou confirmação de informações, obtendo novos dados das usinas e validando as análises realizadas sem a necessidade de ir a campo, bem como pela visão global e sistemática das áreas de implantação das usinas com a obtenção contínua, periódica e remota de informações. Se, por um lado, a presença física do Estado materializado na pessoa do servidor público é fundamental na interação com a sociedade de forma geral, por outro essa presença deve ser utilizada de forma mais racional, eficiente e econômica possível.

No que tange à accountability, percebem-se avanços em suas vertentes horizontal e vertical. A accountability horizontal robustece-se com a redução da assimetria de informações entre os agentes fiscalizados e a entidade reguladora e fiscalizadora do setor elétrico, além de expor aos órgãos de controle externo a forma de atuação da agência reguladora, fortalecendo duplamente a prestação de contas. No aspecto vertical, a ferramenta apresenta-se de forma transparente e com insumos públicos e gratuitos, permitindo um elevado nível de controle social. Portanto, nota-se que o sensoriamento remoto por meio de imagens de satélite gratuitas para fins de controle gerencial termina por fortalecer os aspectos de controle, prestação de contas e transparência que se encerram na accountability governamental.

Um ponto crítico da ferramenta é apresentar uma limitação tecnológica intrínseca ao método, como a cobertura de nuvens que impedem a observação das imagens. Embora corresponda a um percentual pequeno do universo monitorado neste estudo, a depender da região em que a tecnologia for empregada, esse percentual pode aumentar e comprometer os resultados. Ademais, os objetos a serem observados ou as mudanças estudadas devem possuir dimensões compatíveis com a resolução espacial das imagens e serem visíveis externamente no ambiente. Dessa forma, a aplicação em obras de saneamento, onde parte fica sob o solo, ou em análises de estruturas menores fica comprometida, mas a ferramenta é propícia para fiscalizar andamento de obras, ocupação e uso do solo, expansão de áreas de culturas agrícolas ou urbanas e quaisquer outras em que o controle físico temporal de mudanças seja compatível com as resoluções temporal e espacial das imagens. O controle gerencial será tão beneficiado quanto maiores as dimensões e alterações ambientais observáveis nas imagens de satélite.

No que concerne ao aperfeiçoamento da ferramenta, o estudo apresentado pode ser continuado para que a análise visual sobre as imagens possa ser realizada por inteligência artificial, avançando para uma fase de automação e empoderando ainda mais o controle gerencial sobre o objeto controlado.

Por fim, considerando o arcabouço teórico e prático apresentado, é importante que outras áreas de gestão e políticas públicas, em que o controle gerencial é passível de ser auxiliado por imagens externas, estudem a aplicação do sensoriamento remoto como ferramenta de controle gerencial, haja vista que, para testes e estudos básicos, os custos são consideravelmente baixos e podem trazer benefícios expressivos para o controle gerencial na administração pública.

2.7 Bibliografia

Agência Nacional De Energia Elétrica-ANEEL (2013). *Resolução Normativa N° 583, de 22 de outubro de 2013*. Estabelece os procedimentos e condições para obtenção e manutenção da situação operacional e definição de potência instalada e líquida de empreendimento de geração de energia elétrica. Recuperado de <http://www.aneel.gov.br/documents>.

Agência Nacional De Energia Elétrica-ANEEL. Inovação na fiscalização da transmissão reduz cortes por desligamentos de linha. Recuperado de https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/novo-modelo-de-fiscalizacao-da-transmissao-reduz-em-52-cortes-de-energia-causados-por-desligamentos-de-linhas-entre-2015-e-2018/656877/pop_up?_101_INSTANCE_zXQREz8EVIZ6_viewMode=print&_101_INSTANCE_zXQREz8EVIZ6_languageId=pt_BR.

- Alexandrino, M., & Paulo, V. (2008). *Direito administrativo descomplicado*. Rio de Janeiro: Impetus.
- Alvarez, I. A. A., Silva Filho, D. F., Couto, H. T. Z. & Polizel, J. L. (2010). Comparação entre videografia e fotografia aérea para diagnóstico da vegetação em ambiente urbano de piracicaba, SP. *Revista Árvore*, 34(4),691-698. doi: 10.1590/S0100-67622010000400014.
- Assis, L., Silva, C. L., & Catapan, A. (2016). As funções da controladoria e sua aplicabilidade na administração pública: Uma análise da gestão dos órgãos de controle. *Revista Capital Científico – Eletrônica (RCCe)*, 14(3), 17.
- Brognoli, T. S., & Ferenhof, H. A. (2020). Transformação digital no governo brasileiro: Desafios, ações e perspectivas. *Revista de Gestão e Tecnologia*, 10(1), 01-11. doi: 10.22279/navus.2020.v10.p01-11.989.
- Bruno, L. O. (2017). Aplicabilidade de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) livres nas ciências ambientais: O uso do QGIS. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 4(8), 321-326. doi: 10.21438/rbgas.040807.
- Castro, C. M. S., Isidro-Filho, A., Menelau, S., & Fernandez, A. S. A. (2017). Antecedentes de inovações em organizações públicas do poder executivo federal. *Cadernos Gestão Pública e Cidadania*, 22(71), 126-141. doi: 10.12660/cgpc.v22n71.63851.
- Carvalho, O. A., Jr., Gomes, R. A. T., & Guimarães, R. F. (2016). O potencial de dados de sensoriamento remoto na fiscalização de obras públicas. *Revista do Tribunal de Contas da União*, 48(137), 80-95.
- Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. (1998). Brasília. Recuperado de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm.
- Controladoria Geral da União (CGU). Olho vivo no dinheiro público. Recuperado de https://www.cgu.gov.br/Publicacoes/control-social/arquivos/cartilhaolhovivo_baixa_v2.pdf.
- Costa, B. L. D., & Azeredo, T. M. A. (2005). Inovação, eficiência e eficácia em políticas sociais: Reflexões a partir do Programa Bolsa Escola de Belo Horizonte. *Cadernos Gestão Pública e Cidadania*, 10(46), 81-107. doi: 10.12660/cgpc.v10n46.44040.
- Corvalán, J. G. (2017). Administración Pública digital e inteligente: Transformaciones en la era de la inteligencia artificial. *Revista de Direito Econômico e Socioambiental*, 8(2), 26-66. doi: 10.7213/rev.dir.econ.soc.v8i2.19321.
- Chen, J. (2017). Towards New and Multiple Perspectives on Innovation. *International Journal of Innovation Studies*, 1(1), 1-04. doi: 10.3724/SP.J.1440.101001.
- Desouza, K. C. & Jacob, B. (2017). Big Data in the Public Sector: Lessons for Practitioners and Scholars. *Administration & Society*, 49(7), 1043– 1064. doi: 10.1177/0095399714555751.
- Di Pietro, M. S. Z. (2014). *Direito Administrativo*. São Paulo: Atlas
- European Space Agency (ESA). Recuperada de <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentineljsessionid=4FC261A61D62C1CE9794653D0F027070.jvm1>.

- Filgueiras, F., Flávio, C., & Palotti, P. (2019). Digital Transformation and Public Service Delivery in Brazil. *Latin American Policy*, 10(2), 195-219. doi: 10.1111/lamp.12169.
- Freitas, M. B. F., & Britto, G. A. (2017). O controle público sob suspeita: Uma reflexão sobre a estrutura dos tribunais de contas e a eficiência do controle externo sobre a probidade da administração pública. *Revista de Direito Administrativo e Gestão Pública*, 3(1), 83-104. doi: 10.26668/IndexLawJournals/2526-0073/2017.v3i1.1877.
- Ferraz, C. A. M., Berberian, C. F. Q., Filho, N. D., Vieira, R. R. T., & Nóbrega, R. A. A. (2015). O uso de geotecnologias como uma nova ferramenta para o controle externo. *Revista do Tribunal de Contas da União*, 47(133), 40-53.
- G1-Notícias. Recuperado de <https://g1.globo.com/economia/negocios/noticia/usina-de-energia-solar-de-pirapora-inicia-producao-conheca.ghtml>.
- Gartner, I. R., Moreira, T. B. S., Galves, H. M. (2008). Análise do risco setorial como instrumento de controle gerencial em instituições financeiras. *Revista de Administração Mackenzie*, 10(5), 107-129.
- Gomes, C. A., & Machado, A. G. C. (2018). Fatores que influenciam a inovação nos serviços públicos: O caso da secretaria municipal de saúde de Campina Grande. *Cadernos Gestão Pública e Cidadania*, 23(74), 47-68. doi: 10.12660/cgpc.v23n74.68005.
- Hegazy, I. R., & Kaloop, M. R. (2015). Monitoring urban growth and land use change detection with GIS and remote sensing techniques in Daqahlia governorate Egypt. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 4(1), 117-124. doi: 10.1016/j.ijbsbe.2015.02.005.
- Hillebrand, F. L., Rosa, C. N., Costi, J., & Bremer, U. F. (2019). Mapeamento do Gelo Marinho na Península Antártica com Imagens Sentinel 1A. *Anuário do Instituto de Geociências-UFRJ*, 42(2), 59-71. doi: 10.26848/rbgf.v13.3.pl106-1116.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE. (2018). Câmeras imageadoras CBERS-3 e 4. Recuperado de <http://www.cbers.inpe.br/sobre/cameras/cbers3-4.php>.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE. (2019). Recuperado de http://www.cbers.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=5326.
- Lima, L. H. (2011). *Controle Externo: Teoria, jurisprudência e mais de 500 questões*. Rio de Janeiro: Elsevier.
- Maia Filho, M. S., & Junquillo, T. A. (2018). Projeto victor: Perspectivas de aplicação da inteligência artificial ao direito. *Revista de Direitos e arantias Fundamentais*, 19(3), 219-238. doi: 10.18759/rdgf.v19i3.1587.
- Mendonça, C. M. C. D., & Andrade, A. M. V. D. (2018). Dynamic capabilities and their relations with elements of digital transformation in Portugal. *Journal of Information Systems Engineering & Management*, 3(3), 23. doi: 10.20897/jisem/2660.
- Miguel, B. S., & Sano, E. E. (2019). Classificação do uso e cobertura da terra do Distrito Federal, Brasil, a partir de dado de coerência interferométrica. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 12(02), 427-442. doi: 10.26848/rbgf.v12.2.p427-442.

- Miranda, A. C. O., & de Matos, C. R. (2015). Potencial uso do BIM na fiscalização de obras públicas. *Revista do TCU*, 133, 22-31.
- Morais, L. S., & Teixeira, M. G.C. (2016). Interfaces da accountability na administração pública brasileira: aAnálise de uma experiência da auditoria geral do estado do rio de janeiro. *Revista Eletrônica de Administração*, 3(1), 77-105. doi: 10.1590/1413-2311.014162016.62768.
- Mundim, C. A., & Siestrup, J. F. G. (2019). Gerenciamento estratégico da transformação digital: Perspectivas conceituais e estudo de caso de uma grande empresa petrolífera. Monografia de Projeto de Graduação, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Operador Nacional do Sistema. Capacidade instalada do SIN-2020/2024. Recuperado de <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>.
- Olivieri, C. (2016). A atuação dos controles interno e externo ao executivo como condicionante da execução de investimento em infraestrutura no brasil. (Texto para discussão 2252). Rio de Janeiro, RJ. Recuperado de http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7322/1/td_2252.pdf.
- Panosso, A., Camacho, R. R., Espejo, M. M. S. B., & Abbas, K. (2017). Influência das ferramentas de controle gerencial no desempenho: Estudo empírico em empresas industriais paranaenses. *Revista Enfoque: Reflexão Contábil*, 36(2), 1-17. doi: 10.4025/enfoque.v36i2.33462.
- Porto, E. G. (2017). A busca pela eficiência na fiscalização da gestão pública: A utilização de inteligência artificial para aperfeiçoamento do controle das finanças públicas. *Revista de Direito da Empresa e dos Negócios*, 1(2), 4-31.
- Ribeiro Filho, J. F. (1997). Controle gerencial para entidades da administração pública. Brasília, DF. ESAF. Recuperado de http://www.tesouro.fazenda.gov.br/premio/Premio_TN/IIpremio/sistemas/1siafpIIPTN/RIBEIRO_FILHO.pdf.
- Rocha, C. A. A. (2002). O Modelo de Controle Externo Exercido pelos Tribunais de Contas e as Proposições Legislativas sobre o Tema. (Am1104d4/200202951).Brasília, DF. Senado Federal. Recuperado de <https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/156/41.pdf?sequence=4&isAllowed=y>.
- Rogge, N., Agasisti, T., & De Witte, K. (2017). Big data and the measurement of public organizations' performance and efficiency: The state-of-the-art. *Public Policy and Administration*, 32(4), 263-281. doi: 10.1177/0952076716687355.
- Roque, C. G., Oliveira, I. C, Figueiredo, P. P., Brum, E. V. P., & Camargo, M. F. (2006). Georreferenciamento. *Revista de Ciências Agro-Ambientais*, 4(1), 87-102.
- Santana, G. A. S., Colauto, R. D., & Carrieri, A. P. (2012). Institucionalização de instrumentos de custeio: oO caso de uma organização do setor elétrico brasileiro. *Revista Universo Contábil*, 8(2), 25-42. doi: 10.4270/RUC.2012211.
- Santos, T., Pelegrina, M. & Julião, R.P. (2015). Atualização cadastral dirigida, utilizando imagens de satélite de alta resolução espacial. *Revista Brasileira de Cartografia*,67(2), 435-444.

- Shava, E., & Hofisi, C. (2017). Challenges and opportunities for public administration in the Fourth Industrial Revolution. *African Journal of Public Affairs*, 9(9), 203-215.
- Silva, L. A. D. (2016). Uso de técnicas de inteligência artificial para subsidiar ações de controle. *Revista do Tribunal de Contas da União*, 48(137), 124-129.
- Silva, A. S., & Fonseca, A. C. P. D. (2008). Controle gerencial por meio do Benchmarking: O caso de uma organização de ciência e tecnologia da marinha do Brasil. *Revista Contabilidade Vista & Revista*, 20(2), 65-98.
- Singh, V., Srivastava, I., & Johri, V. (2014). Big data and the opportunities and challenges for government agencies. *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 5(4), 5821-5824.
- Souza, A. D., Sobral, M. C., & Candeias, A. L. B. (2017). Geotecnologias aplicadas às auditorias de obras públicas no Brasil: Panorama geral e perspectivas. *Revista Brasileira de Cartografia*, 69(8), 1387-1401.
- Souza, A. D. (2016). Modelo de controle para obras de esgotamento sanitário utilizando sistema de informações geográficas. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil.
- Talukder, M. (2012). Factors affecting the adoption of technological innovation by individual employees: An Australian study. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 40(2), 52-57. doi: 10.1016/j.sbspro.2012.03.160.
- Thaise, S. R. (2018). Detecção de Desmatamentos no Oeste da Bahia com Dados de Radar (Sentinel-1A) Utilizando a Plataforma Google Earth Engine. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília-UnB, Brasília, DF, Brasil.
- Tribunal de Contas da União. Recuperado de <https://portal.tcu.gov.br/imprensa/noticias/geocontrole-tcu-desenvolve-sistema-pioneiro-de-analise-de-imagens-de-satelites.htm>.
- Vargas, E. R., Bohrer, C. T., Ferreira, L. B., & Moreira, M. F. (2013). A pesquisa sobre inovação em serviços no Brasil: Estágio atual, desafios e perspectivas. *Revista de Empreendedorismo e Gestão de Pequenas Empresas*, 2(1), 3-21.
- Vaz, J. C. (2017). Transformações tecnológicas e perspectivas para a gestão democrática das políticas culturais. *Cadernos Gestão Pública e Cidadania*, 22(71), 83-102. doi: 10.12660/cgpc.v22n71.63284.
- Vagnani, G., & Volpe, L. (2017). Innovation attributes and managers' decisions about the adoption of innovations in organizations: A meta-analytical review. *International Journal of Innovation Studies*, 1(2), 107-133. doi: 10.1016/j.ijis.2017.10.001.
- Viana, S. N., & Bauch, M. A. (2009). O uso de imagens CBERS no monitoramento da cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio São Francisco. Estudo de caso: Oeste Baiano. *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, RN, Brasil, 14.
- Vieira, I. S. (2009). *Expansão do Sistema de Transmissão de Energia elétrica no Brasil*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, DF, Brasil.

Yadav, P. K., Kapoor, M., & Sarma, K. (2012). Land Use Land Cover Mapping, Change Detection and Conflict Analysis of Nagzira-Navegaon Corridor, Central India Using Geospatial Technology. *International Journal of Remote Sensing and GIS*, 1(2), 90-98.

Zaluski, F. C., Hedlund, P. R., Sausen, J. O., & Thesing, N. J. (2019). A utilização de indicadores gerenciais como fator de aumento da capacidade de escolha estratégica: Um estudo de caso no setor elétrico. *Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales*, 1-11.

CAPÍTULO 3 - GESTÃO E DESENVOLVIMENTO REGIONAL COM IMAGENS GRATUITAS MULTITEMPORAIS: O CASO DA FISCALIZAÇÃO DE HIDRELÉTRICAS

Regional management and development with free multi-temporal images: the case of hydroelectric power inspection

Gestão e desenvolvimento regional com imagens gratuitas multitemporais: o caso da fiscalização de hidrelétricas

Abstract

The present research aims to analyze the case of the use of free satellite images in the inspection of works of hydroelectric plants and to propose its use in the management of regional development. The study performs a multitemporal analysis of CBERS-4 and Sentinel-2 data to assist the inspection process of the National Electric Energy Agency and proposes a reflection on this technology as a free tool for regional development management. The methodology observed inspection reports, images with different temporal and spatial resolutions and the ability of the images to integrate the inspection process of electricity generation in Brazil through photointerpretation. The results demonstrate that the processing of free images optimizes the human and financial resources, being able to verify three of the five stages of works supervised by the Agency in order to guarantee the schedule of implantation of the hydroelectric plants in any region of the country with the same capacity of use. In addition, remote sensing data are presented as an excellent tool in the management of regional development where the plants are implemented or other related management and monitoring applications, as they provide greater transparency and efficiency to the control over large areas, such as that exercised by the Agency, strengthening accountability and considerably reducing one of the most sensitive aspects to the regulatory body and the management of large areas: information asymmetry.

Keywords: Inspection, Remote Sensing, Hydroelectric Plants, Accountability, Management.

Resumo

A presente pesquisa objetiva analisar o caso do uso de imagens de satélite gratuitas na fiscalização de obras de usinas hidrelétricas e propor sua utilização na gestão do desenvolvimento regional. O estudo realiza uma análise multitemporal de dados CBERS-4 e Sentinel-2 para auxiliar o processo de fiscalização da Agência Nacional de Energia Elétrica e propõe uma reflexão dessa tecnologia como ferramenta gratuita

para gestão do desenvolvimento regional. A metodologia observou os relatórios de fiscalização, imagens com diferentes resoluções temporais e espaciais e a capacidade de as imagens integrarem o processo de fiscalização da geração de energia elétrica no Brasil por meio de fotointerpretação. Os resultados demonstram que o processamento de imagens gratuitas otimiza os recursos humanos e financeiros, sendo capaz de verificar três das cinco etapas de obras fiscalizadas pela Agência a fim de garantir o cronograma de implantação das usinas hidrelétricas em qualquer região do país com a mesma capacidade de utilização. Além disso, os dados de sensoriamento remoto se apresentam como excelente ferramenta na gestão do desenvolvimento regional onde as usinas são implantadas ou outras aplicações correlatas de gestão e acompanhamento, pois conferem maior transparência e eficiência ao controle sobre grandes áreas, como aquele exercido pela Agência, fortalecendo a accountability e reduzindo consideravelmente um dos aspectos mais sensíveis ao ente regulador e à gestão de grandes áreas: a assimetria de informações.

Palavras-chave: Fiscalização, Sensoriamento Remoto, Hidrelétricas, Accountability, Gestão.

3.1 Introdução

A Agência Nacional de Energia Elétrica-ANEEL tem a missão de regular e fiscalizar a geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica no Brasil, conforme a lei nº 9.427/96 que cria a Agência como autarquia em regime especial. O Brasil possuía 9.022 empreendimentos de geração de energia elétrica em operação, totalizando 175GW de potência instalada em 2020. Dessa potência, destacam-se a fonte hidráulica, com mais de 60% da matriz energética, a fonte térmica com mais de 25%, e a fonte eólica com 9,46%. Há a previsão para incremento aproximado de 37GW, derivados de 251 empreendimentos em construção e 687 com obras não iniciadas (ANEEL, 2020). A tabela 1 contempla esse espectro que passa pelos processos de fiscalização da ANEEL.

Tabela 1- Projetos de geração de energia fiscalizados pela ANEEL. CGH- Central geradora hidrelétrica; EOL- Usina Eólica; PCH- Pequena Central Hidrelétrica; UFV- Usina Solar Fotovoltaica; UHE- Usina Hidrelétrica; UTE- Usina Termoelétrica; e UTN- Usina Termonuclear.

Usinas em construção				Usinas com construção não iniciada		
Tipo	Quantidade	Energia garantida (kW)	%	Quantidade	Energia Garantida (kW)	%
CGH	4	7.112	0,07	3	7.100	0,03
EOL	131	3.995.295	36,91	215	8.072.270	30,51

PCH	28	366.710	3,39	94	1.316.512	4,98
UFV	25	834.852	7,71	331	13.262.853	50,13
UHE	1	141.900	1,31	2	212.000	0,8
UTE	61	4.129.867	38,15	42	3.584.026	13,55
UTN	1	1.350.000	12,47	0	0	0
Total	251	10.825.736	100	687	14.798.535	100

Fonte: ANEEL, 2020.

O processo de fiscalização das usinas geradoras pela ANEEL objetiva verificar a execução do projeto conforme cronograma previamente aprovado, buscando garantir que a usina entrará em operação comercial na data prevista. Historicamente, o monitoramento das obras era realizado somente por meio de informações enviadas pelos agentes de geração, bem como por meio de inspeções *in loco* pela equipe de fiscalização. Nesse modelo, havia margem considerável de assimetria de informações e dificuldade na obtenção de informações *in loco*, enfraquecendo a accountability do processo de fiscalização em seus aspectos de controle, prestação de contas e transparência (MORAIS; TEIXEIRA, 2016). Ademais, a ANEEL, embora conte com o apoio de Agências Estaduais conveniadas, apresenta um quadro de servidores reduzido, tendo em vista as diversas atribuições legais e a falta de concurso público desde 2010 (tabela 2), conforme dados da Superintendência de Recursos Humanos-SRH.

Tabela 2- Número de servidores

Discriminação do Cargo	Lei 10.871/2004	cargos preenchidos	Déficit (%)
Especialista em Regulação	365	311	14,79%
Analista Administrativo	200	155	22,50%
Técnico Administrativo	200	115	42,50%
Total	765	581	24,05%

Fonte: Goes, 2022.

Nesse sentido, o sensoriamento remoto possui ampla cobertura de área e revisitas periódicas sobre as mesmas áreas, o que permite monitorar mudanças ambientais com menos recursos humanos, materiais e financeiros (CARVALHO; GOMES; GUIMARAES, 2016). Muitos estudos usam imagens orbitais para monitorar infrações ambientais, como derramamentos de óleo (por exemplo, DE MOURA et al., 2022; JAFARZADEH et al., 2021), desmatamento (por exemplo, ALVES, 2002; DE BEM et al., 2020a), desmatamento ilegal uso de áreas protegidas por lei (por exemplo, CABRAL et al. 2018; DE OLIVEIRA

et al., 2017), incêndios florestais (por exemplo, DE BEM et al., 2020b, SANTANA et al., 2018), invasão de áreas públicas (por exemplo, de Carvalho; 2021), entre outros.

No setor de energia, dados de sensoriamento remoto têm sido utilizados em diversas atividades, como monitoramento térmico de usinas nucleares (BONANSEA et al., 2021; MA et al., 2017), detecção de áreas potenciais para implantação de usinas de energia solar e parques eólicos (WANG et al., 2016; SPYRIDONIDOU et al., 2021), mapeamento de usinas solares (COSTA et al. 2021; PLAKMAN; ROSIER; VAN VLIET, 2022), manutenção de linhas de energia (DENG et al., 2014 ; MATIKAINEN et al., 2016), e mudanças ambientais de hidrelétricas (BAUNI et al., 2015; JIANG et al. 2018; MANYARI; DE CARVALHO JR, 2007). Apesar dos diversos estudos energéticos utilizando imagens de satélite, essa ferramenta no acompanhamento das fases de construção de usinas hidrelétricas ainda é pouco explorada. Os estudos se concentram mais na dinâmica hidrológica, deposição de sedimentos e impactos ambientais nos reservatórios e rios associados às hidrelétricas (LIN; QI, 2019; DARAMA et al., 2019). Portanto, além da fiscalização, as imagens fornecem dados sobre o entorno das usinas e lagos, auxiliando nas ações governamentais, gestão do território e compreensão da dinâmica regional (UGEDA, 2020; SILVEIRA et al., 2022).

A presente pesquisa tem como objetivo avaliar a eficiência das imagens de satélite gratuitas na fiscalização de etapas do desenvolvimento de projetos de usinas hidrelétricas, melhorando o controle de gestão na administração pública e fortalecendo a responsabilização do processo de fiscalização. A pesquisa compara informações de imagens gratuitas de satélite e marcos dos cronogramas de implantação das usinas fiscalizadas pela ANEEL em diferentes localidades do território brasileiro e verifica a aplicabilidade das imagens multitemporais como ferramenta de gestão territorial, considerando suas potencialidades e limitações.

Controles na Administração Pública

Como corolário do Estado democrático, a Administração Pública está sujeita a diversos controles (Di Pietro, 2014), buscando um equilíbrio entre a eficácia do artigo 37 e o alcance dos artigos 70 a 74 da Constituição Federal (1988). Assim, a ANEEL exerce controle de fiscalização sobre as obras de infraestrutura nacional do setor elétrico, principalmente nas usinas em implantação para suprir a energia consumida em todo o território nacional.

O controle do Estado sobre as grandes obras de infraestrutura é essencial para garantir o desenvolvimento econômico, aumentar a renda e o emprego da população (FERRARI FILHO; TERRA,

2011). O aprimoramento das ferramentas de fiscalização e monitoramento permite mitigar atrasos, desvios financeiros e deficiências na fiscalização de obras de engenharia de grande porte, como hidrelétricas (OLIVIERI, 2016; MIRANDA; DE MATOS, 2015). Os escassos recursos humanos e financeiros tornam a inovação tecnológica e a formação do servidor público necessidades básicas na administração pública atual (GOMES; MACHADO, 2018; PRZEYBILOVICZ; CUNHA; MEIRELLES, 2018; PORTO, 2017; STILLMAN, 2017).

As imagens orbitais têm diversas aplicações em diferentes áreas do conhecimento, como cartografia, inteligência militar, meteorologia, gestão de recursos naturais, desmatamento florestal e previsão de safras (Agência Espacial Brasileira-AEB, 2020). As imagens orbitais também são adequadas e eficientes para fiscalização de obras públicas (CARVALHO; GOMES; GUIMARAES, 2016). O mapeamento contínuo e os dados históricos de satélites permitem a reconstrução temporal das mudanças na superfície da Terra, como a família Landsat, cujo primeiro foi lançado na década de 1970 e já está na nona geração (SHOWSTACK, 2022). Os mapas multitemporais favorecem o planejamento e o monitoramento do desenvolvimento regional, inclusive agregando análises econômicas (CIMA et al., 2021).

Resoluções Espectral, Espacial e Temporal

Neste tópico, apresentamos alguns conceitos básicos sobre imagens de satélite. A resolução espectral envolve o número de bandas espectrais que o sensor é capaz de capturar. A subdivisão do espectro eletromagnético em intervalos menores proporciona maior número de bandas e resolução espectral. Uma imagem “true-color” considera três bandas na faixa espectral de vermelho, verde e azul (COELHO; BRITO, 2007) (figura 1). Em contraste, uma câmera pancromática (PAN) cobre uma ampla gama de espectro visível sem discriminar cores, com imagens expressas em níveis de cinza. A resolução espacial estabelece o menor elemento observável em uma determinada imagem, estabelecendo a capacidade de observar detalhes nas imagens. Por exemplo, em uma imagem com 0,50m de resolução espacial, será possível ver maiores detalhes do que na mesma imagem com 23,5m de resolução (figura 2). A resolução temporal é a frequência de aquisição de imagens de um mesmo ponto da superfície terrestre (FÉLIZ; BACANI, 2018) e a figura 3 elucida a diferença na vegetação entre diferentes épocas do ano.

Figure 1- Imagens de Pirapora-MG (A) azul; (B) verde; (C) vermelho; e (D) Composição Colorida

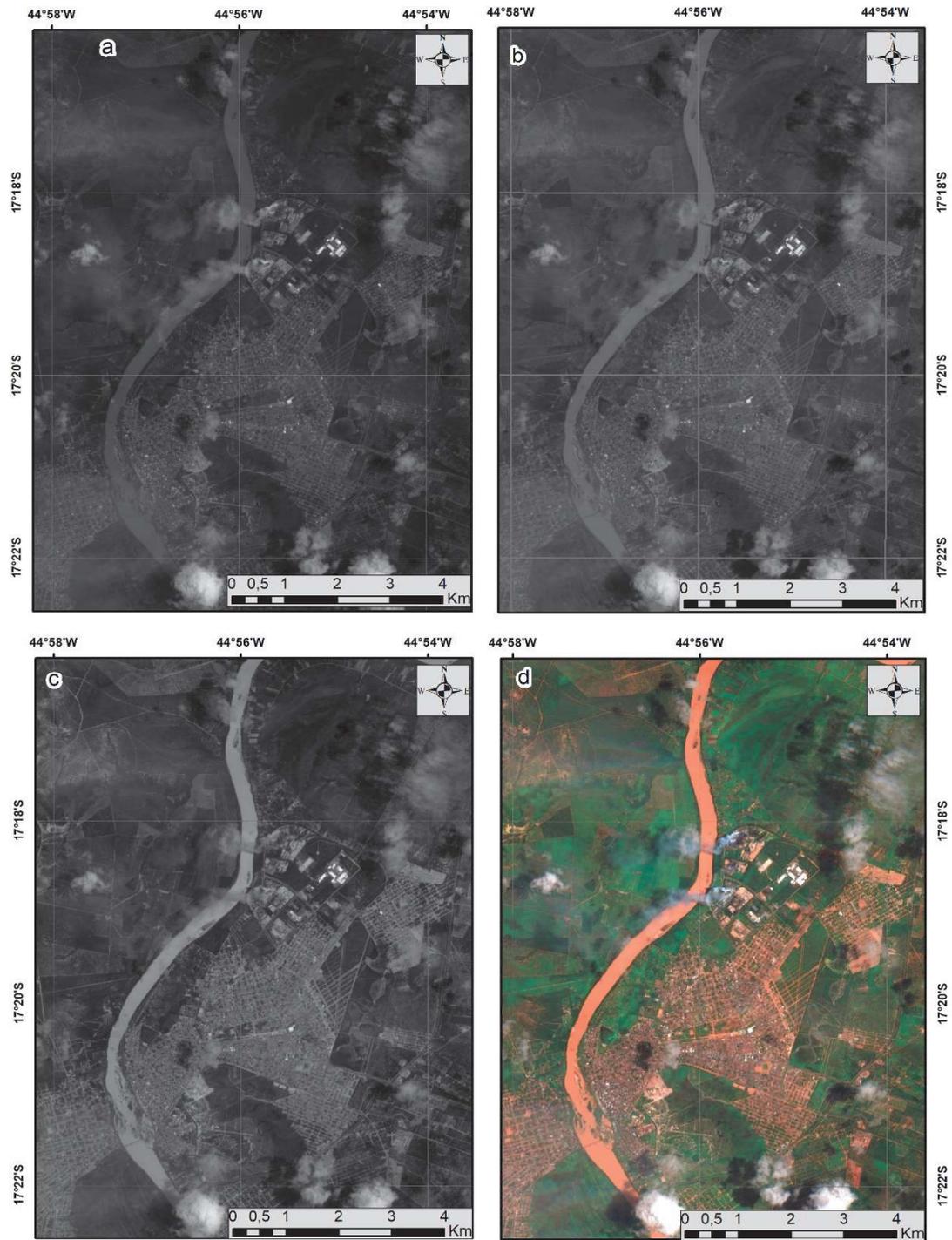


Figure 2- (A) Satélite Pleiades (0,50m) e (B) Satélite Resourcesat (23,5m)



Figura 3- imagens Sentinel-2 das seguintes datas: (a) 13/7/2020 e (b) 2/3/2021



3.2 Materiais e Métodos

A metodologia foi dividida em três fases: 1) avaliação dos relatórios externos e internos da ANEEL, 2) seleção de imagens com diferentes resoluções temporais e espaciais para detectar as fases de implantação de acordo com o cronograma acordado entre o agente e a Agência (tabela 4); e 3) análise da capacidade de as imagens de satélite integrarem as atividades de fiscalização da Agência.

Relatórios Internos e Externos da Aneel

Nesta pesquisa, foram utilizadas informações externas provenientes de relatórios e fotografias de acompanhamento de obras enviadas por agentes pertencentes à ANEEL e relatórios internos da Agência. A rotina de monitoramento das usinas de geração envolve a análise dos dados enviados pelos agentes sobre o cumprimento do cronograma de implantação (Tabela 3), que são confrontados com as fotografias e relatórios enviados para comprovação do cumprimento.

Tabela 3- Marcos utilizados pela ANEEL para monitoramento das usinas hidrelétricas

Etapa	Objetivo	Descrição
1	Comprovação de início de obras civis das estruturas	Início da escavação da região ou início da execução da ensecadeira para desvio do rio.
2	Início da Concretagem da Casa de Força	Efetivo início da concretagem da casa de força
3	Início da Montagem Eletromecânica.	Início da montagem do tubo sucção e/ou caixa espiral (quando aplicada em termos de equipamento embutido) e/ou conduto forçado (quando aplicado)
4	Início do Enchimento do Reservatório	Alteração do nível normal do rio por influência do barramento
5	Início das Obras do Sistema de Transmissão	Início da construção efetiva da linha de transmissão (bases das torres/postes) ou subestação

Seleção das imagens de Sensoriamento Remoto

A seleção das imagens considerou dados livres e com resoluções temporais e espaciais adequadas. A resolução espacial deve ser compatível com o tamanho do objeto inspecionado e com um período de retorno adequado às datas de inspeção. As imagens escolhidas foram dos sensores CBERS4 e Sentinel-2.

As imagens do satélite sino-brasileiro CBERS4, disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), possuem resolução espacial de cinco metros na imagem pancromática (facilitando a interpretação visual) e resolução temporal de 52 dias (INPE, 2019). A Tabela 4 lista as características das imagens CBERS4.

Tabela 4- Características Técnicas das cameras do satélite CBERS4

Pancromática (PAN) e Camera Multiespectral Camera	
Bandas Espectrais	B01: 0.51 – 0.85 μm B02: 0.52 – 0.59 μm B03: 0.63 – 0.69 μm B04: 0.77 – 0.89 μm
Largura da Faixa Imageada	60 km
Resolução Espacial	5 m (B01) / 10 m (B02, B03, B04)

Fonte: INPE, 2019.

As imagens do Sentinel-2 são disponibilizadas pela Agência Espacial Européia (ESA) com resolução espacial de 10,0 m e resolução temporal de cinco dias, aumentando o número de imagens disponíveis com o CBERS4. Neste trabalho, utilizamos as imagens com a composição colorida para facilitar a fotointerpretação (Figura 1). Tabela 5 lista as características da imagem Sentinel 2 usada neste estudo.

Tabela 5- Características Técnicas do Instrumento Multiespectral (Sentinel-2)

Instrumento Multiespectral (MSI) - Sentinel 2	
Bandas Espectrais	B02: 0.49 μm B03: 0.56 μm B04: 0.665 μm B08: 0.842 μm
Largura da Faixa Imageada	290 km
Resolução Espacial	10 m (B02, B03, B04, B08)

Fonte: ESA, 2010.

Análise dos Dados de Sensoriamento Remoto n Atividades de Inspeção da ANEEL

Cada fase da fiscalização da ANEEL (Tabela 3) apresenta suas alterações no ambiente, estabelecendo características diagnósticas nas imagens de sensoriamento remoto. A seleção das imagens multitemporais considera cada fase do cronograma descrito na tabela 3. Como exemplos práticos, apresentamos duas hidrelétricas: Sinop e Bandeirante. A UHE Sinop, localizada no rio Teles Pires, MT, tem 401,88MW de capacidade instalada e um reservatório de 342Km², com potencial para atender 1,6 milhão de consumidores. A PCH Bandeirante, localizada no rio Sucuriú-MS, possui 28,0MW de capacidade instalada e um reservatório de 2,68 km², contribuindo para a descentralização do fornecimento de energia e mitigando o impacto ambiental de ser um pequeno empreendimento hidrelétrico.

3.3 Resultado

A Figura 4 mostra as imagens do CBERS4 na detecção da primeira fase de construção (comprovação do início das obras civis das estruturas) da Usina Hidrelétrica Sinop-MT. As obras iniciam em 2015 (Figura 4a), mas é apenas em abril de 2017 que se inicia a construção da ensecadeira (Figura 4b), tornando-se notável cinco meses depois (Figura 4c). Nesse caso, os principais alvos são: a movimentação de terra, o desvio do rio (ensacadeira) e a própria construção da barragem.

Figure 4- Imagens multitemporais da UHE SINOP (MT): (A) 15/09/2015; (B) 09/04/2017; e (C)

12/09/2017



A segunda etapa (início da concretagem da casa de força) não foi possível identificar nas imagens, pois as casas de força são comumente instalações localizadas próximas à barragem (ao pé da barragem) e em estruturas cobertas, inviabilizando a visualização com qualquer imagem de sensoriamento remoto. A avaliação do terceiro marco (início da montagem eletromecânica) também não foi detectada por não haver alterações externas visíveis através das imagens de satélite, caracterizando uma segunda limitação das informações obtidas através das imagens orbitais. A detecção do quarto estágio (reservatório de enchimento precoce) é fácil devido ao aumento do nível da água da barragem. A Pequena Central Hidrelétrica Bandeirante é um exemplo ilustrativo, pois possui peculiarmente dois reservatórios que enriquecem a análise visual. A Figura 5 mostra uma série temporal do Sentinel 2 com o enchimento do reservatório (a partir da figura 5b) e as obras civis, primeiro a barragem oeste (a partir da figura 5b) e depois a barragem leste (figura 5d).

Figura 5- Sentinel-2 imagens da PCH BANDEIRANTE (MS): (A) 21/01/2019; (B) 26/04/2019; (C) 10/07/2019; and (D) 30/07/2019



A Figura 6 mostra as imagens da fase de “início das obras do sistema de transmissão” da Usina Hidrelétrica (UHE) Sinop. A Figura 6b mostra a instalação das torres de transmissão em direção à Usina.

Optamos por utilizar imagens CBERS4 nesta análise devido à melhor resolução espacial (resolução de 5 m), que mostra pequenos círculos alinhados produzidos pela supressão da vegetação na base das torres.

Os resultados demonstram a capacidade das imagens de satélite gratuitas de confirmar três das cinco fases de fiscalização utilizadas pela ANEEL para monitorar a implantação de usinas hidrelétricas. Os dados do sensor remoto permitem a confirmação das informações das empresas, minimizando a necessidade de visitas de campo. Esse potencial é decisivo para economia e eficiência já que a visita de 2 fiscais a campo por dois dias custa aproximadamente R\$ 7.891,64 (Tabela 6). As horas gastas na fiscalização presencial poderiam ser aproveitadas em outras funções, representando uma oportunidade na escassez de funcionários. A vistoria presencial para confirmar uma fase dura em média 16 horas, enquanto o trabalho suportado por imagens de satélite corresponde a 2 horas. Os custos administrativos para emissão de passagens, pagamento de diárias e aluguel de veículos aumentam ainda mais esses valores. Além disso, as imagens proporcionam uma visão holística da região do empreendimento, agregando agilidade, confiabilidade e modernidade à fiscalização.

Figure 6- Imagens CBERS4 da UHE-SINOP (MT): (A) 06/01/2016; e (B) 12/12/2017

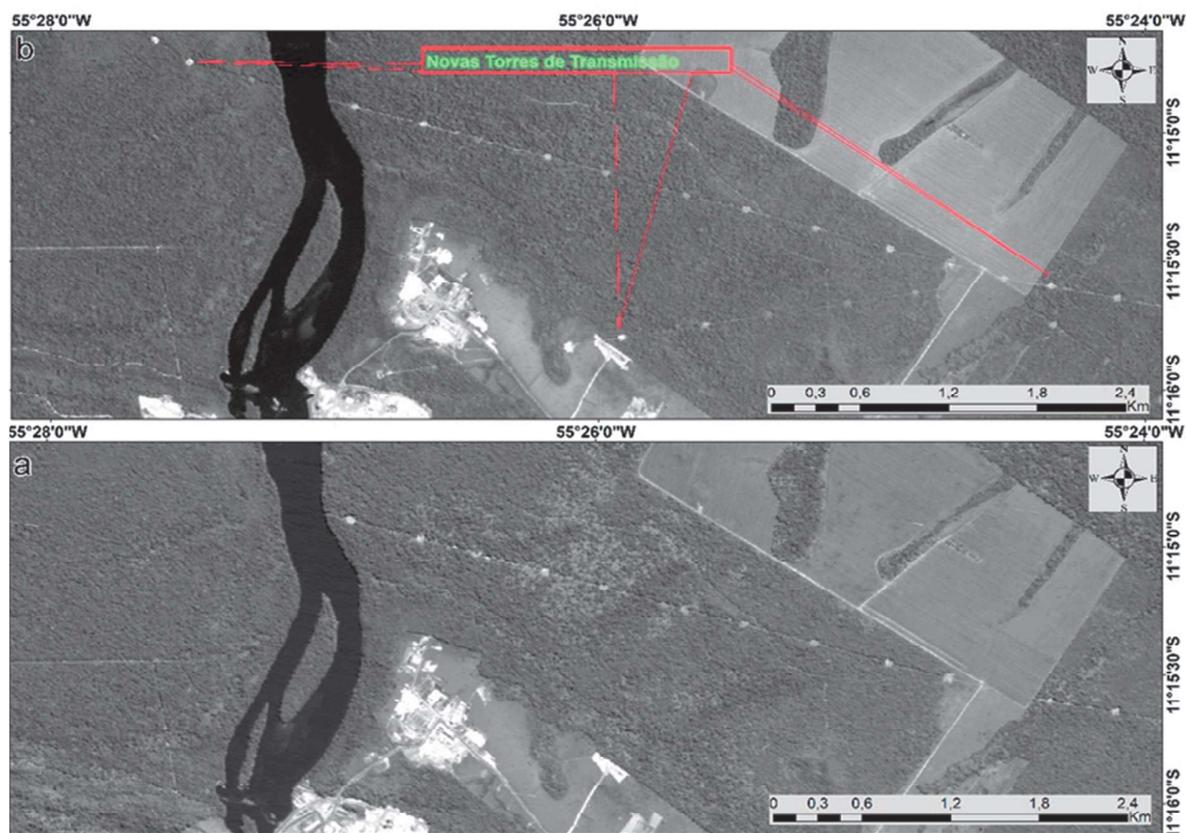


Tabela 6- Custos estimados de Fiscalização presencial com 2 fiscais

Valores médios	2 dias (16 horas de trabalho)
Valor da hora	R\$1.363,64
Diárias	R\$439,00
passagens	R\$700,00
Custo de Oportunidade (14 hours)	R\$1.193,18
Custo total de 1 inspetor	R\$3.695,82
Custo total de 2 inspetores	R\$7.391,64
Aluguel de carro (sem combustível)	R\$500,00
Custo Total para 2 dias de inspeção	R\$7.891,64
Nota: a) Média mensal do salário	R\$15.000,00
b) Valor da hora de inspetor (22dias/8 h)	R\$85,23

A inspeção por sensoriamento remoto pode ser realizada em locais isolados do país com igual facilidade, insumos acessíveis e periodicidade, mesmo sem um planejamento que exija uma viagem de inspeção em campo, pois as usinas costumam ficar em locais isolados. A aplicabilidade dessa tecnologia e seu uso efetivo podem ser gratuitos (como as imagens de satélite aqui apresentadas), utilizando software livre sem a necessidade de licitações (BRUNO, 2017).

No que se refere à prestação de contas, a aquisição de imagens contínuas é um impedimento significativo para que os agentes não ocultem informações ou relatem fatos não condizentes com a realidade. Esse procedimento reduz a assimetria de informação entre o regulador e o agente regulado, aumentando a transparência e o controle exercido pela Agência, considerando o caráter público das imagens gratuitas.

No entanto, uma limitação das imagens ópticas é a interferência da cobertura de nuvens, sombras e efeitos atmosféricos (Figura 7). Algumas regiões apresentam longos períodos de cobertura de nuvens, como a Amazônia, o que impede a visualização da superfície terrestre nas datas de monitoramento. A alternativa é usar imagens de radar, que possuem comprimentos de onda capazes de atravessar as nuvens

e atingir a superfície terrestre, gerando imagens sem nuvens. A Figura 8 exemplifica as imagens Sentinel-1 (Radar) e Sentinel-2 (óptica).

Figure 7- Imagens Sentinel-2 da UHE-SINOP (MT): (A) 27/05/2019; e (B) 21/04/2020

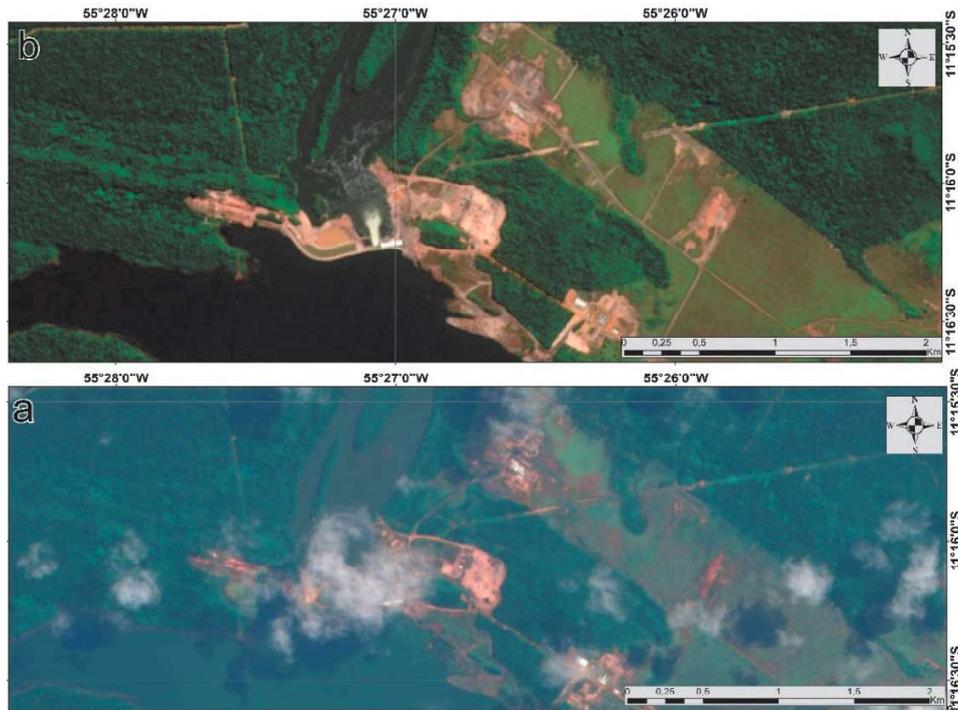
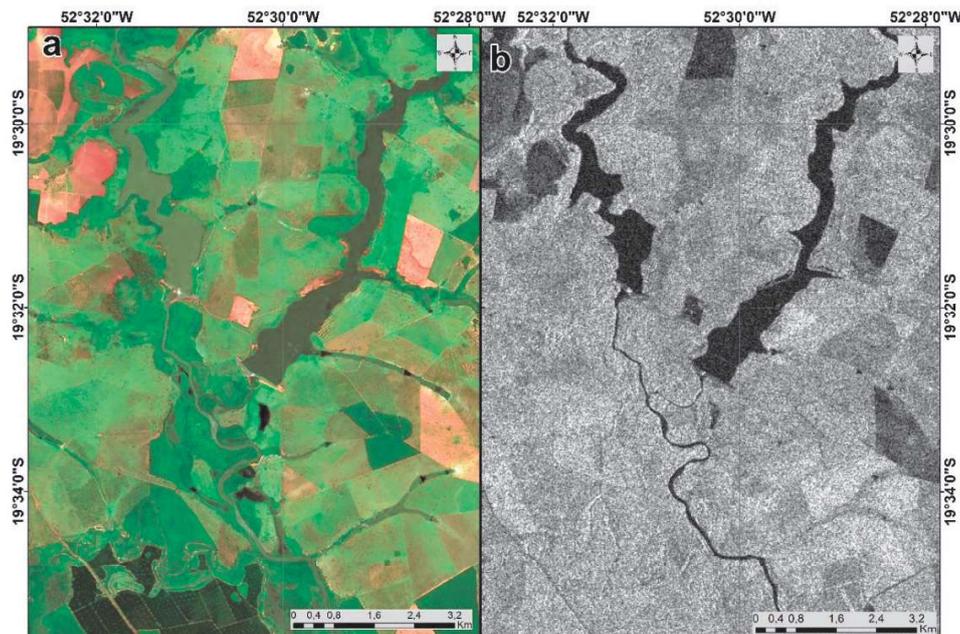


Figura 8- PCH BANDEIRANTE (MS): (a) Sentinel-2 (27/12/2019); e (b) Sentinel-1 (20/12/2019)



3.4 Discussão dos Resultados Obtidos

A relação entre disponibilidade e consumo de energia está intimamente relacionada ao desenvolvimento regional, tendo alta correlação com os indicadores de qualidade de vida (expectativa de vida, mortalidade infantil, analfabetismo e taxa de natalidade) (GOLDEMBERG, 1998) e o Índice de Desenvolvimento Humano (MARTINEZ; EBENHACK, 2008; YUMASHEV et al., 2022). Além disso, o uso de fontes renováveis de energia (ER) é um fator crítico na redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e na promoção do desenvolvimento sustentável (COOK; DAVÍÐSDÓTTIR; GUNNARSDÓTTIR, 2022). No entanto, ainda é um desafio significativo para o Brasil expandir a produção de energia renovável para garantir a industrialização e o crescimento socioeconômico. Nesse contexto, o sistema energético brasileiro dependerá cada vez mais da eletricidade para atender a demanda de produção e transporte de calor, exigindo a duplicação da demanda de energia até 2050 (GILS et al., 2017). Portanto, as hidrelétricas existentes somadas às instalações já em construção e oriundas de outras alternativas de energia renovável devem estar disponíveis no futuro para garantir uma estratégia de crescimento segura.

Esse aumento na construção de usinas (fotovoltaicas, eólicas e hidrelétricas) leva a um aumento na demanda por inventários e fiscalizações do andamento das obras em todo o território brasileiro. As vistorias da fase de construção mudaram pouco ao longo do tempo, havendo a necessidade de um profissional ir até o local. Para minimizar as atividades de campo, uma alternativa tecnológica seria a utilização de imagens de sensoriamento remoto orbital que têm sido amplamente utilizadas para fiscalização na área ambiental com grande sucesso pelo setor público (ALMEIDA et al., 2021, DE MORAES et al., 2016). A evolução dos sistemas de imagem fornece dados com livre acesso e cada vez com melhores resoluções espaciais, temporais e espectrais. Por exemplo, a última versão do CBERS (4A), lançada em 20 de dezembro de 2019, disponibiliza gratuitamente imagens com resolução espacial de 2 m e resolução temporal de 31 dias (VRABEL, 2021). No final de 2019, a ANEEL desenvolveu um aplicativo interno que disponibiliza de forma automática e gratuita o acesso a imagens de 3 constelações de satélites para todas as áreas da Agência. Seguindo as tendências mundiais, a Agência busca desenvolver como próximo desafio a automatização completa das análises por meio de Inteligência Artificial em imagens de satélite, substituindo a interpretação de fotos feita por fiscais.

A presente pesquisa avaliou os sensores com imagens gratuitas, mas outras imagens de satélite de alta resolução para venda comercial podem ser utilizadas contendo uma banda pancromática (de 1 metro até resoluções submétricas) e bandas multiespectrais (bandas espectrais de azul, verde, vermelho, e

infravermelho próximo com resoluções espaciais variando de 1 a 4 m). No campo comercial, os principais sensores são: OrbView-3 (Pancromático: 1 m; Multiespectral: 4 m), IKONOS, ativo até 2015, (Pancromático 1 m; Multiespectral: 4 m), QuickBird, ativo até 2015, (Pancromático: 0,6 m; Multiespectral: 2,4 m), GeoEye -1 (Pancromático: 0,41 m; Multiespectral: 1,65 m) e Plêiades (Pancromático: 0,5 m; Multiespectral: 2 m) e WorldView-2 e WorldView-3 (Pancromático: 0,3 m, 8 bandas multiespectrais: 24 m).

As análises realizadas pela Agência Reguladora Federal revelam potencial para obtenção de informações com razoável nível de detalhamento. Essa situação demonstra que análises mais genéricas ou detalhadas podem ser realizadas com imagens de satélite de características espaciais ou temporais específicas para atender aos propósitos desejados. Desta forma, as imagens servem como uma ferramenta notável para o gerenciamento de grandes obras, permitindo seus inventários geolocalizados e orientação para trabalhos de campo. Além disso, as imagens de satélite são informações geoespaciais ricas em detalhes e de fácil interpretação, permitindo diversas aplicações de apoio à gestão e acompanhamento do desenvolvimento de regiões nas regiões mais distantes do país, que possui dimensão continental. Podemos ainda destacar o potencial de poupança de recursos financeiros e humanos na gestão regional, mitigando a escassez de colaboradores nas diversas entidades que exercem a gestão no país.

3.5 Conclusão

A presente pesquisa mostra que as imagens gratuitas de sensoriamento remoto podem auxiliar na fiscalização de obras da administração pública e na otimização de recursos, constituindo-se em uma ferramenta simples, barata e eficaz para a gestão do desenvolvimento regional. Tais insumos trazem eficiência e ganhos econômicos, constituindo-se em uma ferramenta simples para transformar o Estado e otimizar os investimentos já realizados pelo Brasil, como as imagens do satélite sino-brasileiro CBERS. Essa possibilidade é viável tanto para órgãos federais (como a ANEEL) quanto para pequenos municípios devido à simplicidade de análise e disponibilidade de softwares gratuitos. As imagens de sensoriamento remoto fornecem informações independentes, objetivas e confiáveis que podem ser usadas para outras ações de inspeção. Portanto, a vigilância com imagens de satélite desempenha um papel essencial no sistema democrático, fortalecendo a prestação de contas e melhorando a transparência na gestão pública. Além disso, o advento de outros sensores orbitais remotos pode auxiliar na atividade de gerenciamento e vigilância, aumentando a disponibilidade gratuita de imagens orbitais com resolução espacial de até 2,0m. O presente estudo demonstra que a utilização de imagens de alta resolução do satélite CBERS4 permite a detecção de três das cinco etapas das obras das hidrelétricas fiscalizadas pela Agência. Portanto, o estudo

demonstra a viabilidade da ferramenta em auxiliar no acompanhamento das obras das usinas dentro de um contexto georreferenciado. Além disso, as imagens contribuem para avaliar as mudanças no entorno da obra e sua distribuição no país.

3.6 BIBLIOGRAFIA

ABREU, E. L. Institucionalização da gestão ambiental nas administrações municipais brasileiras. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 10., 2019, Fortaleza, Ceará. Anais [...] Fortaleza: – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, 2019. Available at: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2019/V-038.pdf>.

Agência Espacial Brasileira - AEB (Brasil). Imagens de Satélite, Brasília: AEB. Available at: <https://www.gov.br/aeb/pt-br/programa-espacial-brasileiro/aplicacoes-espaciais/imagens-de-satelites>.

Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (Brasil) Capacidade de geração do Brasil, Brasília: ANEEL Available at: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOjR9>.

ALMEIDA, C.A.; MAURANO, L.E.P.; VALERIANO, D. D. M.; CAMARA, G.; VINHAS, L.; GOMES, A. R.; MONTEIRO, A. M. V.; SOUZA, A. A. A. RENNO, C. D., SILVA, D. E.; ADAMI, M.; ESCADA, M. I. S.; MOTA, M., KAMPEL S.A. Methodology for Forest Monitoring used in PRODES and DETER Projects. INPE: São José dos Campos, Brazil, Technical Report, 2021.

ALVES, D. S. Space-time dynamics of deforestation in Brazilian Amazonia. *International Journal of Remote Sensing*, v. 23, n. 14, p. 2903-2908, 2002.

BAUNI, V.; SCHIVO, F.; CAPMOURTERES, V.; HOMBERG, M. Ecosystem loss assessment following hydroelectric dam flooding: The case of Yacyretá, Argentina. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v. 1, p. 50-60, 2015.

BONANSEA, M.; FERRERO, S.; FERRAL, A.; LEDESMA, M.; GERMAN, A.; CARREÑO, J.; RODRIGUEZ, C.; PINOTTI, L. Assessing water surface temperature from Landsat imagery and its relationship with a nuclear power plant. *Hydrological Sciences Journal*, v. 66, n. 1, p. 50–58, 2021.

BRASIL. [Constituição (1988)]. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988, Brasília, DF: Presidência da República, [2016]. Available at: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm.

BRUNO, L. O. Aplicabilidade de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) livres nas ciências ambientais: o uso do QGIS. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 4, n.8, p. 321-326, 2017.

CABRAL, A. I.; SAITO, C.; PEREIRA, H.; LAQUES, A. E. Deforestation pattern dynamics in protected areas of the Brazilian Legal Amazon using remote sensing data. *Applied Geography*, v. 100, p. 101-115, 2018.

- CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GOMES, R. A. T.; GUIMARÃES, R. F. O potencial de dados de sensoriamento remoto na fiscalização de obras públicas. *Revista do Tribunal de Contas da União*, Brasília, v. 48, n. 137, p. 76-91, 2016.
- CHEN, J.; TSOU, H. T.; HUANG, A. Y. Service delivery innovation: Antecedents and impact on firm performance. *Journal of Service Research*, v. 12, n. 1, p. 36-55, 2009.
- CIMA, E. G.; URIBE-OPAZO, M. A.; JUNIOR, W. F. D. R.; FRAGOSO, R. M. S. A spatial analysis of western paran : scenarios for regional development. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, v. 17, n. 1, p. 151-164, 2021.
- COELHO FILHO, L. C. T.; BRITO, J. L. N. S. *Fotogrametria Digital*. Rio de Janeiro: Editora da Universidade do Rio de Janeiro, 2007. 196 p. Available at: <https://docplayer.com.br/10072097-Fotogrametria-digital.html>.
- COOK, D.; DAV SD TTIR, B.; GUNNARSD TTIR, I. A Conceptual Exploration of How the Pursuit of Sustainable Energy Development Is Implicit in the Genuine Progress Indicator. *Energies*, v. 15, 2129, 2022.
- COSTA, B. L. D.; AZEREDO, T. M. A. Inova o, eficiência e eficácia em políticas sociais: Reflexões a partir do Programa Bolsa Escola de Belo Horizonte. *Cadernos Gestão Pública e Cidadania*, v. 10, n. 46, p. 81-107, 2005.
- COSTA, M. V. C. V. D., CARVALHO, O. L. F. D., ORLANDI, A. G., HIRATA, I., ALBUQUERQUE, A. O. D., SILVA, F. V. E., GUIMARÃES, R.F.; GOMES, R.T.; DE CARVALHO JÚNIOR, O. A. Remote sensing for monitoring photovoltaic solar plants in Brazil using deep semantic segmentation. *Energies*, v. 14, n. 10, p. 2960, 2021.
- DARAMA, Y.; SELEK, Z.; SELEK, B.; AKGUL, M. A.; DAGDEVIREN, M. Determination of sediment deposition of Hasanlar Dam using bathymetric and remote sensing studies. *Natural Hazards*, v. 97, n. 1, p. 211-227, 2019.
- DE BEM, P. P.; DE CARVALHO JÚNIOR, O. A.; DE CARVALHO, O. L. F.; GOMES, R. A. T.; FONTES GUIMARÃES, R. Performance analysis of deep convolutional autoencoders with different patch sizes for change detection from burnt areas. *Remote Sensing*, v. 12, n. 16, 2576, 2020b.
- DE BEM, P. P.; DE CARVALHO JUNIOR, O. A.; FONTES GUIMARÃES, R.; TRANCOSO GOMES, R. A. Change detection of deforestation in the Brazilian Amazon using Landsat data and convolutional neural networks. *Remote Sensing*, v. 12, n. 6, 901, 2020a.
- DE CARVALHO, O.L.F.; DE MOURA, R.D.S.; DE ALBUQUERQUE, A.O.; DE BEM, P.P.; DE CASTRO PEREIRA, R.; WEIGANG, L.; BORGES, D.L.; GUIMARÃES, R.F.; GOMES, R.A.T.; DE CARVALHO JÚNIOR, O.A. Instance Segmentation for Governmental Inspection of Small Touristic Infrastructure in Beach Zones Using Multispectral High-Resolution WorldView-3 Imagery. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, v. 10, 813, 2021.
- DE MORAES FALLEIRO, R., SANTANA, M. T., & BERNI, C. R. As contribui es do Manejo Integrado do Fogo para o controle dos incêndios florestais nas Terras Indígenas do Brasil. *Biodiversidade Brasileira-BioBrasil*, n. 2, p. 88-105, 2016.

- DE MOURA, N. V. A.; DE CARVALHO, O. L. F.; GOMES, R. A. T.; GUIMARÃES, R. F.; DE CARVALHO JÚNIOR, O. A. Deep-water oil-spill monitoring and recurrence analysis in the Brazilian territory using Sentinel-1 time series and deep learning. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 107, 102695, 2022.
- DE OLIVEIRA, S. N.; DE CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GOMES, R. A. T.; GUIMARAES, R. F.; MCMANUS, C. M. Deforestation analysis in protected areas and scenario simulation for structural corridors in the agricultural frontier of Western Bahia, Brazil. *Land Use Policy*, v. 61, p. 40-52, 2017.
- DENG, C.; WANG, S.; HUANG, Z.; TAN, Z.; LIU, J. Unmanned aerial vehicles for power line inspection: A cooperative way in platforms and communications. *Journal of Communications*, v. 9, n. 9, p. 687-692, 2014.
- DI PIETRO, M. S. Z. *Direito Administrativo*. São Paulo: Editora Forense, 2014. 1176 p.
- European Space Agency –ESA. Sentinel-2 mission required document, 2010. Available at: http://esamultimedia.esa.int/docs/GMES/Sentinel-2_MRD.pdf.
- FELIX, L. S.; BACANI, V. M. Detecção de mudanças e modelagem preditiva do uso da terra e da cobertura vegetal do Pantanal de Aquidauana-MS. *Geosp – Espaço e Tempo*, v. 22, n. 2, p. 437-456, 2018.
- FERREIRA, T.R. *Royalties Minerais e Capacidade de Gestão em Governos Locais: Um Estudo em Municípios Mineradores de Minas Gerais*. Dissertação (Mestrado em Administração Pública e Governo). Escola de Administração de Empresas de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2013. Available at <https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace;handle/handle/10438/10680> .
- FILHO, F. F.; TERRA, F. As disfunções do capitalismo na visão de Keynes e suas proposições reformistas. *Revista de Economia Contemporânea*, v. 15, n. 2, p. 271-295, 2011.
- GOES, J. Com 184 cargos vagos, concurso Aneel será solicitado à Economia. *FOLHADIRIGIDA*, Rio de Janeiro, 03 maio 2022. Available at: <https://folhadirigida.com.br/concursos/noticias/aneel/pedido-de-concurso-aneel-2023>.
- GOLDEMBERG, J. Dossiê recursos naturais: energia e desenvolvimento. *Estudos Avançados*, v. 12, n. 33, p. 7-15, 1998.
- GOMES, C. A.; MACHADO, A. G. C. Fatores que influenciam a inovação nos serviços públicos: o caso da secretaria municipal de saúde de Campina Grande. *Cadernos Gestão Pública e Cidadania*, v. 23, n. 74, p. 47-68, 2018.
- GUMIERO, R. G.; DAL FORNO, M. A. R.; PULPON, Á. R. R.; FUINI, L. L.; THESING, N. J. Abordagem territorial do desenvolvimento: um olhar a partir da dimensão institucional do patrimônio territorial. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, v.18, n. 1, 2022.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (Brasil) Câmaras imageadoras CBERS-3 e 4, São José dos Campos, São Paulo: INPE. Available at: <http://www.cbbers.inpe.br/sobre/cameras/cbers3-4.php>. Accessed 1 January 2022

- JAFARZADEH, H.; MAHDIANPARI, M.; HOMAYOUNI, S.; MOHAMMADIMANESH, F.; DABBOOR, M. Oil spill detection from Synthetic Aperture Radar Earth observations: a meta-analysis and comprehensive review. *GIScience & Remote Sensing*, v. 58, n. 7, p. 1022-1051, 2021.
- JIANG, X.; LU, D.; MORAN, E.; CALVI, M.F.; DUTRA, L.V.; LI, G. Examining impacts of the Belo Monte hydroelectric dam construction on land-cover changes using multitemporal Landsat imagery. *Applied Geography*, v. 97, p. 35-47, 2018.
- KHATAMI, F.; GOHARIAN, E. Beyond Profitable Shifts to Green Energies, towards Energy Sustainability. *Sustainability*, v. 14, 4506, 2022.
- LIN, Z.; QI, J. A new remote sensing approach to enrich hydropower dams' information and assess their impact distances: A case study in the Mekong River Basin. *Remote Sensing*, v. 11, n. 24, p. 3016, 2019.
- MA, P.; DAI, X.; GUO, Z.; WEI, C.; MA, W. Detection of thermal pollution from power plants on China's eastern coast using remote sensing data. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, v. 31, n. 8, p. 1957–1975, 2017.
- MANYARI, W. V.; DE CARVALHO JR, O. A. Environmental considerations in energy planning for the Amazon region: Downstream effects of dams. *Energy Policy*, v. 35, n. 12, p. 6526-6534, 2007.
- MARTINEZ, D. M.; EBENHACK B. W. Understanding the role of energy consumption in human development through the use of saturation phenomena. *Energy Policy*, v. 36, n. 4, p. 1430-1435, 2008.
- MATIKAINEN, L.; LEHTOMÄKI, M.; AHOKAS, E.; HYYPPÄ, J.; KARJALAINEN, M.; JAAKKOLA, A.; KUKKO, A.; HEINONEN, T. Remote sensing methods for power line corridor surveys. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote sensing*, v. 119, p. 10-31, 2016.
- MIRANDA, A. C. O.; MATOS, C. R. Potencial uso do BIM na fiscalização de obras públicas. *Revista do Tribunal de Contas da União*, v. 133, p. 22-31, 2015.
- MORAIS, L. S.; TEIXEIRA, M. G.C. Interfaces da accountability na administração pública brasileira: análise de uma experiência da auditoria geral do estado do rio de janeiro. *Revista Eletrônica de Administração*, v. 3, n. 1, p. 77-105, 2016.
- MORAIS, M. V. E., SILVA, T. F., COSTA, P. V. O mito do inchaço da força de trabalho do Executivo federal. *Revista de Políticas Públicas e Gestão Governamental*, v.7, n.2, p. 43-60, 2008.
- OLIVIERI, C. (2016). A atuação dos controles interno e externo ao executivo como condicionante da execução de investimento em infraestrutura no Brasil. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Texto para discussão 2252, 2016. Available at: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7322/1/td_2252.pdf.
- PLAKMAN, V.; ROSIER, J.; VAN VLIET, J. Solar park detection from publicly available satellite imagery. *GIScience & Remote Sensing*, v. 59, n. 1, p. 461-480, 2022.
- PORTO, E. G. A busca pela eficiência na fiscalização da gestão pública: a utilização de inteligência artificial para aperfeiçoamento do controle das finanças públicas. *Revista de Direito da Empresa e dos Negócios*, v. 1, n. 2, p. 4-31, 2017.

- PRZEYBILOVICZ, E.; CUNHA, M.A.; MEIRELLES, F. S. O uso da tecnologia da informação e comunicação para caracterizar os municípios: quem são e o que precisam para desenvolver ações de governo eletrônico e smart city. *Revista de Administração Pública*, v. 52, n. 2, p. 630-649, 2018.
- SANTANA, N. C.; DE CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GOMES, R. A. T.; GUIMARÃES, R. F. Burned-area detection in Amazonian environments using standardized time series per pixel in MODIS data. *Remote Sensing*, v. 10, n. 12, 1904, 2018.
- SHOWSTACK, R. Landsat 9 Satellite Continues Half-Century of Earth Observations: Eyes in the sky serve as a valuable tool for stewardship. *BioScience*, v. 72, n. 3, p. 226-232, 2022.
- SILVEIRA, R. L. L., SPINELLI, J., MESQUITA, L. P., SILVEIRA, T. F., SEIBERT, C. C., MACHADO, B.E. Medium-Sized Cities, Territory management and urban and regional dynamics in the center-north of the State of Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, v.18, n.1, p. 272-288, 2022.
- SPYRIDONIDOU, S.; SISMANI, G.; LOUKOGEORGAKI, E.; VAGIONA, D.G.; ULANOVSKY, H.; MADAR, D. Sustainable Spatial Energy Planning of Large-Scale Wind and PV Farms in Israel: A Collaborative and Participatory Planning Approach. *Energies*, v. 14, 551, 2021.
- STILLMAN II, R. Profissionalismo público em uma era de transformações radicais: seu significado, desafios e treinamento. *Revista de Administração Pública*, v. 51, n. 6, p. 917-926, 2017.
- UGEDA, L. Regional development and the legal construction of northeastern. *MERCATOR*, Fortaleza, v.19, p. 1-15, 2020.
- VITAL, A. L. F.; GONÇALVES, M.; ALEIXO, M. G. N.; DE RESENDE SALGADO, S. Fiscobras: uma obra em construção. *Revista do Tribunal de Contas da União, Brasília, DF*, v. 133, p. 32-39, 2015.
- VRABEL, J. C.; STENSAAS, G. L.; ANDERSON, C.; CHRISTOPHERSON, J.; KIM, M.; PARK, S.; CANTRELL, S. System characterization report on the China-Brazil Earth Resources Satellite-4A (CBERS-4A). USA: US Geological Survey, Technical Report No. 2021-1030-J, 2021.
- WANG, S.; ZHANG, L.; FU, D.; LU, X.; WU, T.; TONG, Q. Selecting photovoltaic generation sites in Tibet using remote sensing and geographic analysis. *Solar Energy*, v. 133, p. 85-93, 2016.
- YUMASHEV, A.; ŚLUSARCZYK, B.; KONDRASHEV, S.; MIKHAYLOV, A. Global indicators of sustainable development: Evaluation of the influence of the human development index on consumption and quality of energy. *Energies*, v. 13, n. 11, 2768, 2020.

CAPÍTULO 4 - EVOLUÇÃO DAS FONTES EÓLICAS E SOLAR E O CONTROLE EXTERNO DA AGENCIA REGULADORA BRASILEIRA

RESUMO

Num mundo em que as economias dependem diretamente de energia para manter o crescimento e a qualidade de vida de seus habitantes, os países se preocupam cada vez mais com a sustentabilidade energética. Portanto, a expansão das matrizes elétricas precisa considerar o aumento na proporção de fontes renováveis. O objetivo deste estudo é apresentar uma visão da transformação da matriz elétrica do Brasil, destacando o incremento das fontes eólica e solar. Além disso, a pesquisa busca analisar como a agência reguladora do setor elétrico Brasileiro vem evoluindo para manter a fiscalização das novas usinas, permitindo um crescimento da oferta com segurança energética. A análise dos dados de expansão da oferta e dos leilões de energia mostra que o Brasil já possui 83,22% de sua matriz composta por fontes renováveis, e com tendência para aumentar em função dos incrementos de energia oriundos de usinas eólicas e solares. Os resultados mostram um crescimento exponencial da energia solar em relação à eólica entre 2011 e 2021 no país e como a Agência vem investindo no uso de informações geoespaciais e de inteligência artificial para manter a qualidade das fiscalizações dos novos empreendimentos oriundos destas fontes.

Palavras-chave: inteligência artificial, controle externo, energia elétrica, sensoriamento remoto.

4.1 INTRODUÇÃO

O setor elétrico Brasileiro tem com órgão regulador a Agência Nacional de Energia Elétrica, criada pela Lei nº 9.427 de 26 de dezembro de 1996. Em agosto de 2022, o Brasil possuía 18.626 empreendimentos de geração de energia elétrica em operação, totalizando 184GW de potência instalada. Deste total, a fonte eólica destaca-se em terceiro lugar com 11,98%, e em quarto lugar a energia solar com 3,13% (Figura 1). Além disso, 386 empreendimentos em construção e 1.699 a serem iniciadas, totalizando 2.085 empreendimentos espalhadas por todo território nacional (ANEEL, 2022a).

Matriz Elétrica Brasileira(Agosto/22)

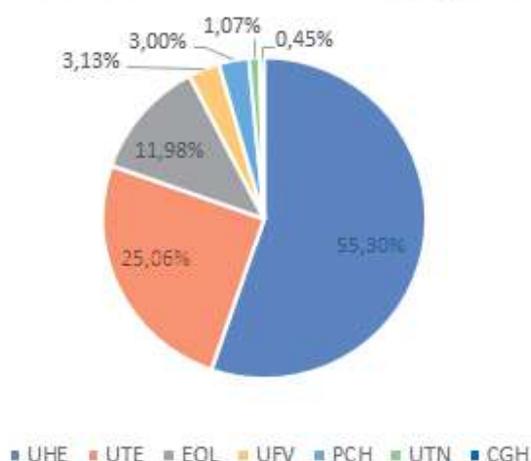


Figura 1- Composição da Matriz Elétrica brasileira em 2022. CGH – Central Geradora Hidrelétrica; EOL – Central Geradora Eólica; PCH – Pequena Central hidrelétrica; UFV – Central Geradora Solar Fotovoltaica; UHE – Usina Hidrelétrica; UTE – Usina Termelétrica; e UTN – Usina Termonuclear.

Diversos estudos abordam o crescimento das fontes eólica e solar na matriz elétrica Brasileira (ELLISTRON; DIESENDORF; MACGILL, 2012; DUPONT; GRASSI; ROMITTI, 2015; OWUSU; ASUMADU-SARKODIE, 2016; KILIÇ, 2022), evidenciando uma sociedade cada vez preocupada com a sustentabilidade e com a preservação dos recursos naturais (DUPONT; GRASSI; ROMITTI, 2015). A energia renovável gerada como excedente pode ser convertida em hidrogênio verde, podendo posteriormente ser convertido em energia elétrica. Desta forma, o hidrogênio verde pode ser o elemento responsável pela ligação entre a geração de energia elétrica renovável e outros usos e aplicações. Como consequência, políticas globais visam diminuir os custos de produção, distribuição e aplicação do hidrogênio verde (BRANDÃO; CASTRO; ARQUINO, 2022; ALVARENGA; 2021; BARROSO, 2021; CORRAES, 2020; ABAD; DODDS, 2020).

A alta porcentagem da produção de energia brasileira por fontes renováveis (83,22%) é um destaque mundial (ANEEL, 2022a). Comparativamente, a estratégia da União Europeia para se tornar uma região de baixo carbono pretende atingir no mínimo 27% de sua energia provenientes de fontes renováveis até 2030. Similarmente ao Brasil, as fontes de energia solar fotovoltaica e eólica contribuirão para mais da metade dessa participação (FRAUNHOFER IWES, 2015). Contudo, há países em situação bastante delicada, como a França que foi o único país europeu que não atingiu suas metas de energias renováveis

da União Europeia (UE) para 2020. No momento, as fontes renováveis representam apenas cerca de 19% da matriz do país, em vez dos 23% previstos (LOUIS, 2022).

Na estrutura do setor elétrico Brasileiro, as principais entidades são o Ministério de Minas e Energia (MME), a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o Operador Nacional do Sistema (ONS), a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e a Agência Nacional de energia elétrica (ANEEL). O Ministério de Minas e Energia (MME) é o poder concedente, sendo o responsável pelas políticas da matriz energética do Brasil. A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) é uma empresa pública federal e foi criada com o objetivo prestar serviços ao Ministério de Minas e Energia (MME) na área de estudos e pesquisas, subsidiando o planejamento do MME nas áreas de energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados e biocombustíveis (EPE, 2022a). O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) é o órgão responsável pela coordenação e controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN), bem como pelo planejamento da operação dos sistemas isolados (ONS, 2022). A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é a responsável pela regulação e fiscalização da geração, transmissão e distribuição da energia elétrica em todo território brasileiro, bem como pela fiscalização e regulação do Operador Nacional do Sistema (ONS). As dimensões do território e as diversas complexidade regionais tornam um grande desafio essas atividades pela agência reguladora (ORLANDI et al., 2021).

A fiscalização da ANEEL das usinas geradoras de energia elétrica acompanha a execução do projeto tal como aprovado e de acordo com o seu cronograma de implantação. O controle externo objetiva um planejamento do setor elétrico coeso e consistente (ORLANDI et al., 2021). Contudo, a ANEEL é responsável pela fiscalização da geração, transmissão e distribuição de energia de todo o setor elétrico, incluindo todas as usinas hidrelétricas, eólicas, fotovoltaicas ou quaisquer outras, tornando desafiador com o incremento de usinas eólicas e solares.

O presente trabalho objetiva apresentar a evolução das fontes renováveis eólica e solar na evolução da matriz elétrica brasileira e como a ANEEL vêm conduzindo seus esforços para manter a excelência na fiscalização desses novos empreendimentos, a fim de permitir que o mercado de energia se desenvolva com equilíbrio e em benefício da sociedade.

4.2. MATERIAL E METODOLOGIA

4.2.1 Dados e Área de Estudo

O presente estudo utilizou exclusivamente informações públicas de acesso livre. O site da ANEEL publica continuamente informações atualizadas sobre o setor elétrico brasileiro, importantes para fortalecer a accountability e estabelecer subsídios para estudos. Vários estudos têm utilizado os bancos de dados da ANEEL para identificar a evolução das fontes eólica e solar na composição da matriz energética brasileira (ORLANDI et al., 2021; CUNHA; SOBEL, 2021; DE SOUZA JUNIOR, 2021; GEHRKE; GORETTI; AVILA, 2021). A fiscalização por sensoriamento remoto das usinas de energia utiliza imagens de satélite gratuitas com resoluções temporais e espaciais adequadas. A resolução espacial deve ser compatível com o tamanho do objeto inspecionado e com um período de retorno adequado às datas de inspeção. O esforço da ANEEL de utilizar imagens gratuitas é de mitigar custos e otimizar investimentos já feitos pelo Brasil, a exemplo de imagens do satélite CBERS disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (INPE, 2022).

As informações geoespaciais de todo o território brasileiro utilizadas na presente pesquisa foram do Sistema de Informações de Geração da ANEEL-SIGA (ANEEL, 2022a) e do Sistema de Informações Geográficas do Setor Elétrico-SIGEL (SIGEL, 2022). Além disso, utilizou-se as consultas ao Plano Decenal de Expansão de Energia 2031-PDE (PDE, 2022) que são publicados anualmente pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

4.2.2 Análises Geoespaciais com KERNEL

O estudo utilizou análises geoespaciais e banco de dados, juntamente com as imagens de satélites. A visualização geoespacial das informações de geração são fundamentais para permitir a compreensão de como as usinas eólicas e solares estão distribuídas nas diversas regiões do país, que possui dimensão continental. Neste trabalho, a visualização geoespacial utilizou a geração de mapas de calor por meio da Estimativa de Densidade de Kernel (EDK) para converter observações pontuais em espaços contínuos. A Estimativa de Densidade de Kernel (EDK) tem sido globalmente utilizada para representar diversos fenômenos: focos de incêndios (NHONGO; FONTANA; GUASSELLI, 2019), erosão (SANTOS; NASCIMENTO, 2019) e outros (WU; LI, 2022; ZHANG, 2022). O método da Estimativa de Densidade de Kernel gera estimativas de densidade utilizando um raio de pesquisa baseado na unidade linear da projeção da referência espacial usada. Esse estudo usou como cálculo do raio de pesquisa uma variante espacial da Regra Prática de Silverman para discrepâncias espaciais (SILVERMAN, 1986).

4.2.3 Regressão Linear

O presente estudo realizou análise de regressão linear entre o incremento da energia eólica e solar nos últimos 5 anos para avaliar similaridade de crescimento. A correlação linear é um modelo de fácil compreensão e que não requer conhecimentos específicos para leitura (BELTRÃO; CARVALHO; BLUMENSCHHEIN; FREITAS, 2022). A variável dependente da função linear foi o incremento da energia solar na matriz energética brasileira e a variável independente foi o incremento de energia eólica. O coeficiente de determinação “R²” mostra quão fidedigna é a previsão, oscilando no intervalo $0 \leq R^2 \leq 1$, onde o valor 1 representa a maior correlação no cálculo dos coeficientes da regressão linear. Também é relevante mencionar que o método dos mínimos quadrados ordinários é majoritariamente utilizado. Tal método objetiva encontrar o ajuste mais preciso para um conjunto de dados (EL HOUSSAINY; EL-SHEIKH; OTHMAN, 2021).

4.3 RESULTADO

4.3.1 Energia eólica

A energia eólica ultrapassou em 2021 a marca de 20 GW instalados, representando mais de 10% da matriz elétrica nacional (Figura 2). Uma década atrás, o segmento eólico representava pouco mais de 1 GW de capacidade instalada; atualmente, é a terceira maior fonte, ficando atrás apenas da hidrelétrica (55,3% da matriz) e das usinas termelétricas (25,06%). Esse avanço não foi apenas proveniente das condições ambientais, mas também da dedicação da indústria em expandir a cadeia produtiva que fornece os insumos necessários para a construção das usinas. No entanto, apesar de a capacidade ter sido aumentada em dez vezes de 2011 até 2021 (Figura 2), a previsão de crescimento exponencial se mantém e pode chegar em 2027 com um acréscimo acima de 13,5GW (figura 4). Assim, a matriz elétrica brasileira pode alcançar mais de 35GW de energia eólica instalada em 2027.

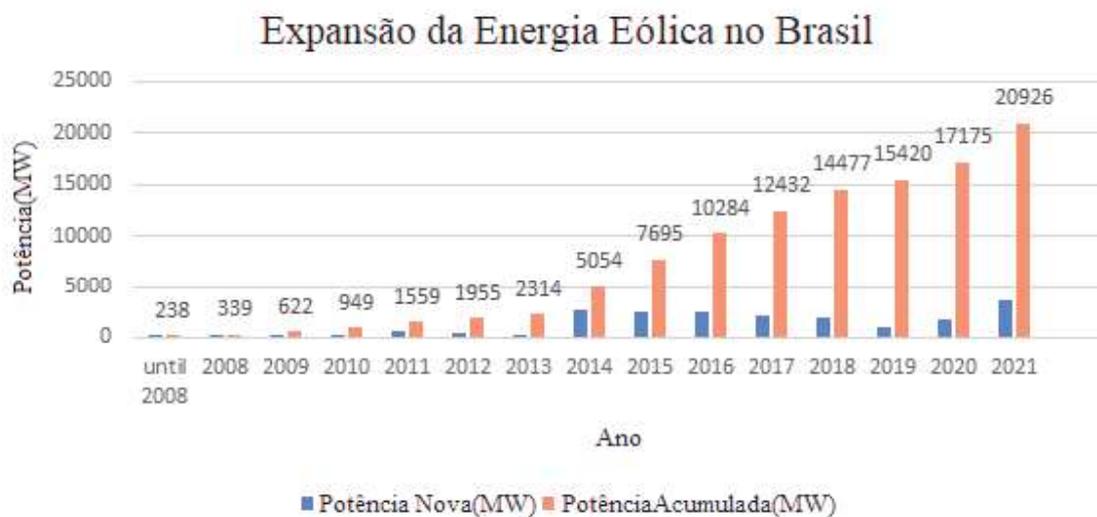


Figura 2- Expansão da energia eólica no Brasil

A manutenção da expansão da fonte eólica perdurou durante a pandemia do Covid-19, que manteve a confiança da retomada da economia brasileira e do consumo de energia apesar da retração na demanda de energia elétrica (CORREA et al., 2021). Além disso, a expectativa global pelo uso do hidrogênio verde foi outro fator de potencialização dos empreendimentos eólicos futuros devido a possibilidade do armazenamento de excedentes de energia (ALVARENGA, 2021; BARROSO, 2021; CORRAES, 2020).

A Tabela 1 lista o panorama da distribuição dos mais de 22GW instalados no Brasil em 2022, totalizando 800 usinas eólicas em operação com mais de 21.000 aerogeradores espalhados (SIGEL, 2022).

Tabela 1- Distribuição por Estado da Federação dos mais de 22GWs instalados no Brasil

UF	Número de Usinas	Potência(MW)
BA	236	6162
RN	222	6765
CE	99	2506
PI	90	2745
RS	81	1836
PE	39	992
PB	30	628
SC	18	251

MA	16	426
PR	1	3
RJ	1	28
MG	1	0
SE	1	35
SP	1	0,002
Total	836	22376

A Figura 3 apresenta a distribuição geoespacial destas usinas pelo Brasil, ressaltando a predominância ao longo da costa brasileira. Atualmente, a região nordeste do país detém 87% das usinas em operação.

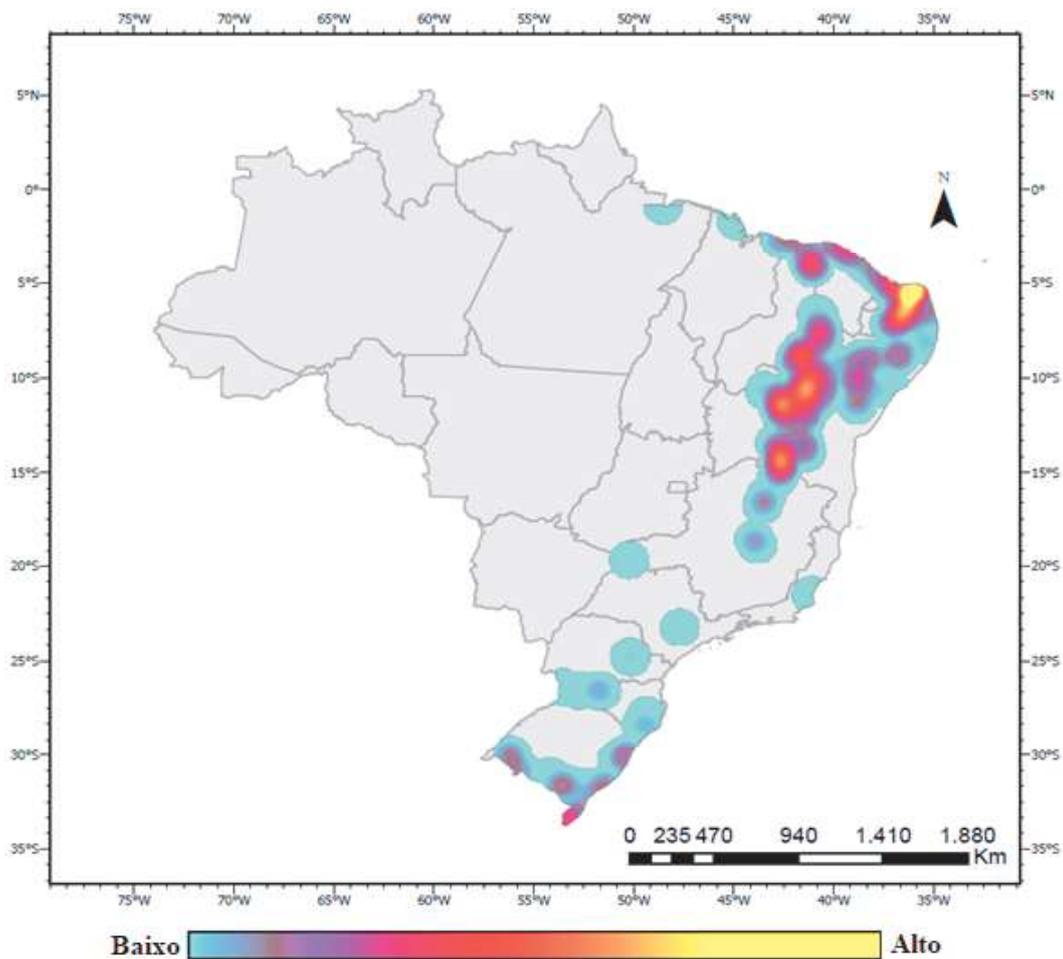


Figura 3- Distribuição de Usinas eólicas no Brasil (Fonte: SIGEL, 2022).

A expansão da energia eólica representa 45% do aumento da oferta de energia nos primeiros cinco meses de 2022, com um aumento de 2.162WM de potência. Esse aumento de projetos impacta as atividades de fiscalização da Agência Reguladora do Setor Elétrico (ANEEL, 2022c). Nos próximos anos, a estimativa de fiscalização será de mais de 400 parques eólicos (Figura 4). Para 2023, por exemplo, a previsão é que haja, em média, mais de dois parques eólicos entrando em operação por semana.

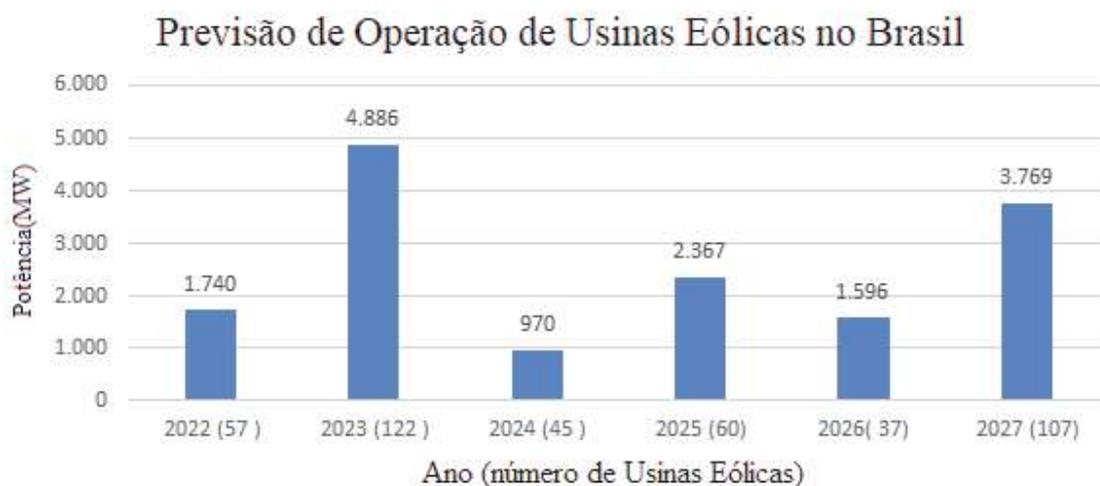


Figura 4- Previsão da quantidade e potência das usinas Eólicas para os próximos anos. (Fonte: ANEEL, 2022b)

No primeiro trimestre de 2021, a fonte eólica representou 87% da potência acrescida (593,61 MW), representando um crescimento de 500% comparado ao mesmo período de 2020, que cresceu 117,18 MW ao Sistema Interligado Nacional – SIN (ANEEL, 2021b). Esta expansão eólica também pode reduzir o custo de geração do sistema e de emissões de gases de efeito estufa (DIUANA; VIVIESCAS; SCHAEFFER, 2019). Contudo, a distribuição da potência disponibilizada em centenas de usinas aumenta significativamente a quantidade de processos de fiscalização da ANEEL, consistindo em um desafio a ser enfrentado.

4.3.2. Fonte solar

As características naturais, a disponibilidade da matéria-prima para produção de silício e a dimensão continental tornam o país muito atraente para investidores em energia solar (EPE, 2012). A geração de energia solar possui diferentes tipos de sistema de captação e conversão de energia solar, considerando distintos ciclos e princípios de funcionamento. O Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA et al., 2017)

mostra a incidência de irradiação solar e os altos valores para a região do Nordeste. As regiões com irradiação solar anual acima de 2000 kWh/m² e baixa nebulosidade possuem a capacidade de gerar a energia heliotérmica.

As usinas solares contribuem para a expansão das fontes renováveis no Brasil desde 2011, havendo um significativo aumento da energia derivada de usinas solares a partir de 2017 (Figura 5), mostrando a grande capacidade de crescimento dessa fonte no país e seu potencial na participação na matriz elétrica.

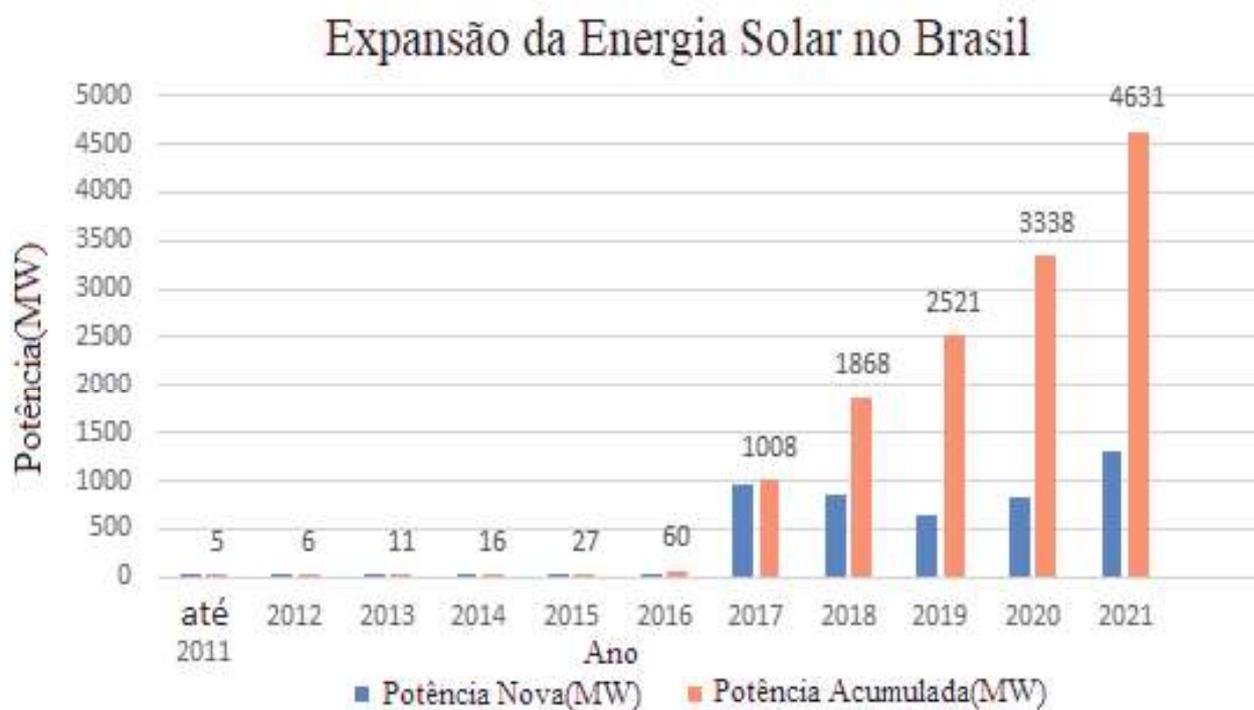


Figura 5- Expansão da energia solar no Brasil (Fonte: SIGEL, 2022)

Apesar das previsões de crescimento econômico mundial negativo, o Brasil segue com expectativas econômicas positivas (IPEA, 2022; Agência Brasil, 2022). Além disso, os fatores ambientais e o crescimento da fonte solar na matriz energética brasileira reforçam a sua participação na matriz elétrica nacional, de acordo com os dados da Aneel (Figura 6). As previsões indicam um acréscimo de mais de 1.300 novas usinas solares em operação, as quais agregarão mais de 57GW de energia ao sistema à matriz elétrica do país até 2027.

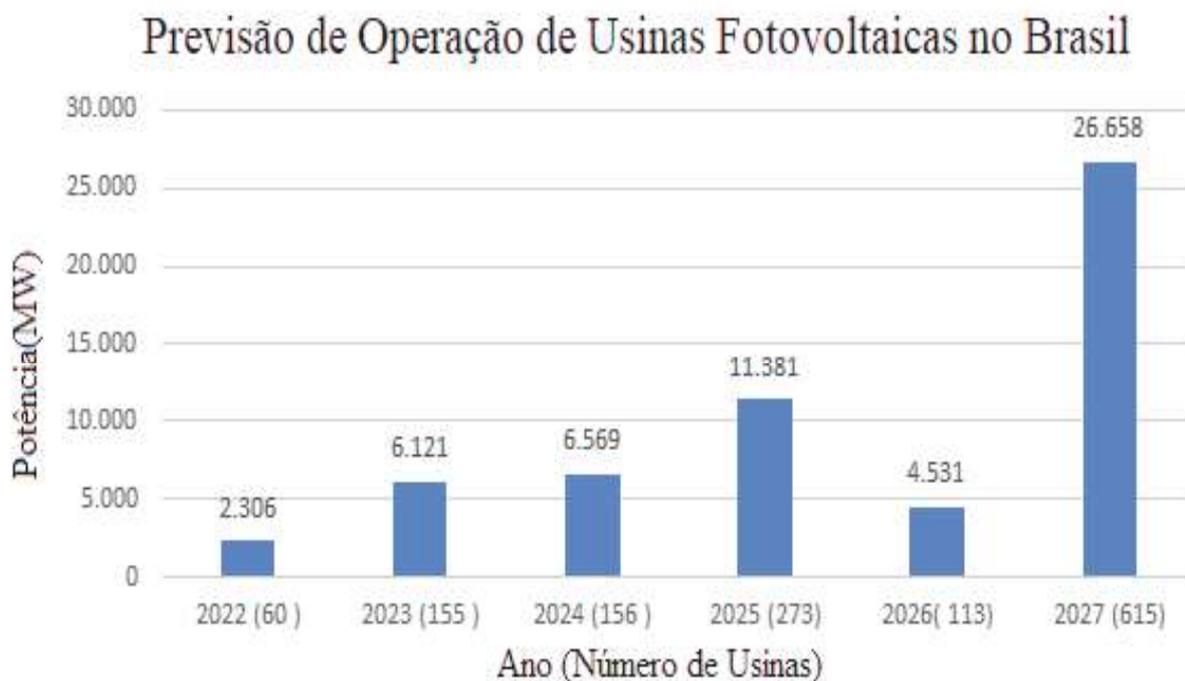


Figura 6- Quantidade e potência das usinas Fotovoltaicas para os próximos anos no Brasil. (Fonte: ANEEL, 2022b)

Outro fator de peso para o avanço da energia solar no Brasil é a geração distribuída dos consumidores, residências e imóveis comerciais que produzem energia e tem o seu excedente de energia direcionado para rede de distribuição, contribuindo para a redução de perdas no Sistema Interligado Nacional do país (PEREIRA et al., 2017). O aproveitamento do excedente energético gera impacto positivo não só na matriz elétrica brasileira, mas também no fomento às empresas de instalação de placas solares residenciais em um país com mais de 215 milhões de habitantes (IBGE, 2022).

A Figura 7 apresenta a distribuição das instalações com mais de 50KW de potência distribuídas em todo território do Brasil, atingindo mais de 300 instalações em todas as regiões do país. Essa distribuição espacial das usinas UFV instaladas é aderente ao mapa de incidência solar do Brasil descrito no Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA et al., 2017), revelando a busca pelas regiões com maior potencial solarimétrico. Todas as instalações de geração distribuída e usinas fotovoltaicas propriamente ditas totalizam 22.218 instalações geradoras de energia elétrica baseadas em painéis fotovoltaicos (SIGEL, 2022).

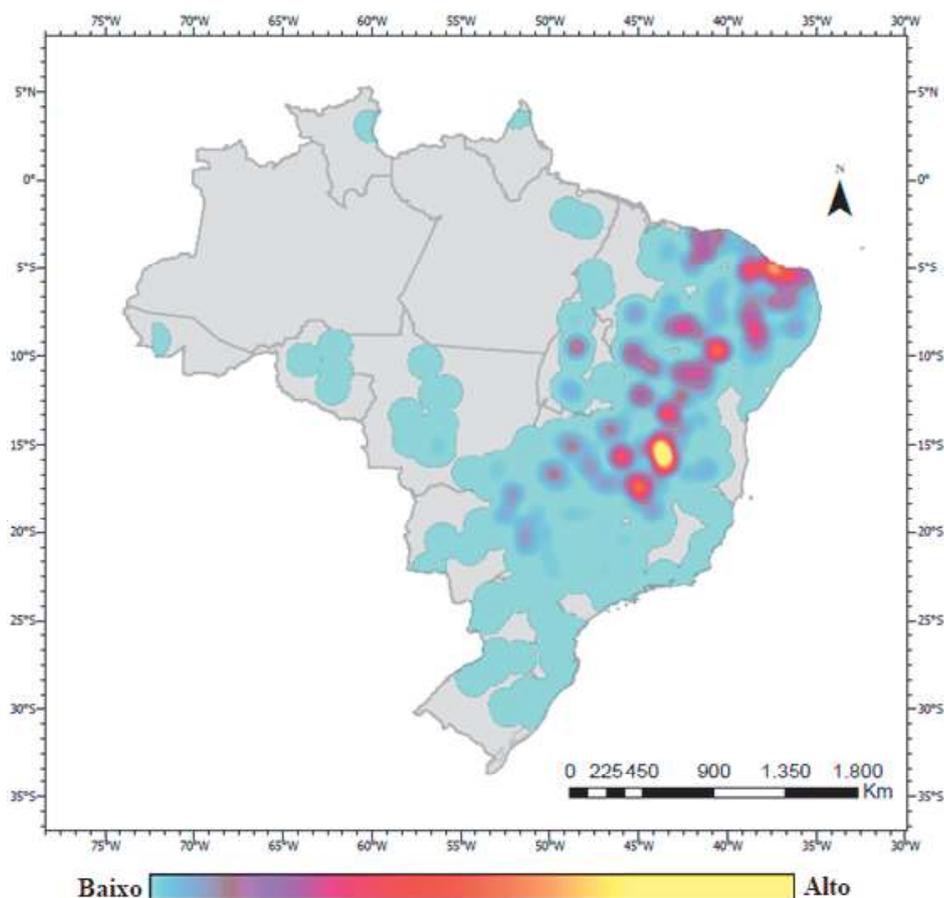


Figura 7- Usinas solares com mais de 50KW em operação no Brasil (Fonte: SIGEL, 2022)

4.3.3. Leilões

O presente estudo aborda apenas Leilões de Energia Nova “A-4” (LEN A-4/2022), relacionados a empreendimento com entrega de energia em um prazo de quatro anos a partir da data do leilão. O LEN A-4/2022, realizado em 27/05/2022, objetivou à contratação de energia proveniente de novos empreendimentos de fontes hidrelétrica, eólica, solar fotovoltaica e termelétrica a biomassa, com início do suprimento a partir de janeiro de 2026 (PPI, 2022). A presente análise considerou apenas as fontes eólicas e solares nesses leilões. As informações referentes aos LEN A-4 e outros leilões são disponibilizados pela Aneel no site oficial da Agência (ANEEL, 2022d).

Os últimos leilões da ANEEL apresentaram uma elevada competitividade das fontes eólicas e solares, principalmente com a queda do valor da energia contratada a partir de 2015. Naquele ano, os preços

médios por MWh da energia eólica e solar estavam acima dos R\$200; em 2019, porém, atingiram valores abaixo do R\$100 (EPE, 2019), o que revela o potencial a ser explorado destas fontes renováveis (SANTA CATARINA, 2022).

A análise dos últimos 5 leilões de energia nova A-4 mostrou a importância das fontes eólica e solar para manter a modicidade tarifária no Brasil, dado que apresentavam de forma consistente valores médios abaixo dos preços médios gerais dos leilões (Figura 8). A Figura 8 apresenta valores atualizados pela inflação, medida pelo Índice nacional de Preços ao Consumidor Amplo-IPCA (IBGE, 2022), dos anos de 2017 a 2022 para comparação. Podemos perceber uma convergência entre os valores obtidos para as fontes eólica e solar nos leilões a partir de 2019.

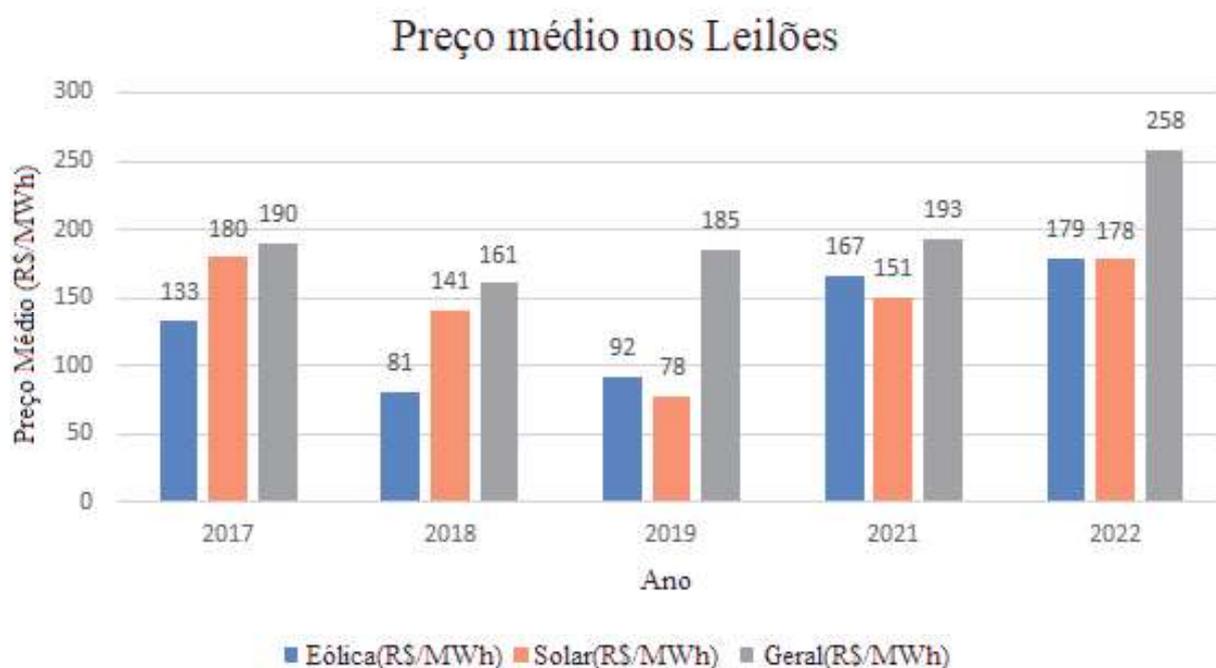


Figura 8- Preços médios obtidos em LEN A-4. (Adapted: EPE, 2022b; EPE, 2021; EPE, 2019; EPE, 2018b; EPE, 2017).

Após a pandemia houve aumento dos valores e os preços médios da energia eólica e solar voltaram a subir em 2021, sendo de R\$167 por MWh, para energia eólica, e de R\$ 151 por MWh para a energia solar (EPE, 2021), valores corrigidos pela inflação. Em 2022, os preços médios da energia eólica e solar continuaram ascendentes, alcançando R\$179 por MWh, para energia eólica, e de R\$ 178 por MWh para a energia solar (EPE, 2022b). Portanto, essas fontes energéticas apresentam competitividade no tocante aos preços. Quanto ao volume de energia contratados, dados mostram preponderância dessas fontes

renováveis no leilão de 2017, representando 95% do total da energia vendida, e permaneceu com mais de 50% do total até 2021, caindo para 37% em 2022 (Figura 9).

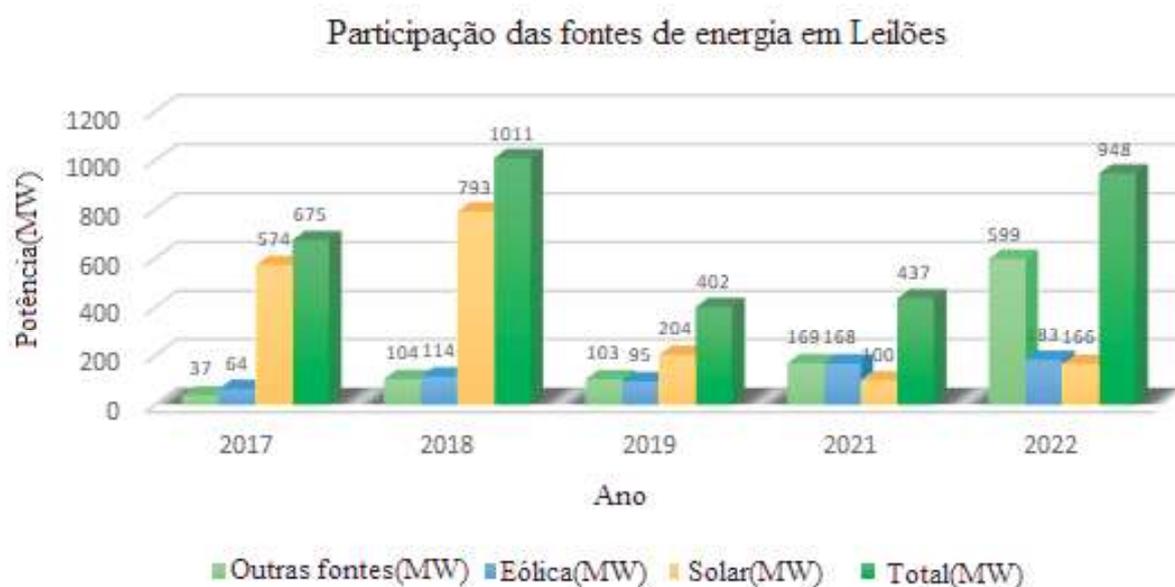


Figura 9- Participação das fontes de energia nos leilões. (Fonte: ANEEL, 2022d)

Nos últimos 5 anos de leilões A-4 realizados pela ANEEL, essas fontes foram relevantes na expansão da oferta de energia e contribuíram para aumentar o já elevado percentual de fonte renováveis na composição da matriz elétrica do Brasil. Como exemplo da dimensão dos investimentos feitos em energia eólica e solar no Brasil, estavam habilitados para vender energia mais de 13GW de energia solar e mais de 4GW de energia eólica no leilão de 2022 (EPE, 2022d).

4.3.4. Resultado da Regressão Linear

A fim de traçar um panorama da relação entre a expansão da fonte eólica e da fonte solar foi feita uma análise por meio de regressão linear. A regressão linear considerou as séries temporais de onze anos de expansões da energia eólica e solar a partir de 2011 (Figuras 2 e 6), quando iniciou a disponibilidade dos dados de capacidade instalada solar. A potência instalada eólica [MW] foi a variável dependente “ $f(x)$ ” e o logaritmo natural da potência instalada solar [ln MW], foi variável independente “ x ”. A expansão da fonte eólica acompanhou o crescimento exponencial da fonte solar por meio da expressão $f(x) = 2346x - 1753$. O coeficiente de explicação (R^2) obtido foi de 93,83% (Figura 10).

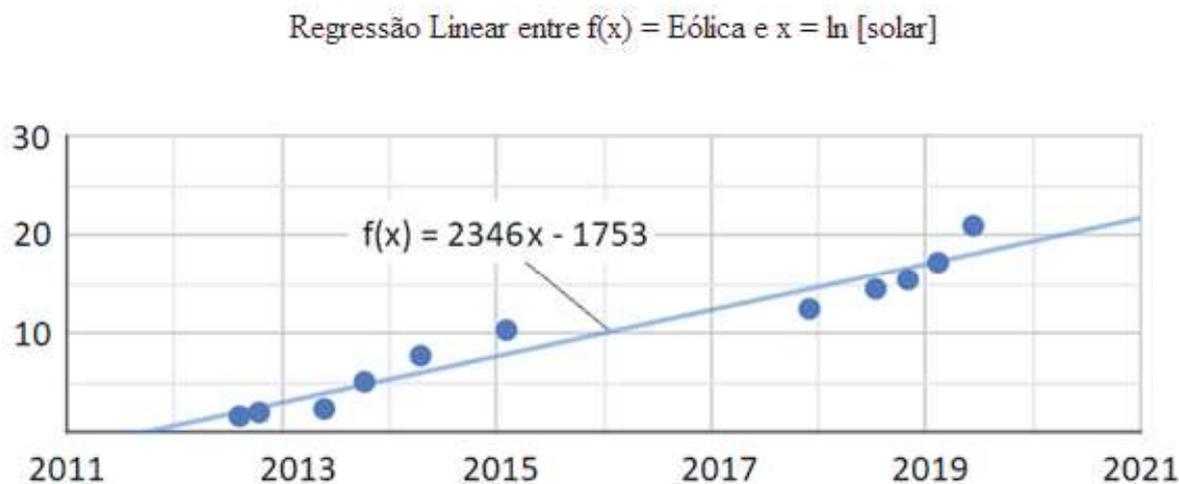


Figura 10- Expansão das fontes eólicas e solar em que a expansão solar se deu exponencialmente em relação à eólica.

Portanto, o logaritmo natural da energia solar tem correlação linear com a potência eólica total. A correlação positiva entre as duas fontes pode trazer benefícios à matriz elétrica nacional, seja pelo aumento do percentual de fonte renováveis ou pela otimização do próprio Sistema Nacional, como por exemplo a possibilidade de redução da demanda de capacidade de transmissão, possuindo ainda uma complementariedade consistente na região Nordeste do Brasil (CAMPOS; NASCIMENTO; RÜTHER, 2020). Tal complementariedade também traz aspectos positivos para a segurança energética brasileira (VIVIESCAS et al., 2019), bem como para a redução da dependência da fonte térmica (REICHERT; SOUZA, 2019).

4.4 DISCUSSÃO

O crescimento exponencial das usinas eólicas e solares é um desafio para a ANEEL e, ao mesmo tempo, uma valiosa conquista para o Brasil, que possui uma das matrizes mais renováveis do mundo. A previsão do Plano Decenal de Energia elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética é de 87% de energia renovável até 2031 (EPE, 2022b).

O Plano Decenal de Energia de 2017 (PDE-2017) prevê uma participação da energia eólica de 12% em 2027 (EPE, 2018a). O significativo crescimento de parques eólicos promoveu a antecipação da sua participação na composição da matriz energética em 5 anos. A estimativa já foi praticamente alcançada em 2022 ao registrar uma participação de 11,98% (Figura 1). A competitividade no cenário nacional é uma

das principais causas da redução pela metade do prazo inicialmente previsto. Além disso, não iniciaram as explorações de eólicas offshore no Brasil, contendo alto potencial ao longo de um litoral com 7637Km de extensão (VITTE, 2003; GOMES et al., 2019; NOGUEIRA, 2020). Recentemente, foram publicadas as primeiras normas para regulamentar os procedimentos de exploração das usinas eólicas offshore (BRASIL, 2022).

O excelente desempenho da fonte solar não está muito diferente da fonte eólica. A geração solar correspondia à 0,3% da matriz elétrica brasileira em 2018 (EPE, 2018a) e este número foi ampliado em 10 vezes em apenas 3 anos, representando hoje 3,13% da matriz brasileira (Figura 1). Além disso, a fonte solar possui maior penetração no território nacional demonstrado pelo mapa da figura 8, destacando a região Nordeste do país com enorme potencial (SANTOS; JONG; COSTA; TORRES, 2020). A expansão das fontes eólicas e solar possui um essencial papel social em regiões mais afastadas dos centros urbanos ou menos desenvolvidas, como a região Nordeste. A instalação destas usinas transforma a realidade de regiões pobres e desocupadas em polos de desenvolvimento econômico (DE JESUS; TRIGUEIRO; GEHRKE; SALVADORI; COSTA, 2018).

Este contexto de expansão vigorosa da quantidade de usinas eólicas e solares, com a previsão de 1300 novas usinas solares e 428 novas usinas eólicas até 2027, representa para ANEEL o desafio de fiscalizar a implantação destas usinas para garantir uma expansão equilibrada da energia. A capacidade de expansão é expressa pela participação nos leilões de energia nova, tendo representado 95% de toda energia vendida no leilão A-4 em 2017. No Leilão de 2022, os projetos habilitados de energia eólica (4.7GW) e solar (13.2GW) para vender energia representavam mais que o triplo da capacidade instalada de um país como o Uruguai, que tinha aproximadamente 4.5GW de capacidade instalada em 2017 (GRAMKOW; SILVA; KREIMERMAN, 2017).

Outro aspecto estratégico para o desenvolvimento do país é a possibilidade de se tornar um grande fornecedor de hidrogênio verde no cenário global. O Brasil tem grande potencial como exportador do hidrogênio verde, haja vista as vastas áreas com alta irradiação solar e velocidades de vento favoráveis (KELMAN; GASPAR; GEYER; BARROSO; PEREIRA, 2020), inclusive com a publicação do marco legal que viabiliza a exploração Offshore no país (BRASIL, 2022).

Para acompanhar essa vigorosa expansão, a ANEEL tem investido em tecnologia para otimizar os trabalhos relacionados à fiscalização, adequando-se a realidade de aumento exponencial da quantidade de usinas para monitoramento. A ANEEL tem investido desde 2019 em iniciativas para automatização dos

processos de fiscalização com uso massivo de tecnologia na fronteira do conhecimento (Canal Energia, 2020), utilizando imagens de sensoriamento remoto e Inteligência Artificial (IA) por meio de Deep Learning (ORLANDI et al., 2021; COSTA et al., 2021). O Sensoriamento remoto fornece os insumos com informações obtidas remotamente nos mais distantes locais do imenso território nacional (ORLANDI et al., 2022) e a IA proporciona a automação quando aplicada a estas imagens. Um exemplo é o caso das usinas fotovoltaicas, onde as características espectrais e a geometria do painel fotovoltaico facilitam a detecção precisa. Os estudos mostraram 98% de precisão para classificação dos painéis por meio de segmentação semântica (COSTA et al., 2021), conforme os testes executados no desenvolvimento do projeto mostrados na figura 11. A figura 12a mostra a usina na imagem de satélite e a figura 12b mostra a predição por meio da segmentação semântica.

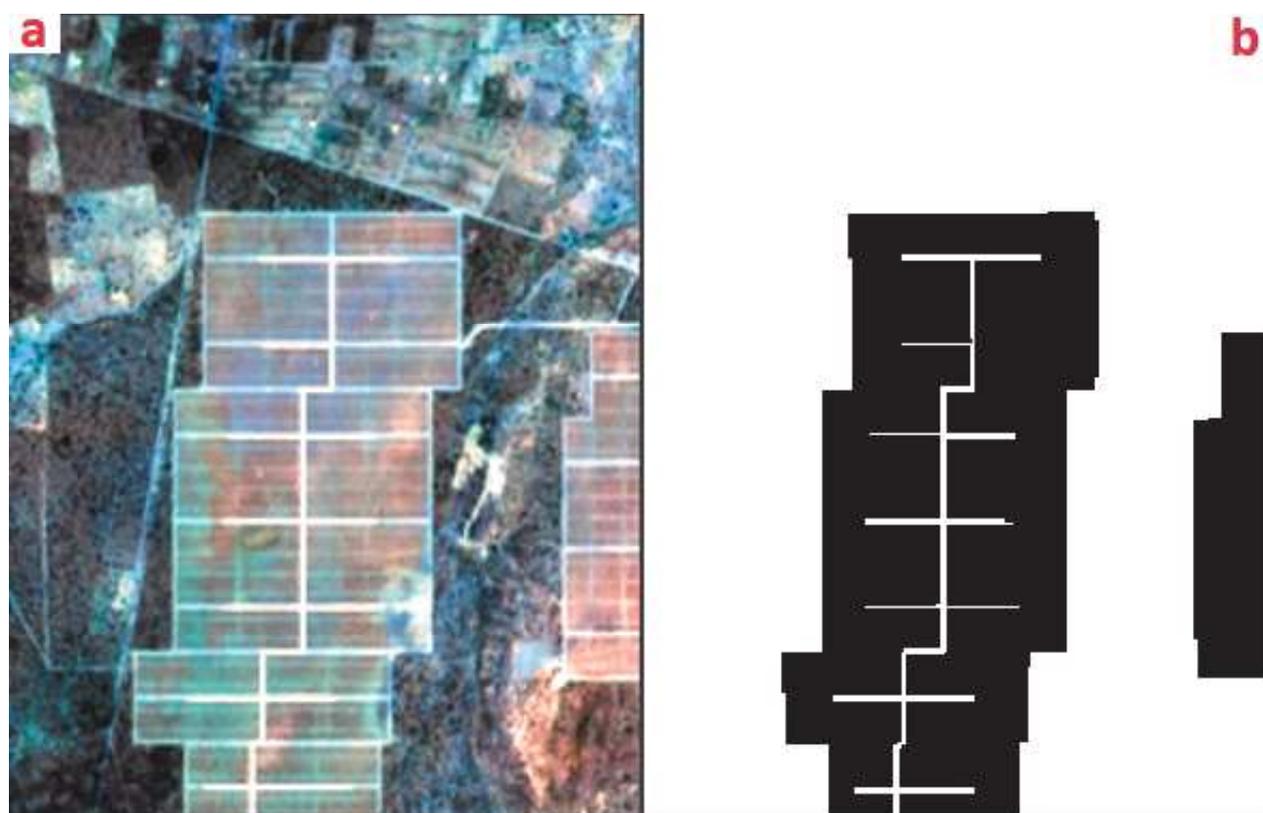


Figura 11- Classificação semântica de painéis fotovoltaicos.

Como resultado desses estudos, atualmente a ANEEL dispõe de uma ferramenta capaz de obter as imagens gratuitas de satélite das usinas fotovoltaicas a serem fiscalizadas, classificar o estágio em que se encontra a instalação da usina e a adequação com cronograma de implantação previsto. O método realiza a tarefa de forma automática por inteligência artificial com posterior confirmação por especialistas. Dessa

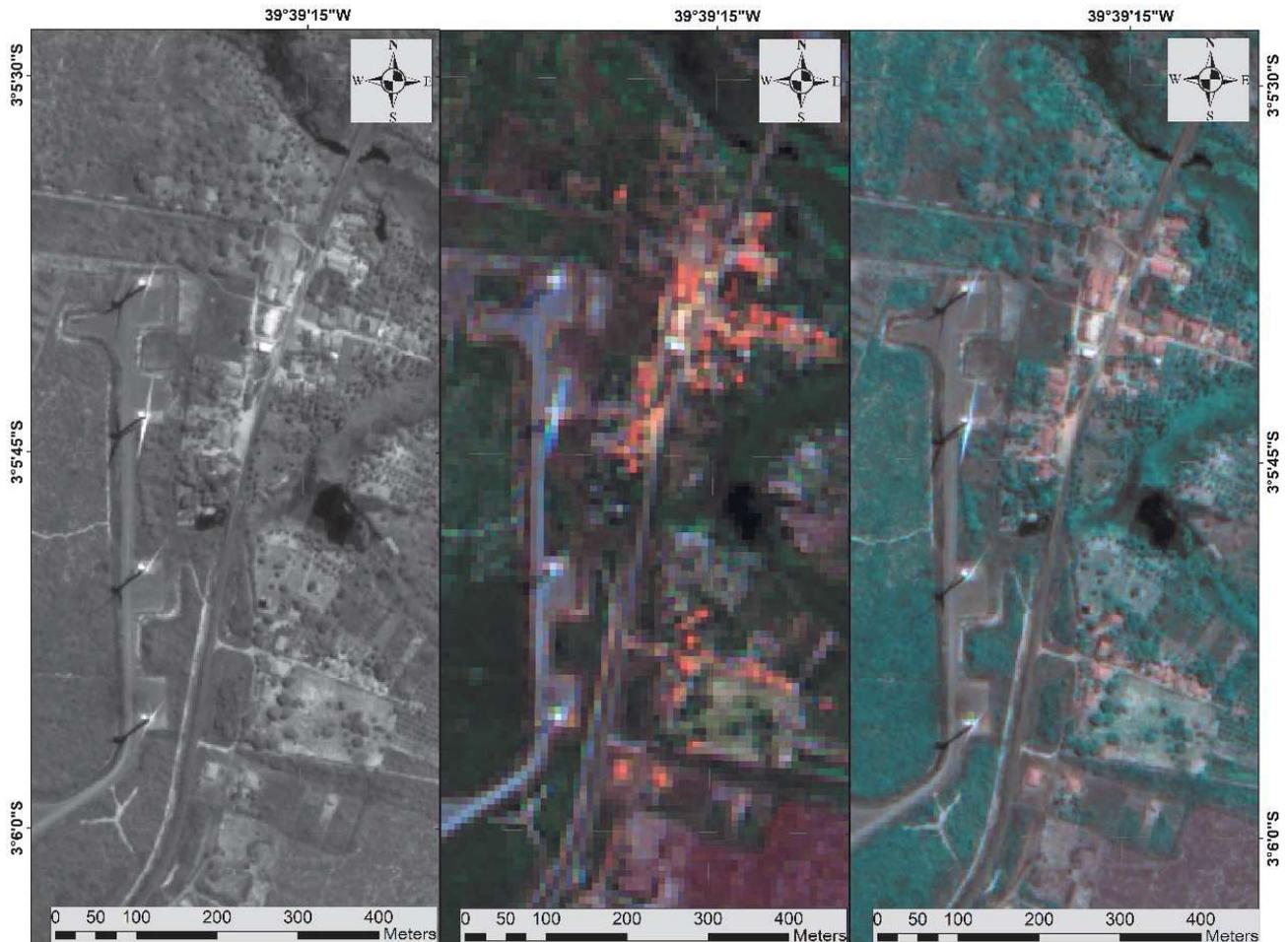
forma, a ANEEL direciona seus esforços para os empreendimentos com maior chance de atrasos, mostrando a importância do controle externo concomitante que realiza sobre os empreendimentos de geração a ser implantados. A Figura 12 mostra a tela do sistema da Agência utilizado pela superintendência de fiscalização da geração de energia. O sistema recebeu o nome de “AGUIA”, acrônimo de “Acompanhamento Geoespacial de Usinas em Implantação”.



Figura 12- Sistema AGUIA mostrando a evolução de obras de usina UFV.

A mesma ferramenta descrita para usinas fotovoltaicas está sendo desenvolvida para o acompanhamento da implantação das usinas eólicas, fazendo com que a ANEEL consiga manter a excelência do controle externo e fortalecer a transparência de suas ações e a accountability desejada na regulação dos serviços públicos de energia. Os primeiros estudos estão sendo feitos com imagens gratuitas do satélite CBERS4A. O uso das imagens do satélite CBERS4A (figura 13) para a visualização de usinas eólicas somado à Inteligência Artificial (I.A) são ferramentas para a modernização da atuação da ANEEL com ganhos de produtividade, economicidade e eficiência nos serviços de fiscalização da Geração. A figura 13 ilustra uma comparação entre a imagem pancromática com resolução espacial de 2,0m (figura

13a), a imagem colorida com 8,0m de resolução espacial (figura 13b) e a imagem colorida com 2,0m de resolução obtida por meio da fusão entre as imagens “a” e “b” (figura 13c), mostrando que o processamento dessas imagens ainda pode aperfeiçoar sua utilidade por meio de técnicas adequadas.



(a)

(b)

(c)

Figura 13- Usina eólica no estado do Ceará: imagens Pancromática, Colorida e fusão

Convém destacar que as imagens de satélite possuem diversas aplicações em cartografia, inteligência militar, meteorologia, gestão de recursos naturais, desmatamentos florestais, previsões de safras (AEB, 2020) e fiscalização de obras públicas (CARVALHO JÚNIOR; GOMES; GUIMARÃES, 2016). Além disso, a disponibilidade de imagens gratuitas diminui o custo de uso, por exemplo, as imagens do Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres CBERS4A (China-Brazil Earth Resources Satellite) com resolução

espacial de 2 metros. Isso revela o grande potencial de uso dessas informações geoespaciais e sua contínua evolução.

4.5 CONCLUSÃO

Nos últimos anos, a política do governo brasileiro para expansão da oferta de energia tem sido um sucesso devido a garantia da segurança energética, contribuição para a modicidade tarifária, fornecimento sustentável dos insumos energéticos, geração de empregos e uma base energética para o crescimento da economia. O presente estudo revela que a expansão das fontes eólicas e solar, com um total de 1728 novas usinas até 2027, deve permanecer ativa durante alguns anos, haja vista o potencial ainda não explorado no Brasil com um litoral de 7637Km de extensão com alta incidência solar. O crescimento da fonte solar é exponencial enquanto a fonte eólica é linear entre 2011 e 2021 no país.

O planejamento estratégico da ANEEL privilegia o investimento em tecnologia, aliando sensoriamento remoto e Inteligência Artificial para manter a excelência do controle externo dos empreendimentos em expansão. O Brasil conquista posição de destaque no cenário mundial com mais de 83% de fontes renováveis de energia, almejando chegar a 87% até 2031. O Brasil demonstra o seu compromisso com o meio ambiente e as condições de vida dos brasileiros, mostrando que é possível ampliar a oferta de energia com desenvolvimento sustentável.

4.6 Bibliografia

Agência Espacial Brasileira-AEB. Imagens de Satélite, 2020. Recuperado de <https://www.gov.br/aeb/pt-br/programa-espacial-brasileiro/aplicacoes-espaciais/imagens-de-satelites>. Acesso em: 31 de Agosto de 2022.

Agência Nacional de Energia Elétrica-ANEEL.. Sistema de Informações de Geração da ANEEL-SIGA, 2022a. Disponível em <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR9>.

Agência Nacional de Energia Elétrica-ANEEL.. Acompanhamento da Implantação das Centrais Geradoras de Energia Elétrica.,2022b .Disponível em <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiMGYyZWl0NzgtMGRlOC00M2ZjLTljZDYtZTVkYjllZjZkxZDBkIiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR9>.

Agência Nacional de Energia Elétrica-ANEEL. Com acréscimo de 601,5 MW, maio tem a maior expansão da geração em 2022, 2022c. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2022/com-acrescimo-de-601-5-mw-maio-tem-a-maior-expansao-da-geracao-em-2022> .

Agência Nacional de Energia Elétrica-ANEEL. Resultado dos leilões por ano, 2022d. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiYmMzN2Y0NGMtYjEyNy00OTNlLWI1YzctZjI0ZTUwMDg5ODE3IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBlMSIsImMiOiJ0R9>. Acesso em dezembro de 2022d.

Agência Brasil. FMI melhora projeção para crescimento do PIB do Brasil em 2022. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2022-07/fmi-melhora-projecao-para-crescimento-do-pib-do-brasil-em-2022>. Acesso em: 29 de Agosto de 2022.

ABAD,A.V.; DODDS, P. E.. Green hydrogen characterisation initiatives: Definitions, standards, guarantees of origin, and challenges. *Energy Policy*, 138, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421520300586?via%3Dihub>.

ALVARENGA, Paulo. O Hidrogênio Verde e a transição para uma economia de baixo carbono. *Revista Brasil Alemanha*, v.29, n. 1, 2021. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/d9/97/d9973c83-a742-4039-9e56-3e1c5dcba795/revistabrasilalemanha.pdf.

BARROSO, A. M. R.. Obtenção do Hidrogênio verde a partir de energias renováveis. *Revista Arte, Ciência e Tecnologia*, 2021. Disponível em: <https://revista.cet.edu.br/artigo/95>.

BELTRÃO, L. M. P., CARVALHO, M. T. M., BLUMENSCHNEIN, R. N., Paiva, Á. T. D., FREITAS, M. V. R. D. Modelos para estimativa de custos com o uso de regressão linear: modelagem com obras penitenciárias. *Ambiente Construído*, 22, 193-211, 2022.

BRASIL.. DECRETO Nº 10.946, DE 25 DE JANEIRO DE 2022. [2022]. Dispõe sobre a cessão de uso de espaços físicos e o aproveitamento dos recursos naturais em águas interiores de domínio da União, no mar territorial, na zona econômica exclusiva e na plataforma continental para a geração de energia elétrica a partir de empreendimento offshore. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/D10946.htm .

CanalEnergia. Aneel desenvolve ferramenta para fiscalizar obras de usinas à distância, 2020. Disponível em: <https://canalenergia.com.br/noticias/53136271/aneel-desenvolve-ferramenta-para-fiscalizar-obras-de-usinas-a-distancia>. Acesso em: 31 de Agosto de 2022.

CAMPOS, R. A., NASCIMENTO, L. R., RÜTHER, R.. The complementary nature between wind and photovoltaic generation in Brazil and the role of energy storage in utility-scale hybrid power plants. *Energy Conversion and Management*, 221, 113160, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113160>

CASTRO, N.; BRANDÃO, R.; ARQUINO, T.A. indústria nascente do hidrogênio verde no Brasil. *Gestão de Estudo do Setor Elétrico*, Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: https://brasil.edp.com/sites/edpbr/files/2022-03/Topico_TextoDiscussao.pdf

COSTA, M. V. C. V. D., CARVALHO, O. L. F. D., ORLANDI, A. G., HIRATA, I., ALBUQUERQUE, A. O. D., SILVA, F. V. E., GUIMARÃES, R.F.; GOMES, R.T.; DE CARVALHO JÚNIOR, O. A. Remote sensing for monitoring photovoltaic solar plants in Brazil using deep semantic segmentation. *Energies*, v. 14, n. 10, p. 2960, 2021.

CORRAES, V. D.; FREIRE, M. G. M.. Estudo preliminar do papel do hidrogênio como fonte alternativa de energia. *Brazilian Journal of Business*, v. 2, n. 4, p. 4028-4041, 2020. Disponível em: <https://brazilianjournals.com/ojs/index.php/BJB/article/view/21509>

CARVALHO JÚNIOR, O.A., GOMES, R.A.T e GUIMARÃES, R.F. “O potencial de dados de sensoriamento remoto na fiscalização de obras públicas”. *Revista do Tribunal de Contas da União*, Brasília, ano 48, n. 137, p. 76-91, set/dez. 2016. Recuperado de <http://revista.tcu.gov.br/ojsp/index.php/RTCU/article/view/1381>.

CUNHA, H., SOBEL, L. Aplicação de Redes Neurais Artificiais na Predição de Geração de Energia Fotovoltaica no Nordeste do Brasil. *Revista De Engenharia E Pesquisa Aplicada*, 6(5), 73-80, 2021. Recuperado de <http://www.revistas.poli.br/~anais/index.php/rep/article/view/1767>

DE SOUZA JUNIOR, E. G. Mineração e pequenas centrais hidrelétricas: reflexões sobre o complexo mineiro-energético no estado de minas gerais, brasil. *Revista Sapiência: Sociedade, Saberes e Práticas Educacionais*, 10(3), (2021). Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/358716956> .

DE JESUS, F. L. A.; TRIGUEIRO, H. O.; GEHRKE, C. S.; SALVADORI, F.; COSTA, T. Brazilian and global energy panorama — Comparative study of forecasts in the years 2000 to 2015 for the years 2015 to 2030. *Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos (SBSE)*, 2018. doi: 10.1109/SBSE.2018.8395869 .

DIUANA, F. A., VIVIESCAS, C., SCHAEFFER, R.. An analysis of the impacts of wind power penetration in the power system of southern Brazil. *Energy*, v.186, p.115869, (2019).

DUPONT, F. H.; GRASSI, F.; ROMITTI, L. Energias Renováveis: buscando por uma matriz energética sustentável. *Revista Eletrônica em Gestão, educação e Tecnologia Ambiental*, 19 (1), 2015. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/19195>.

ELLISTON, B.; DIESENDORF, M.; MACGILL, I. Simulations of scenarios with 100% renewable electricity in the Australian National Electricity Market. *Energy Policy*,45, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421512002169>.

EL HOUSSAINY, A. R., EL-SHEIKH, A. A., OTHMAN, S. The Distribution of the Coefficient of determination in Linear Regression Model: A Review. *Journal of University of Shanghai for Science and Technology*, 23(9), 2021.

Empresa de Pesquisa Energética-EPE. *Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira*, 2012. Disponível em: https://www.vario.com.br/VarioECP/arquivos/Downloads/NT_EnergiaSolar_2012_EPE.pdf .

Empresa de Pesquisa Energética-EPE. *Expansão baseada em eólica, solar e hidráulica mantém predominância renovável da matriz elétrica brasileira nos próximos 10 anos*, 2018a. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/sala-de-imprensa/noticias/Documents/Informe%20EPE%20-%20PDE%202027.pdf> .

Empresa de Pesquisa Energética-EPE. Leilões de geração de energia elétrica, 2017. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-268/Informe%20Leil%C3%B5es%202017%20-%20Portugues.pdf> .

Empresa de Pesquisa Energética-EPE. Leilões de geração de energia elétrica, 2018. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/sala-de-imprensa/noticias/Documents/Informe%20Leil%C3%B5es%202018_Final.pdf .

Empresa de Pesquisa Energética-EPE. Leilões de geração de energia elétrica, 2019. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-355/Informe%20Resultado%20da%20Habilita%C3%A7%C3%A3o%20T%C3%A9cnica%20e%20Vencedores-%20Leil%C3%A3o%20A-4%20de%202019_v3.pdf . Acesso em dezembro de 2022.

Empresa de Pesquisa Energética-EPE. Leilões de geração de energia elétrica, 2021. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-553/Informe%20Vencedores%20LEN%20A3%20e%20A4%20de%202021_v4.pdf .

Empresa de Pesquisa Energética-EPE. Quem somos, 2022a. Disponível em : <https://www.epe.gov.br/pt/a-epe/quem-somos> .

Empresa de Pesquisa Energética-EPE. Leilões de geração de energia elétrica, 2022b. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-644/Informe%20Habilitados%20e%20Vencedores%20LEN%20A4-2022.pdf> .

FRAUNHOFER- IWES. The European Power System in 2030: Flexibility Challenges and Integration Benefits. An Analysis with a Focus on the Pentalateral Energy Forum Region. Agora Energiewende, 2015. Disponível em: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2014/Ein-flexibler-Strommarkt-2030/Agora_European_Flexibility_Challenges_Integration_Benefits_WEB_Rev1.pdf.

GEHRKE, P., GORETTI, A. A. T., ÁVILA, L. V. Impacts of the energy matrix on Brazilian sustainable development. Revista De Administração Da UFSM, 14, 2021. Disponível em : <https://doi.org/10.5902/1983465964409>.

GOMES, M.S.S.; PAIVA, J.M.F.; MORIS, V.A.S.; NUNES, A.O. Proposal of a methodology to use offshore wind energy on the southeast coast of Brazil. Energy, 185, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544219313842>.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE. Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/index.html>. Acesso em: 29 de agosto de 2022.

GRAMKOW, C., SILVA, P. B., KREIMERMAN, R. Big Push Energético do Uruguai. Santiago: Comissão Econômica Para América Latina. O Bigh Push Energético do Uruguai, 2019. Disponível em: https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/estudo_de_caso_-_politica_energetica_-_uruguai.pdf .

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE. Inflação, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/inflacao.php> . Acesso em Dez de 2022.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Catálogo, 2022. Disponível em <http://www.dgi.inpe.br>. Acesso em 24 de agosto de 2022.

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada-IPEA. Visão Geral da Conjuntura, 2022. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cartadeconjuntura/index.php/tag/previsoes-macroeconomicas/#:~:text=Diante%20disso%2C%20a%20economia%20deve,ind%C3%BAstria%20de vem%20mostrar%20relativa%20estabilidade>. Acesso em 29 de agosto de 2022.

KELMAN, R., GASPAR, L. S., GEYER, F.S., BARROSO, L.A.N. PEREIRA, M.V.F. Can Brazil Become a Green Hydrogen Powerhouse? *Journal of Power and Energy Engineering*, 8, 21-32, 2020. <https://doi.org/10.4236/jpee.2020.811003>

KILIÇ, F. Forecasting the Electricity Capacity and Electricity Generation Values of Wind & Solar Energy with Artificial Neural Networks Approach: The Case of Germany, *Applied Artificial Intelligence*, 36(1), 2022. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/08839514.2022.2033911>.

LOUIS, L. Calor pressiona dependência de energia nuclear na França. *Mdade for Minds*, 2022. Disponível em: <https://www.dw.com/pt-br/calor-pressiona-depend%C3%Aancia-de-energia-nuclear-na-fran%C3%A7a/a-62824862>. Acesso em 18 de Agosto de 2022.

NOGUEIRA, E. C. Análise Da Inserção Da Geração Eólica Offshore No Sistema Interligado Nacional. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 2020. Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/images/%C3%89rikaNogueira-Mestrado.pdf>.

NHONGO, E. J. S., FONTANA, D. C., GUASSELLI, L. A. Padrões espaciais mensais de focos de calor a partir de estimativa de densidade de kernel, na reserva do niassa-moçambique. *Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Santos-SP, 2019.

SANTOS, L. A. N., NASCIMENTO, P. S. R. (2019). Espacialização da susceptibilidade erosiva a partir da densidade de drenagem pelo interpolador Kernel. *Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Santos-SP, 2019.

SANTOS, J. A. F., JONG, P., COSTA, C. A., TORRES, E. A. Combining wind and solar energy sources: Potential for hybrid power generation in Brazil. *Utilities Policy*, 67, 101084, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2020.101084>.

OLIVEIRA, A. P. M.; FUGANHOLI, N. S.; CUNHA, P. H. S.; BARELLI, V. A.; BUNEL, M.P.M; NOVAZZI, L. F. Análise técnica e econômica de fontes de energia renováveis. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, 4(1), 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/jcec/article/view/2502/1053>.

Operador Nacional do Sistema-ONS. O que pe ONS, 2022a. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/o-que-e-ons>. Acesso em agosto de 2022.

Operador Nacional do Sistema-ONS. Plano decenal de expansão de energia-2031, 2022b. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2031>. Acesso em agosto de 2022.

ORLANDI, A. G., de CARVALHO JUNIOR, O. A., MENDONÇA, R. C. N., GUIMARÃES, R. F., GOMES, R. A. T. regional management and development with free multi-temporal images: the case of hydroelectric power inspection. *Revista Brasileira De Gestão E Desenvolvimento Regional*, 18(2), 2022. <https://doi.org/10.54399/rbgdr.v18i2.6430>.

ORLANDI, A. G., FARIAS, R.A.N., CARVALHO JUNIOR, O. A., GUIMARÃES, R. F., GOMES, R. A. T. Controle gerencial na administração pública e transformação digital: sensoriamento remoto para fiscalizar. *Cadernos de Gestão Pública e Cidadania*, 26 (83), 2021.

OWUSU, P. A.; ASUMADU-SARKODIE, S. A review of renewable energy sources, sustainability issues and climate change mitigation. *Cogent Engineering*, 3(1), 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/23311916.2016.1167990>.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. Atlas brasileiro de energia solar. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p. Disponível em: <http://doi.org/10.34024/978851700089>.

Empresa de Pesquisa Energética-EPE. Plano Decenal de Expansão de Energia -PDE2031, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2031>. Acesso em 26 de Agosto de 2022.

Programa de Parcerias de Investimentos-PPI. Leilão de Energia Nova – LEN A-4/2022, 2022. Disponível em: <https://portal.ppi.gov.br/leilao-de-energia-nova-len-a-4-2022>. Acesso em Dezembro de 2022.

REICHERT, B., SOUZA, A. M. Interrelationship simulations among Brazilian electric matrix sources. *Electric Power Systems Research*, 193, 107019, 2021. doi.org/10.1016/j.epsr.2020.107019.

SANTA CATARINA, A. Wind power generation in Brazil: An overview about investment and scale analysis in 758 projects using the Levelized Cost of Energy. *Energy Policy*, 164, 112830, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.112830>

Sistema de Informações Geográficas do Setor Elétrico-SIGEL. Disponível em: <https://sigel.aneel.gov.br/portal/home/>. Acesso em 26 de agosto de 2022.

SILVERMAN, B. W. Density estimation for statistics and data analysis, p.7, 941986, 1986. London, England, Chapman & Hall.

VITTE, A.C. O litoral brasileiro: a valorização do espaço e os riscos socioambientais. *Territorium-Revista de Geografia Física aplicada no reordenamento do território e gestão de recursos naturais*, 10, 2003. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5773121>.

VIVIESCAS, C., LIMA, L., DIUANA, F. A., VASQUEZ, E., LUDOVIQUE, C., SILVA, G. N., PAREDES, J. R. Contribution of Variable Renewable Energy to increase energy security in Latin America: Complementarity and climate change impacts on wind and solar resources. *Renewable and sustainable energy reviews*, 113, 109232, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.06.039>

WU, Y., LI, Y. “Hot street” of crime detection in London borough and lockdown impacts. *Geo-spatial Information Science*, p.1-17, 2022.

ZHANG, G. Detecting and Visualizing Observation Hot-Spots in Massive Volunteer-Contributed Geographic Data across Spatial Scales Using GPU-Accelerated Kernel Density Estimation. *ISPRS International Journal of Geo-I*, 11(1), 2022.

CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Comprovou-se a viabilidade do uso de imagens de satélite gratuitas no processo de monitoramento e fiscalização de obras em usinas de geração em implantação, de forma a aprimorar o resultado da fiscalização realizado pela ANEEL. O processo foi aplicado à rotina Superintendência de Fiscalização dos Serviços de Geração (SFG) da ANEEL e se mostrou eficiente no sentido não só de aprimorar o processo de fiscalização, mas também agregar valor por meio da correção ou confirmação de informações, além de obter novos dados a respeito da implantação das usinas, validando as análises realizadas sem a necessidade de ir a campo. A metodologia com uso de imagens de satélite reduziu a assimetria de informações entre os agentes fiscalizados e entidade reguladora e fiscalizadora do setor elétrico, a Agência Nacional de Energia Elétrica, possibilitando uma visão global e sistemática das áreas de implantação das usinas com a obtenção contínua, periódica e remota de informações. Quanto às resoluções espacial e temporal, as imagens gratuitas mostram-se suficientes e adequadas, fornecendo os resultados esperados. De forma geral, somados aos ganhos de planejamento, de modernidade e de agilidade na execução de parte do processo de fiscalização, o uso das imagens de satélite proporciona redução considerável nos recursos materiais, financeiros e humanos necessários para um controle de excelência pela Administração Pública, tornando o monitoramento dessas obras mais confiável, moderno e ágil.

5.1 Limitações

No caso das usinas fotovoltaicas, houve um elemento facilitador na feição: a geometria retangular dos painéis fotovoltaicos foi um elemento diferencial nas interpretações das imagens. Contudo, para as usinas hidrelétricas, houve duas etapas de construção que não foi possível o uso das imagens de satélite.

Dessa forma, as limitações tecnológicas intrínsecas ao método devem ser consideradas: a) a cobertura de nuvens em alguns casos, corresponde a um percentual pequeno do universo monitorado, de forma a não impedir a utilização no processo de fiscalização das usinas, mas pode impedir seu uso em alguns casos; b) a indisponibilidade de imagens para uma determinada data também pode inviabilizar o uso das imagens, ainda que tal fato possa ser superado com a tentativa de imagens de outros satélites; c) as resoluções temporal e espacial devem estar adequadas para as feições que são os alvos de análise; d) os custos de empregar as imagens devem considerar as horas dos técnicos que farão o serviço e, se for o caso, algum custo de treinamentos em cartografia, ainda que as imagens sejam gratuitas e que existam softwares livres para sua manipulação; e e) o interessado em desenvolver estudos para uso das imagens da satélite

deve considerar a disponibilidade futura dessas imagens para fins de planejamento. Assim, antes de iniciar a implementação do uso das imagens de satélite em processos, os estudos técnicos devem contemplar no mínimo as informações técnicas das imagens que sejam pertinentes e expectativa de haver a disponibilidade dessas imagens num futuro próximo. A tabela 1 abaixo traz alguns satélites e suas informações técnicas relevantes para o escopo deste estudo, incluindo a “vida útil projetada” para cada um deles, destacando que alguns sensores continuam ativos atualmente além de sua vida útil projetada.

Tabela 1- Informações técnicas de imagens de satélite

Satélite	Lançamento	Vida útil projetada	Resolução espacial	Resolução temporal	Imagens Gratuitas?
CBERS4	12/07/2014	3 anos	5,0m (pancromática)	26 dias	sim
CBERS4A	20/12/2019	5 anos	2,0m(Pancromática)	31 dias	sim
Sentinel 2	23/06/2015	12 anos	10,0m (multiespectral)	5 dias	sim
Sentinel-1B	22/04/2016	12 anos	5,0m (radar)	12 dias	sim
Landsat8	11/02/2013	5 anos	15,0m(pancromática)	16 dias	sim
Pleiades	17/12/2011	5 anos	0,5m (pancromática)	1 dia	não
GeoEye	06/09/2008 - Atual (2013: órbita alterada)	15 anos	0,46m(pancromática)	3 dias	não
WorldView-3	03/08/2014	10 a 12 anos	0,30m(pancromática)	3 dias	não

Fonte: adaptado de Embrapa, 2020.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Durante o desenvolvimento desses estudos, percebeu-se que seria importante a produção de estudos sobre o grau de economia de recursos quando é utilizado imagens gratuitas e aquelas não gratuitas, haja vista os custos são diferentes e requerem ações diferentes para implementar o uso de cada uma delas em processos de fiscalização.

Além disso, outra pesquisa relevante seria a reprodução desse estudo com imagens RADAR também gratuitas, como as imagens do satélite Sentinel 1, a exemplo daquelas mostradas na figura 5a (Usina fotovoltaica) do capítulo 2 e 8b (identificação do reservatório da PCH Bandeirante) do capítulo 3 da tese. As aplicações dessas imagens são muito variadas (BORGES; PACHECO; SANTOS, 2015; LOPES; SANO; PASCUAL, 2015) e podem suprir a limitação relacionada às nuvens identificada nessa pesquisa.

5.3 Contribuições do trabalho

A pesquisa realizada na tese trouxe uma metodologia para aplicação de imagens gratuitas no setor público brasileiro a fim de fiscalizar as obras de implantação de usinas geradoras de eletricidade, especialmente na Agência Nacional de Energia elétrica, capaz de ser reproduzida em outras áreas que tenham atividades semelhantes. A pesquisa trouxe as limitações e potencialidades desses insumos geoespaciais.

Mostrou-se que a evolução tecnológica geoespacial e a inovação formam um binômio de grande valia para o aperfeiçoamento da Administração pública e seu desenvolvimento com foco na eficiência e efetividade ao mesmo tempo em que denota um esforço da Administração Pública em se modernizar e otimizar os escassos recursos de que dispõe. Também ficou evidenciado que o emprego de imagens gratuitas pode fortalecer a accountability e transparência no âmbito governamental, mostrando que a presença física do Estado materializado na pessoa do servidor público é fundamental na interação com a sociedade de forma geral, mas essa presença deve ser utilizada de forma mais racional, eficiente e econômica possível.

5.4 Bibliografia

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Satélites ativos, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/satelites>.

LOPES, C. A. L., SANO, E. E., PASCUAL, M. F. Imagens RADARSAT-2 aplicadas ao monitoramento ambiental de obras de mobilidade urbana: o caso da Via Expressa Transolímpica no Rio de Janeiro/RJ. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, João Pessoa,-PB, 2015.

BORGES, G. M., PACHECO, A. P., SANTOS, F. K. S.. Sensoriamento Remoto: Avanços e Perspectivas. Revista de Geografia (UFPE), 32(2), 2015.