

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Matheus Bertolino Motta

**Zoneamento de áreas de pastagens degradadas aptas a implementação de sistemas
de geração de energia renovável**

Juiz de Fora

2024

Matheus Bertolino Motta

Zoneamento de áreas de pastagens degradadas aptas a implementação de sistemas de geração de energia renovável

Dissertação apresentada ao **Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil** da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil**.
Área de concentração: **Tecnologias Ambientais**.

Orientador: Dr. Ricardo Guimarães Andrade
Coorientador: Dr. Celso Bandeira de Melo Ribeiro

Juiz de Fora
2024

Imprimir na parte inferior, no verso da folha de rosto a ficha disponível em:
<http://www.ufjf.br/biblioteca/servicos/usando-a-ficha-catalografica/>

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL (PEC)

MATHEUS BERTOLINO MOTTA

Título: ZONEAMENTO DE ÁREAS DE PASTAGENS DEGRADADAS APTAS A IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA RENOVÁVEL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós - Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Saneamento e Meio Ambiente.

Aprovada em 15/10/2024.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Ricardo Guimarães Andrade - Orientador e Presidente da Banca
(EMBRAPA)

Prof. Dr. Celso Bandeira de Melo Ribeiro - Coorientador
(UFJF)

Dr. Marcos Cicarini Hott - Membro titular externo
(EMBRAPA)

Prof. Dr. Sady Júnior Martins da Costa de Menezes - Membro titular externo
(UFRRJ)

Juiz de Fora, 20/09/2024.



Documento assinado eletronicamente por Ricardo Guimarães Andrade, Usuário Externo, em 15/10/2024, às 16:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por MARCOS CICARINI HOTT, Usuário Externo, em 15/10/2024, às 16:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por Celso Bandeira de Melo Ribeiro, Professor(a), em 15/10/2024, às 16:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por Sady Júnior Martins da Costa de Menezes, Usuário Externo, em 15/10/2024, às 17:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf (www2.ufjf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador 1996457 e o código CRC 84869889.

Dedico este trabalho a minha esposa Letícia, o amor da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a minha companheira de todas as horas, minha esposa Letícia, que sempre me apoiou, deu suporte e me incentivou em todas as etapas da minha vida. Você é o motivo de tudo que eu faço.

A minha família por toda a ajuda, compreensão e momentos de descontração, tão importantes quanto os de concentração. Em especial, gostaria de agradecer meus sogros por me proverem a segurança que eu precisei ao tomar a decisão de entrar no mestrado. Essa segurança foi fundamental para que eu tivesse tempo para trilhar e encontrar meu caminho.

Aos meu orientador Ricardo, gostaria de agradecer imensamente pelo tempo disponibilizado e o gigantesco aprendizado compartilhado. Aprendi muito mais do que poderia imaginar e, com certeza, tornei-me um profissional melhor. Ao meu coorientador Celso e o tutor Rodrigo, agradeço pela disponibilidade de ajudar e os direcionamentos que suas experiências puderam dar a mim e a pesquisa. Gostaria de agradecer também aos diversos membros da EMBRAPA Gado de Leite que, inúmeras vezes, foram fundamentais com seus enormes gabaritos. Agradecer também a EMBRAPA onde eu desenvolvi a maior parte da minha pesquisa.

Gostaria de agradecer imensamente a Neoenergia que, através do programa BECAS Master, acreditou na minha pesquisa e financiou todo o estudo. Práticas que valorizam a educação, como esta, são extremamente importantes e possibilitaram meu desenvolvimento.

Por fim, gostaria de agradecer a todos os excelentes professores do PEC, aos amigos que fiz durante todo mestrado e a minha amada UFJF.

“Se você não subir, você não cairá. É verdade. Mas será tão ruim assim fracassar? Será tão duro assim cair? Às vezes, quando você cai, a queda te mata. E, às vezes, quando cai, você **voa**.” (GAIMAN, 2020).

RESUMO

A produção de energia é um dos pilares da sociedade atual, fazendo-se necessária não só a garantia do atendimento da demanda atual, mas também o planejamento adequado para suprir o quantitativo futuro. Ainda, é muito importante que a produção seja diversificada e ambientalmente adequada, produzindo a maior quantidade de energia com menores impactos ambientais. Nesse cenário, o presente estudo buscou realizar o zoneamento das áreas com indicativo de degradação aptas a geração de energia solar e eólica. Foi realizada uma revisão sistemática da literatura com intuito de levantar informações de trabalhos que conciliaram geração de energia renovável com reutilização de áreas degradadas, buscando entender quais fatores foram importantes aos autores e quais deveriam ter sido estudados. Com base nessas informações, foi elaborada a metodologia que levou em consideração as áreas de pastagem com indicativo de degradação, as restrições legais, fatores de infraestrutura e os aspectos físicos e de recurso do território nacional. De posse das camadas de dados – raster e vetor –, foi feita uma hierarquização destas por meio da metodologia Analytic Hierarchy Process (AHP) a fim de determinar um peso para cada camada e calcular a aptidão para receber uma usina – eólica, solar ou híbrida. Os resultados mostraram uma aptidão considerável na tipologia solar, com cerca de 800 mil km² de áreas com indicativo de degradação que podem gerar energia classificadas como boas ou excelentes. A tipologia eólica, embora mais restritiva, apresentou bons resultados, tal qual a híbrida. De forma geral, há um grande potencial para a diversificação da matriz energética nas próximas décadas no Brasil. A aptidão das áreas de pastagens com indicativos de degradação para geração de energia solar e eólica corrobora para garantir a segurança energética, fundamental a todos os setores da sociedade, e a redução da dependência hídrica, fator que vem preocupando pesquisadores visto as alterações dos ciclos hidrológicos causados pelas mudanças climáticas.

Palavras-chave: energia renovável, geoprocessamento, indicativos de degradação.

ABSTRACT

Energy production is one of the pillars of today's society, requiring not only the guarantee of meeting current demand, but also adequate planning to meet future demand. Furthermore, it is very important that production be diversified and environmentally appropriate, producing the largest amount of energy with the least environmental impact. In this scenario, this study aimed to zoning areas with indications of degradation suitable for solar and wind energy generation. A systematic review of the literature was carried out with the aim of gathering information on studies that reconciled renewable energy generation with the reuse of degraded areas, seeking to understand which factors were important to the authors and which should have been studied. Based on this information, the methodology was developed that took into account pasture areas with signs of degradation, social, political and social restrictions, infrastructure factors and the physical and resource aspects of the national territory. Once all the layers were in hand – raster and vector –, a hierarchy was created using the Analytic Hierarchy Process (AHP) methodology in order to determine a weight for each layer and calculate the suitability to receive a power plant – wind, solar or hybrid. The results showed considerable suitability in the solar typology, with approximately 800 thousand km² of areas with indications of degradation that can generate energy classified as good or excellent. The wind typology, although more restrictive, presented good results, as did the hybrid typology. In general, there is great potential for the diversification of the energy matrix in the coming decades in Brazil. The suitability of pasture areas with signs of degradation for generating solar and wind energy corroborates the need to guarantee energy security, fundamental to all sectors of society, and the reduction of water dependence, a factor that has been worrying researchers given the changes in hydrological cycles. caused by climate change.

Keywords: renewable energy, geoprocessing, indications of degradation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Espectro eletromagnético com comprimento de onda para cada uma das faixas.....	30
Figura 2 Assinaturas espectrais de algumas tipologias de superfícies terrestres.....	31
Figura 3 Frequência absoluta da evolução da produção científica sobre sensoriamento remoto e uso e cobertura da terra de 1991 a 2020.....	37
Figura 4 Frequência absoluta do número de produção científica por países sobre sensoriamento remoto e uso e cobertura da terra de 1991 a 2020.	37
Figura 5 Linha do tempo acerca da energia elétrica no Brasil.	45
Figura 6 Evolução no número de empreendimentos hidrelétricos por divisão de 2008 a 2023.....	47
Figura 7 Evolução na potência total de usinas hidrelétricas por divisão de 2008 a 2023.	48
Figura 8 Divisão das termoeletricas por origem de combustível.	50
Figura 9 evolução do número de empreendimentos e geração eólica no Brasil.....	51
Figura 10 Crescimento da energia eólica (MWh) no Brasil.	52
Figura 11 Potência total gerada pela fonte eólica de 2001 a 2022.....	53
Figura 12 Evolução da potência acumulada, levando em conta projeto em construção, da energia nuclear brasileira.....	54
Figura 13 Matriz energética brasileira, referente ao ano de 2023.	55
Figura 14 Matriz elétrica brasileira, referente ao ano de 2023.	56
Figura 15 Comparação da participação de fontes renováveis nas matrizes energética e elétrica do Brasil e do mundo.	57
Figura 16 Elementos base da transição energética.	59
Figura 17 Matriz esperada para o Brasil, após termino das obras de usinas em construção.....	61
Figura 18 Fluxograma do processo e resultados por etapas.....	64
Figura 19 Visualização das palavras-chave com evolução em escala temporal.	77
Figura 20 Fluxograma para seleção das áreas aptas do território brasileiro, excluídas restrições socio-político-ambientais.	86
Figura 21 Fluxograma dos fatores ligados a infraestrutura.	88
Figura 22 Fluxograma das etapas do procedimento metodológico AHP para atribuição de pesos por camada.	92
Figura 23 Áreas de pastagens com indicativos de degradação – baixo e médio vigor – no Brasil.....	95
Figura 24 Áreas reservadas para as comunidades indígenas.....	96
Figura 25 Terras destinadas aos grupos étnicos que compõem as comunidades quilombolas.....	97
Figura 26 Áreas de uso restrito para atividades militares.....	98
Figura 27 Terras de unidades agrícolas destinadas a agricultores e trabalhadores rurais que constituem assentamentos.....	99
Figura 28 Zonas de Unidades de Conservação (UC) demarcadas como proteção integral.	100

Figura 29 Florestas públicas cadastradas em todo território nacional.	101
Figura 30 Mapa contendo de todas as restrições legais do território brasileiro consideradas no presente estudo.	102
Figura 31 Mapa das áreas de pastagens com indicativos de degradação no Brasil, excluindo as áreas restritivas.	104
Figura 32 Mapa das linhas de transmissão – existentes e futuras – no Brasil, com buffers de distância.	105
Figura 33 Mapa das rodovias nacionais, com buffers de distância.	106
Figura 34 Mapa de declividade – slope –, em graus, para o território brasileiro, dividido em sete classes de interesse.	107
Figura 35 Mapa da radiação incidente no Brasil, em kWh/m ² /dia.	108
Figura 36 Mapa de insolação média, em horas/ano, no território nacional.	109
Figura 37 Mapa de velocidade do vento a dois metros, em m/s, no Brasil.	110
Figura 38 Mapa de velocidade do vento, a 80 metros de altitude.	111
Figura 39 Zoneamento de aptidão para a geração de energia solar no Brasil.	114
Figura 40 Mapa da aptidão de geração de energia solar com a localidade das atuais usinas fotovoltaicas (UFV).	115
Figura 41 Zoneamento das áreas com indicativo de degradação aptas a geração solar, sem restrições no território brasileiro.	116
Figura 42 Zoneamento de aptidão solar em áreas de pastagens com indicativos de degradação, sem restrições, com destaque as Regiões do Brasil.	119
Figura 43 Zoneamento das áreas de aptidão para a geração de energia eólica no Brasil.	121
Figura 44 Mapa da aptidão de geração de energia eólica com a localidade das atuais usinas eólicas (EOL).	122
Figura 45 Zoneamento das áreas de pastagens com indicativos de degradação aptas a geração eólica onde não há restrições sociais, ambientais e política.	123
Figura 46 Zoneamento das áreas de pastagem com indicativos de degradação aptas para a geração de energia eólica, sem restrições, por Regiões do Brasil.	124
Figura 47 Zoneamento de áreas com aptidão para instalação de usina híbrida no território brasileiro.	126
Figura 48 Zoneamento das áreas de pastagens com indicativos de degradação aptas a geração eólico-solar onde não há restrições sociais, ambientais e política.	127
Figura 49 Zoneamento das áreas de pastagens com indicativo de degradação aptas para geração de energia eólico-solar, sem restrições, divididos por Regiões do Brasil.	128

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Principais datas dos acontecimentos históricos relativos ao sensoriamento remoto.....	35
Tabela 2 Evolução da geração hidrelétrica por divisão.	47
Tabela 3 Potência outorgada por origem do combustível.	49
Tabela 4 Potência por tipologia.	56
Tabela 5 Estratégias de busca para cada base de dados utilizada.	62
Tabela 6 Artigos lidos integralmente excluídos por não responderem às questões norteadores.	65
Tabela 7 Trabalhos aceitos após leitura integral e principais dados coletados.	68
Tabela 8 Fatores, limiares e pesos utilizados por Vrînceanu, Dumitraşcu, & Kucsicsa (2022).	72
Tabela 9 Requisitos para instalação de uma nova usina geradora de energia solar.	74
Tabela 10 Requisitos para instalação de uma nova usina geradora de energia eólica..	75
Tabela 11 Tabela para o processo de decisão entre dois fatores (1 e 2).	79
Tabela 12 Exemplo de construção matricial de Saaty.	80
Tabela 13 Índice randômico de inconsistência – R.I..	80
Tabela 14 Resumo dos fatores utilizados na avaliação da aptidão solar.	91
Tabela 15 Resumo dos fatores utilizados na avaliação da aptidão eólica.	91
Tabela 16 Divisão das aptidões de acordo com a porcentagem do cálculo pela Equação 4.	93
Tabela 17 Matriz de comparações emparelhadas entre os fatores relativos a energia solar.	112
Tabela 18 Pesos de cada fator na avaliação solar.	112
Tabela 19 Matriz de comparações emparelhadas entre os fatores relativos a energia eólica.	113
Tabela 20 Pesos de cada fator na avaliação eólica.	113
Tabela 21 Potencial simplificado de geração de energia de acordo com o % de área de aptidão excelente utilizado.	117

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	Avaliação Hierárquica de Processos
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CGH	Centrais Geradoras Hidrelétricas
CI	Índice de Consistência
CNAEE	Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica
CNFP	Cadastro Nacional de Florestas Públicas
CR	Razão de Consistência
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
ELDO	<i>European Launch Development Organisation</i>
ERST	<i>Earth Resources Technology Satellite</i>
ESA	<i>European Space Agency</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ERS	<i>European Remote Sensing Satellite</i>
ESRO	<i>European Space Research Organisation</i>
FUNAI	Fundação Nacional do Índio
GEE	Gases do Efeito Estufa
GD	Geração Distribuída
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LAPIG	Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento da Universidade Federal de Goiás
LPT	Luz Para Todos
MME	Ministério de Minas e Energia
MSS	<i>MultiSpectral Scanner</i>
MW	<i>MegaWatt</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NIR	Infravermelho próximo
PCH	Pequenas Centrais Hidrelétricas
PND	Programa Nacional de Desestatização

PNEE	Plano Nacional de Eficiência Energética
RBV	<i>Return-Beam Vidicon</i>
REM	Radiação Eletromagnética
RGB	Red, Green and Blue
RI	Índice randômico de inconsistência
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
SAR	<i>Synthetic Aperture Radar</i>
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul
SNCR	Sistema Nacional de Cadastro Rural
SPOT	<i>Satellite Pour l'Observation de la Terre</i>
SR	Sensoriamento Remoto
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
SWIR	Infravermelho médio
TEP	Toneladas Equivalentes de Petróleo
TIROS	<i>Television Infrared Observation Satellite</i>
UC	Unidades de Conservação
UFV	Centrais geradoras solares fotovoltaicas
UHE	Usinas Hidrelétricas de Energia
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
WGS	<i>World Geodetic System</i>

Sumário

RESUMO	13
ABSTRACT	15
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	17
LISTA DE TABELAS.....	19
1 – INTRODUÇÃO	25
2 – OBJETIVOS	28
2.1 – Objetivo Geral	28
2.2 – Objetivos Específicos.....	28
3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	29
3.1 – CONCEITOS BÁSICA SOBRE SATÉLITES, SENSORES, SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO	29
3.2 – DESENVOLVIMENTO E EVOLUÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO.....	32
3.3 – CONTEXTUALIZAÇÃO ACERCA DE ÁREAS DEGRADADAS.....	36
3.4 – HISTÓRIA E LEGISLAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL.....	38
3.5 – PRINCIPAIS TIPOLOGIAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA NO BRASIL	46
3.5.1 HIDRELÉTRICAS.....	46
3.5.2 – TERMOELÉTRICAS: FÓSSEIS E BIOMASSA.....	48
3.5.3 - EÓLICA	50
3.5.4 – SOLAR	52
3.6 – DEMANDA, MATRIZ ENERGÉTICA E ELÉTRICA ATUAIS.....	54
3.6.1 – CENÁRIO ATUAL	54
3.6.2 – TRANSIÇÃO ENERGÉTICA.....	58
3.6.3 – CENÁRIO FUTURO.....	59
3.7 – REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA.....	61
3.8 – AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIOS AHP.....	78
4 – MATERIAIS E MÉTODOS	83
4.1 – ÁREA DE ESTUDO.....	83
4.2 – FATORES COMPARTILHADOS	83
4.3 – FATORES PARTICULARES À ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	89
4.4 – FATORES PARTICULARES À ENERGIA EÓLICA	91
4.5 – DETERMINAÇÃO DE PESOS UTILIZANDO AHP	91
4.6 – APITDÃO PARA PROJETOS SOLARES, EÓLICOS E PARA HÍBRIDOS.....	93
5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	94
5.1 – FATORES CONJUNTOS À GERAÇÃO SOLAR E EÓLICA: ÁREAS DEGRADADAS E ESPECIAIS	94

5.2 – FATORES CONJUNTOS À GERAÇÃO SOLAR E EÓLICA: INFRAESTRUTURA – RODOVIAS E LINHAS DE TRANSMISSÃO.....	104
5.3 – FATORES ASSOCIADOS A ENERGIA SOLAR	107
5.4 – FATORES ASSOCIADOS A ENERGIA EÓLICA	110
5.5 – ATRIBUIÇÃO DE PESO AS CAMADAS	111
5.5.1 – PESOS DAS CAMADAS LIGADAS A GERAÇÃO SOLAR.....	111
5.5.2 – PESOS DAS CAMADAS LIGADAS A GERAÇÃO EÓLICA.....	112
5.6 – ZONEAMENTO DAS ÁREAS APTAS A GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR	113
5.7 – ZONEAMENTO DAS ÁREAS APTAS A GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA	120
5.8 – ZONEAMENTO DAS ÁREAS APTAS A GERAÇÃO CONJUNTA DE ENERGIA SOLAR E EÓLICA	125
6 – Considerações finais.....	130
REFERÊNCIAS.....	132
APÊNDICE A – Cidades com aptidão solar boa ou excelente em áreas com indicativo de degradação sem restrições.	144
APÊNDICE B – Cidades com aptidão eólica boa ou excelente em áreas com indicativo de degradação sem restrições.	152
APÊNDICE C – Cidades com aptidão híbrida boa ou excelente em áreas com indicativo de degradação sem restrições.	153

1 – INTRODUÇÃO

Cada vez mais, perceptível ou não, o uso dos satélites e seus produtos está presente nas mais diversas atividades cotidianas. De forma direta ou indireta, está inserido em nosso dia a dia em momentos como, por exemplo, na comunicação, entretenimento e planejamento público (GUEDES, 2018).

O sensoriamento remoto (SR) e o geoprocessamento, técnicas que se destinam a detectar e caracterizar a superfície terrestre a distância (PÉREZ MARTÍN *et al.*, 2020), e a tratar esses dados com um objetivo específico (REGHINI & CAVICHIOLI, 2020), respectivamente, são práticas importantes e crescentes na área ambiental (GUEDES, 2018).

As atividades inclusas nas técnicas supracitadas visam à obtenção de informações relativas aos recursos naturais e meio ambiente. Tais aplicações são possíveis através de sensores que são instalados a bordo das plataformas em altitude – os satélites (DE ALMEIDA, 2010). O interesse em mapear grandes áreas da superfície surgiu concomitantemente a câmera fotográfica, mas o desenvolvimento do tema intensificou-se com as disputas geopolíticas da Guerra Fria, seguindo até os dias atuais (GUEDES, 2018; MELO, 2021).

Diante da enorme variedade de temas passíveis de pesquisa utilizando o imageamento por satélites, temos a evolução do uso do solo e como uma das principais. No que diz respeito ao território brasileiro, as discussões sobre o seu mapeamento e profundo conhecimento são objetos de pesquisas constantes de meios acadêmicos, políticos, econômicos e sociais (INÁCIO, BARBOZA & BRUNO, 2020).

Como uma subdivisão importante da ocupação do solo, a análise de regiões degradadas e sem uso social, político e econômico é ponto extremamente relevante. Áreas degradadas são aquelas que, segundo Brasil (2014), encontram-se impossibilitadas de retornar ao seu estado natural sem intervenção e que, mesmo com práticas intervencionistas, dificilmente será restaurada, apenas recuperada.

Dessa maneira, as mesmas podem ser direcionadas a novas utilizações como, por exemplo, a geração de energia. A geração de energia elétrica é tema muito importante, visto que a demanda nacional vem apresentando franco crescimento nos últimos anos, com projeções de aumento ainda maiores – podendo triplicar até 2050 (SANTOS, 2018). As imagens de satélite apresentam uma gama funcionalidades nas mais diversas áreas do planeta, inclusive na busca por locais para fontes sustentáveis de energia (REGINATO, 2020).

A Constituição Federal de 1988 garante a todos o acesso a bens e serviços públicos como forma de materialização de uma vida digna (BRASIL, 1988). Dentre os serviços que garantem esse direito, tem-se o acesso à energia elétrica que é fundamental às necessidades de qualquer indivíduo. Assim, a universalização do acesso a eletricidade – e a manutenção do suprimento – é um direito imprescindível à cidadania, gerador de desenvolvimento e inclusão (LEAL & ALVA, 2021).

Além do direito à energia, o direito ao meio ambiente e a proteção ambiental também são fundamentais e estão intrinsecamente ligados ao princípio da dignidade da pessoa humana. Assim, o caminho que une essas formas de pensar passa pela diminuição do uso de fósseis e uma maior utilização das energias renováveis (VASCONCELOS & MELLO, 2021).

A associação de sustentabilidade e eficiência energética é cada vez mais discutida, visto que a garantia de um futuro energético sustentável é um dos maiores desafios deste século. A relação entre estes temas não passa apenas pelo atendimento da demanda, mas em fazê-lo de forma a preservar os recursos naturais (ARAÚJO *et al.*, 2022).

A busca pela produção de energia sustentável, limpa e com baixa emissão de carbono é uma onda que se estende por todo o mundo, almejando a diminuição da dependência fóssil e melhora dos parâmetros ambientais, enquanto em concomitância com o aumento da produção, motivando assim diversos setores (LIANG *et al.*, 2023).

A energia renovável é aquela que utiliza as formas da natureza, sem agredir o meio ambiente e sem grandes estruturas logísticas de transporte na geração de energia elétrica. É a busca por um caminho mais sustentável onde há o pressuposto de que a energia é um meio para fins sociais e não um fim em si mesmo. (REGINATO, 2020).

A geração de uma energia limpa passa não só pela escolha das técnicas adequadas de geração de eletricidade, mas também pela escolha adequada de um local para implantação de uma “usina verde”. O processo de seleção de local deve ser muito bem estruturado, altamente planejado e pautado na não abertura de novas zonas de degradação podendo, sempre que possível, ser um local previamente degradado e sem geração de benefícios sociais para que a planta geradora seja um ponto de virada – de ônus para impacto ambiental, social e financeiro positivos.

Dessa maneira, apresenta-se muito relevante a utilização de técnicas e sensoriamento remoto e geoprocessamento no processo de proposição de novas áreas para geração de energia elétrica. Essa seleção deve ser feita levando em consideração todos os fatores causadores de impactos e buscando unir as benesses da geração com a reutilização

de áreas degradadas. Assim, a união destes coloca-se como extremamente relevante nas esferas sociais, políticas, econômicas e ambientais.

2 – OBJETIVOS

2.1 – Objetivo Geral

Realizar o zoneamento de áreas de pastagens com indicativo de degradação aptas a geração de energia solar e eólica visando a expansão de sistemas de produção de energia elétrica renovável. Para isso, levou-se em consideração índices de degradação, dados de recursos, infraestrutura instalada, aspectos morfológicos, sociais, políticos e culturais.

2.2 – Objetivos Específicos

Avaliar sistematicamente o estado da arte acerca da instalação de usinas de geração de energia elétrica renovável em áreas com o indicativo de degradação.

3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 – CONCEITOS BÁSICA SOBRE SATÉLITES, SENSORES, SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO

O sensoriamento remoto é a técnica que se destina a detectar e caracterizar a superfície terrestre a distância por meio da utilização de sensores, instalados em satélites, capazes de registrar, em imagens, a radiação eletromagnética da terra e seus componentes (PÉREZ MARTÍN, 2020). A utilização do SR é fundamental por possibilitar a identificação espacial acerca das mudanças em grandes áreas (CONGALTON *et al*, 2014 *apud* MIGUEL & SANO, 2019) com custo muito menor que os envolvidos na instalação, manutenção e operação de, por exemplo, uma estação meteorológica (MENDES, 2019).

O aumento da quantidade de satélites em órbita nas últimas décadas é um indicativo da importância dos mesmos. De 2009 a 2018, foram lançadas 2.298 novas plataformas e a expectativa é que de 2019 a 2028 esse número aumente para 9.935 (WOODS, 2020). Satélites são todos os objetos que orbitam em torno do outro com uma determinada órbita, podendo ser naturais – como a lua em torno da terra – ou artificiais – como os eletrônicos (FLORENZANO, 2008). Estes podem ter sua órbita descrita de duas principais maneiras: a primeira, como geoestacionária, quando o mesmo está parado em relação a terra, analisando sempre o mesmo ponto. A segunda, chamada de polar, é quando os satélites “varrem” a superfície da terra, de polo a polo (PÉREZ MARTÍN, 2020).

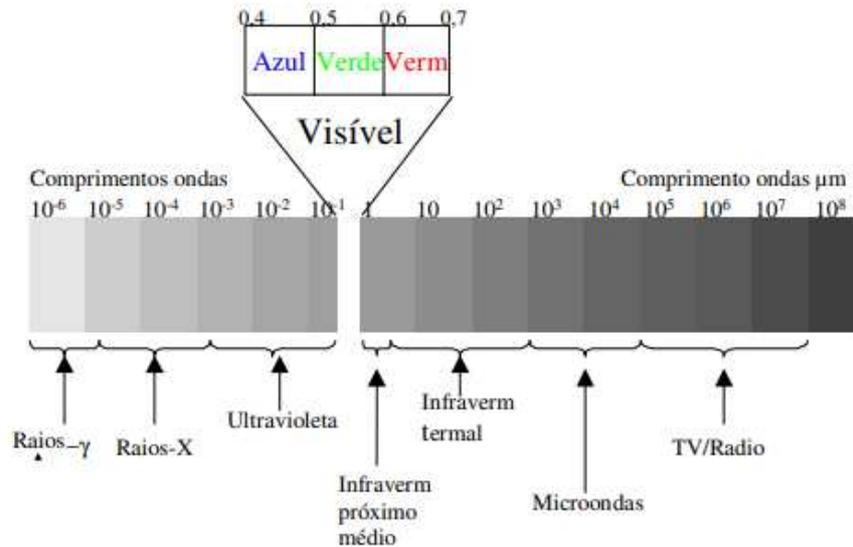
Um satélite é normalmente composto por três grandes partes: plataforma, que sustenta os equipamentos para seu funcionamento, o painel de fornecimento de energia, usualmente um painel solar, e a carga útil, local onde se encontrarão os sensores, antenas, transmissores, entre outros (FLORENZANO, 2008).

Os sensores são dispositivos que coletam informações através da radiação eletromagnética emitida ou refletida por um determinado objeto, também conhecido como alvo. Essa radiação é convertida em um sinal que deverá ser processado e transformado em imagens que, posteriormente, são tratados de acordo com o objetivo almejado (DE ALMEIDA, 2010). A principal fonte de energia eletromagnética na terra é o sol, todavia alguns sensores emitem sua própria, como é o caso dos radares (DAMEN, 2022).

A radiação eletromagnética (REM) consiste em um campo elétrico e um campo magnético que viajam na velocidade da luz e são descritos por dois principais parâmetros: comprimento de onda e intensidade (PÉREZ MARTÍN, 2020). Compreender a

segmentação do espectro magnético, em relação aos diferentes comprimentos de onda e frequência que compõe a luz, é muito importante pois cada segmento está relacionado – mais intimamente – com algum tipo de observação da terra. A Figura 1 apresenta o espectro eletromagnético da luz com suas principais e mais importantes divisões.

Figura 1 Espectro eletromagnético com comprimento de onda para cada uma das faixas



Fonte: Figueiredo (2005).

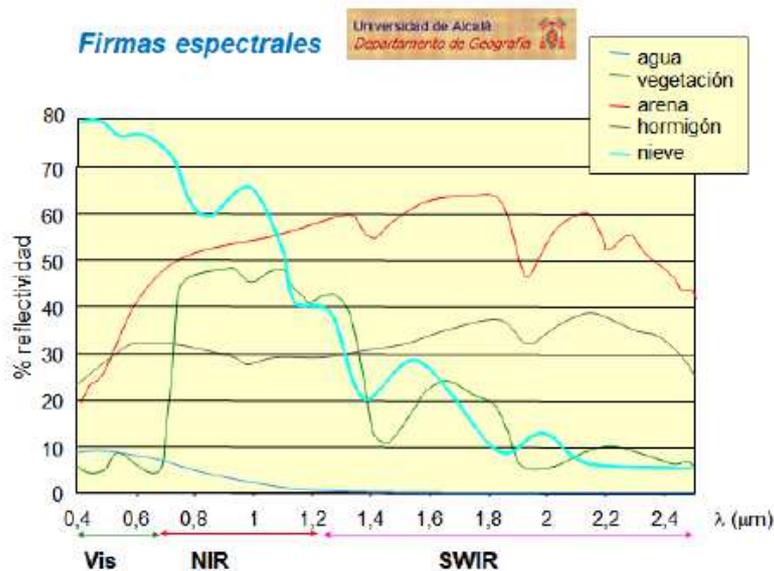
Os sensores são responsáveis por captar, em bandas, diversos comprimentos de onda do espectro e, após capturados, gerar diversas possibilidades de visualização por meio da combinação destas bandas na geração de imagens (PÉREZ MARTÍN, 2020). Para maior compreensão do tema, é importante diferenciar os dois tipos de REM: a irradiância é a que chega aos alvos e a radiância à que os deixa (FIGUEIREDO, 2005). A partir dessa definição sobre, é possível classificar os sensores como ativos – como por exemplo os radares – ou passivos – por exemplo, os sensores óticos.

Os passivos não emitem radiação, apenas captam a solar que é refletida pelos objetos da terra – captam a radiância dos objetos após receberem a energia do sol – e podem ser divididos em pancromáticos, multiespectrais e hiperespectrais, numa escala crescente de número de bandas captadas. Os ativos emitem radiação – REM artificial produzida por radares instalados nos satélites – e captam o retorno da energia refletida da mesma – podendo ser classificados pelo comprimento de onda em que trabalham: *Radio Detection And Ranging* (RADAR) para micro-ondas e *Light Detection And Ranging* (LIDAR) para comprimentos entre o infravermelho próximo e UV. A partir do uso dos sensores, podemos obter as assinaturas espectrais das distintas coberturas terrestres. (FIGUEIREDO, 2005; PÉREZ MARTÍN, 2020).

A assinatura espectral é uma característica molecular particular de cada objeto – ou alvo – que o sensoriamento remoto busca identificar, e está ligada com a interação entre os alvos e a REM incidente. Em cada alvo, os elétrons possuem uma forma de absorver a radiação e refletir em certas faixas do espectro eletromagnético, denominadas bandas de absorção, que possuem diferentes intensidades, larguras e localizações dentro do espectro (FIGUEIREDO, 2005).

A globo terrestre é formado por um conjunto muito heterogêneo de superfícies, cada uma delas com uma assinatura espectral própria (PÉREZ MARTÍN, 2020). Assim, é possível, por meio de diversas técnicas, trabalhar com dados que estão além da capacidade visual do olho humano. A Figura 2 apresenta as assinaturas espectrais de alguns dos alvos mais frequentes do sensoriamento remoto.

Figura 2 Assinaturas espectrais de algumas tipologias de superfícies terrestres.



Fonte: Pérez Martín (2020).

Legenda: Vis: Faixa do visível; NIR: Faixa do infravermelho próximo; SWIR: Faixa do infravermelho médio.

Tradução da legenda: reflectividad = refletividade; agua = água; vegetación = vegetação; arena = areia; hormigón = concreto; nieve = neve.

Os sensores captam faixas da terra e a largura destas varia com o ângulo de visada planejado ao sensor, podendo ser na faixa das dezenas ou até mesmo milhares de quilômetros. Essas “faixas de largura” são dispostas pelo caminho a ser orbitado e as imagens são varridas, pelo sensor, em linhas transversais ao sentido da órbita. Todas as faixas coletadas são decompostas em bandas e, dentro de cada banda, as linhas são fracionadas em parcelas quadradas denominadas *pixel* (FIGUEIREDO, 2005).

O tamanho *pixel* é uma característica que é variável ao sensor a ser utilizado, correspondendo a menor parcela a ser imageada, sendo indivisível, ou seja, impossível de identificar um algo dentro do mesmo, menor que suas dimensões – ou resolução espacial. Além da resolução espacial, cada conjunto satélite/sensores possui também uma resolução temporal. Esta é responsável por definir qual o período necessário para que a mesma área seja revisitada.

O produto final, as imagens, é obtido pela combinação das bandas, como por exemplo as mais usuais: cor natural – combinação das bandas do vermelho, verde e azul (RGB) –, pseudo cor natural – inserção da banda do infravermelho para ajudar a identificação da vegetação – e falsa cor infravermelha – combina o infravermelho próximo, vermelho e verde (PÉREZ MARTÍN, 2020).

O sensoriamento remoto caracteriza-se então como uma técnica extremamente relevante aos que analisam a superfície terrestre, independente do produto esperado. Quase sempre utilizado em concomitância, o Geoprocessamento é a ciência que utiliza os produtos do SR, tratando-os de maneira georreferenciada, com base em metodologias, fórmulas e processos validados para produzir resultados com base nos dados de entradas obtidos pelo sensoriamento.

3.2 – DESENVOLVIMENTO E EVOLUÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO

O início do sensoriamento remoto está conectado com a invenção da câmera fotográfica – que se deu, ainda que de forma primitiva em 1822 –, que levou a possibilidade de realizar o imageamento por tomadas elevadas. No final do século XIX e início do século XX, câmeras foram colocadas em pombos que eram soltos em locais estratégicos. Vale ressaltar que, assim como diversas tecnologias, o desenvolvimento e evolução do tema está ligado ao uso militar e o uso dos animais esteve relacionado à observação de tropas inimigas em campos de guerra. Após, os pombos deram lugar aos balões não tripulados que, já na metade do século, vieram a serem substituídos por aviões, como por exemplo o modelo americano *U2*, completamente carregado de sensores. A grande revolução inicia-se na década de 1950 e consolida-se na de 1970, com o lançamento dos satélites (FLORENZANO, 2008).

Em 1958 o congresso dos Estados Unidos cria a *National Aeronautics and Space Administration*, popularmente conhecida como NASA. Juntamente a sua criação é projetada a “Missão ao Planeta Terra” que objetivava o aprimoramento das tecnologias aeroespaciais aplicada em diversos setores como, por exemplo, recursos naturais e uso e ocupação da terra (MELO, 2021).

Em 1960 a NASA lança o *Television Infrared Observation Satellite* (TIROS), o primeiro satélite de órbita polar onde foi realizada a instalação e utilização do primeiro sensor (MELO, 2021). Ainda neste ano, cientistas de dez países europeus iniciaram uma comissão com representantes de seus países com o objetivo de definir uma possibilidade de cooperação acerca de um programa europeu compartilhado visando estudos espaciais. Essa reunião culminaria, nos anos seguintes, na *European Space Research Organisation*, ou ESRO, e na *European Launch Development Organisation*, também conhecida por ELDO, que viriam a lançar satélites e realizar estudos sobre o tema (EUROPEAN SPACE AGENCY, 2022a).

Após anos de estudos e avanços muito relevantes acerca do tema, principalmente pelas duas potências militares opostas – EUA e URSS – mas também de outros países como Japão e China, em 1972 a NASA apresenta o programa *Earth Resources Technology Satellite* (ERST). A evolução acerca do tema na década de 1970 foi tão grande que se criou, pela editora tradicional *Elsevier*, uma revista científica específica ao tema, a *Remote Sensing of Environment* (MELO, 2021).

O ERST, em 1972, foi responsável por satélites com sensores inovadores com resolução espacial de 80 metros, área imageada por cena de 185 km², divulgação de dados de maneira ágil e pioneira. Três anos mais tarde, a NASA modifica o nome do programa e cria aquele que seria um dos maiores marcos de sua existência, o LANDSAT. O primeiro satélite e seus sensores acoplados então passam a serem conhecidos como Landsat-1 (MELO, 2021). Em 1972, a existência de duas agências para o continente europeu termina com o desmantelamento do ELDO. Todavia, três anos mais tarde, a união dos pesquisadores dos programas ELDO e ESRO dá início à *European Space Agency* – ESA (EUROPEAN SPACE AGENCY, 2022a).

Uso de sensoriamento remoto via radar foi utilizado no Brasil pela primeira vez pelo projeto RADAMBRASIL na década de 1970 para o mapeamento dos recursos naturais do país. Esse projeto foi planejado inicialmente apenas para a região amazônica mais foi estendido para o país todo em 1975 (SANO *et al.*, 2020).

Também em 1975, é projetado o Landsat-2, com os mesmos parâmetros do primeiro. Após novamente três anos, em 1978, é lançado o Landsat-3, este com dois novos sensores, o MSS e RBV, apresentando resolução espacial de 80 e 40 metros, respectivamente. Ainda neste ano, é realizado o lançamento dos satélites TIROS-N e o SEASAT, direcionado para fins oceanográficos e com o primeiro sensor de Radar – SAR. Este foi um marco para a classificação dos satélites, passando-se a adotar a nomenclatura

de sensores como ativos ou passivos. Em 1978 outros países passam a compor a história do imageamento por satélite de maneira mais robusta como a Índia e, por meio de uma tripla parceria, França, Bélgica e Suécia (MELO, 2021).

Em 1982 no lançamento da quarta geração Landsat, uma nova evolução: um sensor com melhor resolução espacial, agora de 30 metros, o *Thematic Mapper*. Em 1984, o Landsat-5 é lançado, ausente de inovações em seus parâmetros relativos à geração precedente (MELO, 2021). A série SPOT foi desenvolvida pelo Centro Nacional de Estudos Espaciais da França com seu primeiro lançamento, SPOT 1, em 1986, para o monitoramento da superfície terrestre, com resoluções espacial inovadoras de 10 e 20 metros (PÉREZ MARTÍN, 2020). Este dá início a inovações como sensores pancromáticos, aquisição de imagens em planos oblíquos verticais, menor tempo de revisita, entre outras (MELO, 2021).

Os próximos anos não apresentam grandes revoluções, apesar de apontarem a manutenção dos programas pelas principais agências. No fim da década de 1980, URSS e Índia fazem lançamentos com *Kosmos-1870* e *Indian Remote Sensing*, respectivamente. No princípio da década de 1990, a França continua sua linha com mais três satélites – SPOT-2, SPOT-3 e SPOT-4 – e Japão e Canadá lançam seus satélites (MELO, 2021).

Nos anos 1990, a ESA realiza o lançamento dos satélites ERS 1 e ERS 2, muito importantes à agência. Desde sua criação, diversos países entram no grupo dos participantes e/ou colaboradores da ESA, fortalecendo sua pesquisa, incluindo o Brasil, anos mais tarde em 2002. Entretanto, é em 2014 que o programa SENTINEL é criado e apresenta grande progresso à temática para a agência espacial europeia (EUROPEAN SPACE AGENCY, 2022a).

A linha SENTINEL atualmente trabalha com três principais famílias intituladas de Sentinel-1, Sentinel-2 e Sentinel-3. Os satélites Sentinel-1 – 1A lançado em 2014 e 1B dois anos mais tarde – são aplicados ao monitoramento terrestre e oceânico e levam a bordo sensores de radar. O par de satélites Sentinel-2 – lançados em 2015 e 2017 – foi direcionado ao monitoramento da vegetação, solos e áreas costeiras e é dotado com sensor óptico de alta resolução espacial. Já a terceira série, lançada em 2016 e 2018, é adequada ao monitoramento marinho e carrega sensores ópticos e radares (EMBRAPA TERRITORIAL, 2018a). A Tabela 1 apresenta os principais eventos relativos a esta evolução temporal do SR e suas datas de ocorrência.

Tabela 1 Principais datas dos acontecimentos históricos relativos ao sensoriamento remoto.

Ano	Evento	Ano	Evento
1822	Advento das câmeras primitivas.	1990	Lançamento do SPOT-2.
1859	Uso de animais e balões para captura de imagens aéreas com intuíto militares.	1991	Lançamento do ERS-1.
1903	Imagens aéreas com intuíto cartográficos.	1993	Lançamento Landsat-6.
1909	Imagens aéreas por meio de aviões.	1993	Lançamento do SPOT-3.
1940	Primeiros equipamentos sensíveis a radiação nas faixas do infravermelho.	1995	Lançamento do ERS-2.
1944	Primeiros equipamentos multiespectrais.	1998	Lançamento do SPOT-4.
1958	Criação da NASA e o do programa "Missão ao Planeta Terra".	1999	Lançamento Landsat-7.
1960	Cientistas de 10 nações europeias e conceituam a ESRO e ELDO, precedentes da ESA. Lançamento do TIROS-1, pela NASA.	2002	Entrada do Brasil como país cooperante à ESA.
1961	Primeiros processadores ópticos e digitais.	2002	Lançamento do SPOT-5.
1962	Desenvolvimentos de veículos não tripulados e satélites.	2012	Lançamento do SPOT-6.
1964	Criação documentada da ELDO e ESRO.	2013	Lançamento Landsat-8.
1972	Programa ESRT faz o lançamento da série LANDSAT, com seu primeiro satélite, o Landsat-1.	2014	Lançamento do SPOT-7.
1975	Mapeamento por radar dos recursos naturais brasileiros pelo projeto RADAMBRASIL.	2014	Lançamento Sentinel-1A.
1975	Lançamento Landsat-2.	2015	Lançamento Sentinel-2A.
1978	Lançamento Landsat-3.	2016	Lançamento Sentinel-3A.
1982	Lançamento Landsat-4.	2016	Lançamento Sentinel-1B.
1984	Lançamento Landsat-5.	2017	Lançamento Sentinel-2B.
1986	Lançamento do SPOT-1 pelo Centro Nacional de Estudos Espaciais da França.	2018	Lançamento Sentinel-3B.

Fonte: Elaboração própria adaptado de Embrapa Territorial (2022a), Embrapa Territorial (2022b), Embrapa Territorial (2022c), European Space Agency (2022a), European Space Agency (2022b), European Space Agency (2022c), European Space Agency (2022d), Figueiredo (2005), Melo (2021), NASA (2022), Pérez Martín (2020) e Sano et al (2020).

Legenda: NASA: National Aeronautics and Space Administration; ELDO: European Launch Development Organisation; ESRO: European Space Research Organisation; ESRT: Earth Resources Technology Satellite; ESA: European Space Agency.

3.3 – CONTEXTUALIZAÇÃO ACERCA DE ÁREAS DEGRADADAS

A degradação da superfície é um problema de escala global, responsável por gerar ônus sociais, econômicos e ambientais em todas as escalas (GONÇALVES, FRANCISCO & VIEIRA, 2013). O processo de degradação de uma área não é um problema simples, estando relacionado principalmente a uma perda da produtividade biológica e econômica (LANFREDI *et al.*, 2015).

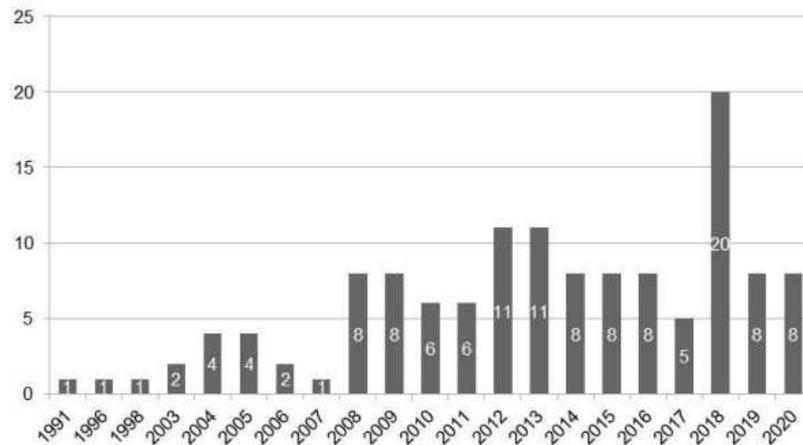
A vegetação, dentre todas as tipologias de cobertura da superfície terrestre, é a que apresenta maior importância, por ser essencial a todo ecossistema, sendo peça chave na biosfera e atmosfera (ZHENG *et al.*, 2022). O estado de degradação tem sua causa, quase que em sua totalidade, por conta de atividades antrópicas (GIBBS & SALMON, 2015).

Degradação normalmente é um termo utilizado para englobar diversas formas que o solo pode se encontrar prejudicado como, para citar algumas, salinização, erosão, compactação e desertificação (GIBBS & SALMON, 2015), sendo a última o estágio máximo de dano que o uso indiscriminado pode levar (REIS, DO VALE & LOBÃO, 2009).

Cada vez mais, tem se buscado quantificar as áreas degradadas no Brasil e no mundo, visando conhecer seu posicionamento geográfico e, de maneira quase sempre sequencial, entender as causas e o nível da degradação. Nesse contexto, regiões afetadas por esse problema acabam ocupando posição central nos debates globais, visto que as demandas, principalmente de comida e energia, apresentam aumento considerável e tais áreas passam a ser vitais no atendimento destas (GIBBS & SALMON, 2015).

Um fator muito relevante e extremamente importante nas pesquisas que envolvem o tema é o uso dos satélites e das técnicas de sensoriamento remoto/geoprocessamento no gerenciamento das áreas (GIBBS & SALMON, 2015). Essas técnicas fazem-se muito úteis justamente pelo fato de a degradação atingir grandes áreas. A Figura 3 mostra a frequência absoluta da produção científica sobre cobertura do solo com o uso do geoprocessamento, partindo de 1990 e indo até 2020 – o último ano não sendo considerado em sua totalidade.

Figura 3 Frequência absoluta da evolução da produção científica sobre sensoriamento remoto e uso e cobertura da terra de 1991 a 2020.

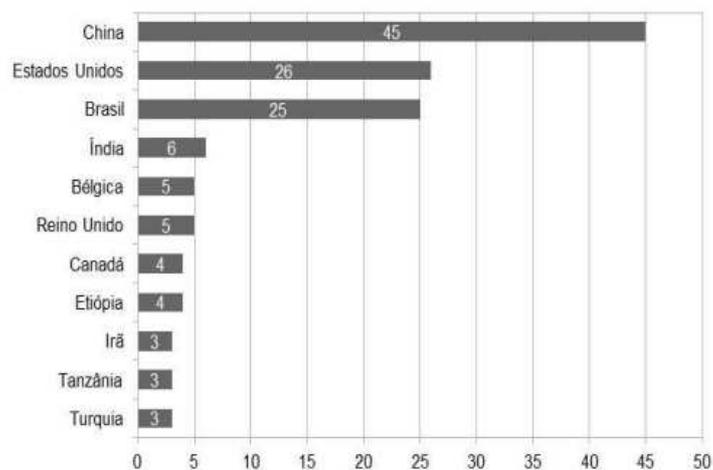


Fonte: Inácio, Barboza & Bruno, 2020.

O gráfico de Inácio, Barboza & Bruno (2020) mostra muito claramente como o tema vem sendo objeto de pesquisa de maneira crescente nos últimos 30 anos, muito por conta dos problemas associados com a “perda” dessas áreas – aumento da demanda de comida e energia.

No que diz respeito ao território brasileiro, as discussões sobre o seu mapeamento e profundo conhecimento são objetos constantes de meios acadêmicos, políticos, econômicos e sociais (INÁCIO, BARBOZA & BRUNO, 2020). Para corroborar com isso, a Figura 4 mostra como o Brasil apresenta destaque na produção científica sobre essa temática.

Figura 4 Frequência absoluta do número de produção científica por países sobre sensoriamento remoto e uso e cobertura da terra de 1991 a 2020.



Fonte: Inácio, Barboza & Bruno, 2020.

No Brasil, grande parte das áreas degradadas vem da má utilização em processos agropecuários. Historicamente, estes fazem uso da terra de maneira intensiva e

descuidada, abrindo novas fronteiras agrícolas – e novas zonas de desmatamento – quando a área atinge seu esgotamento e abandonando esse enorme passivo. A título de exemplificação, no ano de 2000, Muller *et al.* (2004) estimou que mais de 90% de todo desmatamento amazônico estivesse ligado a pastagem, o que gerou, além de um enorme passivo ambiental, uma grande quantidade de terras abandonadas, degradadas e sem função social.

A identificação das áreas degradadas é o passo inicial para buscar um novo fim para uma região que nada gera ao meio ambiente e sociedade. Essas áreas podem ser revitalizadas, que seria, conforme Zienkiewicz & Podciborski (2021) a combinação de medidas para transformar o problema com projetos de grande, médio ou pequeno porte visando restabelecer novos ambientes. Buscar a revitalização destas áreas com novas usinas sustentáveis é uma ação geradora de impactos positivos como suprimento de demanda e geração de empregos.

3.4 – HISTÓRIA E LEGISLAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

A energia elétrica no Brasil teve início na década de 1880, com instalações de iluminação pública e particular. No início, os concessionários do setor eram os pequenos produtores e pessoas ligadas a agricultura e exportação, organizados em empresas municipais de geração termoelétrica – em sua maioria. No aproveitamento hidrelétrico, a pioneira no Brasil foi a usina de Marmelos, na cidade mineira de Juiz de Fora, em 1889. Já nos primeiros anos do século XX, a urbanização do país, em especial do Sudeste, atraiu investimentos estrangeiros no setor, substituindo muitas vezes o que estava a cargo até então dos empresários nacionais e prefeituras (CORRÊA, 2005).

As primeiras concessões de serviços de energia aconteceram ainda no Segundo Reinado (até 1889), contudo é apenas em 1903 que surge o primeiro texto de lei versando sobre o tema. A Lei nº 1.145 autoriza o governo federal a promover, administrativamente ou sob concessão, o aproveitamento da força hidráulica para geração de eletricidade. Em dezembro de 1904, o Decreto 5.407 regulamenta de fato o aproveitamento da força hidráulica e estabelece as primeiras regras da outorga (CORRÊA, 2005).

Em 1907 surge o primeiro projeto para o que viria a ser o Código das Águas, com a discussão sobre águas particulares e públicas, propondo a exploração de outorgas por parte da União, estados e municípios, o que deixava nas mãos do poder público os aproveitamentos hidrelétricos. Este foi um projeto de longa discussão e pouca efetivação, sendo discutido até 1923 e depois não mais incluído nos debates. O tema voltou a ser relevante com a grande crise de energia de 1924 e 1925 em São Paulo, que retomou a

discussão e culminou, em fevereiro de 1931, na elaboração do novo projeto do Código das Águas, aprovado em julho de 1934. Tal aprovação foi de muita importância, visto que neste ano a capacidade instalada de base hidrelétrica já era de aproximadamente 80% do total de geração (CORRÊA, 2005).

A década de 1930 é um marco para as políticas públicas ambientais no Brasil, muito pelos documentos normativos ligados a gestão dos recursos naturais, como o já citado Código das Águas, de 1934 – que foi fundamental para o primeiro Código Florestal, em 1969 –, visando o melhor uso econômico (MOURA, 2016).

No que tange o setor de energia elétrica, havia a falta de um documento norteador. Além disso, o serviço prestado pelas multinacionais era defasado e caro, levando a críticas por parte da população e dos empresários. Nesse contexto, o Código das Águas é um divisor de águas por atender aos interesses do empresariado brasileiro, classes média e trabalhadora, uma vez que regulou os serviços e o preços (NETO, 2015).

O código das águas é o marco de entrada do governo no setor de produção de energia elétrica, uma vez que antes deste não havia decreto ou menção na constituição que discutisse sobre utilização de recursos hídricos para fins de geração de eletricidade (NETO, 2015). Foi neste decreto que passou a diferenciar a propriedade do recurso hídrico gerador de energia das posses de terra, fazendo do primeiro um patrimônio nacional, sendo necessário, conforme expresso no Art. 139, regime de autorização e concessão.

O período de 1880 até 1930 é marcado pelo monopólio das empresas privadas, com empreendimento nacionais, nos anos iniciais, e estrangeiros, com predomínio do capital exterior após a década de 1920. Esse monopólio foi marcado fortemente pelo Grupo *Light*, que chega no Brasil em 1899, na cidade de São Paulo e em 1905 no Rio de Janeiro, e que rapidamente adquire diversas empresas nacionais. A concorrência da *Light* na década de 1920 – corroborando com o monopólio estrangeiro – se dá pela *Amforp* que, em 1927, chega ao Brasil comprando diversas empresas nacionais que, entendendo sua incapacidade de expandir, tinham alto interesse em vender (GOMES & VIEIRA, 2009).

Os 15 anos seguintes, até 1945 representaram uma mudança, guiada tanto por fatores internos – Era Vargas – quanto externos – Crise de 1929. O Governo Vargas modifica totalmente o papel do Estado brasileiro, aumentando a atuação nacional e centralizando decisões do setor para a União, estagnando investimentos externos e travando as políticas de expansão da *Light* e da *Amforp*. Em 1937 com o início do Estado Novo, as empresas estrangeiras são restringidas e avança-se as condições para fomento

e expansão do mercado interno, embora esse ato tenha causado dificuldades, uma vez que o domínio do mercado pertencia a dupla estrangeira (GOMES & VIEIRA, 2009).

O primeiro órgão brasileiro com função de regular e normatizar a energia no país foi o Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica (CNAEE) foi criado em 1939, com intuito de fazer cumprir o que foi estabelecido cinco anos antes com o Código das Águas. Ponto importante desse conjunto de legislações foi a mudança jurídica que os recursos hídricos tiveram, diferenciando a propriedade das águas dos bens e terrenos. Tal mudança foi importante por definir o regime de concessões para aproveitamento hidrelétricos, sendo ponto de partida da criação da estatal Companhia Hidro-Elétrica do São Francisco (CORRÊA, 2005).

De 1940 até 1954, mesmo com todas as mudanças políticas que houve durante os anos – principal delas com o fim do Estado Novo – foram firmados 287 acordos que se dirigiam as empresas de energia elétrica. Esses acordos versavam sobre diversos temas como, por exemplo, tributação especial, isenções de impostos, taxas sobre KW, tarifas e classificações das águas. Dentre as políticas mais relevantes do período, temos o projeto que culminou no Decreto-Lei nº 2.059/1940 que subordinou à deliberação do CNAEE a realização de aplicações, modificações e construção de linhas (CORRÊA, 2005). O pós-Estado Novo apresenta poucas modificações com Dutra e – novamente – Vargas, mas tem alteração no governo de Kubitschek.

O período JK iniciado em 1956, foi marcado por grande crescimento econômico e isso esteve diretamente conectado a projetos no setor de energia elétrica, com construção de diversas hidrelétricas, financiamento do Banco Mundial e criação do Ministério de Minas e Energia (MME), que incentivou muito as empresas estaduais de Sul e Sudeste. Em 1962 o setor começa a ser mais institucional com a criação das Centrais Elétricas Brasileiras, a Eletrobrás, como uma grande empresa do setor, embora a maior influência ainda estivesse com *Light* e *Amforp* (GOMES & VIEIRA, 2009).

O período de 1963 a 1979 altera a história do setor com mudanças na Eletrobrás e a ditadura militar, levando a “nacionalização” do setor. Em 1964 a Eletrobrás adquire todas as empresas do grupo *Amforp* e repete a ação com a *Light*, em 1979. Em 1968 é criada a Eletrosul e cinco anos mais tarde a Eletronorte. Ainda nesse período foi criada a Usina de Itaipu. Esse período compreende o que ficou conhecido como o “milagre brasileiro” (GOMES & VIEIRA, 2009).

Seguido pelo período de gastos descontrolados, o início dos anos 1980 viram uma curva descendente no crescimento econômico, o que afetou também o crescimento

energético. O período de 1980 a 1992 ficou marcado pela dificuldade das empresas de realizar obras e projetos visto seu grande endividamento. A redemocratização e a Constituição Federal de 1988 visaram legitimar mais os estados e suas empresas, contudo, no início, o que houve foi uma grande inadimplência geral que agravou a crise e colocou o setor em situação ainda mais delicada no princípio de 1990 (GOMES & VIEIRA, 2009).

No âmbito legal, foi com a Constituição Federal de 1988 que houve a garantia do acesso à energia elétrica como direito fundamental a todos os indivíduos. Dessa maneira, tornou-se inconstitucional não buscar a universalização do acesso – e sua manutenção – uma vez que tal é imprescindível e gerador de desenvolvimento e inclusão (LEAL & ALVA, 2021).

Na década de 1990, inicia-se a caminhada para ampliação da matriz energética nacional. O primeiro passo para tal acontece no ano de 1990 com a criação do Programa Nacional de Desestatização (PND), por meio da Lei nº 8.301, que encerra o monopólio do Estado no setor e dá início às concessionárias privadas na produção de energia (JUNIOR & MOREIRA, 2020). Em 1992 foi instalada a primeira turbina para geração de energia eólica no Brasil, no arquipélago de Fernando de Noronha (BRASIL, 2008). Seis anos mais tarde, em 1998, foi implantado o primeiro parque eólico brasileiro, no Ceará (TURKOSVSKA *et al.*, 2021).

O período de 1993 a 2002 apresenta-se com uma grande crise política – impeachment de Collor como fator mais marcante –, financeira e um grande desafio nas mãos do presidente Itamar Franco: a crise institucional instalada no setor elétrico. Ponto importante visando resolver o cenário foi a Lei nº 8.631/1993 que visou suprimir a equalização da tarifa, criando condições de conciliar os débitos e créditos entre todos os agentes do setor. Outro ponto de destaque foi em 1995 com a criação da Lei das Concessões, que ajudou a definir os critérios de concessão dos serviços públicos como energia elétrica que, a partir desta, seriam após licitação. Começaram então as privatizações (GOMES & VIEIRA, 2009).

O CENSO 2000 mostrou que a realidade nacional era de desigualdade no fornecimento de energia, existindo cerca de 10 milhões de pessoas sem luz – em sua maioria zonas rurais. Neste período, houve o primeiro ato estruturado visando lidar com a exclusão elétrica no Brasil, a Lei Federal 10.438 de 2003, o Luz Para Todos (LPT) (FERREIRA & SILVA, 2021). Estima-se que o investimento total do LPT ultrapassou os 22 bilhões de reais com resultados consideráveis na expansão do atendimento no campo,

embora tenha causado poucas alterações na diversidade da matriz. O programa foi também importante por gerar a possibilidade de ofertar outras possibilidades como o Inclusão Digital e Fortalecimento da Agricultura Familiar (LEAL & ALVA, 2021).

Passou a buscar-se então formas de atrelar o direito a energia com a proteção ao meio ambiente, algo que também é constitucionalizado como direito. Ações governamentais nessa direção, no Brasil, iniciaram no início dos anos 2000 com a Lei 10.295/2001, onde tem-se a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. No ano seguinte, é publicado o importante Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica, o PROINFA, por meio da Lei 10.438/2002 (VASCONCELOS & MELLO, 2021) e posteriormente revisado e ajustado pela Lei 10.762/2003 e Decreto 5.025/2004 (DUTRA & SZKLO, 2008).

O PROINFA surge atrelado a ideia de avanço econômico em concomitância com bases verdes, visando a utilização de políticas públicas para alavancar energia sustentável e ajustar esses conceitos a produção econômica. Esse ajuste, além de colocar a produção renovável dentro dos parâmetros adequados, também incluiu o país dentro dos interesses de órgãos mundiais como, por exemplo, o Banco Internacional de Desenvolvimento, o BID (JUNIOR & MOREIRA, 2020).

O PROINFA foi pensado como um programa de duas etapas, uma de curto – primeira fase – e outra de longo prazo – segunda fase. A primeira lidou com a estimulação de contratos de 15 anos de duração para produção de energia pelas tipologias eólica, hidroelétrica de pequena escala e baseadas no uso da biomassa. A segunda fase foi baseada no audacioso objetivo de abastecer 10% dos brasileiros com energia dessas fontes renováveis após 20 anos. Ainda, o Programa ajudaria o desenvolvimento do parque industrial nacional ao incentivar o uso de equipamentos aqui produzidos e criar vagas de empregos (DUTRA & SZKLO, 2008).

Em sequência, são promulgadas também novas Leis visando a continuidade e aplicabilidade do PROINFA, como é o caso das Leis nº 10.847/04 e 10.848/04 que instituíram determinações sobre a comercialização da energia elétrica no Brasil, aumentando a sustentabilidade e atendendo a anseios do mercado (JUNIOR & MOREIRA, 2020).

No período de 2002 a 2010, o Brasil realizou 37 eventos de contratação, negociando 6.237 TWh ou aproximadamente 730 bilhões de reais, o que representou um aumento de quase 100% da capacidade instalada no país. Foi um período que também contemplou a adoção de novas práticas de produção de energia, amparadas por leis que

visavam diversificar a matriz energética (SILVA, 2011). De 2000 para 2010, o atendimento no fornecimento de energia no meio rural evoluiu de 70% para mais de 90%, enquanto no meio urbano o aumento foi de 99,0% para 99,8% (RACHTER & ROCHA, 2022).

O Decreto nº 5.163/2004 instituiu que a comercialização de energia elétrica possa ser feita de duas maneiras, por meio de dois ambientes: o de Contratação Regulada, ou ACR, e o de Contratação Livre, ou ACL (BRASIL, 2022a). O primeiro ambiente refere-se àqueles consumidores que compram a energia diretamente da distribuidora local enquanto o segundo, o ACL, versa sobre os que podem escolher o fornecedor de energia seja ele a distribuição local ou ligação a rede básica de transmissão. Por questão logística, os que podem estar no ACL são os que consomem valores iguais ou superiores a 2.000 kW ou aqueles acima de 500 kW desde que a energia seja proveniente de fontes incentivadas como PCH, solar, eólica, biomassa e cogeração qualificada (BORGES & SALLES, 2020).

Dando continuidade ao que foi preconizado pela PROINFA, em 2011 o governo federal propôs o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEE), um estudo que projetou o aumento do consumo e demanda no Brasil e focou no desenvolvimento das formas de produção solar, biomassa, pequenas hidrelétricas e eólicas (DE MELLO *et al.*, 2013).

O programa Luz Para Todos foi posteriormente, por meio de decretos, prorrogado até 2014 – Decreto nº 7.520/2011 –, novamente até 2018 – Decreto nº 8.387/2014 – e por fim até 2022 – por meio do Decreto nº 9.357/2018 (BRASIL, 2023f).

Atualmente, o setor elétrico nacional tem sido conduzido, por meio das políticas públicas, para um mercado competitivo e mais plural em suas matrizes, buscado o alinhamento com a redução dos impactos ambientais (SOARES, 2020).

Em 2022, o Ministério de Minas e Energia abriu o mercado para os consumidores de alta tensão, por meio da Portaria 50/2022, visando que os mesmos tenham liberdade de escolha e busquem melhores preços. A liberalização permite a eles, não só os que estão acima do 500 kW e com energia verde, possam escolher seu fornecedor e, dessa forma, migrem ao mercado livre. A tendência futura está na abertura total do mercado, permitindo que todos os consumidores de energia elétrica – não só alta tensão – ingressem ao mercado livre (BRASIL, 2022b).

Em 04 de agosto de 2023, o Governo Federal anunciou a volta do Luz para Todos, com o planejamento de beneficiar de 350 a 500 mil famílias até o final de 2026. O foco

do LPT estará com atenção especial para as regiões do Norte do país, principalmente aquelas mais remotas da Amazônia Legal, sempre realizando ações em busca da universalização do acesso à energia elétrica (BRASIL, 2023b). Uma breve linha do tempo acerca do histórico e legislações principais do setor pode ser observada na Figura 5.

Figura 5 Linha do tempo acerca da energia elétrica no Brasil.



Fonte: Elaboração própria.

3.5 – PRINCIPAIS TIPOLOGIAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA NO BRASIL

Conforme supracitado, a energia hidrelétrica é a base da geração elétrica brasileira. Contudo, o país vem buscando a diversificação da matriz, visando a garantia de uma maior segurança energética, principalmente levando em conta as mudanças climáticas e todas as alterações em regimes hidrológicos causadas por tal. Essa busca caminha no sentido de tipologias que prezem pela baixa emissão de carbono.

3.5.1 HIDRELÉTRICAS

A energia gerada por meio da força das águas é atual e historicamente a principal tipologia brasileira. De acordo com dados de 2023 (BRASIL, 2023a), aproximadamente 57% de toda eletricidade nacional é advinda desta consolidada metodologia. As características físicas e grande disponibilidade de recursos hídricos fazem do Brasil a terceira nação com maior potencial hidráulico do mundo, o que foi e é amplamente utilizado na matriz elétrica do país (DE QUEIROZ, 2013).

Usinas hidrelétricas funcionam, de maneira resumida, usando a força da água para movimentar uma série de turbinas. Essa movimentação gera energia cinética, que será transformada então em eletricidade por meio de geradores. Para construção e operação de uma hidrelétrica, diversas variáveis são analisadas como, por exemplo, altura da queda d'água, capacidade, tipo de turbina, tipo de reservatórios, entre outros (BRASIL, 2008).

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) divide em três as usinas, de acordo com sua potência instaladas: as Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH) – até 1 MW –, as Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) – entre 1,1 MW e 30 MW – e as Usinas Hidrelétricas de Energia (UHE) – superiores a 30 MW (BRASIL, 2008).

Em 2008, o Brasil possuía 227 CGH com geração de 146 MW; 320 PCH com potência total de 2.381 MW e 159 unidades de UHE gerando 74.851 MW (BRASIL, 2008). De acordo com a ANEEL (BRASIL, 2023c), existem em operação 689 CGH em operação, com uma potência fiscalizada total – ou seja, potência do empreendimento – de 859 MW, mais 4 em fase de construção com potência outorgada de 11 MW e 1 autorizada, mas com construção não iniciada que virá a ter potência de 3,696 MW. As PCH constituem um total de 426 usinas em operação, com potência fiscalizada de 5.782 MW, mais 29 em construção com potência outorgada de 366 MW e 77 autorizadas com construção não iniciada e planejamento de geração de 1.073 MW. As UHE somam um total de 221 usinas, com potência fiscalizada de 103.580 MW, com 1 em fase de construção no Mato Grosso e capacidade de 49 MW e mais 5 autorizadas, mas sem obra iniciada que geraram 354 MW.

Embora a maior geração sejam em UHE, seu tamanho inviabiliza a proximidade a grandes centros, além de causar um número maior de impactos socioambientais, mostrando a importância das CGH e PCH no atendimento de pequenos consumidores, comunidades afastadas e até unidades industrial e comerciais (BRASIL, 2008). No que diz respeito apenas a geração hidráulica, a potência está concentrada quase que inteiramente nas Usinas Hidrelétricas de Energia, com quase 94% concentrada nessas usinas, mesmo que o número destas seja bem inferior, representando apenas 15% do total (BRASIL, 2023c). A Tabela 2 faz uma comparação da evolução da geração hidrelétrica no Brasil.

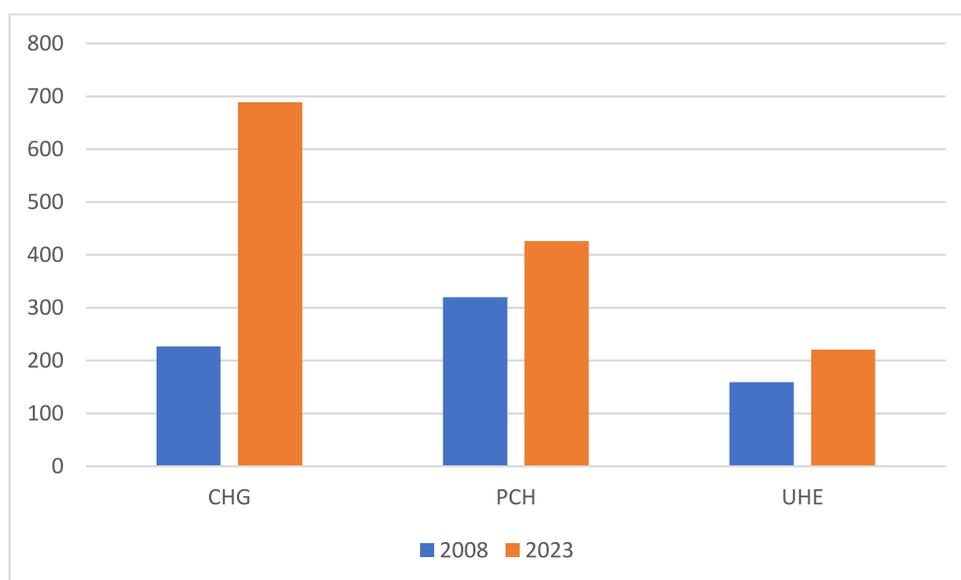
Tabela 2 Evolução da geração hidrelétrica por divisão.

Unidades	CHG	PCH	UHE
2008	227	320	159
2023	689	426	221
Variação	304%	133%	139%
Potência (MW)	CHG	PCH	UHE
2008	146	2.381	74.851
2023	859	5.782	103.580
Variação	588%	243%	138%

Fonte: Elaboração própria, com dados adaptados de Brasil (2008) e Brasil (2023c).

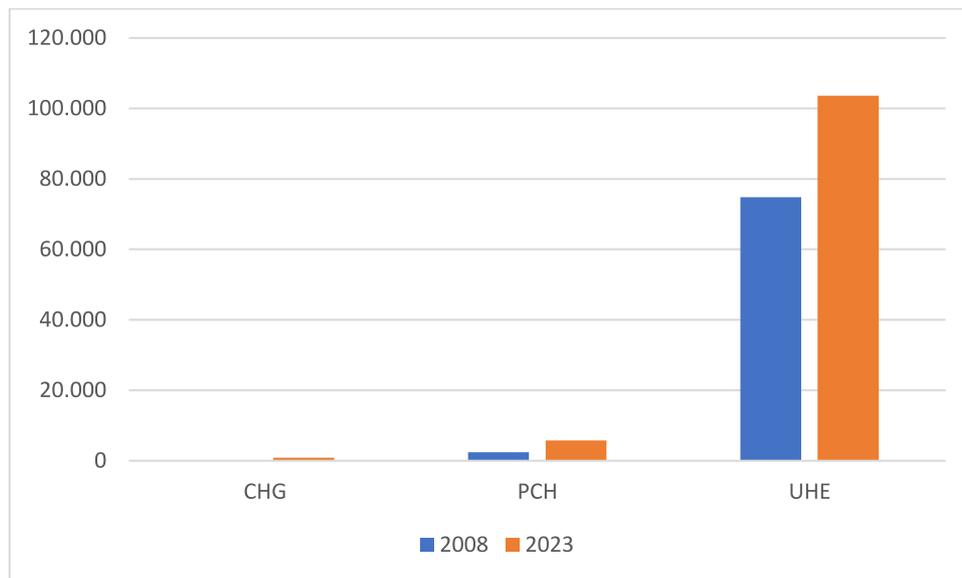
As Figura 6 e Figura 7 mostram graficamente a evolução da produção por divisão, com base em dados da ANEEL (BRASIL, 2008; BRASIL 2023c).

Figura 6 Evolução no número de empreendimentos hidrelétricos por divisão de 2008 a 2023.



Fonte: Elaboração própria, com dados adaptados de Brasil (2008) e Brasil (2023c).

Figura 7 Evolução na potência total de usinas hidrelétricas por divisão de 2008 a 2023.



Fonte: Elaboração própria, com dados adaptados de Brasil (2008) e Brasil (2023c).

3.5.2 – TERMOELÉTRICAS: FÓSSEIS E BIOMASSA

Uma usina termelétrica é uma planta que gera energia a partir do calor gerado pela queima de um produto como, por exemplo, combustíveis fósseis ou biomassa. O calor gerado é direcionado para o aquecimento de uma caldeira para que se obtenha vapor d'água em alta pressão, ou geração de gás em alta temperatura. Este vapor é conduzido para uma série de turbinas, movimentando suas pás, produzindo assim energia cinética que, por meio de geradores, será transformada em energia elétrica (LIMA & DE SOUZA, 2015).

Termelétricas colocam-se como boas alternativas em tempos de crise hídrica ou para suprimento de variações de energia por serem mais rápidas e baratas de serem construídas e mais simples em operação embora acarretem maiores custos na produção da energia (LIMA & DE SOUZA, 2015). A geração de energia por meio de usinas termelétricas no Brasil possui uma potência outorgada considerável, na ordem de 48.072 MW distribuídos em 3.306 empreendimentos. Mais de 50% destes estão localizados na região sudeste, sendo o estado de São Paulo o maior detentor de unidades termelétricas (940 empreendimentos) (BRASIL, 2023c).

Uma das fontes fósseis mais utilizadas em termelétricas são o gás natural, o uso de petróleo – e seus derivados – e carvão mineral. O gás natural é uma mistura de hidrocarbonetos gasosos que é misturado com ar comprimido, gerando gases em altíssima temperatura que provocam o movimento das turbinas e geração de eletricidade e que

apresenta, como principal vantagem, a flexibilidade para atendimento de cargas de ponta (LIMA & DE SOUZA, 2015).

O petróleo e seus derivados são uma mistura de hidrocarbonetos originados da decomposição de matéria orgânica. Os mais utilizados são óleo diesel, óleo combustível, gás de refinaria e óleo ultraviscoso onde a combustão produz o vapor para movimentação das turbinas. O carvão mineral, uma mistura complexa de componentes orgânicos fossilizados sólidos, e sua utilização na geração de energia é considerada uma das mais agressivas ao meio ambiente (LIMA & DE SOUZA, 2015).

Das usinas, a maioria, 63,98% das plantas, utiliza combustíveis de origem fóssil, com destaque para o uso de gás natural – 58,25% das usinas fósseis –, óleo diesel e combustível – 23,87% – e carvão mineral – com 10,03%. As plantas fósseis são 2.404 e representam 30.775 MW (BRASIL, 2023c).

Existem 15 novas plantas termelétricas em construção que utilizam produtos de origem fósseis na geração de eletricidade. Essas 15 unidades irão englobar a matriz elétrica nacional com uma potência outorgada de 3.951 MW (BRASIL, 2023c).

As usinas que utilizam combustíveis de origem na biomassa são 632 empreendimentos que geram 17.316 MW com destaque absoluto para o bagaço de cana de açúcar, com mais de 70% de toda a potência outorgada. A Tabela 3 apresenta um resumo da produção em MW, por origem.

Tabela 3 Potência outorgada por origem do combustível.

Origem	Tipologia	Potência Outorgada MW
Fóssil	Gás natural	18340,734
Fóssil	Petróleo e derivados	8787,834
Fóssil	Carvão Mineral	3460,93
Fóssil	Outros	165,97
Biomassa	Agroindustriais	12563,893
Biomassa	Outros	258,993
Biomassa	Floresta	4493,859

Fonte: Elaboração própria, com dados adaptados de Brasil (2023c).

Existem atualmente em construção 21 novos empreendimentos termogeradores que utilizarão combustíveis de origem na biomassa. Estes somam para uma potência outorgada de 870 MW (BRASIL, 2023c).

Os combustíveis a partir da biomassa são divididos em cinco tipos: agroindustriais – subdividido em bagaço de cana de açúcar, biogás AGR, capim elefante e casca de arroz –, biocombustíveis líquidos – etanol e óleos vegetais –, floresta – carvão vegetal, gás de

alto forno, lenha, licor negro e resíduos florestais –, resíduos sólidos urbanos – biogás RU, carvão RU e os próprios RSU – e os resíduos animais (BRASIL, 2023c). A Figura 8 apresenta a divisão das termelétricas por origem de seu combustível.

Figura 8 Divisão das termelétricas por origem de combustível.



Fonte: Elaboração própria, com dados adaptados de Brasil (2023c).

Legenda: Agro: Agroindustriais; Flo: Floresta; Bio: Biomassa; PD: Petróleo e Derivados; Car: Carvão Mineral.

3.5.3 - EÓLICA

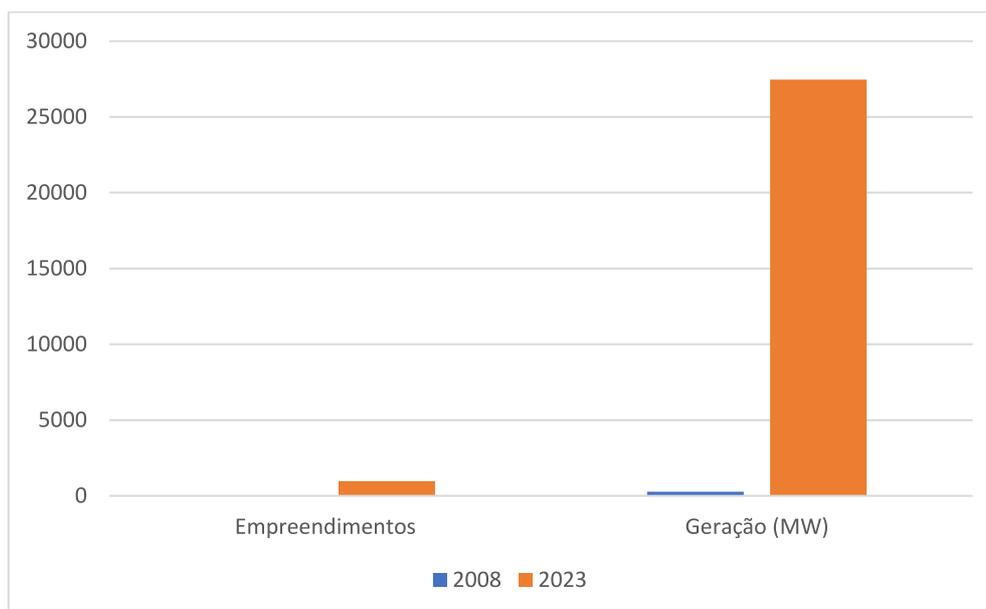
A utilização da força do vento em prol do desenvolvimento humano não é novidade. As sociedades antigas, bem antes do advento da eletricidade, sabiam sobre a possibilidade do recurso eólico na aplicação em tarefas como moagem de grãos, bombeamento de água e navegação (NASCIMENTO *et al.*, 2022). A energia por meio desta tipologia é obtida pela energia cinética gerada pelo contato do vento com as pás das turbinas. O movimento gerado leva a presença de energia mecânica que é convertida pelo aerogerador em eletricidade (BRASIL, 2008).

A geração de energia por meio da força dos ventos é altamente dependente das condições naturais de uma região. O destaque do potencial eólico de produção fica para regiões do litoral do norte, nordeste, sul do estado do Rio Grande do Sul, sudeste do Paraná e vale do Rio São Francisco (SILVA *et al.*, 2022).

Em 2008, havia 17 empreendimentos eólicos que geravam aproximadamente 273 MW (BRASIL, 2008). Atualmente, o Brasil conta 965 empreendimentos eólicos em operação, totalizando uma produção energética de 27.472,723 MW. Estes

empreendimentos estão divididos em 14 dos 27 estados brasileiros, com foco absoluto no Nordeste que concentra 862 usinas (89% do total) com uma produção de 25.098 MW (92% do total). Existem outras 140 plantas eólicas em construção com potência outorgada de 5.716,10 MW e 524 com autorização, mas ainda sem início das obras que, de acordo com projeto, gerarão 22.047 MW adicionais (BRASIL, 2023c). A Figura 9 apresenta a evolução da geração de energia eólica no Brasil.

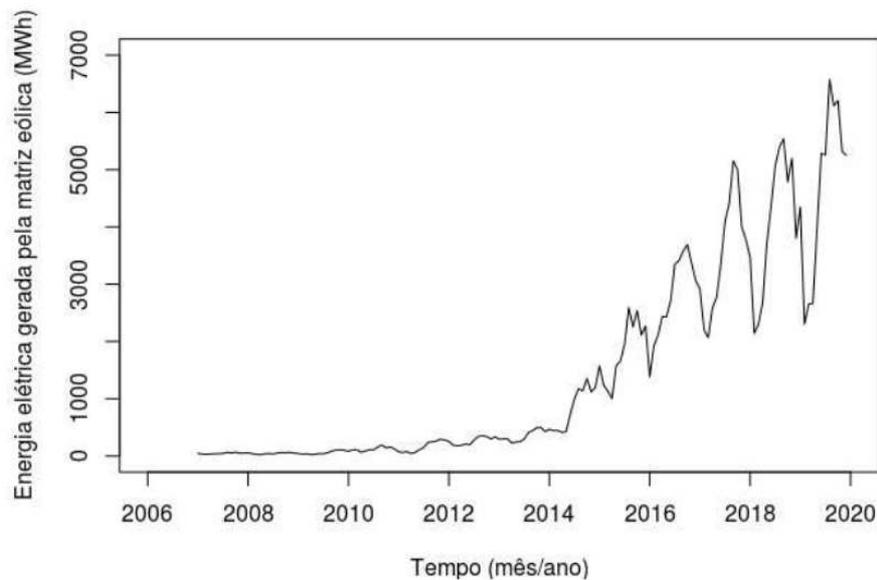
Figura 9 evolução do número de empreendimentos e geração eólica no Brasil.



Fonte: Elaboração própria, com dados adaptados de Brasil (2008) e Brasil (2023c).

Se entrando em 2008 o Brasil ocupava a vigésima quinta posição no ranking mundial de produção de energia eólica (BRASIL, 2008), 15 anos depois o cenário mudou bastante. Em 2023, a produção brasileira coloca o país em quarto lugar na produção a partir dessa fonte, atrás apenas da China, EUA e Alemanha (BRASIL, 2023a). Muito desse crescimento se dá, de maneira mais acentuada em 2015, ano em que o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, o BNDES, investiu mais de 6 bilhões de reais na tipologia de produção, conforme exposto na Figura 10 (SILVA *et al.*, 2022).

Figura 10 Crescimento da energia eólica (MWh) no Brasil.



Fonte: Silva et al. (2022).

3.5.4 – SOLAR

A energia solar é considerada uma fonte inesgotável, livre e não poluente, contudo, a localidade impacta em como a radiação atinge a superfície terrestre e, conseqüentemente, em como a energia pode ser gerada. Aspectos como latitude, estações do ano e condições atmosféricas são fatores de análise para o potencial gerador (REGINATO, 2020).

A energia advinda do sol chega a terra na formas térmica e luminosa, e a captação da porção luminosa pode ser utilizada na geração de energia elétrica, por meio de painéis fotovoltaicos. O Brasil é um país privilegiado quando se pensa nos fatores necessários para a geração de energia utilizando a luz solar, principalmente na região nordeste (BRASIL, 2008).

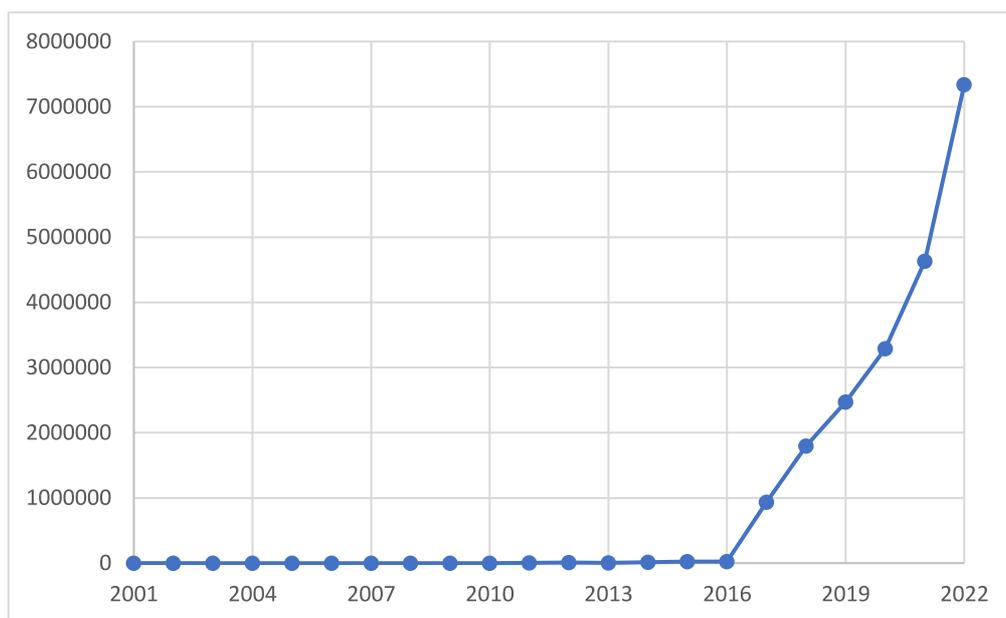
Em 2008, de acordo com dados do Atlas de Energia Elétrica do Brasil, a energia solar não constava nas fontes que integravam o Balanço Energético Nacional em 2008, possuindo apenas uma usina fotovoltaica em Nova Mamoré, no estado de Rondônia, com potência de 20 kW (BRASIL, 2008; BRASIL, 2023d).

De acordo com a ANEEL (BRASIL, 2023c), em 2023 existem 18.131 centrais geradoras solares fotovoltaicas, também conhecidas como UFV, gerando 10.525,2 MW. Além destas existem mais 187 plantas em construção com estimativa produtiva de 7.606 MW e 2.913 UFV com autorização, mas sem obras iniciadas que gerarão 127.327 MW (BRASIL, 2023c).

Quando a análise se dá em cima dos empreendimentos em construção, aqueles com obras já em curso, é possível observar que a energia solar fotovoltaica é a que apresentará maior participação na potência, com cerca de 38% do que virá a integrar a matriz (BRASIL, 2023c).

No que diz respeito a capacidade instalada de geração de energia elétrica, a maior expansão aconteceu na geração solar fotovoltaica, com cerca de 11 GW, valor que representou quase 70% da expansão líquida total. Tais números são fruto da expansão da Geração Distribuída (GD) que permite aos consumidores – quase sempre residenciais e comerciais – a instalação de placas solares para geração de energia associadas a uma compensação das distribuidoras locais. A consolidação da GD vem com a Lei nº 14.300/2022, mas com grande contribuição da Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 (BRASIL 2023a). A Figura 11 mostra a evolução da potência gerada por essa tipologia ao longo dos anos recentes.

Figura 11 Potência total gerada pela fonte eólica de 2001 a 2022.



Fonte: Elaboração própria, adaptado de Brasil (2023d).

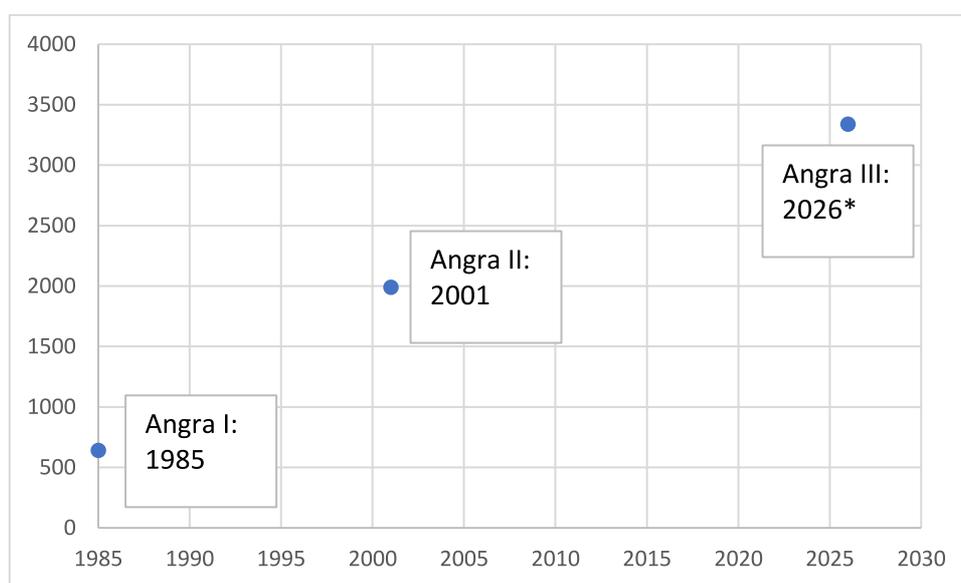
3.5.5 – NUCLEAR

A energia nuclear é baseada no uso do átomo de urânio como matéria-prima. O processo de fissão do átomo é o responsável pela geração posterior de energia elétrica. Tanto em 2008 quanto em 2023 o número de centrais nucleares no Brasil é o mesmo, são apenas duas unidades em operação, com potência de 2.000MW, na cidade de Angra dos Reis, estado do Rio de Janeiro. Há também uma nova unidade em construção, a Angra

III, com potência outorgada de 1.350 MW (BRASIL 2008, BRASIL, 2023c) e previsão de funcionamento para 2026 (BRITO, 2023).

Embora o Brasil possua a sexta maior reserva de urânio do planeta, a porcentagem de participação no Balanço Energético Nacional (BEN) é baixa. As Usinas existentes, Angra I e II, funcionam com a tecnologia de água pressurizada no reator, também conhecida pela sigla em Inglês PWR (BRITO, 2023). A Figura 12 apresenta os anos de construção de cada do reator e a potência acumulada total, já considerando a futura operação de Angra III.

Figura 12 Evolução da potência acumulada, levando em conta projeto em construção, da energia nuclear brasileira.



Fonte: Elaboração própria, adaptado de Brasil (2023c).

(*) 2026 como o ano previsto para o início das operações com 1.350 MW para o reator de Angra III.

3.6 – DEMANDA, MATRIZ ENERGÉTICA E ELÉTRICA ATUAIS

3.6.1 – CENÁRIO ATUAL

Entre 2000 e 2019, o crescimento do consumo brasileiro teve uma taxa média geométrica 2,8% ao ano, o que gerou um sentimento de preocupação com a segurança energética e com o desenvolvimento do país, além da necessidade de aumento da capacidade instalada (ABRAHÃO & SOUZA, 2021).

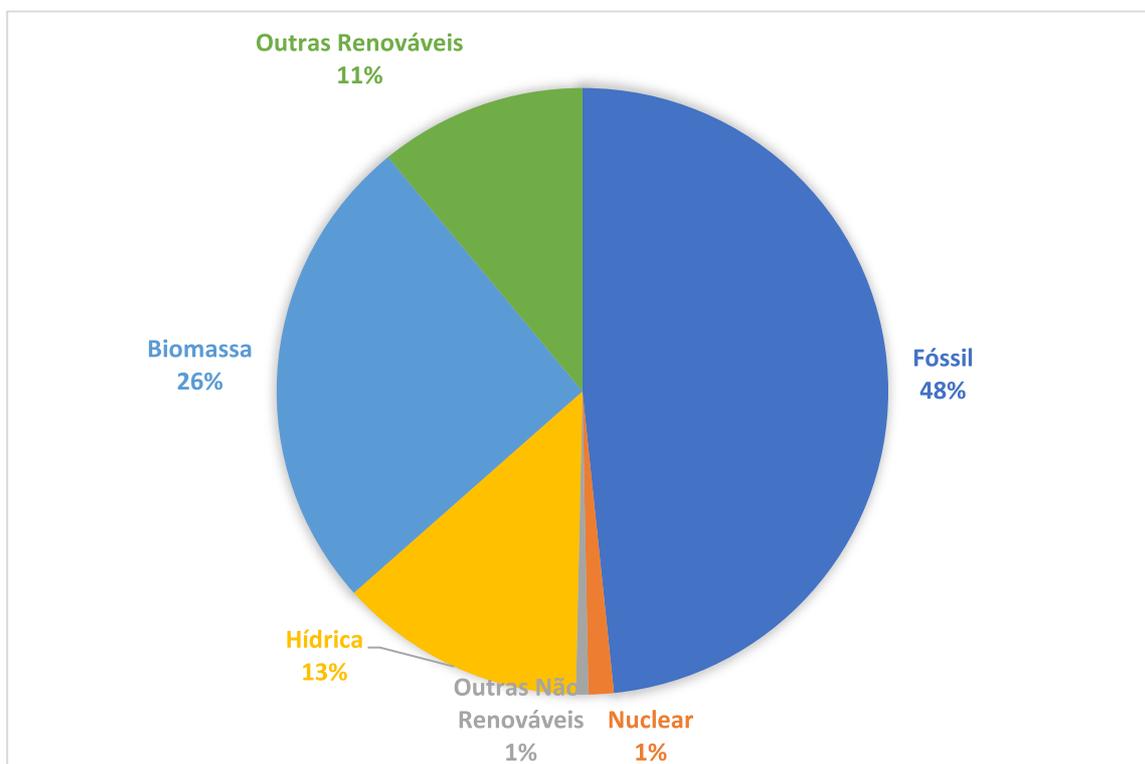
O Consumo Final de Energia (CFE) em 2022 aumentou em relação a 2021 em aproximadamente 2,9%, representando um total de 271,3 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep). Houve também uma redução no percentual de perdas, partindo de 13% em 2021 para 10,5% em 2022 (BRASIL, 2023a).

Tonelada equivalente de petróleo, ou tep, é uma unidade de medida de energia utilizada para comparar mais facilmente formas de energia com o poder calorífico do

petróleo: “uma tep” é a energia que se pode obter a partir de uma tonelada de petróleo padrão (LIMA & DE SOUZA, 2015).

Em 2022, a matriz energética brasileira não só se manteve como uma das mais renováveis do mundo, como melhorou seus números em relação ao ano anterior. A geração por fonte hidráulica contou com um aumento de 14%, a eólica de 12,9% e a solar de incríveis 51,5%, o que levou a um combinado das matrizes de energia renováveis – hidráulica, eólica e solar – com acréscimo de quase 20% e uma redução nos combustíveis fósseis de 4,3%. De acordo com dados oficiais, a porcentagem de renováveis na matriz energética nacional é de 47,4%, valor altamente superior ao restante do mundo – valor médio de 14,4%. Tais dados levam o Brasil a possuir um indicador de renovabilidade da sua matriz de 3 a 4 vezes superior aos demais. A Figura 13 foi elaborada com dados oficiais visando melhor visualização da matriz energética nacional (BRASIL, 2023a).

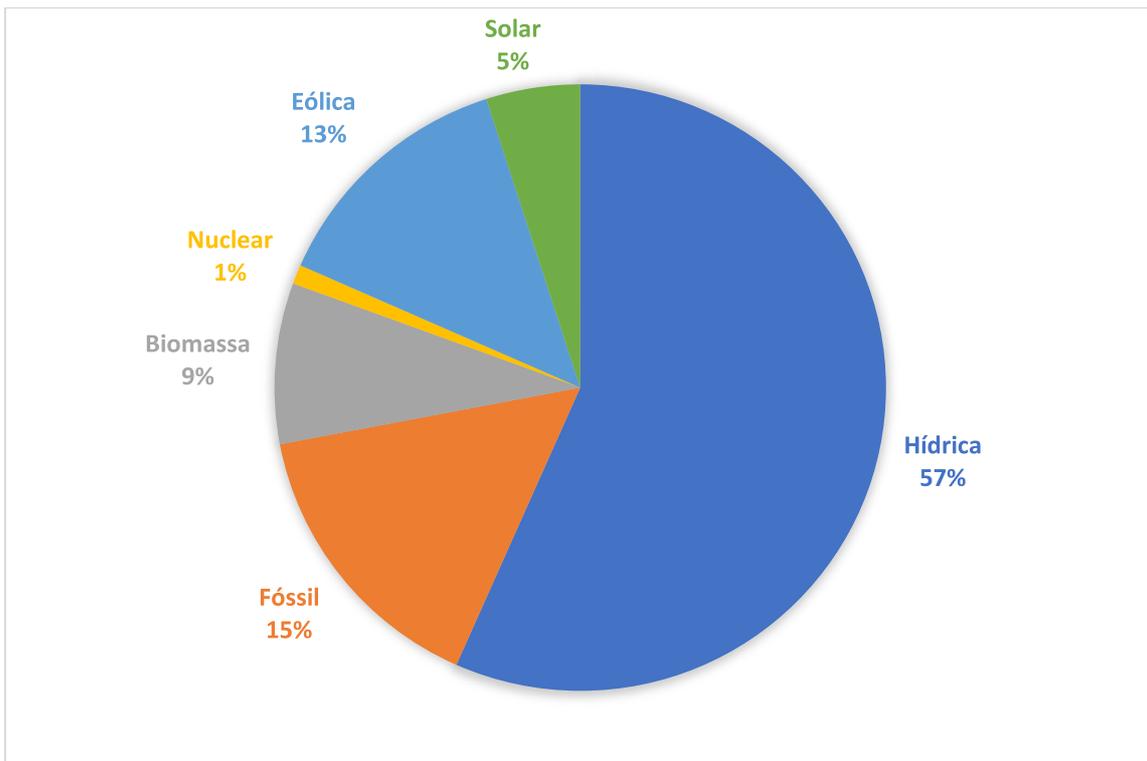
Figura 13 Matriz energética brasileira, referente ao ano de 2023.



Fonte: Elaboração própria, adaptado de Brasil (2023a).

De acordo com dados oficiais da Agência Nacional de Energia Elétrica de 2023, a ANEEL, a matriz elétrica brasileira tem uma predominância na geração de eletricidade por meio da matriz hidroelétrica, seguida pela fonte fóssil, eólica, biomassa e solar. A Figura 14 foi gerada utilizando os dados oficiais (BRASIL, 2023c) de potência dos empreendimentos que podem ser observados na Tabela 4.

Figura 14 Matriz elétrica brasileira, referente ao ano de 2023.



Fonte: Elaboração própria, adaptado de Brasil (2023c).

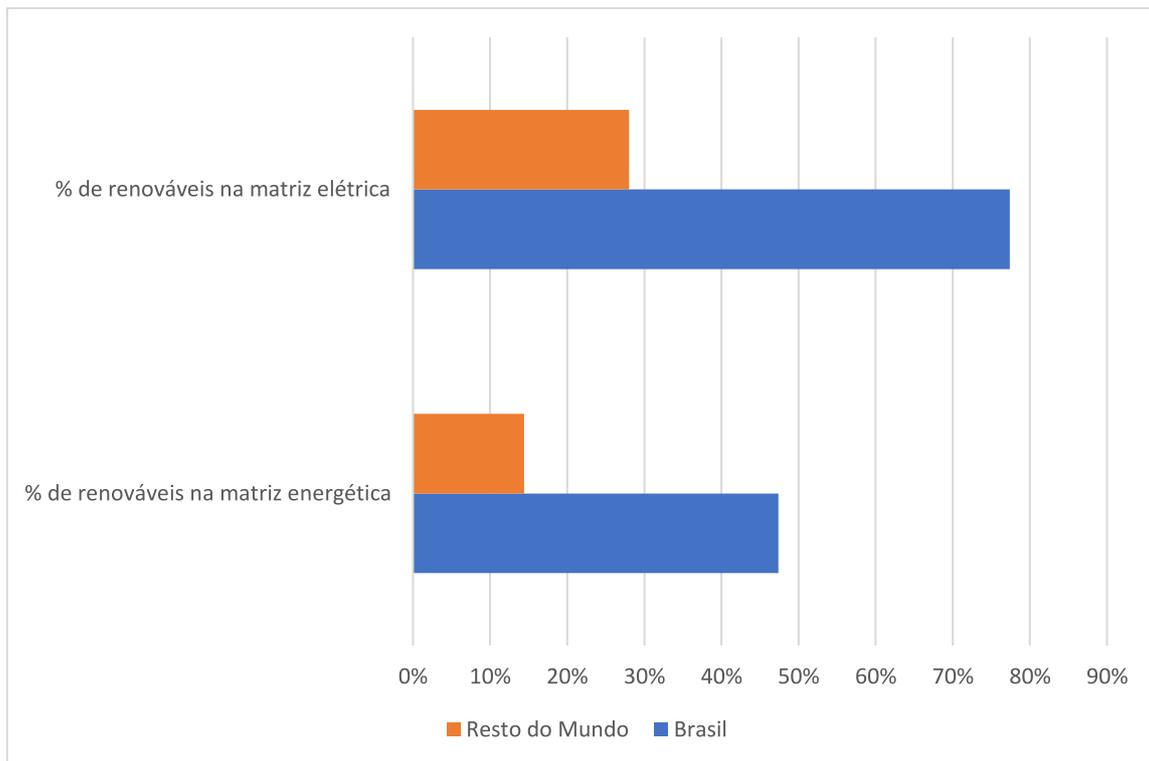
Tabela 4 Potência por tipologia.

Tipologia	Potência (MW)
Hídrica	109832
Fóssil	29799
Biomassa	16627
Nuclear	1990
Eólica	26038
Solar	9634

Fonte: Elaboração própria, adaptado de Brasil (2023c).

A Oferta Interna de Energia Elétrica, ou OIEE, foi de 690,1 TWh, valor 1,6% maior que em 2021. Dentro as formas de geração, destaque foi o crescimento de mais de 79% da geração solar, que é a tipologia que mais cresce desde 2016, muito por conta das novas legislações que dão garantias tributárias ao setor como as Leis nº 13.203/2015 e nº14.300/2022 (BRASIL, 2023a). A Figura 15 apresenta a comparação do Brasil com o restante do uso de fontes renováveis nas matrizes energética e elétrica.

Figura 15 Comparação da participação de fontes renováveis nas matrizes energética e elétrica do Brasil e do mundo.



Fonte: Elaboração própria, adaptado de Brasil (2023a).

Conforme observado, cada vez mais o Brasil busca a diversificação da sua matriz elétrica, sendo ainda dependente da tipologia hidráulica, mas crescendo constantemente em outras direções. Estudos em importantes bacias brasileiras têm mostrado tendências de diminuição de volume, o que gera um cenário preocupante no aspecto social nas vertentes do abastecimento de água e geração de energia. Bacias situadas na região do semiárido nordestino e a importantíssima Bacia do Rio São Francisco são experienciando suas maiores secas na história. Além disso, os fluxos das bacias dos rios Tocantins, Xingu, Parnaíba, Madeira, Tapajós e Maranhão possuem projeção de declínio substancial no futuro como resultado das mudanças climáticas (DE JONG *et al.*, 2019). Em relação as bacias supracitadas dos rios São Francisco, Tocantins e Parnaíba, é previsto para as próximas três décadas um decréscimo de 46%, 31% e 26% no volume, respectivamente (ZULUAGA *et al.*, 2022).

Outro ponto relevante na compreensão da matriz energética é sua geração de carbono. O crescimento populacional, das atividades industriais e o desenvolvimento socioeconômico que aconteceu na segunda metade do século XX levou a um aumento exponencial na concentração de Gases do Efeito Estufa (GEE) na atmosfera. Essas mudanças também tiveram reflexo no Brasil e na sua produção energética. Este setor

apresentou a maior taxa de crescimento da história do país entre os anos de 1990 e 2014, tendo a emissão atmosférica de GEE associada a energia saltado de aproximadamente 190 milhões de toneladas de CO₂ para quase 480 milhões de toneladas. Este valor coloca a produção de energia à frente da agropecuária como segundo setor a emitir mais GEE para a atmosfera, estando atrás apenas daqueles que trabalham com a alteração do Uso e Ocupação do solo (ALMEIDA *et al.*, 2020).

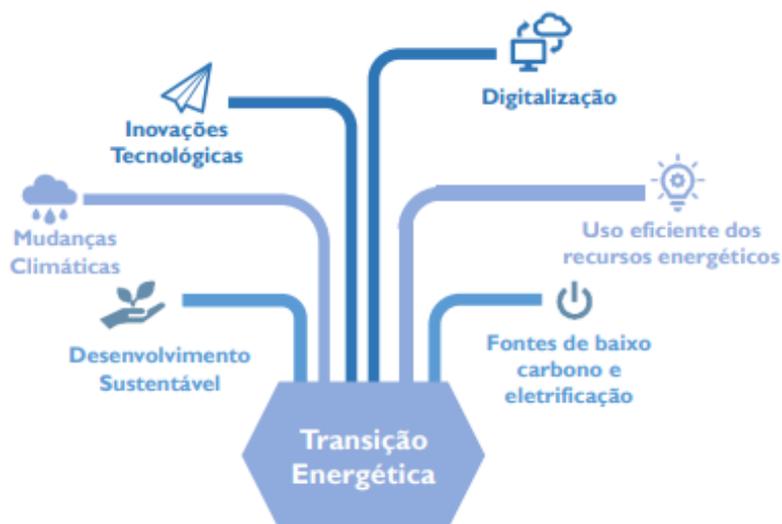
Em 2022, o país emitiu 404,9 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (MtCO₂eq), valor 6,5% menor que 2021. Essa redução é um ponto positivo em relação ao preocupante aumento de 5,5% no resto do mundo, maior aumento da história. Colocando esses valores em proporção em relação à energia produzida, o Brasil possui uma taxa de 1,34 toneladas de CO₂ por tonelada equivalente de carbono (tCO₂/tep), valor mais de 40% inferior ao resto do planeta (BRASIL, 2023a).

Toda essa discussão acerca dos GEE na produção de energia tem levado, não só no Brasil, mas em todo o mundo, a necessidade de uma produção com redução de emissões passando por uma transição energética.

3.6.2 – TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

Transição energética é o nome dado para as mudanças significativas – e progressivas – nos processos de produção de energia, ou seja, da matriz. Essa transição é, por conceito, um processo longo, complexo e com grande variabilidade de local a local, não podendo ser analisado com as mesmas bases para diferentes países, regiões ou localidades. Na atualidade, a transição tem seu direcionamento condicionado visando o desenvolvimento sustentável, a amenização das mudanças climáticas, atualização das tecnologias e a entrada da era digital. Quase todas as práticas anteriormente citadas buscam reduzir a pegada ambiental e a emissão de carbono para a atmosfera (BRASIL, 2020). A Figura 16 apresenta a base da transição energética.

Figura 16 Elementos base da transição energética.



Fonte: Brasil (2020).

A transição energética é um processo contínuo na civilização humana, passando dos primórdios pelo uso exclusivo da energia do ser humano, para a animal, fogo, uso da água, vento, queima gerando vapor até a eletricidade e combustíveis em si. No contexto atual, o termo traduz a necessidade de uma mudança mais forte para fontes de energia sustentáveis e que auxiliem no processo, que é mais amplo que apenas este setor, de redução dos GEE (BRASIL, 2023e).

Essas transformações não são apenas nas políticas públicas e geradores de energia, mas fazem parte de um macro contexto que afeta toda a sociedade e por isso, apesar de não existir legislação específica sobre a transição, existem políticas que vigoram em função do tema. A Lei 12.187/2009 e o Decreto 7.390/2010 definem como compromisso nacional – voluntário – a redução das emissões de GEE. A RenovaBio – biocombustíveis – e o Novo mercado de Gás, instituídas respectivamente pela Lei 13.576/2017 e Decreto 9.616 tratam sobre a maior inserção destes produtos na matriz nacional (BRASIL, 2020).

3.6.3 – CENÁRIO FUTURO

No Brasil, o grande desafio que a transição energética tem hoje é como ser feita conciliando a geração de energia com a de empregos, renda, inclusão social, combate às desigualdades, melhoria da qualidade de vida, reindustrialização, preservação da biodiversidade e da qualidade ambiental (BRASIL, 2023e). A passagem pela transição resume-se, obviamente, na alteração da matriz energética.

A matriz energética está intimamente ligada ao desenvolvimento nacional, principalmente em países considerados emergentes, pela capacidade de resposta as necessidades sociais e industriais. De acordo com análise de série histórica por parte do

Ministério de Minas e Energia (MME), há uma estimativa de crescimento de demanda da ordem de 200% nos próximos 30 anos (SANTOS, 2018).

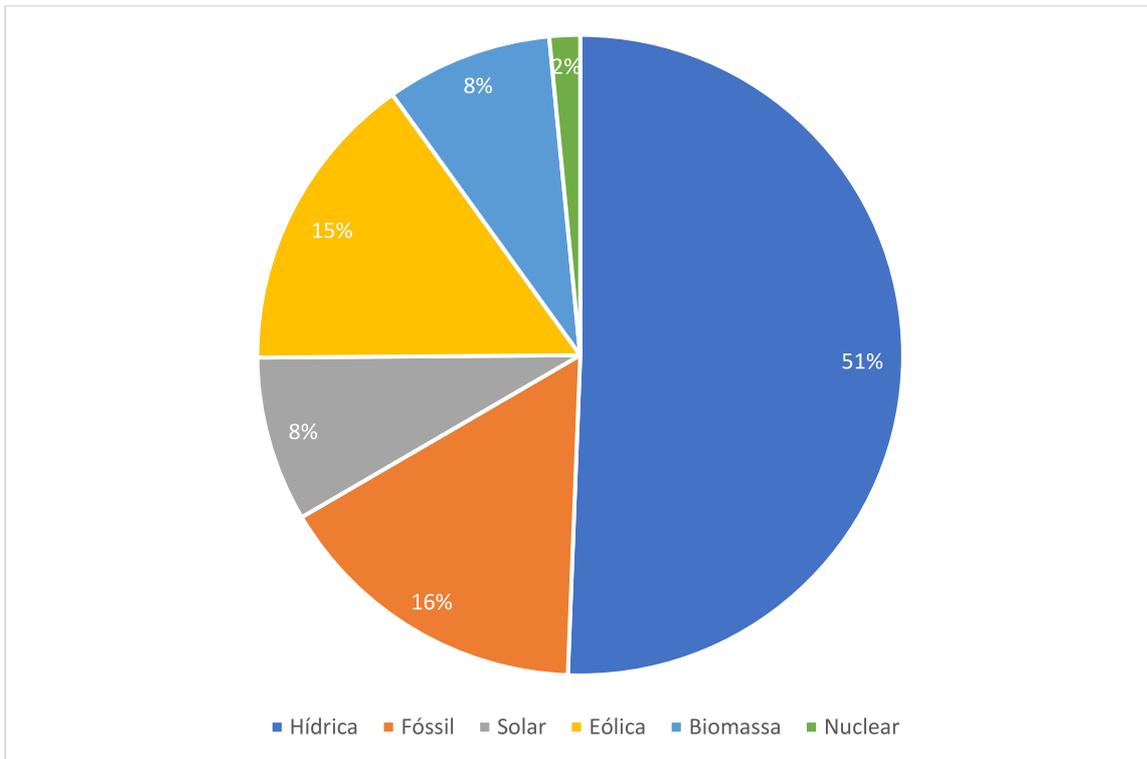
Segundo o MME, conforme publicado no Plano Nacional de Energia (PNE) 2050 (BRASIL, 2023b) – um conjunto de dados que tem o objetivo de definir a estratégia a longo prazo do setor energético, com base nas informações presentes e projeções para os próximos anos – a estimativa é de um crescimento de 3,5% ao ano – até 2050 –, o que levaria ao consumo média 2.100 TWh.

Utilizando dados da ANEEL (BRASIL, 2023c), é possível fazer uma projeção de como será a matriz elétrica do país num futuro próximo, considerando os empreendimentos atuais – e suas potências fiscalizadas – adicionalmente aos que estão em construção – somando com as potências outorgadas para estes.

Nesse cenário de futuro próximo, observamos um aumento percentual grande da energia fotovoltaica (38%), eólica (29%) e térmica (23%) (BRASIL, 2023c), em um crescimento associado que faz sentido. As duas primeiras têm seu avanço associado à evolução do conceito de energia verde e as políticas públicas que favorecem sua evolução, conforme exposto.

O aumento das térmicas surge associado a necessidade que as usinas solares e eólicas apresentam de uma tipologia que supra possíveis intermitências - naturais por utilizarem um recurso menos previsível. A Figura 17 apresenta a matriz esperada para os próximos anos, somando as potências atuais e das plantas em construção.

Figura 17 Matriz esperada para o Brasil, após término das obras de usinas em construção.



Fonte: Elaboração própria, adaptado de Brasil (2023c).

Em relação a matriz anterior, apresentada na Figura 14 Matriz elétrica brasileira, referente ao ano de 2023., é possível observar uma redução da dependência de geração hídrica, de aproximadamente 6%. Uma manutenção no total termoelétrico, indicado pelo mesmo valor na soma – 24% – dos combustíveis fósseis e biomassa. Haverá um aumento de 2% na geração eólico e o incremento de 3% no solar.

3.7 – REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

A revisão sistemática da literatura (RSL) visa compreender o estado da arte e é uma atividade fundamental na produção de uma pesquisa científica de qualidade (DERMEVAL, COELHO & BITTENCOURT, 2020), objetivando a reunião de estudos de similar natureza para sintetizar o conhecimento acerca de um tema (RAMOS, DURANTE & CALLEJAS, 2017).

A revisão deve ser conduzida de maneira pré-determinada, com estratégia de busca definida e orientada ao objetivo da pesquisa, com parâmetros muito bem delimitados como palavras-chave, critérios de inclusão e exclusão. Esse planejamento constitui o “Protocolo de Pesquisa”, que basicamente é o levantamento do que se deseja responder e o método para tal (DERMEVAL, COELHO & BITTENCOURT, 2020).

A elaboração do protocolo passa, de acordo com Qazi *et al.* (2019) por quatro etapas: elaboração das questões a serem respondidas; escolha da estratégia de pesquisa –

bases de dados; definição da estratégia de busca; e seleção dos critérios de inclusão e exclusão.

A escolha das bases de dados foi feita dentre as opções de acervo disponíveis no Portal de Periódicos da CAPES. Foram escolhidas bases com reconhecimento indiscutível no meio acadêmico e que possuem publicações nas áreas de ciências geográficas, ambientais e agrárias. Dessa forma, foram utilizadas as bases: *Scopus*, *Science Direct*, *Web of Science* e *Energy Citations Database* (OSTI). As informações foram coletadas em janeiro/2024, não havendo limitação de data da produção dos trabalhos.

Os questionamentos norteadores foram: 1) Existem artigos que discutem a abertura de novas unidades geradoras de energia, utilizando tipologias renováveis, em áreas degradadas georreferenciadas?; 2) Se sim, quais as tipologias abordadas pelos autores e; 3) Quais os parâmetros utilizados pelos autores para determinar a aptidão de uma área à possibilidade de abertura de um novo ponto de geração de energia renovável. As estratégias estão descritas na Tabela 5.

Tabela 5 Estratégias de busca para cada base de dados utilizada.

Base	Estratégia de busca na base de dados
<i>Scopus</i>	TITLE-ABS-KEY ((renewable AND energy) AND (land OR lands OR area OR areas) AND (reuse OR rehabilitation OR restoration) AND (contaminated OR degraded OR use)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar")).
<i>Science Direct</i>	(renewable energy) AND (land OR area) AND (reuse OR rehabilitation OR restoration) AND (contaminated OR degraded OR use); Busca na aba "Title, abstract, keywords:" e aplicando filtro "Research articles".
<i>Web of Science</i>	(renewable energy) AND (land OR lands OR area OR areas) AND (reuse OR rehabilitation OR restoration) AND (contaminated OR degraded OR use); Busca na aba "Topic (Title, abstract, keywords)" e aplicando filtro: "Article".
<i>Energy Citations Database (OSTI)</i>	(renewable energy) AND (land OR lands OR area OR areas) AND (reuse OR rehabilitation OR restoration) AND (contaminated OR degraded OR use); Aplicando filtro "Journal Article".

Fonte: elaborado pelo autor.

A estratégia apresentada na Tabela 5 foi assim construída de forma a buscar toda e qualquer referência a áreas degradadas ("land OR lands OR area OR áreas" e "contaminated OR degraded OR use") que pudessem obter uma nova utilidade socioeconômica ("reuse OR rehabilitation OR restoration") por meio da produção de energia sustentável ("renewable energy"). Foram aplicados filtros ou adendos às fórmulas

que retornassem apenas artigos primários. As estratégias de busca apresentam diferença na estrutura por conta dos padrões das bases, embora almejem o mesmo tipo de retorno dos bancos de dados.

Para que os artigos retornados por meio da estratégia apresentada pudessem ser aceitos para leitura integral, bastaria que seu título e resumo indicassem a possibilidade de responder a pelo menos uma das questões norteadoras supracitadas. Na etapa de leitura integral do texto, para que o artigo fosse aceito deveria responder, mesmo que superficialmente, as três questões.

Os critérios de inclusão buscam artigos primários e que tenham título, resumo e palavras-chave alinhados ao protocolo de pesquisa. Os de exclusão são artigos duplicados e redundantes de mesma autoria – algo recorrente em buscas em diversas bases – e aqueles não escritos em língua inglesa e portuguesa, por conta da dificuldade em interpretar corretamente o texto além destes idiomas.

Para auxiliar no controle de informações, fazer o *upload* dos dados baixados nas bases de dados e fazer a inclusão/exclusão de maneira organizada, será utilizado o software online Rayyan.

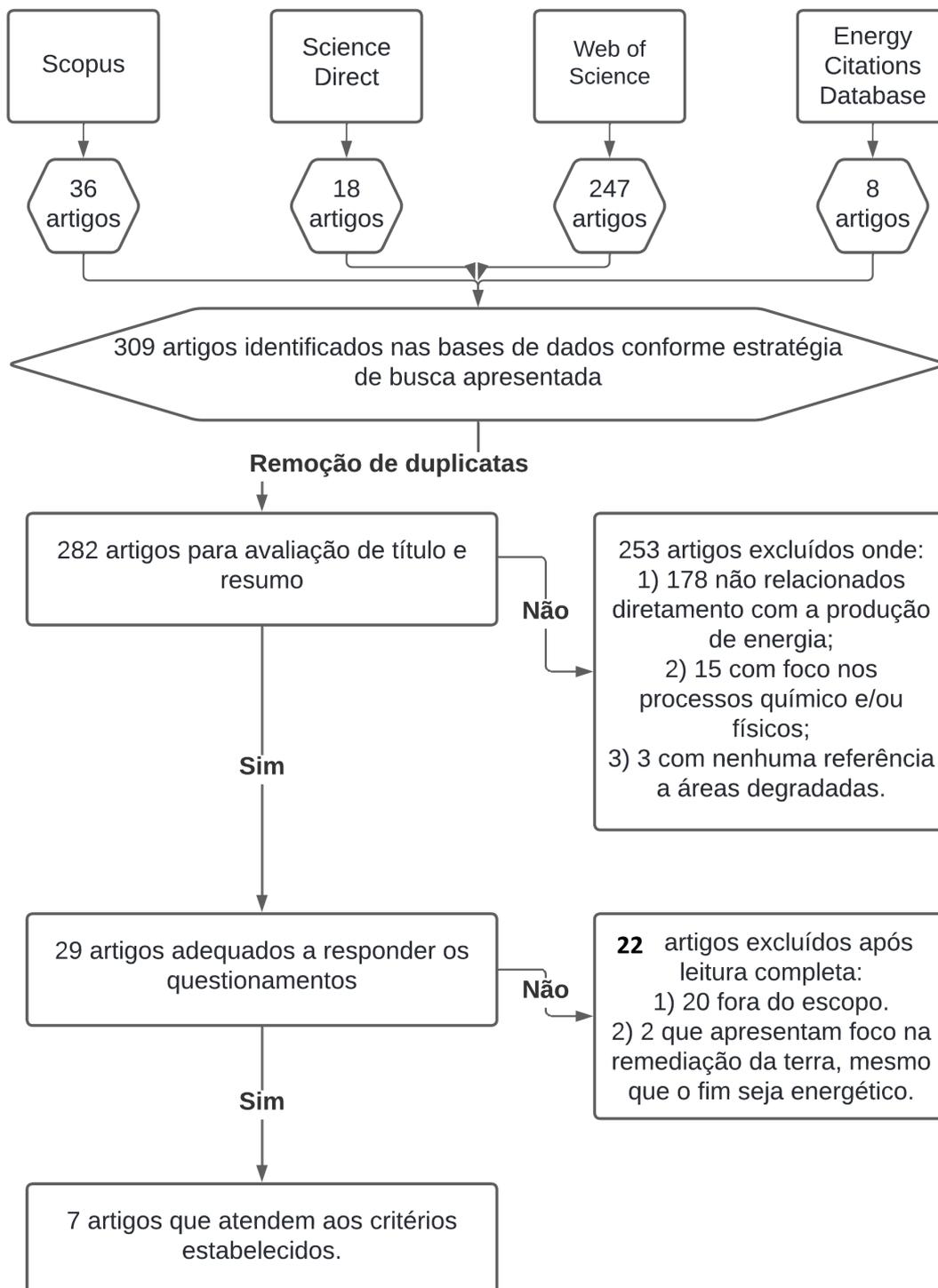
Com base na estratégia apresentada, foram coletados todos os registros que atendessem aos critérios descritos. Após, foram removidas as duplicatas e redundantes, resultando num grupo de elegíveis. Neste grupo, foram avaliados os resumos, excluindo aqueles que não tratavam de um tema passível de responder as questões levantadas.

Houve uma redução significativa – cerca de 90 % – do número de trabalhos total (309) para o montante que teve seu título e resumo de acordo com o propósito da revisão (29). Isso se deve ao fato de que muitos artigos abordavam a temática do uso e ocupação do solo com degradação, citando as infinitas possibilidades de reuso – dentre elas geração de energia – mas não discutiam nenhum processo ou tipologia processos de geração de energia, tendo o foco em outras áreas do conhecimento como, por exemplo, biorremediação, políticas públicas, mudanças na paisagem e nos ciclos hidrológicos.

Após essa etapa, foi obtido o grupo de artigos incluídos. Este traz os artigos que de alguma maneira, com base no seu resumo, abordam uma ou mais questões consonantes com esta pesquisa. Dentro deste grupo, os artigos foram baixados em suas respectivas plataformas e analisados de maneira integral. Vale destacar que apenas um dos 29 artigos não apresentava seu texto completo via plataforma CAPES. Contudo, foi feito contato direto, via e-mail com Christopher De Sousa, um dos autores do trabalho Spiess & De

Sousa (2016), que prontamente se disponibilizou ao envio. A Figura 18 apresenta o fluxograma dos resultados.

Figura 18 Fluxograma do processo e resultados por etapas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A leitura dos textos por completo resultou em sete trabalhos capazes de responder a todos questionamentos levantados. Os restantes 21 textos, embora excluídos, ainda sim

foram analisados uma vez que, mesmo não atendendo aos critérios, possuíam informações muito importantes e capazes de enriquecer o trabalho.

A Tabela 6 apresenta os trabalhos que foram excluídos, com base nos métodos dispostos nesta revisão, a referência do artigo, motivo de exclusão e informações levantadas que podem contribuir com o conhecimento e/ou validação da pesquisa.

Tabela 6 Artigos lidos integralmente excluídos por não responderem às questões norteadoras.

Referência	Motivo da exclusão	Informações relevantes
Gómez et al. (2023).	Foco da pesquisa na avaliação da capacidade de tratamento da terra pelo crescimento da biomassa - Fitorremediação. Não houve seleção de áreas por meio de dados georreferenciados.	O trabalho conclui que a presença de elementos potencialmente tóxicos no solo e – posteriormente - na biomassa das plantas que cresceram em solos contaminados pode afetar negativamente na sua utilidade combustiva.
Moustafa et al. (2022).	Não houve seleção de áreas por meio de dados georreferenciados.	A análise está nos custos associados e não na busca de áreas com potencial geotérmico. O trabalho conclui, com base nas simulações em poços abandonados existentes, que a utilização de energia geotermal em locais onde já existem poços instalados reduz os custos de 40% a 60%.
Liu et al. (2011).	O trabalho realizou uma análise SWOT sobre o uso de terras degradadas na produção de biomassa. Não houve nenhum tipo de dados georreferenciados.	Conclui-se que o plantio de biomassa é uma ótima possibilidade de geração de empregos e de impactos ambientais positivo embora exista ressalvas financeiras.
Ott et al. (2021).	O estudo objetiva uma revisão abrangente sobre a geração de energia em planícies e não utiliza nenhum aspecto de tratamento de dados georreferenciados.	Concluiu-se que apesar de muitos benefícios, existem também contrapontos como impacto na vegetação e fauna, que podem ser mitigados pela não abertura de zonas de degradação – como rodovias para transporte.
Vandenhove et al. (2002).	O trabalho apresenta-se como uma avaliação financeira do plantio de curta duração em zonas contaminadas por questões nucleares.	Excluindo-se os aspectos radioativos, a reutilização de áreas degradadas apresenta potencial ambiental e econômico positivos.
Narendra et al. (2021).	O estudo não utilizou imagens e informações georreferenciadas na definição de quais áreas degradadas eram mais adequadas. Foi um estudo de caso em uma área específica.	A simulação mostrou que o plantio de espécies adequadas a geração de energia também reduziu a degradação do solo.

Referência	Motivo da exclusão	Informações relevantes
Shen <i>et al.</i> (2020)	Não há utilização de dados georreferenciados.	Avalia a produtividade das espécies na geração de energia e o quão bom elas são na remediação.
Spiess & De Sousa (2016).	O objetivo do trabalho foi identificar as principais barreiras para utilização de áreas degradadas como geração de energia renovável, tal qual buscar medidas mitigadoras. Não há utilização de dados georreferenciados.	Os pesquisadores concluem que é de suma importância na produção de energia nessas áreas encontrar áreas de bom recurso e bons aspectos logísticos.
Thewys <i>et al.</i> (2010).	O trabalho não está relacionado a nenhum tipo de geração de energia e sim na utilização de áreas degradadas por pecuaristas.	Fora do escopo.
Faaij (2022).	O trabalho não utilizou metodologia de seleção de áreas ou qualquer tipo de georreferenciamento.	O trabalho defendeu o uso de áreas degradadas para o plantio de biomassa para geração de energia – apontou benefícios como aumento do sequestro de carbono, diminuição da erosão, aumento da retenção de água no solo e restauração dos serviços ecossistêmicos.
Leksono <i>et al.</i> (2021)	O trabalho faz uso de dados sobre áreas degradadas, mas apenas de forma quantitativa, sem nenhum dado georreferenciado.	Observou-se a necessidade de identificar quais as culturas são adequadas, em termos de menor demanda de qualidade da terra, para o crescimento em áreas marginais, abandonadas e degradadas.
Bhatt <i>et al.</i> (2016)	Não há utilização de dados georreferenciados.	O estudo discutiu os impactos ambientais da geração de energia por meio da queima de lenha
Artati <i>et al.</i> (2019)	O foco não está em nenhum aspecto relativo à geração de energia e sim na percepção dos donos de terras sobre o tema.	Tem aumentado o interesse dos produtores no plantio de sementes não alimentícias em áreas degradadas visando a produção de bioenergia
Koda <i>et al.</i> (2021).	Não há relação com geração de energia.	Fora de escopo.
Zhang <i>et al.</i> (2024).	Não há aspectos de seleção de área ou foco na produção energética.	O foco está na medição das características do solo. Os resultados mostraram que, além dos benefícios óbvios da produção de energia, houve também melhora nas condições vegetativas de pastagens degradadas, uma vez que a área se tornou restrita.

Referência	Motivo da exclusão	Informações relevantes
Nguci et al. (2018).	O trabalho não levou em consideração zonas degradadas ou busca por essas áreas.	Necessidade de se produzir energia renovável globalmente visando a redução das emissões de dióxido de carbono.
Metzger & Huttermann (2009).	A avaliação não utiliza imagens ou dados georreferenciados, faz uma avaliação quantitativa com base em dados de áreas degradadas.	O trabalho objetivou estimar a demanda de energia para o ano de 2030 e analisar a possibilidade de atendê-la com bioenergia colhida de plantações em áreas historicamente degradadas.
Gorman et al. (2023).	O estudo não trabalhou com seleção de áreas para geração de energia e sim com a avaliação dos impactos desta na biodiversidade.	É possível alcançar uma produção de energia renovável que também é positiva à biodiversidade. Isso se dá por meio da promoção de métodos com menor impacto ecológico e desenvolvimento de uma infraestrutura menos agressiva.
Nowak et al. (2023).	Não houve nenhuma seleção de áreas ou avaliação de regiões degradadas na metodologia.	Fora do escopo.
Chen & Yang (2022).	A análise é apenas das áreas degradadas, não tendo relação com a geração de energia – é apenas uma das sugestões para o reuso.	Fora de escopo.
Ogbonnaya, Turan & Abeykoon (2020).	Direcionamento para o funcionamento termodinâmico das placas fotovoltaicas.	Fora do escopo.
Szumilas-Kowalczyk & Giedych (2022).	Foco nos estudos de documentos relacionados planejamento territorial da Polônia.	Fora de escopo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Alguns trabalhos, embora excluídos por não responderem as três questões, apresentaram informações muito relevantes que acrescentaram à pesquisa ou ajudaram a validar os objetivos levantados. O estudo de Spiess & De Sousa (2016) apresenta a importância de encontrar áreas degradadas que apresentem boa qualidade de recursos naturais – como irradiância e velocidade do vento –, bons aspectos de infraestrutura e logística – distância às redes de transmissão e às rodovias, elevação adequada do terreno, entre outros. A realização dessa análise conjunta está relacionada a uma boa seleção da área e redução de falhas.

Ott et al. (2021) discutiram os impactos na fauna e na flora que a abertura de um novo ponto gerador de energia pode acarretar e mostraram que estes podem ser mitigados

pela não abertura de zonas de degradação – como rodovias. Esta conclusão está consonante com a busca por regiões com proximidade a rodovias já estabelecidas.

Zhang *et al.* (2024) focaram o estudo na evolução das características do solo após uma pastagem degradada receber painéis solares. Embora o foco esteja na análise da vegetação, os resultados corroboram com a positividade de atrelar a remediação de uma área degradada a geração de energia uma vez que, além de se produzir energia – um benefício inegável –, houve melhora na qualidade da pastagem.

Gorman *et al.* (2023) observaram os impactos na biodiversidade em pontos de geração de energia. Os autores mostraram que é possível produzir energia renovável em acordo com boas práticas de biodiversidade como o cuidado para não pavimentar uma infraestrutura agressiva. Uma forma de evitar impactos pela instalação de infraestrutura é diminuir ao máximo a nova abertura de vias, mostrando como a metodologia de buscar uma logística já instalada é benéfica ao processo.

Analisando os sete trabalhos aceitos após a leitura integral foi possível levantar informações úteis na resposta dos questionamentos e validar o objetivo da pesquisa. A Tabela 7 apresenta os trabalhos aceitos, a tipologia base, objetivo e um resumo das informações mais relevantes.

Tabela 7 Trabalhos aceitos após leitura integral e principais dados coletados.

Referência	Tipo	Objetivo	Caso ou exploração	Informações relevantes
Vrínceanu, Dumitraşcu, & Kucsicsa. (2022)	PV	Realizar análise dos melhores locais teóricos para instalação de usinas fotovoltaicas na Romênia. Após, comparou-se com a distribuição das usinas existentes.	Busca de áreas no país.	A metodologia utilizou um esquema de sobreposição ponderada de rasters sobre fatores biofísicos, antropogênicos e restritivos (avaliação de multicritérios). Os resultados zonearam regiões de acordo com sua aptidão à geração de energia fotovoltaica, com bons valores em áreas degradadas. Os pontos de melhora citados para uma metodologia mais robusta foram o acréscimo de dados sobre redes de transmissão, capacidade produtiva das terras agrícolas e ordenamento do território.

Referência	Tipo	Objetivo	Caso ou exploração	Informações relevantes
Edrisi et al. (2022)	BI	Apresentando a possibilidade de reutilização energética, objetivou atualizar a estimativa atual de quantidade de terras degradadas na Índia.	Busca de áreas no país.	A metodologia coletou dados de diversas agências para realizar, após apuramento das informações, a sobreposição das camadas, com base na avaliação multicritérios de Saaty (Análise Hierárquica de Processos ou AHP), e criar um ranking de aptidão com base em critérios biofísicos. Então, avaliou-se essas áreas com algumas espécies de plantas previamente selecionadas. Os resultados apresentaram mapas das áreas degradadas indianas e do potencial destas para cultivo de biomassa visando utilização energética.
Waite (2017)	PV, EO	A pesquisadora teve por objetivo descrever os benefícios e quantificar o potencial eólica e solar de produção de energia em terras contaminadas ou degradadas nos EUA.	Análise quantitativa apenas.	A metodologia levou em conta a base de dados de estados americanos que participam do programa RPS de diversificação da matriz energética. O estudo usou dados quantitativos de área degradada destes estados e calculou, com base no potencial de geração de energia, o potencial de geração por estado nas tipologias fotovoltaica e eólica (não foram utilizados dados com informações acerca das áreas de maneira geral, apenas os quantitativos). A autora levantou valores de distância a rodovias e a linhas de transmissão de referência. Os resultados mostraram uma excelente adesão à metodologia a iniciativa renovável, principalmente a geração solar.

Referência	Tipo	Objetivo	Caso ou exploração	Informações relevantes
Adelaja et al. (2010)	PV, EO	O objetivo do trabalho foi de avaliar o potencial para desenvolvimento de tipologias de geração de energia renovável e o impacto econômico deste no estado americano de Michigan.	Estudo de caso.	<p>A metodologia utilizou as áreas de <i>brownfield</i> existentes no estado de Michigan e cruzou dados com as informações dos recursos fotovoltaico e eólico. Uma deficiência do trabalho é não considerar mais nenhum fator de infraestrutura, dados sociais e/ou ambientais. Os resultados partiram da realização da sobreposição de camadas para revelar as áreas de <i>brownfield</i> com recurso adequado. Foram observadas quais as regiões do estado com maior quantidade de <i>brownfields</i> viáveis de utilização.</p> <p>Os autores fizeram uma discussão mais sobre o total de energia produzido e seus custos para geração, não focando tanto na busca pelos melhores locais para instalação de usinas.</p>
Donaldson & Lord (2018)	GT	O objetivo do trabalho foi avaliar as áreas, em Glasgow, abandonadas que poderiam ser utilizadas para geração de aquecimento de maneira renovável.	Estudo de caso	<p>A metodologia do trabalho foi construída a partir de dados acerca das áreas abandonadas, contaminadas e locais onde situam-se – ou situaram-se – aterros. Não se levou em conta nenhum tipo de aspecto de infraestrutura ou recursos. Com essas informações, foi feita uma sobreposição com mapas de demanda para a área de estudo.</p> <p>Os resultados obtidos corroboraram com um mapa de oportunidades. Neste, o atendimento das demandas de aquecimento foi atendido em até 80%.</p>

Referência	Tipo	Objetivo	Caso ou exploração	Informações relevantes
Liu et al. (2016)	BI	O objetivo dos autores foi identificar as áreas marginais disponíveis para o cultivo de biomassa energética.	Estudo de caso	A metodologia foi aplicada em uma região do noroeste da China onde utilizou-se dados de décadas para avaliar a mudança do uso e ocupação do solo, a velocidade destas mudanças e determinar as áreas marginais. Os resultados retornaram a área para o plantio, mas sem zoneamento.
Loeffler, Calkin & Silverstein (2006)	BI	O objetivo do trabalho foi estimar a produção de biomassa em uma localidade específica, a distribuição espacial da plantação, os custos associados.	Estudo de caso	A metodologia constituiu na escolha de uma área de estudo nos Estados Unidos, avaliação das florestas e modelagem das árvores destas a serem cortadas, para então realizar uma série de estimativas de custo com base nos fatores biofísicos. Os resultados focaram no custo, tratamento in situ e sequestro de carbono atmosférico.

Legenda: PV: Fotovoltaica, EO: Eólica, BI: Biomassa, GT: Geotermal.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Vrînceanu, Dumitraşcu, & Kucsicsa (2022) discutiram a enorme importância que o setor energético tem na limitação do aquecimento global em até 2°C – valor estipulado no acordo de Paris. Trabalhando com o ramo da energia fotovoltaica, os autores buscaram analisar quais os melhores locais para se implementar uma usina desta tipologia na Romênia. Para isso, foi utilizada a Avaliação Multicritério (MCE) que integra diversos fatores, positivos e negativos, como característica do recurso solar, angulação, uso da terra, proximidade de residências, estradas, entre outros e os combina para gerar mapas de adequação à expansão. Estas avaliações, combinadas com análises espaciais GIS, são extremamente importantes.

Dessa forma, Vrînceanu, Dumitraşcu, & Kucsicsa (2022) realizaram a sobreposição ponderada ou como geralmente referenciado *Weighted Overlay* (WO), onde múltiplos *rasters* são combinados, cada um com seu peso definido de acordo com a importância dos dados, criando assim uma escala para análise conjunta. Essa abordagem estruturada possibilita elencar as melhores opções multiplicando o fator em questão pelo

peso escolhido para todos os dados de entrada e, no fim, apresenta os valores finais de adequação para cada *pixel*.

Os autores levaram em conta fatores de escala biofísica – seis unidades: radiação horizontal global (GHR), elevação, ângulo *slope* e médias multianuais de duração da luz do sol, de temperatura e de velocidade do vento – e antropogênica – 3 unidades: principais áreas de proteção e distância a centros de consumo e rodovias – de dados espacialmente disponíveis. O único fator restritivo do estudo foram as políticas ambientais, divididas nas maiores áreas de proteção como parques nacionais e reservas. (VRÎNCEANU, DUMITRASCU & KUCSICSA, 2022). Os fatores, seus limiares e o peso escolhido são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 Fatores, limiares e pesos utilizados por Vrînceanu, Dumitraşcu, & Kucsicsa (2022).

Crítérios	Limiares	Peso ponderado
Radiação solar GHR (em kwh/m²/year)	Abaixo de 1200 não é viável; acima de 1400 a adequação é máxima (100%); e existem valores intermediários.	28%
Elevação (em m)	O aumento da elevação dificulta a instalação e diminui a possibilidade de transmissão da energia. Abaixo de 100 m a adequação é máxima; e acima de 1000 não é viável.	5%
Slope (em °)	Quanto mais horizontal o terreno, melhor para instalação de painéis. Assim, slope inferior a 2° são tem aptidão de 100% enquanto maiores que 16° são inviáveis.	20%
Média de insolação (em horas)	Está relacionado inversamente com o grau de cobertura de nuvens da área, fator que reduz a eficiência. Logo, quanto maior a insolação, maior a eficiência. Abaixo de 1800 horas anuais é inviável e acima de 2300 é 100%.	5%
Média de velocidade do vento (em m/s):	A velocidade do vento é um fator que interfere na operação e na duração dos materiais dos painéis. Velocidades muito baixas estão sujeitas a acumulação de poeira, enquanto as muito altas aumentam ações corrosivas (ambos casos danosos). Logo, velocidades medianas como 2 e 3 m/s são preferíveis no contexto da energia solar.	5%
Uso e ocupação do solo	Esse fator pode ser favorável ou limitante. Terras sem vegetação ou com vegetação rasteira são as mais favoráveis (áreas de pastagens recebem o maior peso, de 100%). Áreas construídas, com florestas ou com água são inviáveis.	10%

Crêterios	Limiares	Peso ponderado
Distância aos centros (in km)	Quanto menor, melhor.	5%
Distância a rodovias (em km)	Quanto menor, melhor.	5%
�reas de proteção	Fator restritivo.	Não se aplica.

Fonte: adaptado de Vr nceanu, Dumitra cu, & Kucsicsa (2022).

A metodologia elaborada pelos autores possibilitou zonear a Rom nia em zona de alta, média, baixa ou muito baixa adequação e impróprias com valores aproximados de 30%, 15%, 5% e 50%, respectivamente. Ainda, Vr nceanu, Dumitra cu, & Kucsicsa (2022) mostraram ótimos valores em áreas pouco produtivas como aquelas contaminadas como áreas degradadas. Um alto nível de adequação foi definido em diversas zonas agropecuárias degradadas, minas abandonadas e depósitos de lixo.

Vr nceanu, Dumitra cu, & Kucsicsa (2022) destacaram ainda que a falta de dados como a rede de transmissão de eletricidade existente, a capacidade da geração das terras agrícolas e o ordenamento do território foram fatores que limitaram a acurácia dos resultados obtidos.

Edrisi *et al.* (2022) mostraram que as plantações voltadas para produção de energia vêm se consolidando como boas soluções para restaurar áreas degradadas e mitigar os impactos da mudança climática. A produção energética em zonas degradadas torna-se muito importante por não causar conflitos na relação produtiva de alimentos-energia. Assim, o artigo objetivou, atualizar a estimativa atual de quantidade de terras degradadas na  ndia.

Os autores coletaram cr terios biofísicos em diversas categorias, trabalharam com o uso e ocupação do solo, temperatura, quantidade de chuva, elevação, *slope* e aspectos do solo, não levando em consideração nenhum dado relativo à infraestrutura. Com base nestes, foram gerados mapas que, posteriormente, foram analisados em conjunto por meio da sobreposição das camadas.

O trabalho utilizou a avaliação multicr terios chamada de Processo de Hierarquia Analítica ou AHP. Nessa metodologia, os autores trabalharam com diversas camadas em formato vetorial e atribuiram nelas polígonos que foram classificados em cinco categorias – bom, junto, moderado, ruim e desconsiderado. Após, para cada parâmetro atribui-se pesos para que, quando fosse feita a sobreposição de camadas, houvesse uma forma de avaliar todas de acordo com seu grau de importância.

Nos resultados, Edrisi *et al.* (2022) apresentaram um mapa com as áreas degradadas indianas e diversos outros com o potencial destas para cultivo de biomassa

visando utilização energética para uma série de culturas levantadas. Dentro de cada cultura os autores calcularam a área potencial de plantio, média de carbono atmosférico capturado, média de biocombustível produzido, média de potencial calorífico, carbono e biomassa bruta e potencial bioenergético.

Waite (2017) apresenta a ligação muito clara e evidente que existe entre geração de energia e uso da terra. Sempre que se discute o tema das energias renováveis e sua expansão é pertinente pensar em onde alocar novas instalações. Usualmente, a escolha de locais quase sempre é direcionada aos “*greenfields*”, que é um hiperônimo para espaços abertos, áreas com produção de alimentos, florestas, entre outras.

Além disso, muito se avalia sobre a disponibilidade dos recursos – como vento e radiação –, condições do terreno, mercado consumidor e outros aspectos técnico-financeiros. Contudo, Waite (2017) discute a importância de se pensar a geração de energia sobre os mais diversos prismas, entre eles biológicos, técnicos e sociais. Assim, visando a melhoria destes fatores, uma opção sustentável reside no uso das milhares de terras subutilizadas e degradadas. Essa sugestão ataca dois problemas de uma só vez: reutilizar milhares de quilômetros degradados e desenvolver fontes de energia renovável.

O trabalho da pesquisadora então buscou, dentre os estados americanos participantes do programa de expansão da matriz energética (RPS na sigla americana), descrever os benefícios e quantificar o potencial eólica e solar de produção de energia em terras contaminadas ou degradadas. Waite (2017) levou em conta dados quantitativos de tamanho de área degradada e critérios físicos como distância para rodovias e linhas de transmissão e disponibilidade de recurso – eólico ou solar. Para isso, a autora então criou uma referência sobre o tamanho do empreendimento e quais os limites desses critérios para um projeto tecnicamente viável, que pode ser apresentada na Tabela 9 e Tabela 10.

Tabela 9 Requisitos para instalação de uma nova usina geradora de energia solar.

Solar: referência 7,9 acres para produzir 1 MW.

Escala	Irradiância direta normal	Tamanho da área	Distância máxima até linhas de transmissão e rodovias
Enorme	$\geq 5 \text{ kWh/m}^2/\text{dia}$	$\geq 40 \text{ acres (0,17 km}^2\text{)}$	$\leq 10 \text{ milhas (16 km)}$
Grande	$\geq 3,5 \text{ kWh/m}^2/\text{dia}$	$\geq 2 \text{ acres (0,008 km}^2\text{)}$	$\leq 1 \text{ milha (1,6 km)}$
Sem ligação à rede	$\geq 2,5 \text{ kWh/m}^2/\text{dia}$	Não se aplica	Não se aplica

Fonte: adaptado de Waite (2017).

Tabela 10 Requisitos para instalação de uma nova usina geradora de energia eólica.

Eólica: referência 82,25 acres para produzir 1 MW.

Escala	Velocidade do vento a 80 m	Tamanho da área	Distância máxima até linhas de transmissão e rodovias
Enorme	$\geq 5,5$ m/s	≥ 100 acres (0,4 km ²)	≤ 10 milhas (16 km)
Grande	$\geq 5,5$ m/s	≥ 40 acres (0,17 km ²)	≤ 10 milhas (16 km)
1-2 turbinas	$\geq 5,5$ m/s	≥ 2 acres (0,008 km ²)	≤ 1 milha (1,6 km)
Sem ligação à rede	$\geq 5,5$ m/s	$\geq 0,25$ acres (0,001 km ²)	Não se aplica

Fonte: adaptado de Waite (2017).

Waite (2017) levantou informações quantitativas não georreferenciadas que usaram como base os valores de referência citados nas Tabela 9 e Tabela 10 e a quantidade de área degradada de cada um dos 29 estados adeptos ao RPS. Segundo a autora, caso apenas 10% de todo potencial energético renovável em áreas degradadas fosse instalado nos estados que tem RPS, a demanda excedente destes poderia ser sanada.

Adelaja *et al.* (2010) estudaram sobre o potencial de se gerar energia renovável em brownfields – termo popular na língua inglesa para áreas geralmente abandonadas ou subutilizadas previamente utilizadas como instalações industriais ou comerciais, podendo ou não estar poluída ou contaminada. O objetivo foi de avaliar o potencial para desenvolvimento da energia renovável e o impacto econômico deste no estado americano de Michigan.

Os autores desenvolveram a metodologia com base nas áreas de *brownfield* existentes em Michigan e sobreposto a dados de recursos solar e eólico. Não foram levadas em consideração proximidade a rede, rodovias ou quaisquer outros fatores de infraestrutura, sociais e/ou ambientais. Os dados dos recursos foram produzidos colaborativamente pelo Laboratório Nacional de Energia Renovável – um órgão do Departamento de Energia Americano –, uma empresa e o departamento de energia do estado.

O foco dos resultados reside na interpretação dos custos. Segundo Adelaja *et al.* (2010) este ainda é o principal debate, uma vez que nem sempre é favorável quando se compara com a energia convencional – que nos EUA quase sempre advém de origens fósseis.

Donaldson & Lorde (2018) estudaram a possibilidade de regeneração de áreas sem utilização em zonas geradoras de energia térmica – solução que almeja resolver dois

problemas socioeconômicos. O trabalho foi um estudo de caso para a cidade de Glasgow e trabalhou com a geração de energia térmica – não elétrica – para o aquecimento residencial.

Os autores buscaram avaliar, para a cidade escocesa, a quantidade de terra que poderia estar disponível para a geração de energia térmica renovável em áreas de *brownfield*. Donaldson & Lorde (2018) utilizaram dados governamentais sobre o uso e ocupação do solo dentro das categoriais que definem um *brownfield*. Além destas, selecionaram áreas atuais ou previas de instalação de aterros visto que estas apresentam tamanhos muito superiores. A comparação dessas áreas foi feita apenas com a demanda, não levando-se em conta nenhum tipo de aspectos de infraestrutura e recursos, procurando nela opções renováveis de aquecimento.

Com base nos mapas de demanda e de zonas de interesse foi feita a sobreposição, Donaldson & Lorde (2018) criaram um mapa final de áreas de oportunidade. Os resultados mostraram uma capacidade de atendimento da necessidade de aquecimento de aproximadamente 80%. Foi apresentada também uma tabela com sugestões de reutilização dessas áreas para outras tipologias como fotovoltaicas e biomassa.

Liu *et al.* (2016) discutiram a importância do crescimento de biomassa energética não só para o seu fim, mas também para a redução de dióxido de carbono atmosférico e, conseqüentemente, na garantia de um desenvolvimento sustentável. O trabalho utilizou uma série histórica – 30 anos – de alta resolução para identificar as áreas marginais disponível para o plantio de uma cultura específica visando a geração de energia a partir de sua biomassa. Não foram utilizados dados relativos à infraestrutura ou aspectos socioambientais.

Os pesquisadores apresentaram os resultados para a área chinesa em termos de área disponível para o plantio – sem zoneamento –, a produção de biomassa esperada, quantidade de dióxido de carbono removida da atmosfera e o tempo de cultivo até o corte. O estudo então concluiu que a cultura escolhida – *Miscanthus* – é adequada ao crescimento nessas áreas sem utilização.

Loeffler, Calkin & Silverstein (2006) analisaram a capacidade de utilização de biomassa na geração de combustíveis. O estudo focou na estimativa da produção de biomassa em uma localidade específica, a distribuição espacial das árvores em Montana e principalmente nos custos associados.

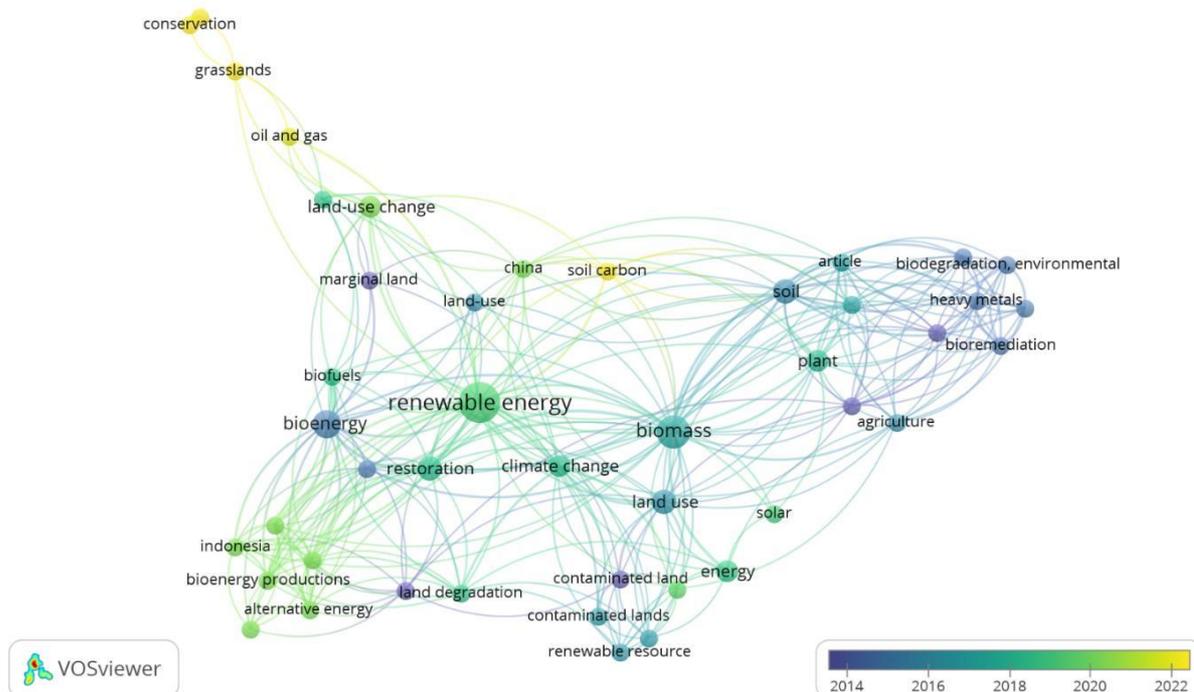
Para atingir o objetivo, os autores avaliaram as condições das florestas já existentes e fizeram uma modelagem com base no inventário das florestas presentes no

estado da área de estudo. Levaram em conta também as árvores a serem cortadas, estimaram custos de cultivo, identificaram áreas elegíveis com base no tipo de floresta, risco de incêndio, *slope*, proximidade a rodovias e custos de transporte.

Os resultados apresentados por Loeffler, Calkin & Silverstein (2006) foram mais direcionados ao custo da produção da biomassa, as possibilidades de tratamento no local ou fora e a redução de carbono da atmosfera. A análise, apesar de coletar dados sobre florestas de maneira georreferenciada, foi mais quantitativa, levantando valores e volumes.

A fim de gerar resultados sistematizados visuais, utilizou-se o software VOSviewer para criação de mapas baseados nos dados bibliográficos dos estudos aceitos. A Figura 19 apresenta os mapas feitos por meio do tipo de análise de coocorrência, na unidade de análise de palavras-chave e método de contagem *Full*. O número mínimo de ocorrências de uma palavra-chave foi de dois, o que fez com que das 348 possíveis fossem selecionadas 45.

Figura 19 Visualização das palavras-chave com evolução em escala temporal.



Fonte: elaborado pelo autor.

Com base nos questionamentos levantados, todos os 29 artigos lidos integralmente foram capazes de contribuir à pesquisa. Obviamente, os sete aceitos para revisão foram os que de fato apresentavam associação direta ao tema e foram mais explorados.

Acerca do primeiro questionamento – Existem estudos que discutem a abertura de novas unidades geradoras de energia, utilizando tipologias renováveis, em áreas degradadas georreferenciadas? – Os estudos destacados nos sete artigos aceitos para revisão discutiram muito a fundo essa questão, concordando que este é um tema focal na abertura de novos locais geradores de energia.

No que diz respeito ao segundo – Se sim, quais as tipologias abordadas pelos autores – os sete estudos destacados nos artigos aceitos foram divididos da seguinte maneira: um discutiu a geração geotermal, um abordou exclusivamente a geração solar, dois abordaram de maneira conjunta a possibilidade de geração fotovoltaica e eólica, três discutiram o uso de áreas degradadas por meio da geração de biomassa.

O terceiro questionamento apresenta grande importância por discorrer sobre os principais pontos analisados nos estudos para a escolha de uma área. Vrînceanu, Dumitraşcu, & Kucsicsa. (2022), o estudo mais completo em termos de número de variáveis consideradas, levaram em conta quantitativos sobre o recurso a ser explorado, dados de elevação, uso e ocupação do solo e distância a cidades e rodovias, além de um fator restritivo que seriam as áreas de proteção.

Neste estudo foi apontado que a falta de dados como a rede de transmissão de eletricidade existente, a capacidade da geração das terras agrícolas e o ordenamento do território foram fatores que limitaram a acurácia dos resultados obtidos.

Todo este item 3.7 – REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA foi publicado, de forma mais sucinta, em meio digital e em formato de artigo na Revista de Gestão Social e Ambiental – RGSA (QUALIS A3), Vol. 18 n° 03 (2024): “*Zoning of Degraded Areas Suitable for Implementation of Renewable Energy Generation Systems: Systematic Review*” (Motta *et al.*, 2023).

3.8 – AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIOS AHP

Nos artigos classificados como aceitos fica evidente a importância que uma avaliação multicritérios tem em trabalhos que visam selecionar áreas aptas a um determinado uso em tomadas de decisão. No campo da energia, de acordo com Vrînceanu, Dumitraşcu, & Kucsicsa (2022), diversos estudos recentes têm utilizado alguma metodologia multicritérios para atingir seus objetivos.

Diversas tipologias para a avaliação podem ser aplicadas, variando de acordo com o objetivo do trabalho. Edrisi *et al.* (2022), por exemplo, utilizaram-se de uma metodologia consagrada na academia conhecida Avaliação Hierárquica de Processos, ou

AHP (*Analytic Hierarchy Process*) que utiliza pesos e prioridades em um processo estruturado de comparação pareada.

A metodologia AHP foi desenvolvida por Saaty (1980) visando hierarquizar fatores, de dois em dois, conforme quanto o primeiro é mais importante que o segundo. Esta comparação é feita com todos os fatores que se apresentam relevantes a uma questão e, por meio de uma escala numérica, permite o especialista estabelecer pesos para aplicar em seus métodos. A Tabela 11 detalha a escala deste processo de decisão.

Tabela 11 Tabela para o processo de decisão entre dois fatores (1 e 2).

Peso	Relação de importância	Significado
1	Igual	Fator 1 e 2 contribuem equivalentemente.
3	Leve	Fator 1 sobrepõe levemente ao 2.
5	Forte	Fator 1 é fortemente superior ao 2.
7	Muito forte	Fator 1 é muito superior ao 2.
9	Extremamente forte	Fator 1 é extremamente forte em relação ao 2.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	Valores médios entre os níveis acima.
Reciprocidade	Se o fator 1 possui um dos valores citados em relação ao 2, logo o valor 2 tem um valor recíproco quando comprado com 1.	

Fonte: Adaptado Saaty (1987).

Ao fazer as comparações e atribuições de peso, é montada uma matriz que tem os fatores em cada eixo, os valores colocados e, como acontece em matrizes dessa natureza, uma diagonal com valores unitários.

A questão da reciprocidade pode ser observada nos números fracionários correspondentes, conforme apresentado na Tabela 12 que serve como exemplo. Esse aspecto da reciprocidade é fundamental para consistência da matriz e é aplicado sempre que $a_{ij}a_{jk}=a_{ik}$, para todo i,j,k (SAATY, 1987).

Tabela 12 Exemplo de construção matricial de Saaty.

Focus	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
Fator 1	1	1/7	1/5	1/5
Fator 2	7	1	2	3
Fator 3	5	1/2	1	1
Fator 4	5	1/3	1	1

Fonte: Adaptado de Saaty (1987)

O próximo passo da metodologia é o cálculo dos pesos, que funcionam como uma escala de prioridades. Este é obtido resolvendo o autovetor principal da matriz gerada – com os fatores – e normalizando o resultado. O resultado é uma matriz de uma coluna e com o número de linhas idêntico ao número de fatores utilizado nos métodos. Ainda, para este cálculo, é importante também a utilização de um fator de inconsistência para corrigir essa possibilidade (SAATY, 1987). Este fator é fixo de acordo com o número de fatores utilizados e pode ser observado na Tabela 13.

Tabela 13 Índice randômico de inconsistência – R.I..

n (número de fatores)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	(...)
R.I.	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	(...)

Fonte: Adaptado de Saaty (1987).

Em posse dessas informações Saaty (1980) indica que o próximo passo é o cálculo do índice de consistência (CI – *Consistency Index*) da relação de consistência (CR – *Consistency Ratio*). Para isso também é necessário realizar análise das matrizes – matriz fatores pela matriz autovetor pesos – e a Equação 1 e Equação 2 e, caso CR seja menor que 0,1, é possível afirmar que há coerência entre os valores atribuídos aos fatores pareados.

Equação 1 Cálculo do Índice de Consistência – C.I.

$$C.I. = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$$

Onde: λ_{\max} : média da razão entre o produto das matrizes;

N: número de fatores escolhidos.

Fonte: Saaty (1980).

Equação 2 Cálculo do Relação/Razão de Consistência C.R.

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.}$$

Onde: C.I.: Índice de consistência.

R.I.: Índice randômico.

Fonte: Saaty (1980).

Caso o índice de consistência exceda 0,1, há necessidade de reconsiderar fatores e a relação que o especialista fez entre eles. Confirmado a consistência dos dados (C.R. <0,1) os pesos podem ser utilizados nos métodos planejados. O resultado é uma matriz de uma coluna e n linhas onde o maior valor representará o fator com maior peso – leia-se maior importância (SAATY, 1987).

No caso de uma análise espacial em planos SIG, por exemplo, a avaliação multicritérios AHP pode ser utilizada para avaliação de pesos em multicamadas onde é possível se alcançar um resultado a partir de diferentes dados de entrada ponderados com o peso de cada dado – leia-se valores obtidos na matriz resultado.

Diversos trabalhos na área de sensoriamento remoto e geoprocessamento tem trabalhado com o AHP em concomitância com o SIG visando demonstrar aptidão – ou não – de espaços para determinadas tarefas. Maia, Vitorazzi & Schnlz (2021), motivadas pelo aumento dos efeitos climáticos hídricos adversos no estado do Espírito Santo, buscaram identificar áreas prioritárias para locais de armazenamento de água no solo. Para isso, utilizaram mapas de tipos de solo, declividade e uso do solo para, por meio da matriz de Saaty, determinar pesos a cada um desses critérios e aplicar no SIG para álgebra de mapas. Obtiveram resultados que apontam cerca de 15% do território apto para tal.

Rimache (2021) investigou a delimitação de áreas para instalação de aterros sanitários por meio do SIG e AHP em Yungay, no Peru. Para isso, o autor trabalhou com nove restrições e cinco exclusões e submeteu todos os estes como fatores na avaliação multicritérios. Os resultados do estudo foi que existe aproximadamente 2,2% de terras aptas para tal.

Burayu, Karuppanan & Shuniye (2023) buscaram identificar zonas vulneráveis de alagamento, por meio da combinação destas técnicas, no sudeste de Oromia, Etiópia. Foram levantados pelos pesquisadores oito fatores causadores de inundação – drenagem, densidade, chuva, elevação, declividade, índice topográfico, tipo de solo, distância ao rio – para cálculo dos parâmetros de Saaty e posterior geração do mapa onde se indicou quais partes do território possuem risco muito alto, alto, moderado, baixo e muito baixo de inundação.

Topuz & Deniz (2023) criaram, para o distrito de Demirci, na Turquia, mapas de adequação do uso do solo – em software SIG – a partir de 11 fatores diversos como solo, erosão, elevação, declividade, entre outros, ponderados na metodologia multicritérios AHP. Os resultados foram direcionados em cima de três grandes classes – floresta,

pastagens e agrícolas – onde percebeu-se que as regiões agrícolas possuem a menor adequação, ou seja, estão instaladas em áreas as quais não deveriam estar.

Shelar *et al.* (2023) estudaram o potencial de existência de águas subterrâneas, utilizando as técnicas AHP e SIG conjuntamente, por conta de um decréscimo de volume observado em Maharashtra, Índia. A metodologia AHP foi utilizada para dar peso a oito fatores escolhidos – geomorfologia, geologia, densidade de drenagem, uso e cobertura do solo, elevação, declividade e densidade. O resultado dividiu o volume das águas em excelente, bom, moderado e baixo.

Toledo (2024) avaliou as condições socioambientais da Bacia do Rio Corumbataí, em São Paulo objetivando atender diretrizes para o planejamento e gestão do território. O autor utilizou fator como pedologia, declividade, abastecimento de água, energia elétrica, entre outros. O trabalho resultou em mapas temática da área de estudo que demonstraram tendência de melhora na qualidade de vida urbana em relação à rural, além de identificar zona que demandam mais atenção.

4 – MATERIAIS E MÉTODOS

Com base no exposto, o trabalho foi elaborado visando um zoneamento das localidades, em nível nacional, aptas à implementação de energia renovável, eólica e solar, em áreas degradadas, readquirindo valor socioambiental as áreas, conforme previamente exposto por Zienkiewicz & Podciborski (2021). Este processo foi elaborado de forma a ser o mais consciente possível, ou seja, maior potencial de geração de energia com o menor impacto negativo possível.

Para determinar a aptidão de uma região a instalação de usinas, diversos fatores foram considerados, alguns conjuntamente para ambas, outros individualmente para cada tipologia. Dessa forma, a apresentação dos métodos foi feita dividindo estes dois grupos, o de fatores compartilhados pelas tipologias de geração e os fatores singulares a cada.

4.1 – ÁREA DE ESTUDO

Para essa pesquisa, buscou-se elaborar um zoneamento das regiões aptas à energia solar e eólica a nível nacional. A consideração de todo território brasileiro levou a uma grande quantidade de dados e, conseqüentemente, alto volume de processamento, devido as de dimensões continentais do país.

4.2 – FATORES COMPARTILHADOS

Uma informação importante e que tem uso constante durante o trabalho foram os limites do território brasileiro. Este uso rotineiro se deu por conta da necessidade de adequar espacialmente os dados para nossa área de estudo, uma vez que algumas informações foram obtidas levando em conta área dos oceanos – *offshore* –, o continente inteiro ou em polígonos que excediam os limites do Brasil. Os dados georreferenciados sobre os limites do território nacional foram obtidos no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2024).

Os dados trabalhados foram obtidos em diversos sistemas de coordenadas – SIRGAS2000, Albers e WGS84, por exemplo –, mas padronizou-se o uso em WGS 84 como *Datum* final dos dados. Isso se fez por meio da ferramenta *Project*, com auxílio do *software* ArcMap 10.5, que foi utilizado em todo estudo, versão em inglês.

Como o intuito do trabalho foi zonestar áreas degradadas, fez-se necessário buscar informações sobre onde estas se encontram. Conforme exposto no Item 3.3 – CONTEXTUALIZAÇÃO ACERCA DAS ÁREAS DEGRADADAS, a degradação das áreas brasileiras tem ligação direta com a agropecuária e por isso buscou-se obter dados das pastagens nacionais que apresentam indicativos de degradação.

As informações acerca das pastagens brasileiras foram obtidas por meio do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento da Universidade Federal de Goiás (LAPIG, 2022) em seu mais recente Atlas das Pastagens. Os dados referentes ao vigor das pastagens e, conseqüentemente, a indicativos de degradação fazem parte de um compilado de dados de 2000 até 2022.

Os dados apresentam-se divididos em baixo, médio e alto vigor, importando para avaliação apenas as duas primeiras: baixo e médio, ou seja, com indicativos de degradação. Estas duas categorias apresentam áreas com indícios de degradação por apresentarem tendências significativas de perda em produtividade, de acordo com análises com dados de satélite NDVI/MOD13Q1 (LAPIG, 2022).

Utilizando-se o ArcMap para remover aquelas com alto vigor vegetativo, obteve-se um mapa com a localização das pastagens com indícios de degradação no território brasileiro.

Existem territórios que não podem ser utilizados para instalação de uma nova usina por conta de aspectos legais baseados em características físicas, sociais, políticas e econômicas. Estes territórios, também chamados de áreas especiais, tiveram suas restrições pontuadas e seus dados brutos obtidos para que pudessem ser unidos em um único mapa de restrições.

Durante todo trabalho, áreas restritas – ou especiais – referem-se àquelas destinadas à preservação, manutenção e proteção da vegetação nativa. É importante destacar que essas áreas não são restritas a todos os tipos de atividades – são utilizadas para agropecuária rural, para uso militar, estabelecimento social de povos originários, entre outros – e sim restritas a implantação de uma usina geradora de energia.

As áreas reservadas para comunidades indígenas, ou simplifcadamente terras indígenas, são áreas regulamentadas por meio da Lei nº 6.001/1973 – Estatuto do Índio – que versa sobre a utilização destas terras por meio da comunidade e, conseqüentemente, as restrições para tal.

De maneira similar as terras reservadas às comunidades indígenas têm-se a restrição relativa as áreas destinadas aos grupos étnicos que compõem as comunidades quilombolas. Estas áreas, demarcadas pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) por meio do Decreto nº 4.887/2003, representam àquelas ocupadas por remanescentes dos quilombos e de importância social, cultural e financeira.

Outra restrição são as Áreas Militares, demarcadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) como aquelas reservadas com exclusividade para atividades deste grupo.

Os assentamentos são áreas de reforma agrária que unem unidades agrícolas e destinam a famílias de agricultores ou trabalhadores rurais sem condições de adquirir um imóvel rural. Dessa forma, estas constituem-se como áreas de desenvolvimento social e econômico e, para fins deste estudo, são zonas de restrição.

Outra área especial de grande importante diz respeito as Unidades de Conservação (UC). Criadas pela Lei nº 9.985/2000 representam espaços com limites definidos de características naturais relevantes, legalmente instituídos pelo Poder Público, visando a conservação com regime especial de administração. No caso deste estudo, restringiu-se as UC que são demarcadas como Proteção Integral, uma vez que estas visam a manutenção dos ecossistemas livres de alterações antrópicas.

Por fim, coletou-se informações relativas ao Cadastro Nacional de Florestas Públicas (CNFP). O CNFP é um instrumento de gestão com dados georreferenciados sobre as florestas públicas – União, Estados, Municípios – a partir de dados do Sistema Nacional de Cadastro Rural (SNCR) e INCRA.

As informações destes cinco primeiros foram obtidas pelo Atlas das Pastagens (LAPIG, 2022) tendo sido elaboradas com base em dados oficiais da Fundação Nacional do Índio (FUNAI), no caso das áreas indígenas e quilombolas, em dados do IBGE no caso das militares, do INCRA, para os assentamentos e do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) para as UC.

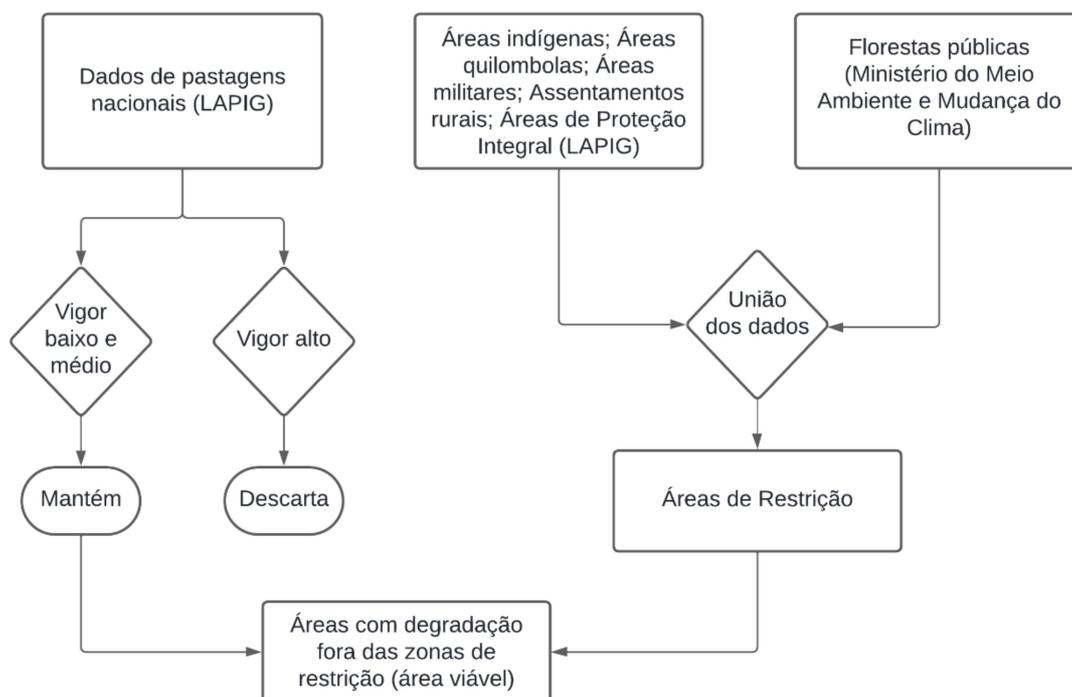
Já os dados relativos as florestas públicas são disponibilizadas pelo Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Foram utilizados os dados mais recentes, relativos ao CNPF de 2022 para todos os 26 estados nacionais mais o Distrito Federal (BRASIL, 2022).

Assim, todos esses dados foram unificados em um único mapa, representando todas as restrições citadas. Neste mapa, está representada toda a área do território nacional que foram excluídas do zoneamento de aptidão para instalação de uma usina de geração de energia solar e eólica. A título de comparação e análise, também foi calculada a área destas restrições a fim de compreender qual o espaço apto para as possíveis futuras instalações.

Em posse dos mapas de localização das áreas com indicativos de degradação e do mapa de restrições, realizou-se um trabalho conjunto nestes para criar um terceiro mapa, o das áreas com indicativos de degradação sem as restrições legais.

A Figura 20 apresenta um fluxograma de delimitação das áreas aptas sem restrições.

Figura 20 Fluxograma para seleção das áreas aptas do território brasileiro, excluídas restrições socio-político-ambientais.



Fonte: Elaboração própria.

Buscando refinar ainda mais as áreas aptas visando a escolha de um local adequado, foi realizada a análise do território nacional com base nas linhas de transmissão de energia. Estas são de fundamental importância por distribuírem a energia produzida e, dessa maneira, quanto menor distância entre a usina e a rede, menor impacto social, ambiental e financeiro. Assim, utilizando a base de dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2024) foram coletadas as informações relativas as linhas de transmissão existentes e de construção planejada no futuro próximo. Estes dois dados foram unificados dando origem a uma nova informação: linhas de transmissão unificada.

Tendo como base a mesma lógica supracitada, foram coletadas as informações relativas as rodovias nacionais, uma vez que mais próximas a elas tem-se uma infraestrutura mais robusta e estabelecida. Essa infraestrutura instalada é muito importante na etapa de construção e manutenção da usina, garantindo acesso de

qualidade, com rapidez e conforto aos funcionários. As informações foram obtidas no site do Ministério dos Transportes (BRASIL, 2024a).

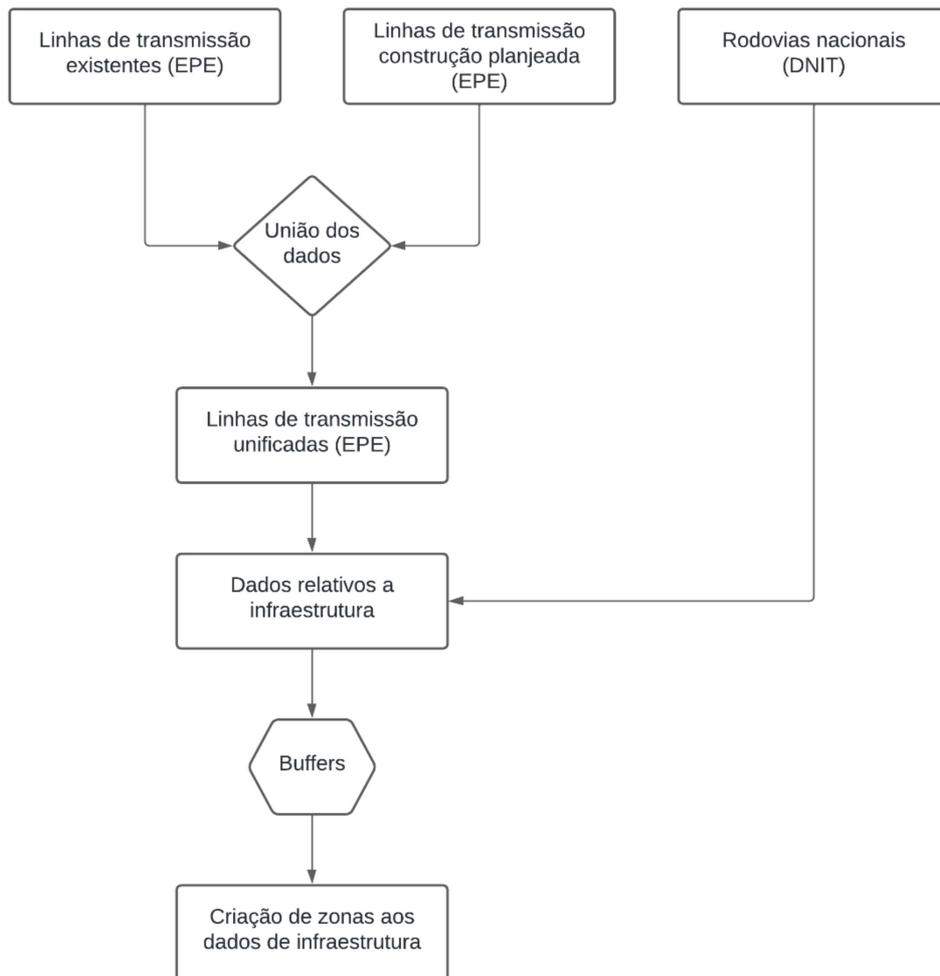
De acordo o anteriormente citado trabalho de Waite (2017), para projetos de geração de energia de enorme escala, a distância ideal para as rodovias é de até 16 quilômetros. Partindo deste pressuposto, a metodologia buscou criar *buffer* de 16 em 16 quilômetros, a partir da malha viária. Foram estabelecidas seis dessas classes – zero a 16 km, 16 a 32 km, 32 a 48 km, 48 a 64 km, 64 a 80 km e valores maiores que 80 km – onde quanto menor a distância, mais relevante ou de maior peso a ser considerado para o zoneamento.

Assim, para a classe mais próxima da rodovia – zero a 16 km – foi atribuído o valor máximo de 1. Para as demais – 16 a 32 km, 32 a 48 km, 48 a 64 km, 64 a 80 km e valores maiores que 80 km – os valores foram reduzindo gradativamente assumindo, respectivamente, 0,83, 0,67, 0,5, 0,33 e 0,16.

Para as linhas de transmissão, o procedimento foi semelhante, mudando-se apenas o valor utilizado no *Buffer*. Para esse parâmetro foram criadas seis classes com o valor inicial de 30 quilômetros e alterando-as a cada 20 – zero a 30 km, 30 a 50 km, 50 a 70 km, 70 a 90 km, 90 a 110 km e valores maiores que 110 km.

Assim, para a classe mais próxima da linha de transmissão – zero a 30 km – foi atribuído o valor máximo de 1. Para as demais – 30 a 50 km, 50 a 70 km, 70 a 90 km, 90 a 110 km e valores maiores que 110 km – os valores foram reduzindo gradativamente assumindo, respectivamente, 0,83, 0,67, 0,5, 0,33 e 0,16. A Figura 21 apresenta um fluxograma dos fatores relativos à infraestrutura.

Figura 21 Fluxograma dos fatores ligados a infraestrutura.



Fonte: Elaboração própria.

O último dos fatores compartilhados – mas não menos importante – para o zoneamento das áreas aptas a geração solar e eólica é a declividade do terreno. Muitas vezes referenciado pelo termo inglês *Slope*, o parâmetro da declividade tem grande importância no estabelecimento de um zoneamento, conforme já citado na revisão sistemática – de Vrînceanu, Dumitraşcu, & Kucsicsa (2022).

Para o cálculo do *Slope*, foram utilizados dados coletados no Departamento de Pesquisa Geológica dos Estados Unidos, o USGS (ESTADOS UNIDOS, 2024), utilizando-se o produto *Shuttle Radar Topography Mission*, popularmente conhecido pela sigla SRTM.

A declividade do terreno seguiu uma gradação linear de acordo com a angulação do *pixel*. Os melhores resultados – conforme citado por Vrînceanu, Dumitraşcu, & Kucsicsa (2022) –, aqueles de 0° a 2° receberam o valor de 1, acima de 16° zero e nas

faixas intermediárias os valores foram de 0,83, 0,67, 0,5, 0,33 e 0,16 para as faixas de, respectivamente, 2° a 5°, 5° a 8°, 8° a 11°, 11° a 14° e 14° a 16°.

As faixas de valores supracitadas foram categorizadas, dos menores valores – em graus – até os maiores, em: Excelente, Muito boa, Boa, Regular, Ruim, Muito ruim e Péssima. A declividade foi toda trabalhada levando em consideração o tamanho de pixel (*Cell Size*) de 0,00225° ou cerca de 250 m.

4.3 – FATORES PARTICULARES À ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Todas as informações supracitadas dizem respeito a fatores que foram analisados de maneira conjunta para energia solar e eólica. No que se refere ao zoneamento das áreas aptas para instalação de uma usina de geração de energia solar apenas, o fator de análise mais óbvio – e primordial – é a radiação incidente. Os dados relativos à radiação foram obtidos, para o território brasileiro, na plataforma *SolarGis* (SOLARGIS, 2024).

A estes dados foi feito uma gradação dos valores a partir de 3,5 kWh/m²/dia, proposto por Waite (2017) para usinas grandes. Dessa forma, a partir de 3,5 kWh/m²/dia, aumentou-se o valor de 0,5 em 0,5 kWh/m²/dia, criando um total de sete classes. Após, foi criada para cada categoria uma coluna de peso onde, para valores de *pixel* inferiores a 3,5 kWh/m²/dia, atribuiu-se peso zero e superiores a 6 kWh/m²/dia o valor máximo de 1. Os intermediários – 3,5 a 4 kWh/m²/, 4 a 4,5 kWh/m²/dia, 4,5 a 5 kWh/m²/dia, 5 a 5,5 kWh/m²/dia e 5,5 a 6 kWh/m²/dia – receberam valores gradativos entre o mínimo e máximo – respectivamente, 0,16, 0,33, 0,5, 0,67 e 0,83.

A insolação é outro fator importante para o zoneamento das áreas aptas para instalação de uma usina de geração de energia solar. Este fator/parâmetro foi obtido a partir de dados das normais climatológicas. As normais são valores médios observados em estações meteorológicas num período de 30 anos – e representa as características médias do clima de um local (BRASIL, 2022).

Os dados de insolação média foram coletados no site do Instituto Nacional de Meteorologia, o INMET, órgão associado ao Ministério da Agricultura e Pecuária. Optou-se pela escolha do período de 1981-2010, o segundo mais recente, por possuir um número maior de pontos – estações – para geração do mapa de insolação interpolada para o Brasil (BRASIL, 2024b). No mesmo endereço eletrônico obteve-se também a relação das estações meteorológicas existentes. Este é um arquivo importante por possuir o código e as coordenadas – latitude/longitude – de cada estação. Foi feita a união dessas duas planilhas através de um atributo em comum, o código da estação, é o que permite criar um binômio insolação/posição geográfica e espacializar os dados no *ArcMap*.

Para realizar a espacialização/interpolação utilizou-se da ferramenta Inverse Distance Weighed (*IDW*), em quarta potência, dividindo os valores em seis grupos para aplicação de pesos. O *IDW* é um método que cria uma superfície contínua a partir de pontos conhecidos, atribuindo pesos ponderados aos pontos amostrais.

Como quanto maior o valor, melhor, os valores acima de 3000 h/ano receberam peso 1 enquanto aos valores abaixo de 1800 h/a foi atribuído zero. Os demais grupos receberam 0,8, 0,6, 0,4 e 0,2 para as divisões de, respectivamente, 2700-3000 h/a, 2400-2700 h/a, 2100-2400 h/a e 1800-2100 h/a.

A velocidade do vento é um parâmetro primordial à geração eólica. Contudo, a análise deste também é interessante na geração solar no que diz respeito a conservação do material base. Velocidades do vento – na altura das placas – muito baixas favorecem a acumulação de particulados na área de captação, diminuindo a eficiência das placas enquanto valores muito elevados aumentam a corrosão do material da estrutura. Assim, o ideal são valores médios.

Nesse caso, buscou-se analisar valores de velocidade a uma altura de dois metros que fossem medianos – entre 2 e 3 m/s. Para tanto, foram utilizados dados de velocidade do vento a 10 metros (THE WORLD BANK, 2023) e, por meio do perfil logarítmico do vento, calculou-se a velocidade a 2 metros. O perfil de velocidades, de acordo com Dias (2009) é definido pela Equação 3.

Equação 3 Equação do perfil logarítmico de velocidade do vento.

$$u(z) = u_{ref} \left(\frac{z}{z_{ref}} \right)^\gamma$$

Fonte: Dias (2009).

Onde z é a altura de interesse de estimativa da velocidade do vento (u_z), u_{ref} e z_{ref} são a altura e velocidade de referência. O γ expoente é um coeficiente de estabilidade atmosférica e, para fins desta pesquisa, considerou-se a atmosfera neutra onde o valor é de 0,142.

De posse da velocidade do vento a dois metros, categorizou-se os dados para criar divisões e atrelar aos pesos. Dessa maneira, o peso máximo 1 foi atribuído aos valores medianos de 2 a 3 m/s, conforme indicado por Vrînceanu, Dumitraşcu, & Kucsicsa (2022). Do valor mínimo até 1 m/s e acima de 4 m/s, foi atribuído o peso de 0,5, enquanto para velocidades entre 1 e 2m/s e 3 e 4 m/s o peso escolhido foi de 0,67.

A Tabela 14 apresenta todos os fatores levados em consideração no cálculo da aptidão da geração de energia solar, juntamente com suas fontes.

Tabela 14 Resumo dos fatores utilizados na avaliação da aptidão solar.

Fatores utilizados no cálculo da aptidão solar	Linhas de Transmissão	EPE (2024)
	Rodovias Nacionais	BRASIL (2024a)
	Radiação	SOLARGIS (2024)
	Insolação	BRASIL (2022)
	Declividade	ESTADOS UNIDOS (2024)
	Velocidade do vento	THE WORLD BANK (2023)

Fonte: Elaboração própria.

4.4 – FATORES PARTICULARES À ENERGIA EÓLICA

Levando em conta a geração eólica, o fator que será fundamental nesta análise, seguindo o que foi apresentado por Waite (2017), será a velocidade do vento a 80 metros. Para isso, utilizou-se os dados de velocidade do vento a 100 metros (THE WORLD BANK, 2023) e aplicou-se novamente a Equação 3 Equação do perfil logarítmico de velocidade do vento..

Para a velocidade do vento a 80 metros, utilizou-se o valor de referência de 5,5 m/s. Este é um valor considerado satisfatório, com base na literatura, para ser considerado no zoneamento de áreas aptas para a instalação de uma usina de geração de energia pela tipologia eólica.

A Tabela 15 apresenta todos os fatores levados em consideração no cálculo da aptidão da geração de energia eólica, juntamente com suas fontes.

Tabela 15 Resumo dos fatores utilizados na avaliação da aptidão eólica.

Fatores utilizados no cálculo da aptidão eólica	Linhas de Transmissão	EPE (2024)
	Rodovias Nacionais	BRASIL (2024a)
	Declividade	ESTADOS UNIDOS (2024)
	Velocidade do vento	THE WORLD BANK (2023)

Fonte: Elaboração própria.

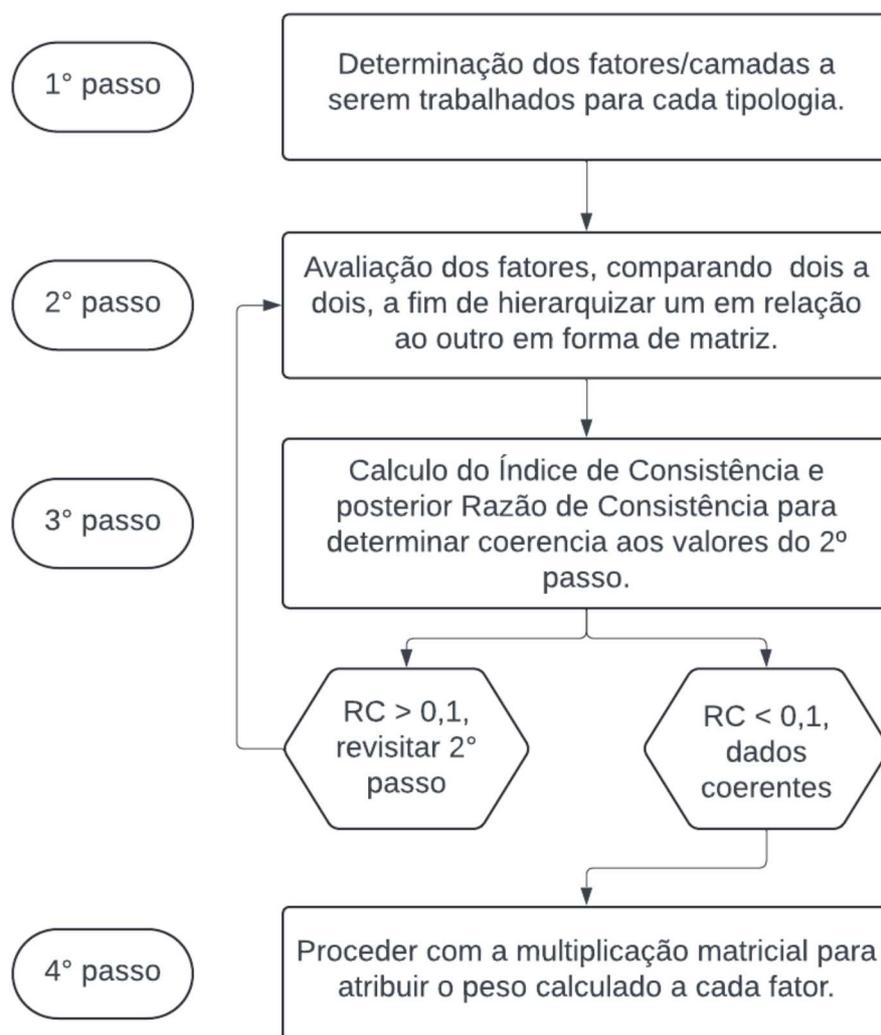
4.5 – DETERMINAÇÃO DE PESOS UTILIZANDO AHP

Em posse de todas as informações apresentadas, fez-se necessário ponderar graus de importância destas para elaboração do zoneamento. Estes fatores – a serem referenciados também como camadas, uma nomenclatura tradicional de softwares de geoprocessamento – foram hierarquizados seguindo a metodologia AHP, apresentada no item 3.8 – Avaliação Multicritérios AHP.

Dessa forma, para aplicar a metodologia AHP, o primeiro passo foi elencar as camadas para as tipologias solar e eólica. Após, foi feita uma atribuição de valores de um

fator sobre o outro, em forma de matriz. O próximo passo, uma espécie de validação do anterior, se deu pelo cálculo do Índice de Consistência (CI) e, posteriormente, da Razão de Consistência (RC). Estando RC abaixo de 0,1, significa que a hierarquização entre as camadas possui sentido e então, por meio da multiplicação matricial, pode-se estabelecer o peso ponderado de cada camada. A Figura 22 Fluxograma das etapas do procedimento metodológico AHP para atribuição de pesos por camada. apresenta um fluxograma resumido das etapas metodologias do AHP.

Figura 22 Fluxograma das etapas do procedimento metodológico AHP para atribuição de pesos por camada.



Fonte: Elaboração própria.

Após a aplicação da metodologia, o resultado é um valor entre zero e um para cada camada, que é chamado de peso onde quanto mais próximo de uma unidade, maior o peso. O somatório destes pesos totaliza exatamente um.

4.6 – APITDÃO PARA PROJETOS SOLARES, EÓLICOS E PARA HÍBRIDOS

De posse dos pesos relativos entre as camadas utilizadas no zoneamento tanto da energia solar quanto da eólica, o passo seguinte foi calcular a aptidão, em uma nova camada. A Equação 4 apresenta a formulação utilizada para qualquer número de fatores.

Equação 4 Aplicação de pesos para n fatores.

$$\text{Aptidão} = F1 \times P1 + F2 \times P2 + \dots + Fn \times Pn$$

Onde: F é o fator ou camada;

P é o peso associado.

Fonte: Elaboração própria.

Com a aplicação da Equação 4, é possível determinar as classes de aptidão, ou seja, o zoneamento das áreas degradadas aptas para receber uma usina solar, eólica ou conjugada – com viabilidade de ambas as tipologias. Projetos híbridos eólicos-solares – ou usinas conjugadas – vem sendo bastante discutidos recentemente por serem formas de alavancar as energias renováveis, aumento a produção de energia por unidade de área sem grande aumento do impacto socioambiental já causado. Ding et al (2019) elaboraram um estudo de caso deste cenário para a China, Milano (2018) propôs o sistema para a Ilha do Mel enquanto Roy et al (2022) dissertaram sobre características dos projetos que incluem a geração eólico-solar.

A aptidão de cada tipologia retornada na Equação 4 é um número entre zero e um, que por motivos didáticos é facilmente transformada em uma porcentagem. A Tabela 16 apresenta as faixas de porcentagem e a nomenclatura aplicável as mesmas.

Tabela 16 Divisão das aptidões de acordo com a porcentagem do cálculo pela Equação 4.

Faixa de Porcentagem	Divisão da aptidão
0% a 20%	Péssima
20% a 40%	Ruim
40% a 60%	Regular
60% a 80%	Boa
80% a 100%	Excelente

Fonte: Elaboração própria

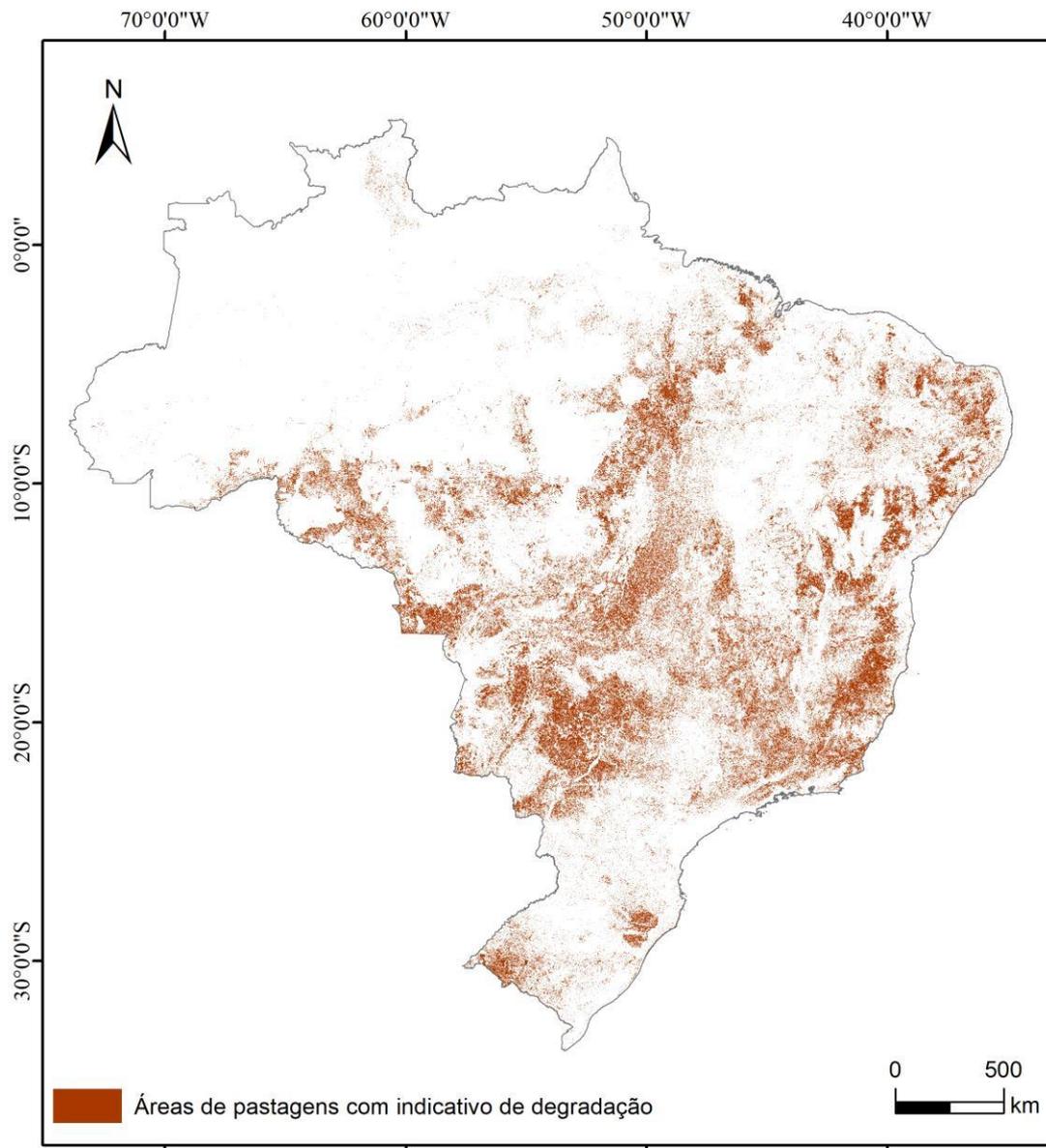
5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Todo o estudo foi elaborado visando obter o zoneamento das áreas degradadas aptas à implementação de usinas de geração de energia solar e eólica. Não obstante, a metodologia – e conseqüentemente os resultados a serem apresentados – buscou também gerar resultados que pudessem elevar o conhecimento acerca de outras áreas como áreas de pastagens com indicativo de degradação, zonas de restrição, entre outras. Todos os resultados em forma de mapas nessa seção foram realizados também no *software* ArcMap, versão 10.5, e com escala de 1:25.000.000.

5.1 – FATORES CONJUNTOS À GERAÇÃO SOLAR E EÓLICA: ÁREAS DEGRADADAS E ESPECIAIS

Conforme exposto nos métodos, o primeiro passo foi definir nosso horizonte de possibilidades, ou seja, levantar os locais do Brasil onde há sinais de degradação. Dessa maneira, seguindo os passos explicitados, obteve-se o mapa apresentado na Figura 23 que indica as áreas de pastagem com indicativos de degradação que foram considerados no presente estudo.

Figura 23 Áreas de pastagens com indicativos de degradação – baixo e médio vigor – no Brasil.



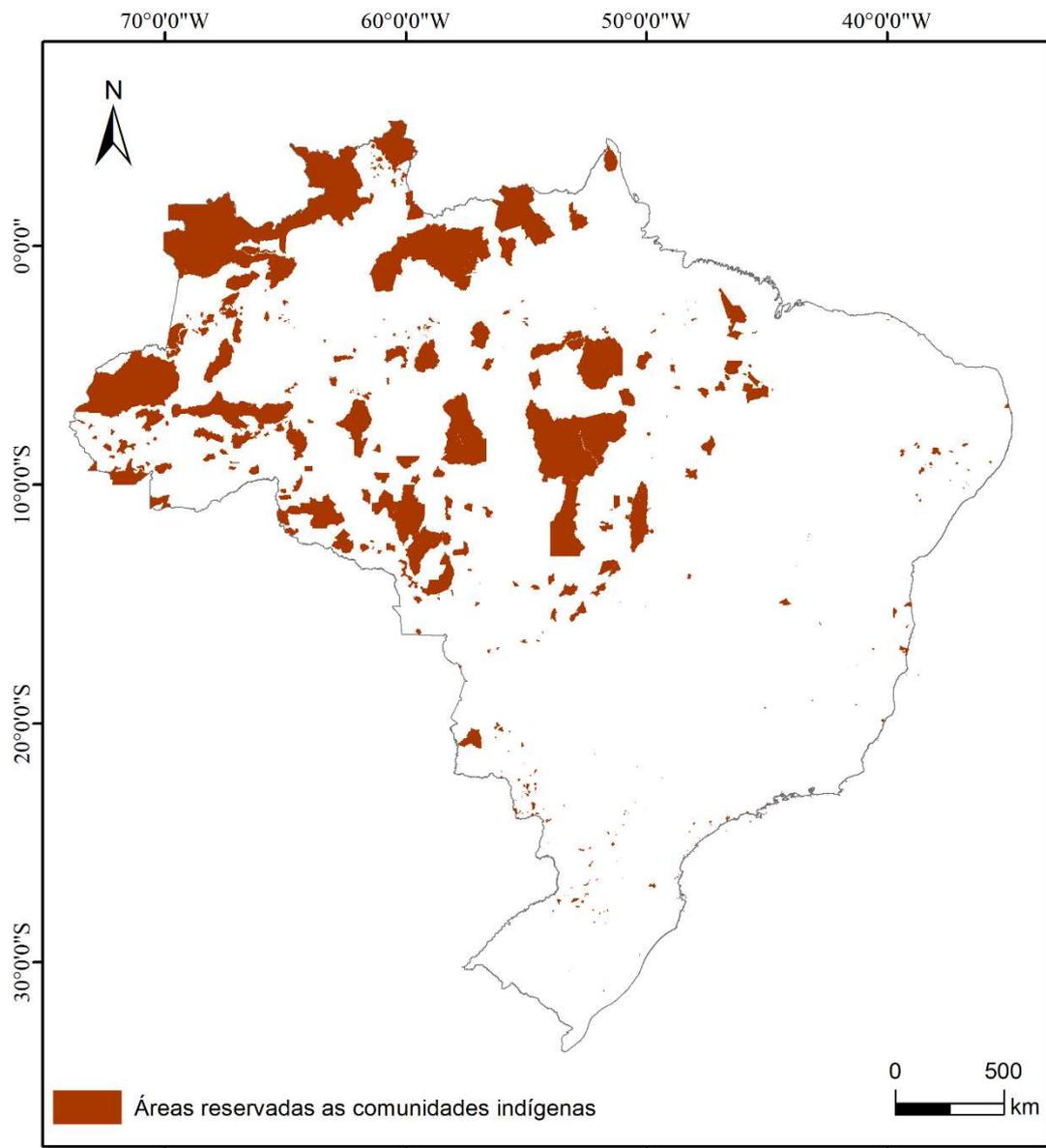
Fonte: Elaboração própria.

A Figura 23 apresenta um agravante da realidade das áreas de pastagens do Brasil: a altíssima quantidade de terras com nível de degradação. Estas estão principalmente nas regiões sudeste, centro-oeste e sul, que possuem uma grande quantidade de áreas com indicativos de degradação. A região norte, por conta da floresta amazônica e seus processos de proteção, apresenta menor abrangência de áreas com indicativo de pastagens degradadas, embora exista um processo de avanço da fronteira agrícola, em direção a floresta, em sua borda sul.

Conforme descrito na metodologia, foram utilizados no trabalho seis camadas de restrição – ou áreas especiais. E, de acordo com o exposto nas Figuras 24 a 29 tem-se

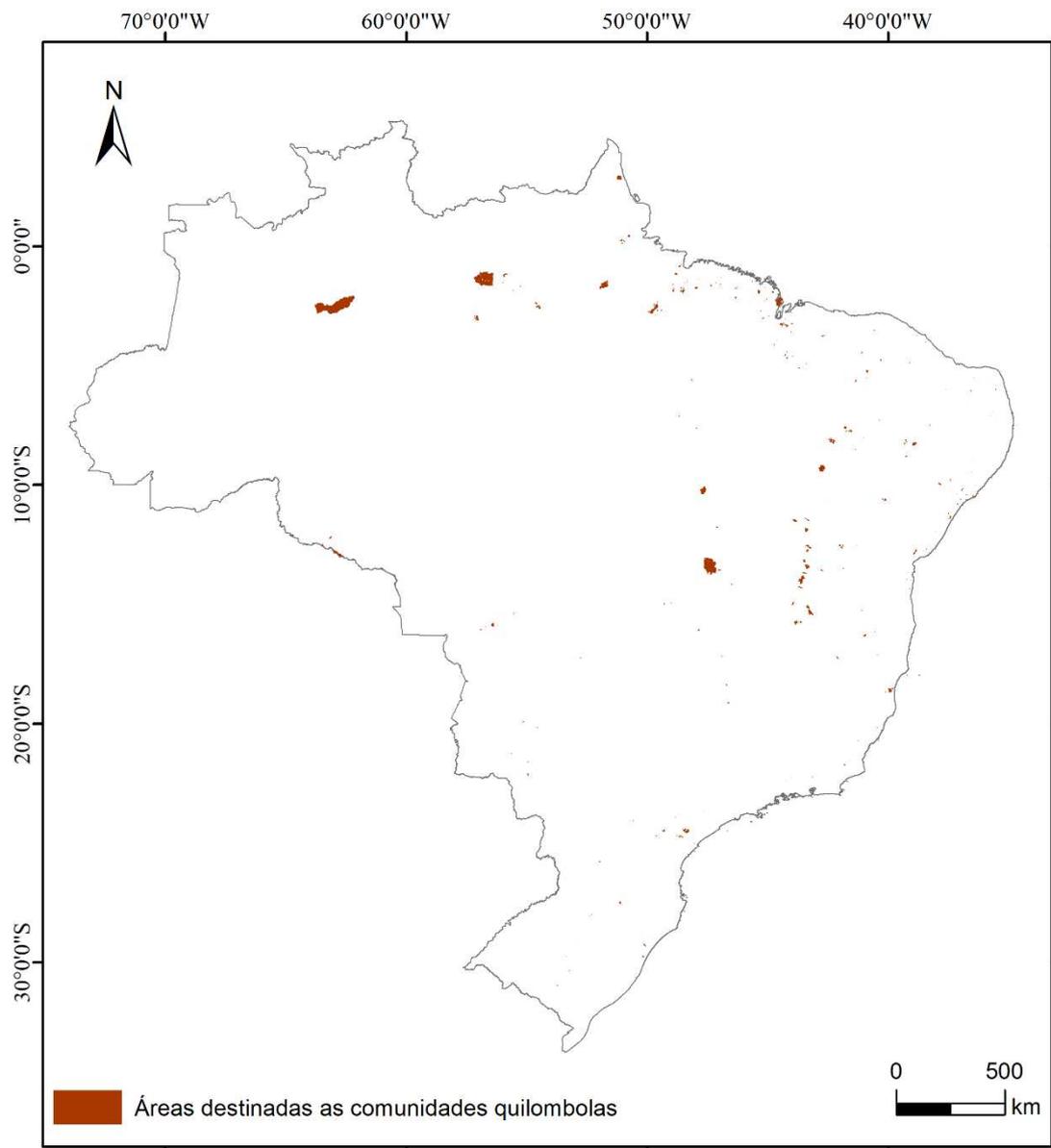
representado, respectivamente, as áreas Indígenas, Quilombolas, Militares, Assentamentos, Unidades de Conservação de Proteção Integral e as Florestas Públicas.

Figura 24 Áreas reservadas para as comunidades indígenas.



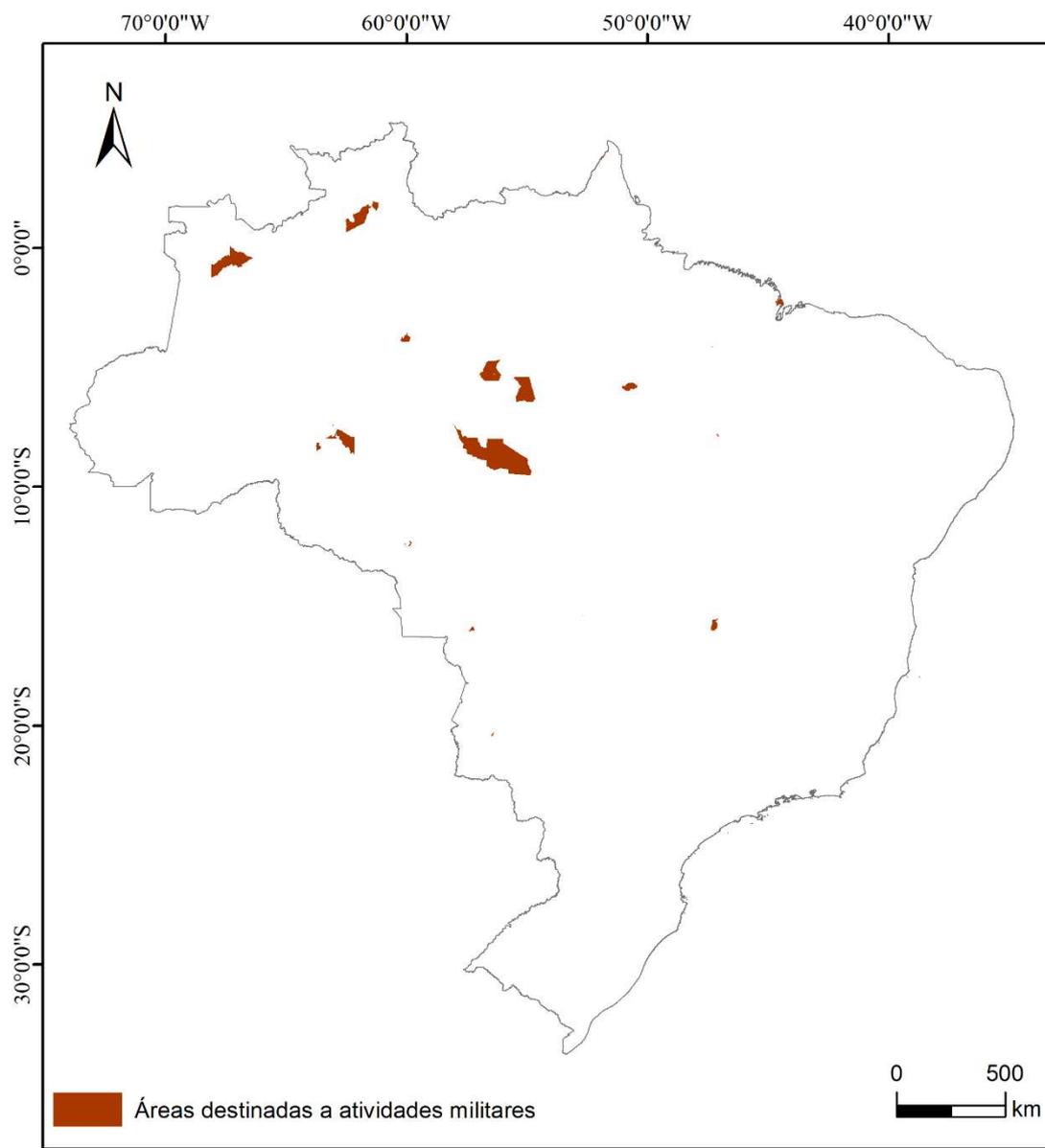
Fonte: Elaboração própria.

Figura 25 Terras destinadas aos grupos étnicos que compõem as comunidades quilombolas.



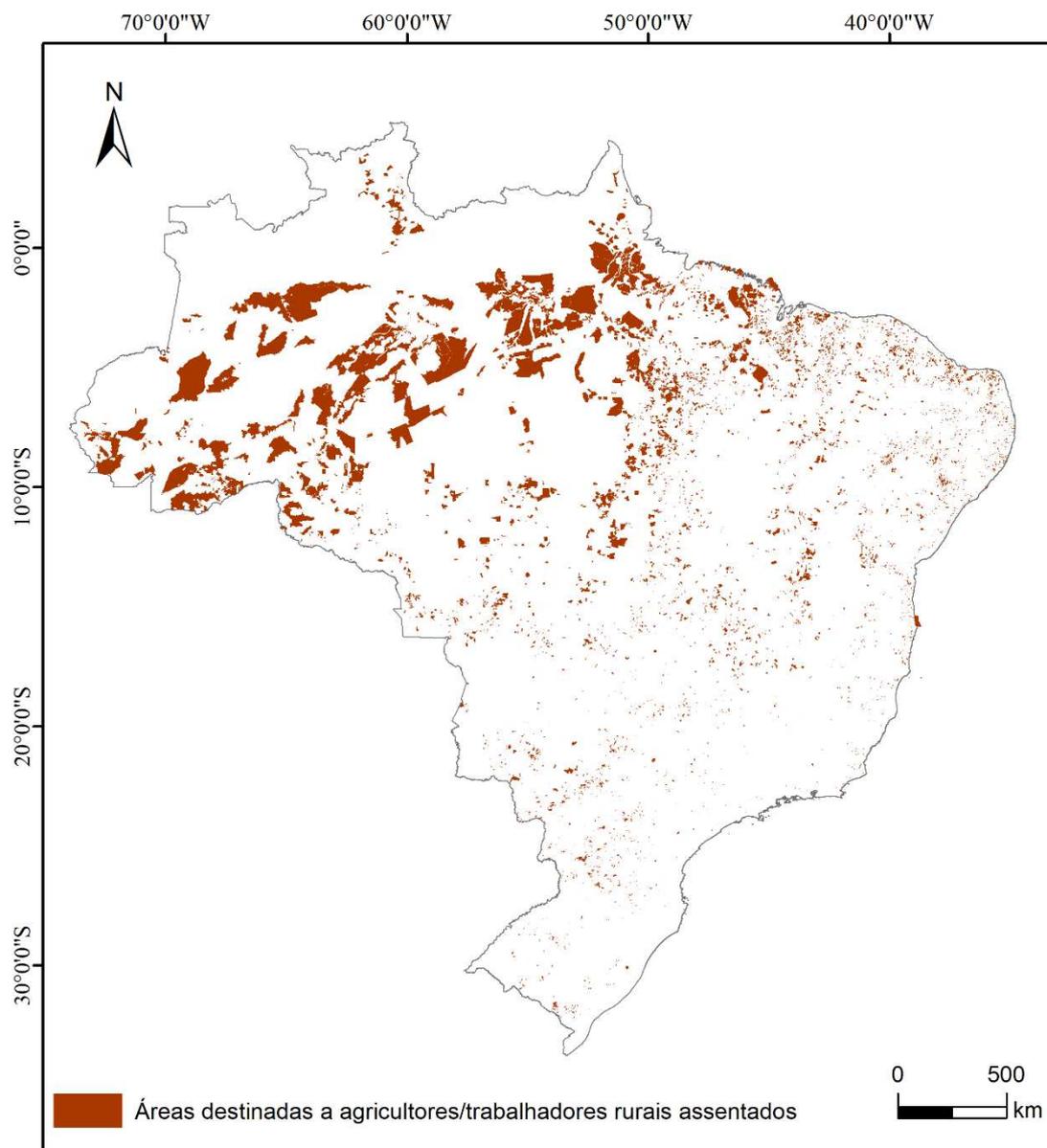
Fonte: Elaboração própria.

Figura 26 Áreas de uso restrito para atividades militares.



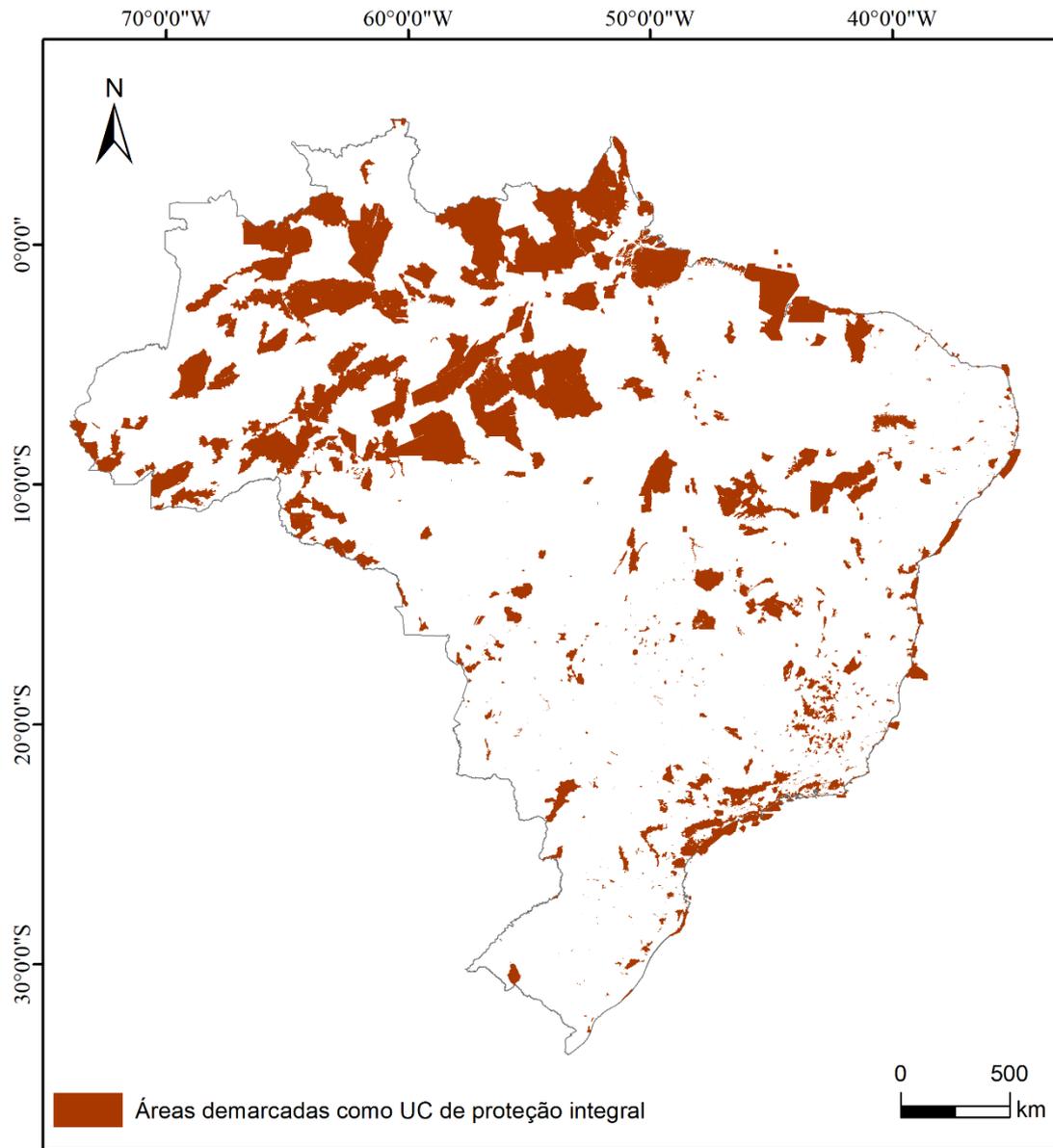
Fonte: Elaboração própria.

Figura 27 Terras de unidades agrícolas destinadas a agricultores e trabalhadores rurais que constituem assentamentos.



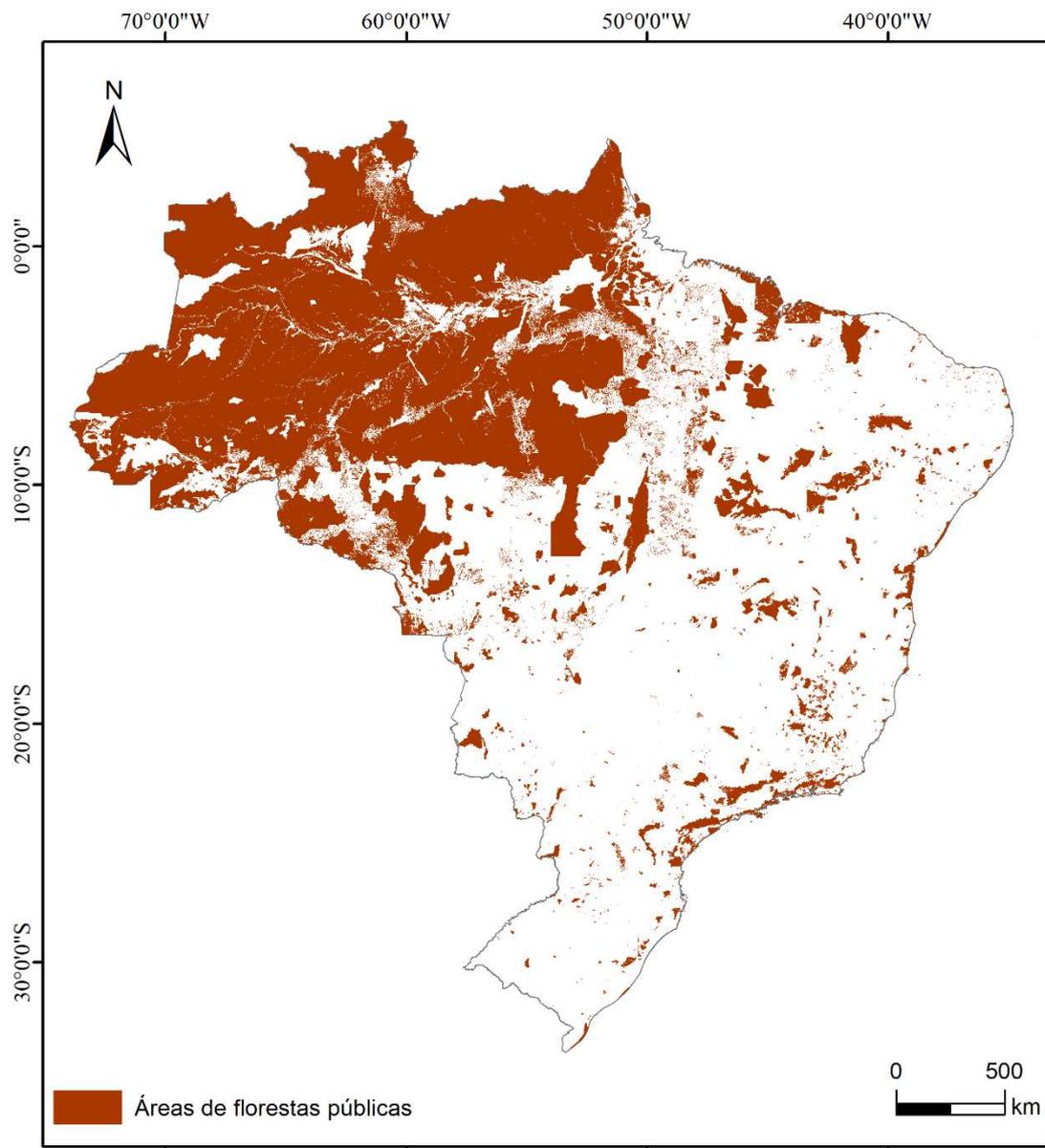
Fonte: Elaboração própria.

Figura 28 Zonas de Unidades de Conservação (UC) demarcadas como proteção integral.



Fonte: Elaboração própria.

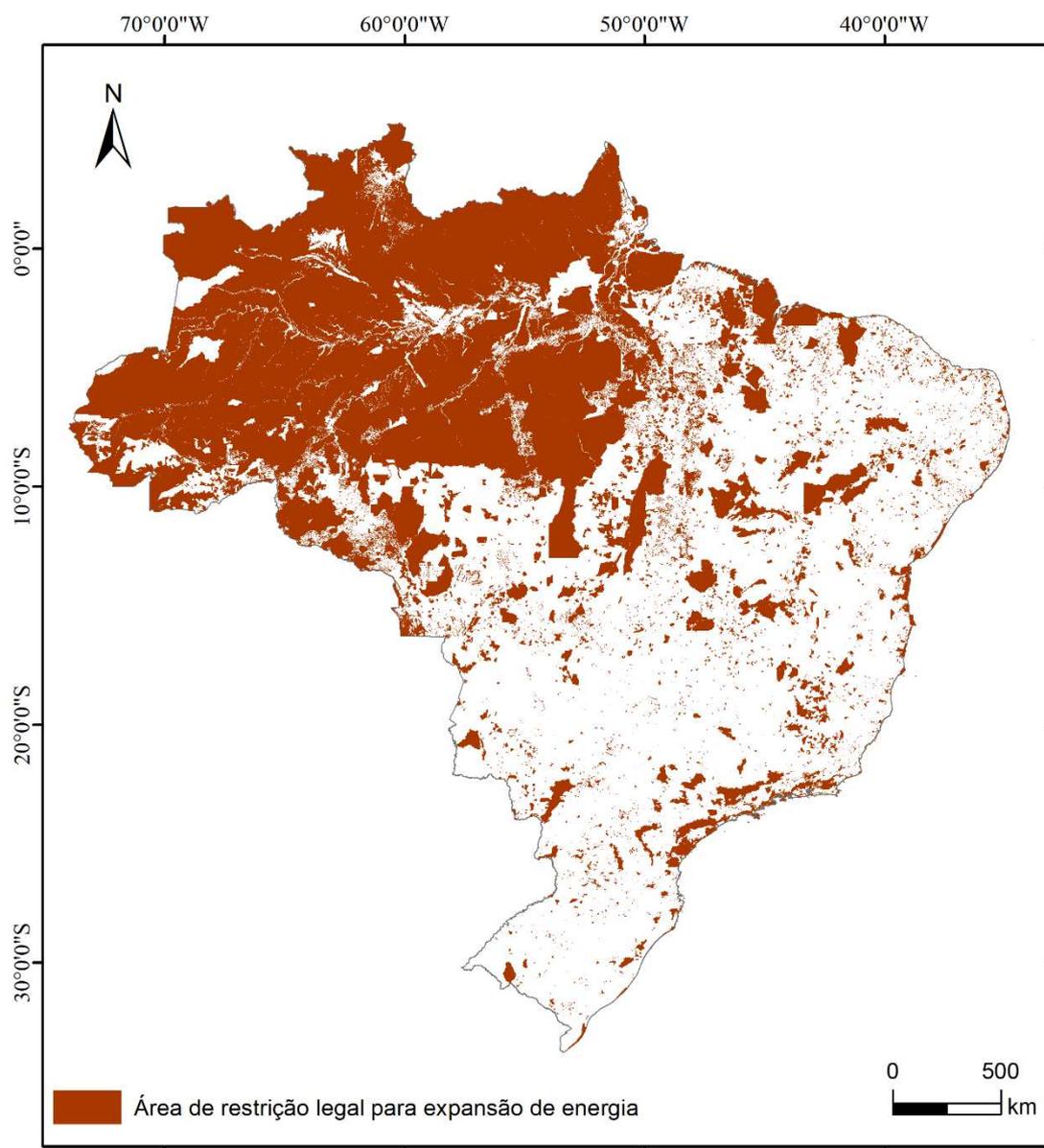
Figura 29 Florestas públicas cadastradas em todo território nacional.



Fonte: Elaboração própria.

A união destas seis camadas previamente apresentadas – da Figura 24 a Figura 29 – constituem todas as áreas de restrição a implementação de uma nova usina de geração de energia no Brasil consideradas no estudo. Assim, gerou-se o mapa da Figura 30 a fim de representar toda esta porção do território brasileiro.

Figura 30 Mapa contendo de todas as restrições legais do território brasileiro consideradas no presente estudo.



Fonte: Elaboração própria.

Calculado com base nos dados do IBGE, a área total brasileira é de 8.510.380 km². Embora um país de dimensões continentais, as particularidades geográficas, físicas, ambientais, sociais e políticas do Brasil geram, também, dimensões homéricas de áreas especiais. Levando em conta todas as variações trabalhadas, as áreas restritivas, ou seja, àquelas destinadas à preservação, manutenção e proteção da vegetação nativa somaram 6.831.473 km², ou seja, cerca de 80% do território nacional passa a ser desconsiderado.

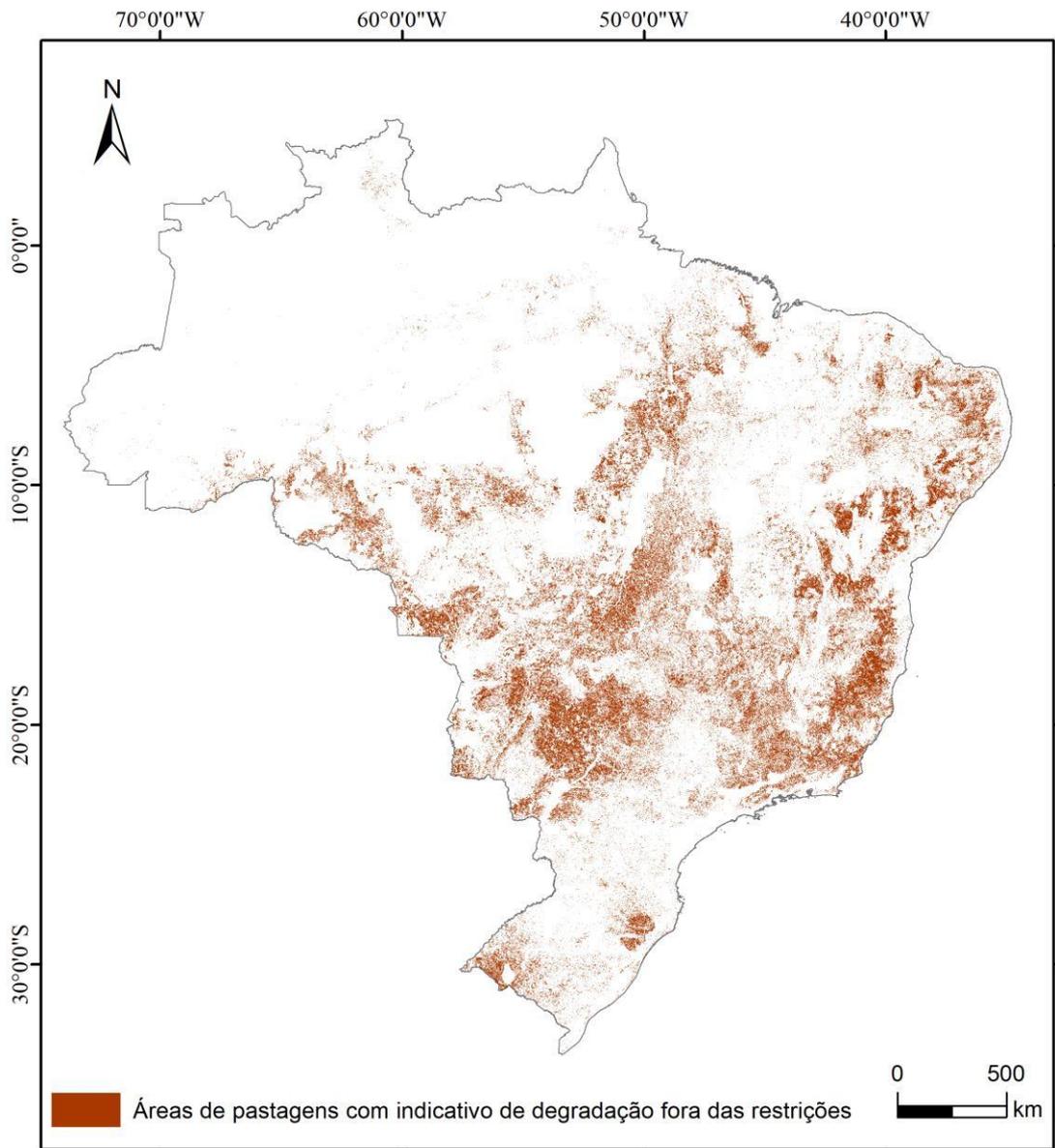
A título de comparação, um estudo realizado pela Embrapa Territorial (2020), os pesquisadores levantaram que no Brasil, em 2020, cerca de 74% do Brasil tinha sua área destinada à “Vegetação Protegida, Preservada e Conservada”. Dada as variações que eventualmente possam ocorrer temporalmente, em uso de bases de dados diferentes e das

limitações de cálculo que o software apresenta – principalmente as diferenças que decorrem dos tamanhos de pixels usados –, o valor calculado neste trabalho e o apresentado por um órgão referência estão muito próximos, mostrando que os resultados, e consequentemente a metodologia, apresentam sentido.

Embora este valor seja muito alto, é compreensivo que seja. O país é dotado de uma enorme variedade de florestas, unidades de conservação e culturas e tradições ligadas a povos nativos que devem ser, por meio de mecanismos legais, mantidas. Dessa forma, o foco deste trabalho está inserido nos 20% restantes do território nacional. Apesar de ser um valor percentual baixo, 20% da área do Brasil soma 1.678.906 km². Este valor, a título de comparação é 4,5 vezes maior que a área da Alemanha, 3 vezes superior à área da França e superior a soma das áreas totais de Paraguai, Uruguai, Equador e Chile.

Em posse dos resultados das regiões que possuem pastagens com sinais de degradação e das zonas restritivas, o próximo passo foi definir a área a ser considerada em nosso estudo. Em outras palavras, delimitar as regiões as quais podem ser avaliadas quanto à aptidão para geração de energia solar e/ou eólica, o que causaria um grande *upside* social, financeiro e político. A Figura 31 apresenta as áreas de pastagens com indicativos de degradação que atendem ao prescrito.

Figura 31 Mapa das áreas de pastagens com indicativos de degradação no Brasil, excluindo as áreas restritivas.



Fonte: Elaboração própria.

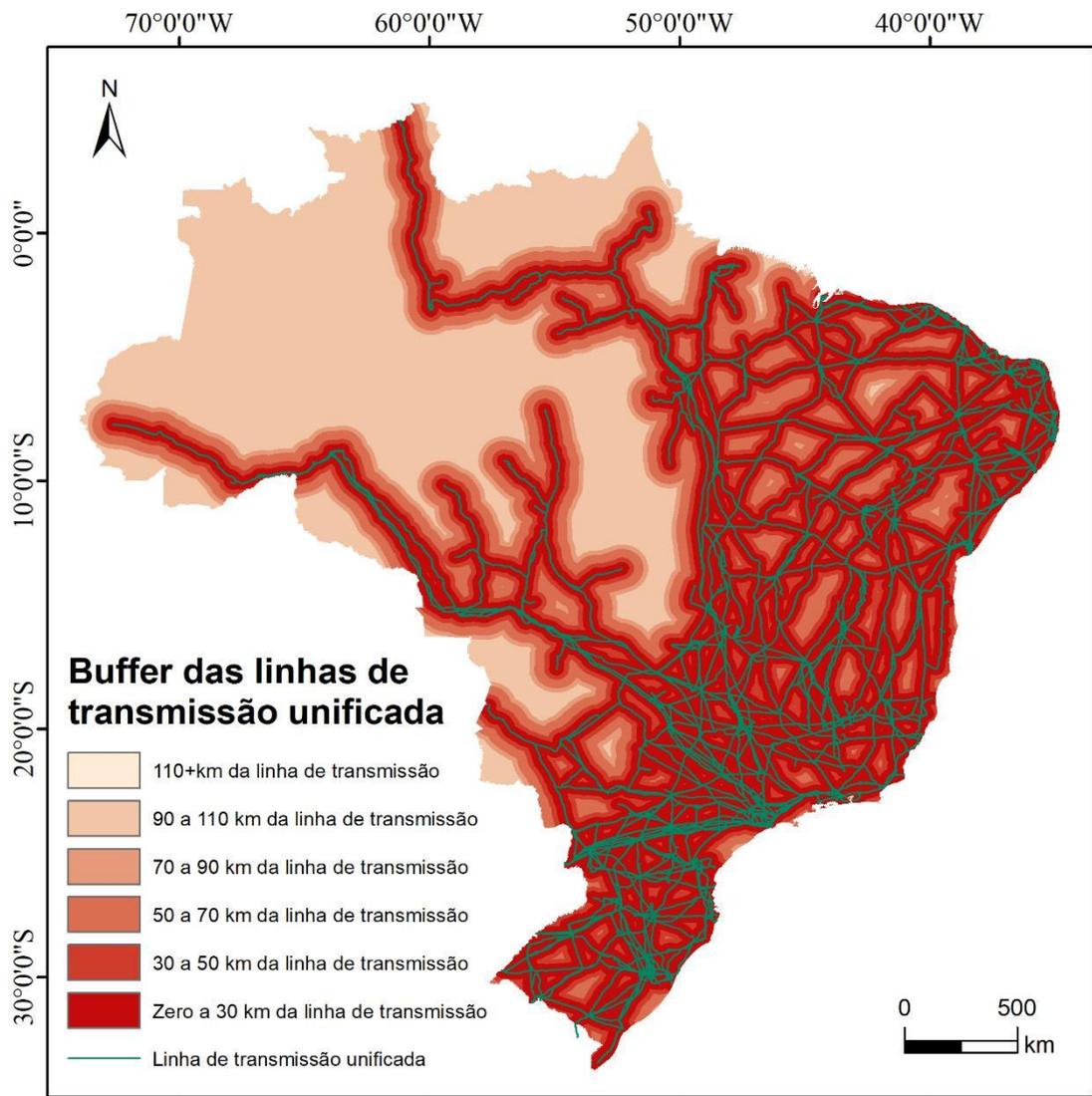
Conforme o mapa, nota-se uma grande abrangência destas áreas nas regiões nordeste, sudeste e centro-oeste brasileiro. A área total de pastagens com indicativo de degradação excluindo as regiões especiais somam mais de 1.000.000 km².

5.2 – FATORES CONJUNTOS À GERAÇÃO SOLAR E EÓLICA: INFRAESTRUTURA – RODOVIAS E LINHAS DE TRANSMISSÃO

As linhas de transmissão são de extrema importância quando se pensa na elaboração de uma nova usina de geração de energia. Isso se dá pois são estas as responsáveis por transportar a energia elétrica por longas distâncias, desde onde a mesma é gerada até seus consumidores finais.

A proximidade da rede implica em menores custos para a empresa produtora e menor impacto ambiental por utilizar a infraestrutura já instalada. Assim, o mapa da Figura 32 apresenta as linhas de transmissão já operantes unidas àquelas que já tem projeto construtivo autorizado – e estarão funcionando em breve –, além dos *bufferes* de distância em relação a linha, conforme os critérios metodológicos estabelecidos.

Figura 32 Mapa das linhas de transmissão – existentes e futuras – no Brasil, com *bufferes* de distância.



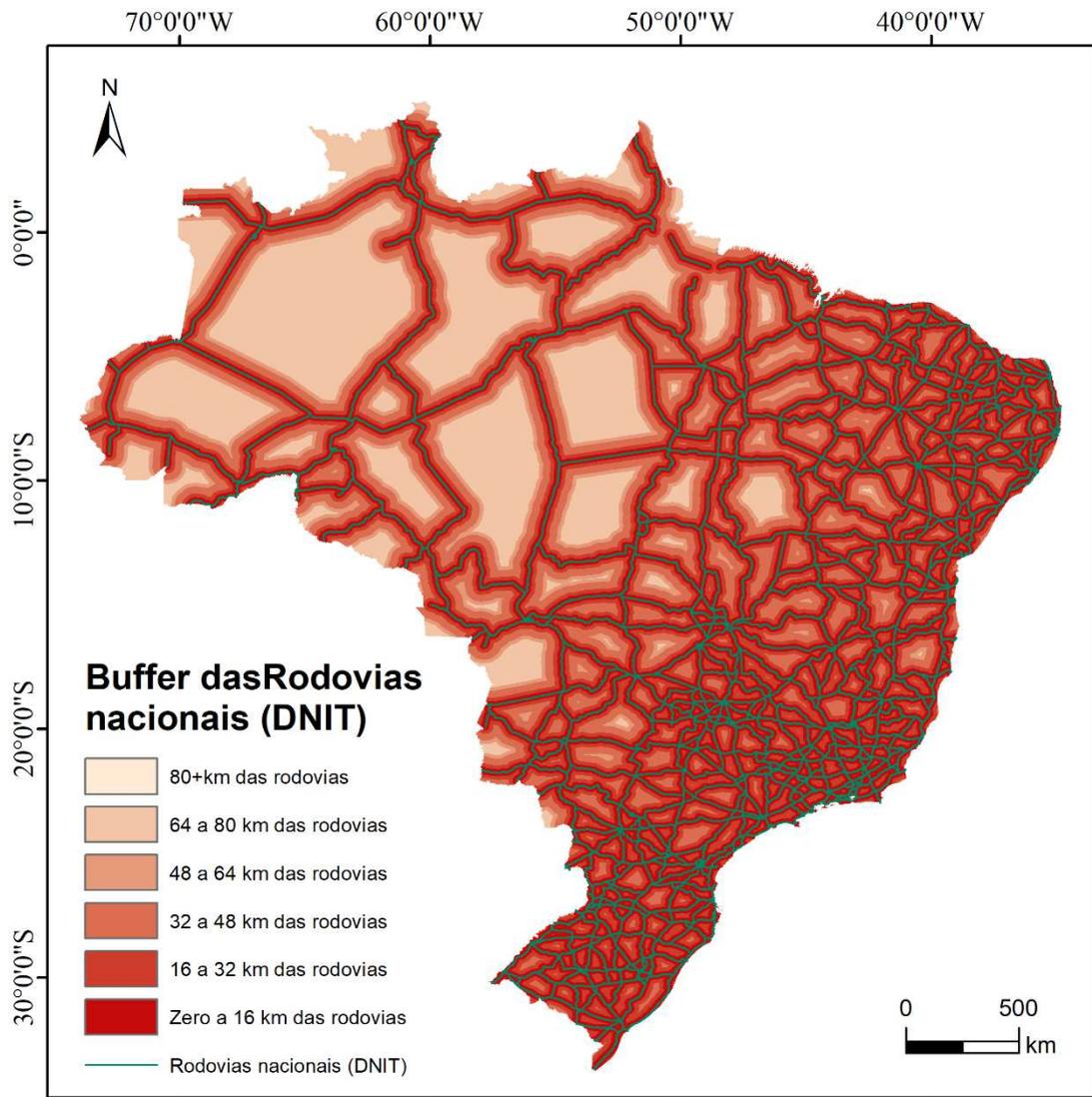
Fonte: *Elaboração própria.*

É possível observar, nas linhas de transmissão unificadas, uma maior densidade de linhas nos estados do sudeste, sul e nordeste. A menor densidade de linhas de transmissão na região norte está atrelada a existência dos fatores restritivos, já discutidos.

De maneira similar, o procedimento foi replicado para as principais rodovias nacionais. A proximidade à malha viária é um fator importante por facilitar o acesso dos trabalhadores que estarão envolvidos na construção da usina, além da chegada de

materiais. Maiores distâncias dessas rodovias implicam em necessidade de abertura de estradas, causando certo impacto ambiental, mesmo que sejam feitas de maneira rudimentar. A Figura 33 mostra o mapa contendo as rodovias nacionais e os buffers de distância, conforme já descrito na metodologia.

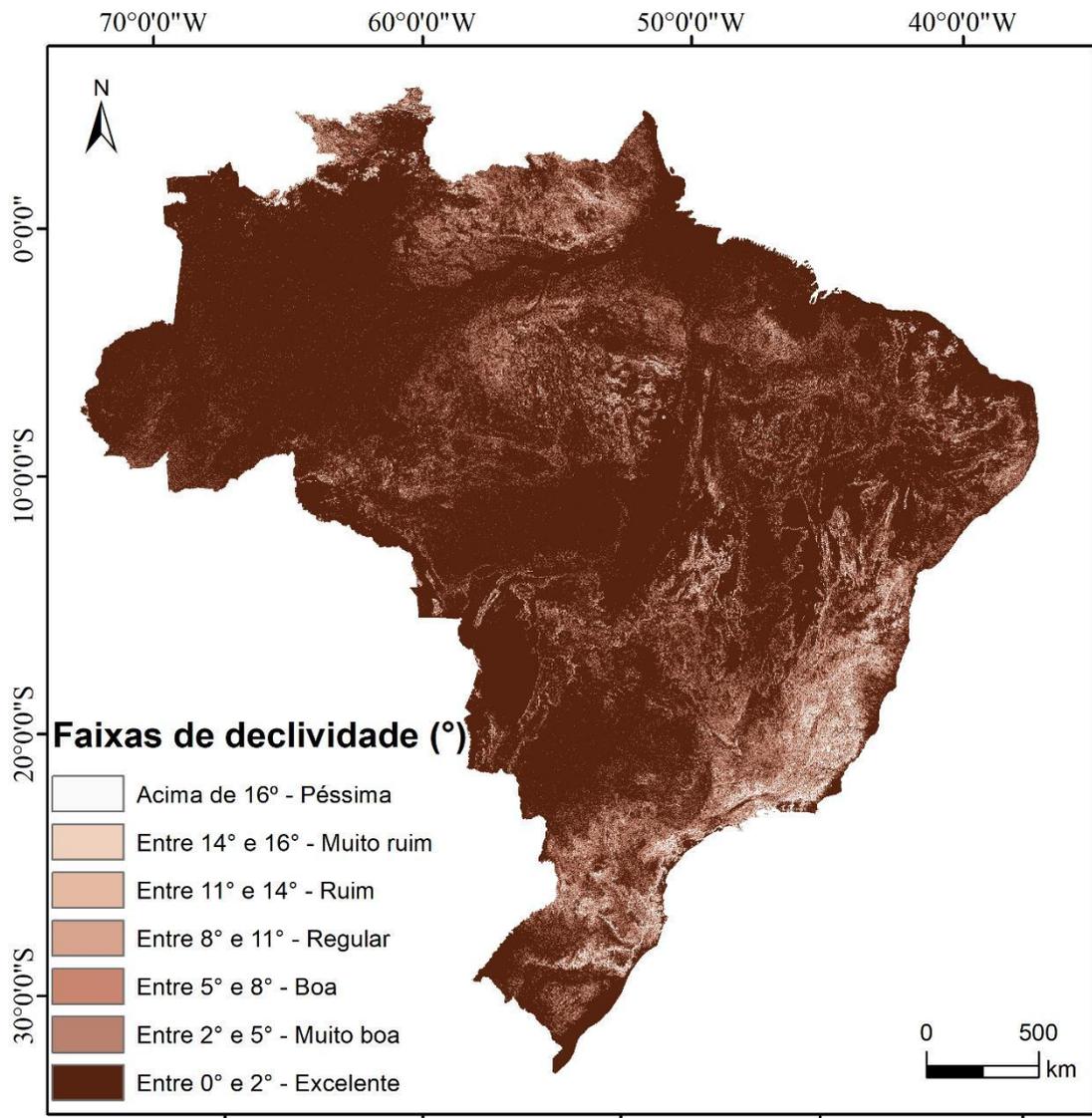
Figura 33 Mapa das rodovias nacionais, com buffers de distância.



Fonte: Elaboração própria.

A análise da declividade é extremamente importante, uma vez que quanto mais plano o terreno, melhor o controle de angulação das placas, que são fator primordial na captação do recuso – e posterior conversão – e menores os gastos com instalação de infraestrutura relativas as turbinas eólicas. A Figura 34 apresenta o mapa de declividade, em sete classes definidas para este estudo, do território brasileiro.

Figura 34 Mapa de declividade – slope –, em graus, para o território brasileiro, dividido em sete classes de interesse.



Fonte: Elaboração própria.

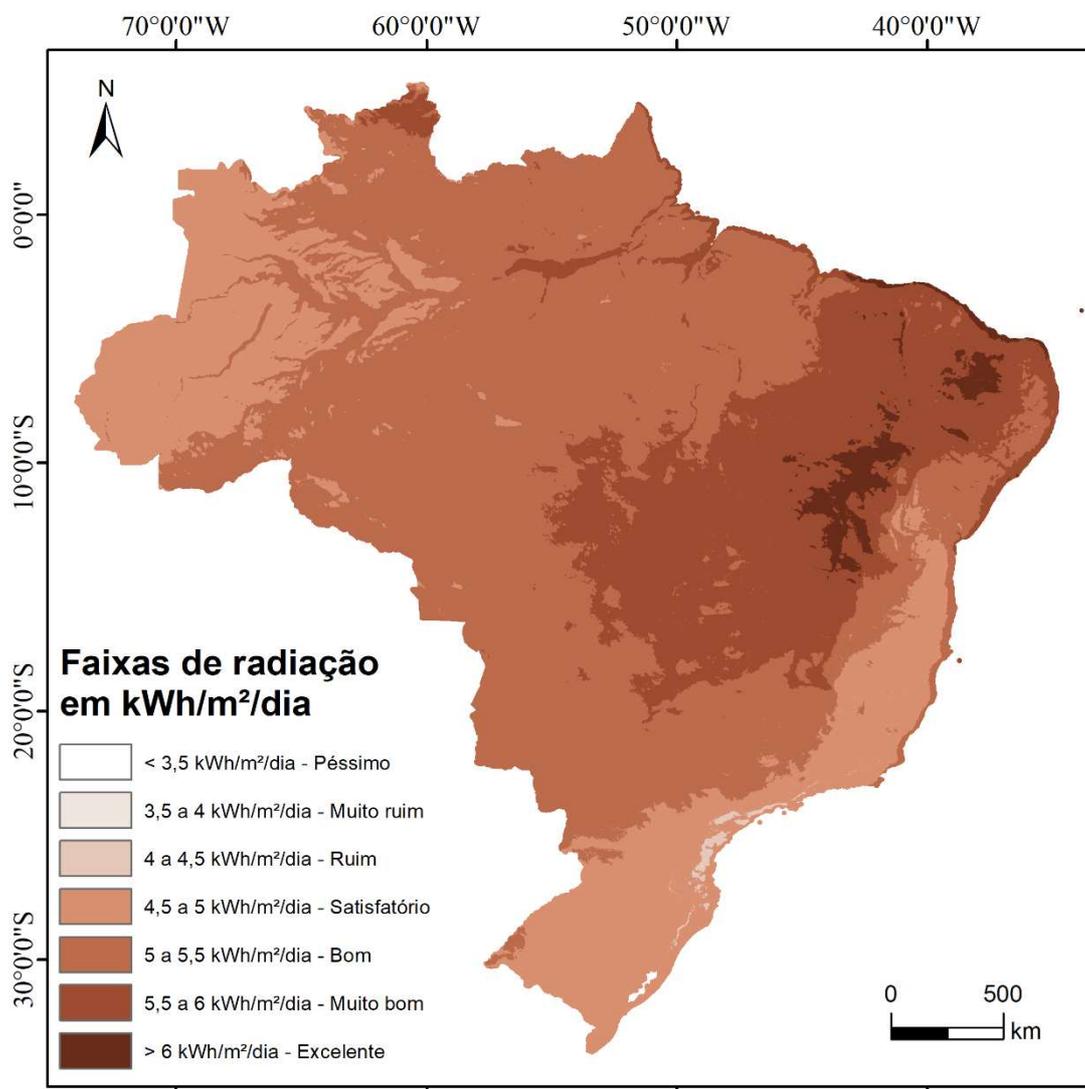
É possível observar que o território brasileiro possui uma grande área dentro de valores bons e ótimos, o que é muito importante para geração eólica. Áreas no Norte, Nordeste e Centro-Oeste apresentam boa aptidão, em uma visão geral. O sudeste e sul, por sua vez, apresentam empecilhos, o que já é esperado conhecendo a topografia nacional.

5.3 – FATORES ASSOCIADOS A ENERGIA SOLAR

Principal informação quando se pensa em um projeto de geração solar, a radiação no Brasil é constante e, em quase todo o território, de valor adequado – acima de 3,5 kWh/m²/dia, conforme limiar apresentado na revisão sistemática da literatura nos estudos de Waite (2017) e Vrînceanu, Dumitraşcu, & Kucsicsa (2022). Para tanto, neste estudo

foram definidos sete intervalos de classes de radiação incidente conforme destacado no mapa da Figura 35.

Figura 35 Mapa da radiação incidente no Brasil, em kWh/m²/dia.

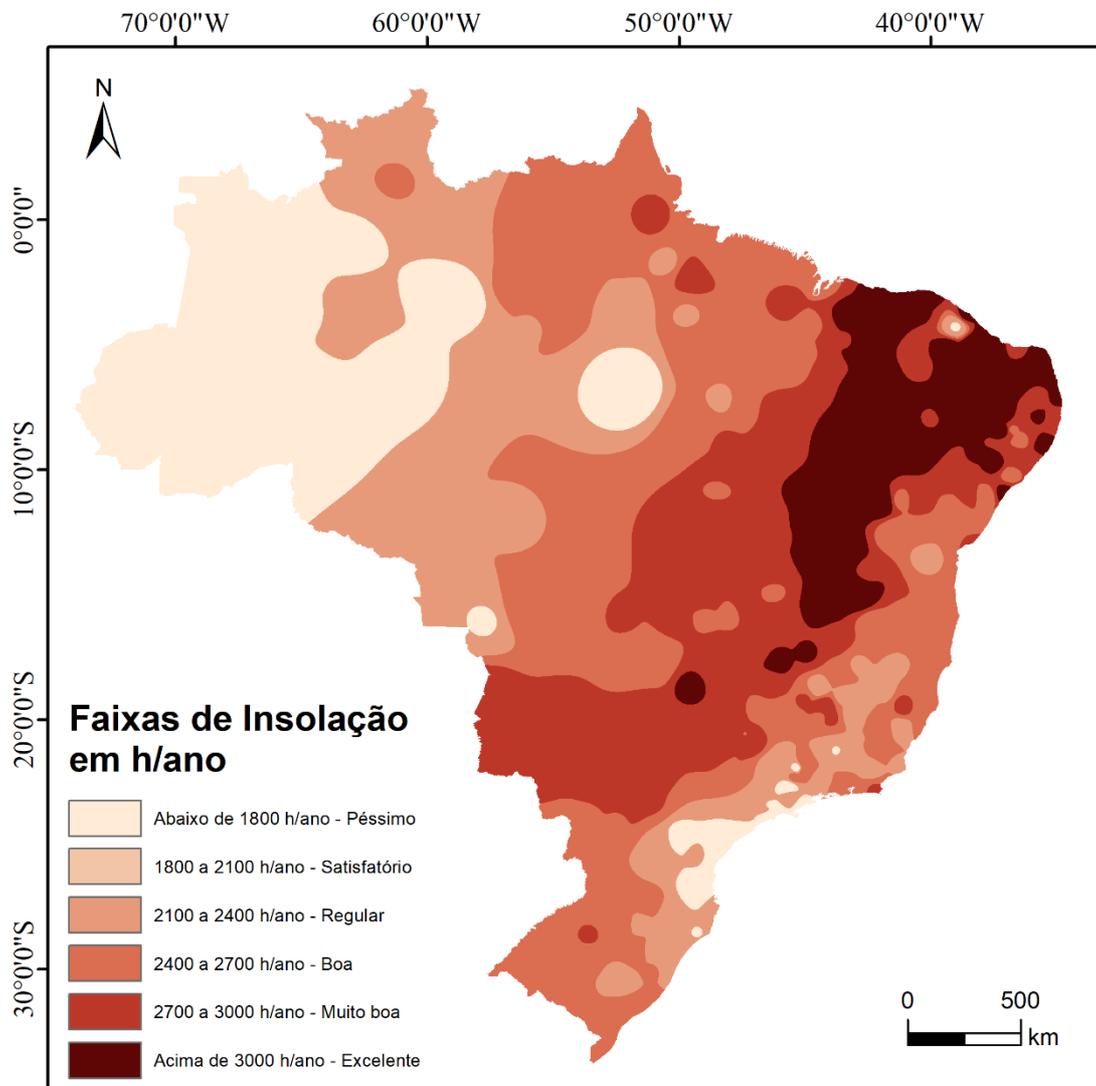


Fonte: Elaboração própria.

Como é possível ser observado no mapa, apenas algumas áreas no Sul e Sudeste apresentaram valores inferiores a 3,5 kWh/m²/dia – sendo mais predominante região litorânea dos estados do Sul. Ainda no Sul, no litoral paranaense, temos as áreas que apresentaram radiação incidente no intervalo de classe de 3,5 a 4 kWh/m²/dia. Por outro lado, os intervalos de classe entre 4,5 e 6 kWh/m²/dia abrangem a maior parte do território nacional. Já a classe de valores superiores a 6 kWh/m²/dia, conforme observável nos tons mais escuros, encontram-se no nordeste do país.

Outro fator muito importante, destacado na revisão sistemática no estudo de Vrínceanu, Dumitraşcu, & Kucsicsa (2022), o mapa da insolação foi gerado conforme descrito na metodologia e pode ser visualizado na Figura 36.

Figura 36 Mapa de insolação média, em horas/ano, no território nacional.

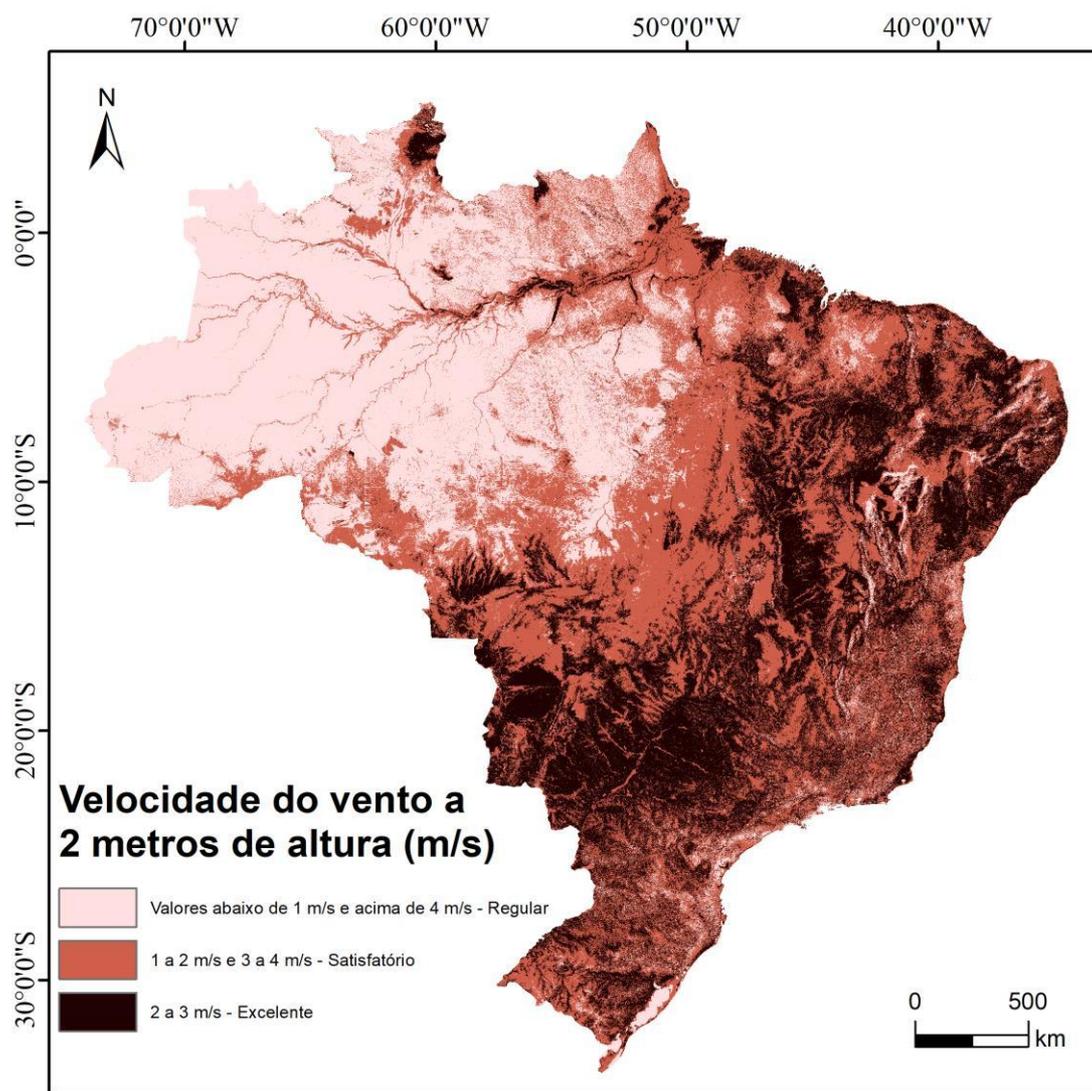


Fonte: Elaboração própria.

No que diz respeito aos dados de insolação, é possível observar valores excelentes no Nordeste brasileiro e uma aptidão de boa a muito boa em estados do Centro-Oeste, Sul e Sudeste. Assim, grande parte do todo território nacional atende satisfatoriamente ao critério de insolação.

Por fim, um fator com menor peso, mas que também é importante é a velocidade do vento a altura das placas – 2 metros. O mapa desta variável meteorológica está apresentado na Figura 37.

Figura 37 Mapa de velocidade do vento a dois metros, em m/s, no Brasil.



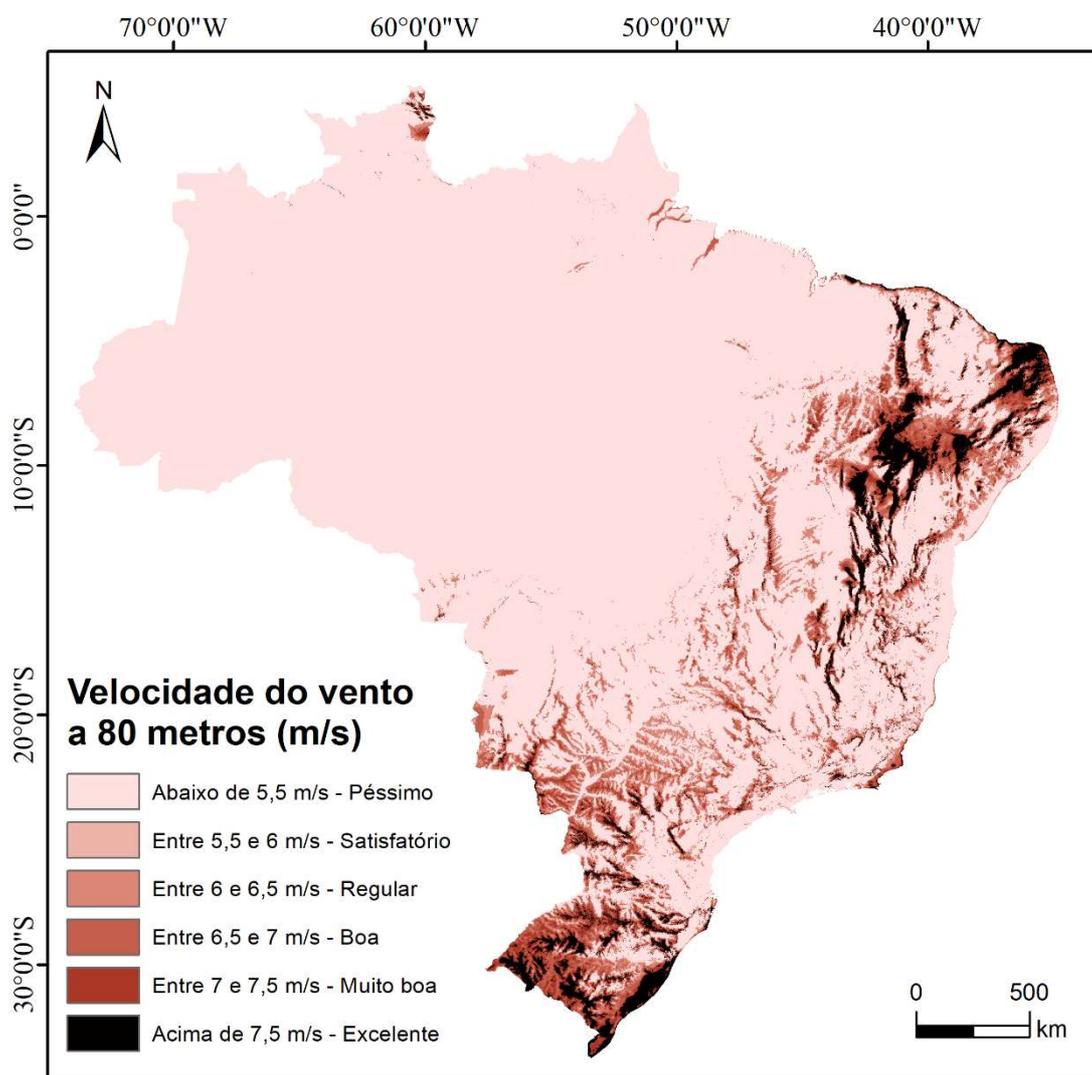
Fonte: Elaboração própria.

O valor ideal, entre 2 e 3 m/s, está presente em uma boa porção do território nacional. Os valores menos interessantes estão quase em sua totalidade compreendidos na região da floresta amazônica, zona esta que está predominantemente incluída nas áreas especiais – restrições.

5.4 – FATORES ASSOCIADOS A ENERGIA EÓLICA

Fator exclusivo para a geração de energia eólica, a velocidade média do vento a 80 metros tem uma faixa considerada satisfatória quando acima de 5,5 m/s e muito boa quando acima de 7,0 m/s. Dessa forma, a geração de energia através da tipologia eólica é menos abrangente no território quanto comparada a solar. A Figura 38 apresenta a distribuição das classes de velocidade do vento, estimada a 80 metros de altura em todo território brasileiro.

Figura 38 Mapa de velocidade do vento, a 80 metros de altitude.



Fonte: Elaboração própria.

Conforme é possível observar, grande parte do país possui valores de velocidade do vento abaixo de 5,5 m/s. Os melhores valores estão concentrados, quase que exclusivamente, no Nordeste e no Sul – neste com destaque ao litoral do Rio Grande do Sul.

5.5 – ATRIBUIÇÃO DE PESO AS CAMADAS

5.5.1 – PESOS DAS CAMADAS LIGADAS A GERAÇÃO SOLAR

No que diz respeito a energia solar, foram utilizados um total de seis camadas: radiação, declividade, insolação, proximidade a linhas de transmissão, proximidade a rodovias e velocidade do vento a dois metros do solo. Estes foram comparadas dois a dois e hierarquizados de acordo com os resultados da Tabela 17, que apresenta a matriz de comparações emparelhadas.

Tabela 17 Matriz de comparações emparelhadas entre os fatores relativos a energia solar.

Fatores	Radiação	Slope	Insolação	Prox. a linhas de transmissão	Prox. a rodovias	Vel. do vento a 2 m
Radiação	1	2	3	4	7	8
Slope	0,5	1	2	4	7	8
Insolação	0,33	0,5	1	4	5	8
Prox. a linhas de transmissão	0,25	0,25	0,25	1	4	6
Prox. a rodovias	0,14	0,14	0,2	0,25	1	3
Vel. do vento a 2 m	0,13	0,13	0,13	0,17	0,33	1

Fonte: Elaboração própria.

Os valores escolhidos nas comparações e o número de fatores ($n = 6$) levaram a um cálculo de C.R de aproximadamente 0,070. Este valor é inferior a 0,1, o que indica coerência nos resultados obtidos. Assim, o cálculo dos pesos foi realizado, conforme descrito na metodologia, retornando os valores apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 Pesos de cada fator na avaliação solar.

Fator/Camada	Peso atribuído
Radiação	0,3667
Slope	0,2645
Insolação	0,1929
Prox. a linhas de transmissão	0,1037
Prox. a rodovias	0,0458
Vel. do vento a 2 m	0,0265
Somatório dos pesos	1,000

Fonte: Elaboração própria.

5.5.2 – PESOS DAS CAMADAS LIGADAS A GERAÇÃO EÓLICA

Já para a eólica, utilizou-se quatro camadas: velocidade do vento a 80 metros do solo, proximidade a linhas de transmissão, proximidade a rodovias e declividade. Estes foram comparadas dois a dois e hierarquizados de acordo com os resultados da Tabela 19, que apresenta a matriz de comparações emparelhadas.

Tabela 19 Matriz de comparações emparelhadas entre os fatores relativos a energia eólica.

Fatores	Radiação	Prox. a linhas de transmissão	Prox. a rodovias	Slope
Radiação	1	6	7	9
Prox. a linhas de transmissão	0,17	1	2	4
Prox. a rodovias	0,14	0,50	1	2
Slope	0,11	0,25	0,5	1

Fonte: Elaboração própria.

Os valores escolhidos nas comparações e o número de fatores ($n = 4$) levaram a um cálculo de C.R de aproximadamente 0,034. Este valor é inferior a 0,1, o que indica coerência nos resultados obtidos. Assim, o cálculo dos pesos foi realizado, conforme a metodologia apresentada, retornando os seguintes valores, apresentados na Tabela 20

Tabela 20 Pesos de cada fator na avaliação eólica.

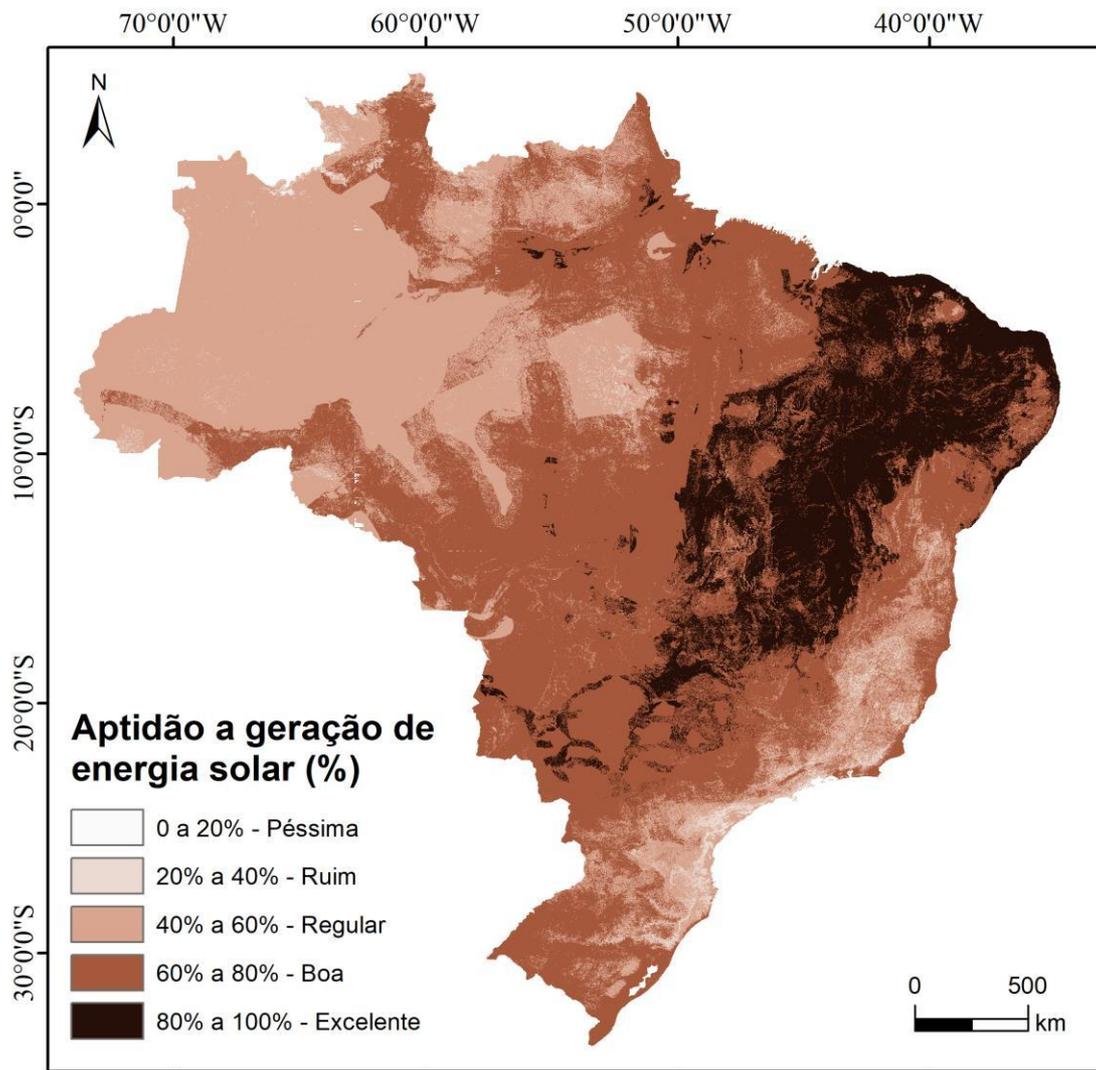
Fator/Camada	Peso atribuído
Vel. do vento a 80 m	0,6768
Prox. a linhas de transmissão	0,1717
Prox. a rodovias	0,0963
Slope	0,0551
Somatório dos pesos	1,000

Fonte: Elaboração própria.

5.6 – ZONEAMENTO DAS ÁREAS APTAS A GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR

Utilizando os resultados apresentados nos mapas das Figura 30 até a Figura 36, foi possível elaborar o zoneamento de aptidão para geração de energia solar. A Figura 39 apresenta o mapa de aptidão no Brasil para esta tipologia, com base na metodologia proposta, em valor percentual sem considerar as restrições impostas pelas áreas especiais.

Figura 39 Zoneamento de aptidão para a geração de energia solar no Brasil.

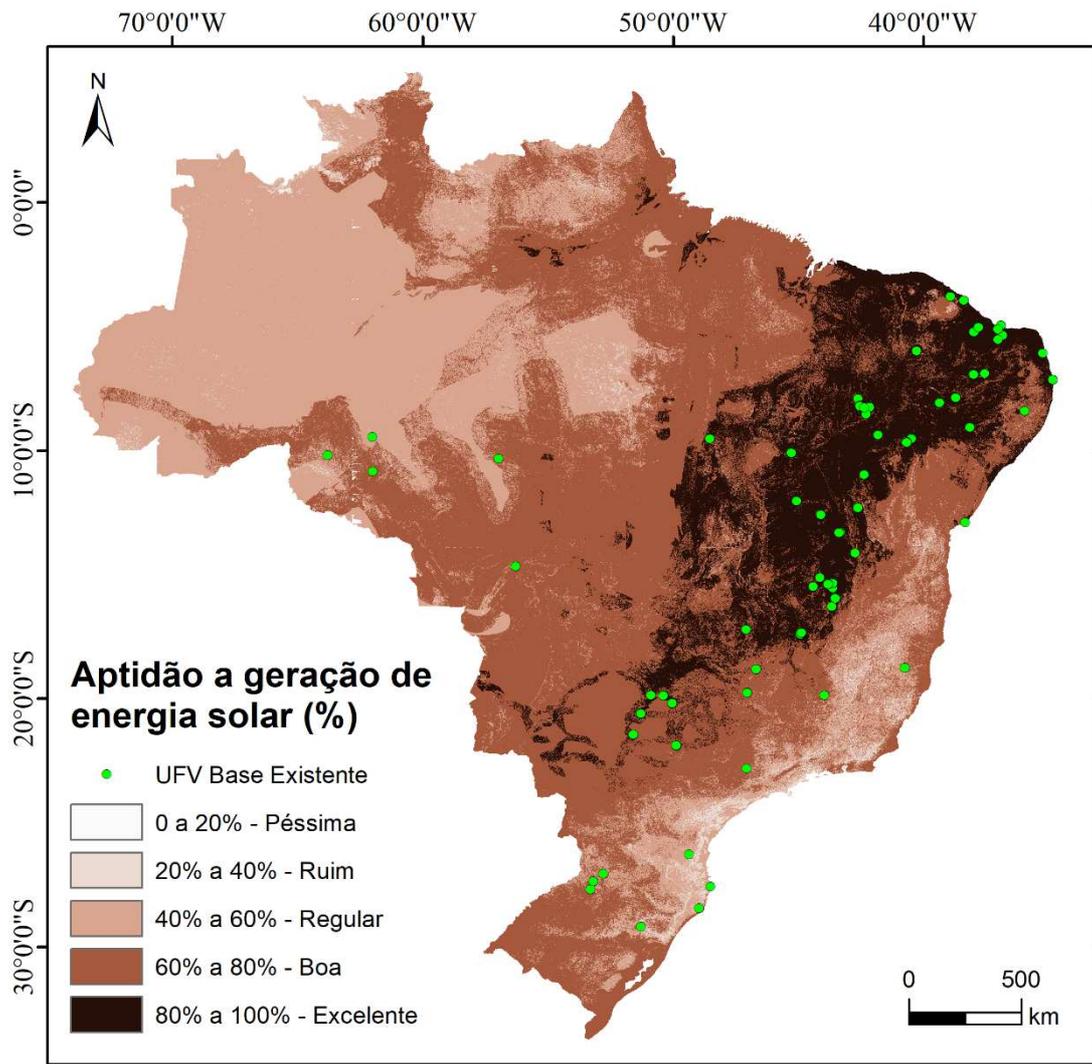


Fonte: Elaboração própria.

Existe um destaque muito evidente no Nordeste para esta tipologia, onde predomina a classe de uma aptidão excelente – 80 a 100% – ou boa – 60 a 80%. Além disso, pela proximidade geográfica, o norte de Minas Gerais, Tocantins e Centro-Oeste também possuem valores com excelente aptidão. Como esperado, por ser um país tropical, grande parte do país apresenta bons níveis de aptidão – acima dos 60%. Os menores valores – abaixo de 20% – estão na região Sudeste e Sul, muito por conta de fatores físicos como quantidade de recurso e declividade.

Como forma de validar o apresentado, foi feita a comparação dos resultados apresentados na Figura 39 com a localização dos atuais empreendimentos fotovoltaicos (UFV) em operação no Brasil, de acordo com a EPE (2024). A Figura 40 mostra o mapa do potencial de geração de energia com as usinas em atividade.

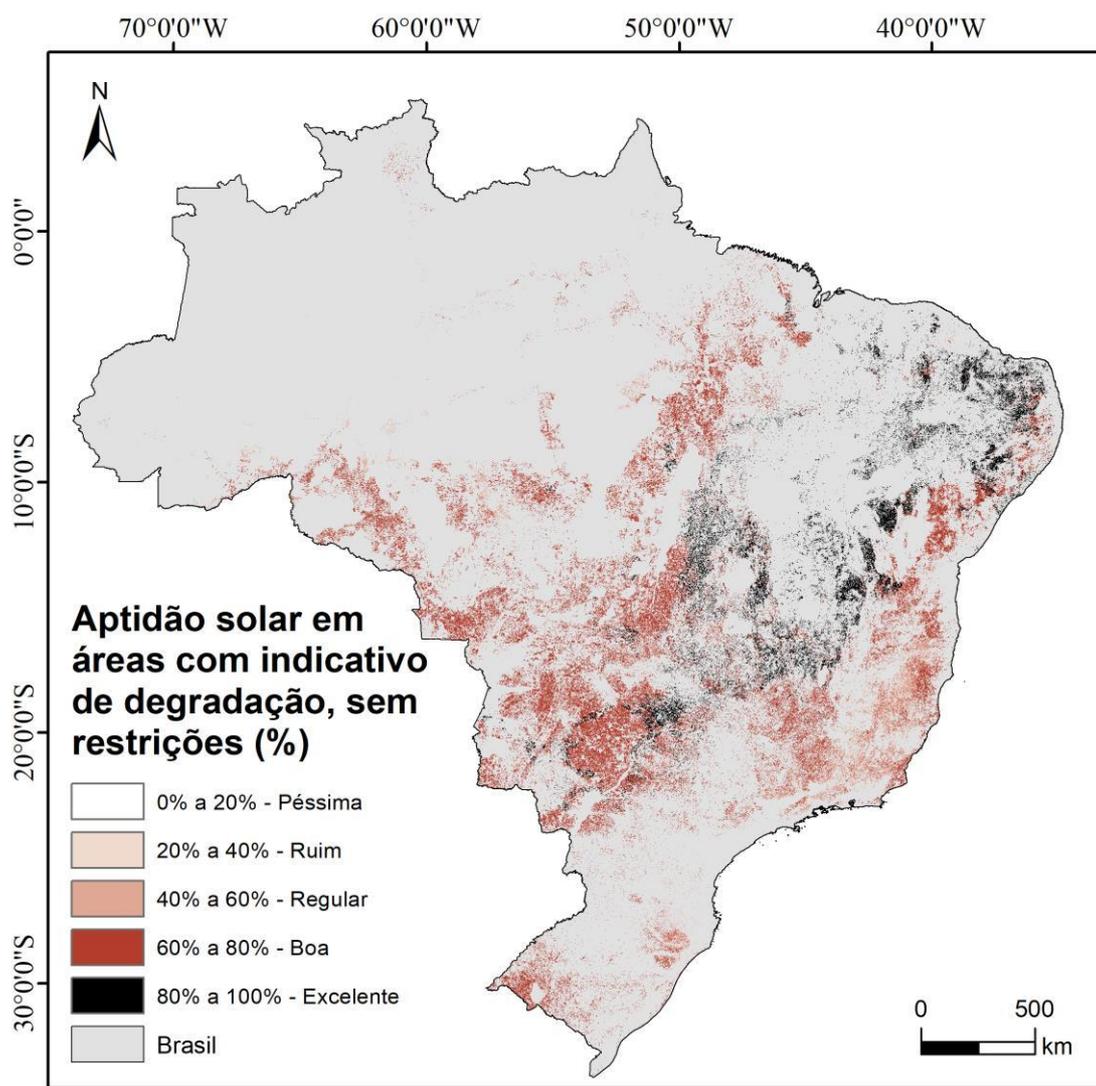
Figura 40 Mapa da aptidão de geração de energia solar com a localidade das atuais usinas fotovoltaicas (UFV).



Fonte: Elaboração própria.

Levando em conta as restrições ambientais e a área de pastagem com indicativo de degradação no território brasileiro, trabalhadas anteriormente, foi possível levantar em zonas não restritas, quais as áreas de maior aptidão solar em pastagens com sinais de degradação. Esse conjunto de resultados apresenta as regiões foco deste trabalho, aquelas áreas de pastagens que podem passar por um processo de reutilização, gerando benefícios a sociedade e ao meio ambiente respeitando as pluralidades sociais e legais brasileiras. A Figura 41 mostra o mapa destas áreas.

Figura 41 Zoneamento das áreas com indicativo de degradação aptas a geração solar, sem restrições no território brasileiro.



Fonte: Elaboração própria.

De acordo com os resultados apresentados no mapa da Figura 41, existem cerca de 961 mil km² de áreas de pastagens com indicativos de degradação com algum valor de aptidão solar. Destes, 625 mil km² apresentam boa aptidão e 221 mil km² com excelente aptidão. Estas duas categorias combinadas somam cerca de 846 mil km² ou, em dados relativos, cerca de 11% de todo território brasileiro.

Estes 11% do território brasileiro de áreas com indicativo de degradação e aptidão boa ou excelente representa quanto a tipologia solar ainda tem espaço para crescer no Brasil. Atualmente ocupando o quinto lugar entre as tipologias de geração elétrica no Brasil – vide Figura 14 –, a ampliação deste tipo de produção energética pode representar um enorme passo rumo a diminuição da dependência hídrica. A diminuição da dependência hidrelétrica é muito importante para garantir a segurança energética,

principalmente com a insegurança causada por conta das alterações hidrológicas, conforme discutido no item 3.6.1.

A título de comparação, considerando essas áreas classificadas como de excelente aptidão, usando o valor de radiação acima de 6 kWh/m²/dia, conforme discutido na Figura 35, é possível calcular o potencial que os 221 mil km² tem para geração de energia. De maneira extremamente simplificada e considerando uma eficiência de geração de 8,7%, conforme discutido no estudo de Gaglia *et al.* (2017), o potencial de geração de energia solar em áreas com indicativo de degradação no Brasil é de 42.107 TWh/ano. Este valor seria plenamente capaz de atender toda demanda nacional, estimada em 690 TWh/ano em 2022, conforme apresentado no item 3.6.1. A Tabela 21 apresenta a quantidade de energia solar capaz de ser gerada nas áreas classificadas como de potencial excelente, em áreas com indicativo de degradação, de acordo com o percentual de área utilizada.

Tabela 21 Potencial simplificado de geração de energia de acordo com o % de área de aptidão excelente utilizado.

Potencial simplificado de geração de energia de acordo com o % de área de aptidão excelente utilizado.

% de área classificada com aptidão excelente utilizada	Área correspondente	Potencial de geração de energia
100%	221.000 km ²	42.107 TWh/ano
50%	110.500 km ²	21.054 TWh/ano
25%	55.250 km ²	10.527 TWh/ano
05%	11.050 km ²	2.100 TWh/ano

Fonte: Elaboração própria.

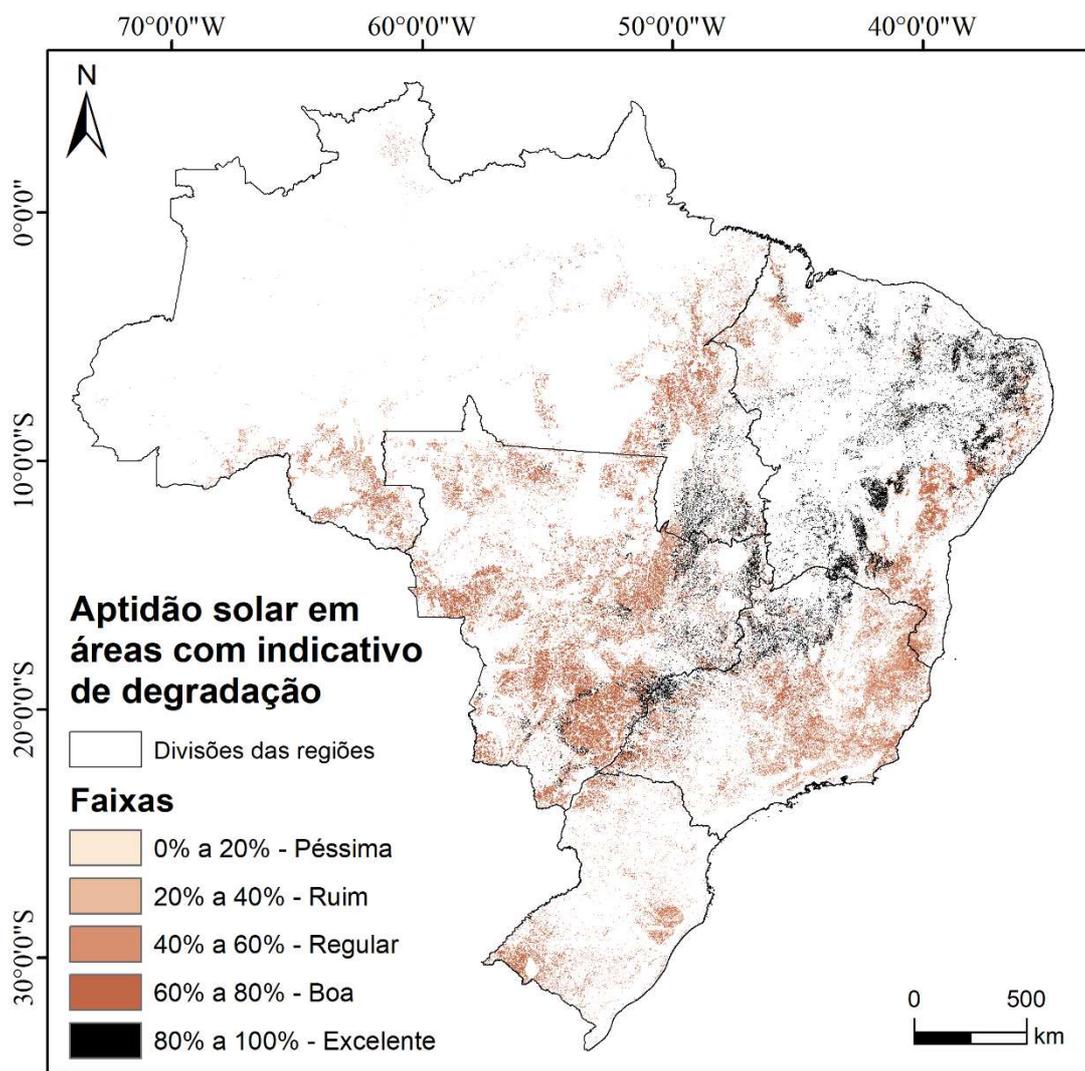
Conforme observado na Tabela 21, caso até 2050 fossem utilizados 5% da área de aptidão excelente para geração de energia, apenas a geração desta área seria capaz de atender a demanda futura estimada brasileira que é, de acordo com o MME, conforme publicado no Plano Nacional de Energia (PNE) 2050 (BRASIL, 2023b), de 2.100 TWh/ano.

Conforme pode ser visualizado no mapa, os estados que compõem a região Nordeste são os que possuem a maior área classificada como excelente aptidão para receber novas usinas. São mais de 111 mil km² de áreas com altíssimo potencial para receber um empreendimento de geração de energia solar. Existem ainda cerca de 85 mil km² de áreas classificadas com boa aptidão (60% a 80%) nesta região.

Na região Nordeste, o destaque é para o estado da Bahia, com 42 mil km² de excelente e quase 50 mil km² classificados como de boa aptidão, ou seja, quase um sexto do estado se encontra nessas categorias. Grande parte das áreas de excelente aptidão encontra-se na região centro-sul do estado baiano. Dessa forma, apesar de não fazerem parte da região Nordeste, o norte de Minas Gerais, nordeste de Goiás e sul de Tocantins possuem boa abrangência de áreas classificadas como de excelente aptidão, colocando o estado mineiro em segundo lugar no ranking de maiores áreas com aptidão entre 80 e 100% – com 34 mil km² –, o goiano, em terceiro – aproximadamente 33 mil km² – e o tocantinense em quarto – cerca de 33 mil km². Há um destaque também para o extremo nordeste da região Nordeste nos estados de Sergipe, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará.

Para as áreas classificadas como de aptidão boa – entre 60 e 80% – o destaque é a região Centro-Oeste com uma considerável área de 242 mil km², ocupando mais de 15% da região. O estado de Mato Grosso tem grande ênfase nessa classe de aptidão, apresentando cerca de 120 mil km², o que representa cerca de 13% do total. A Figura 42 apresenta o mapa das áreas com indicativo de degradação com aptidão solar, sem restrições, destacando-se as Regiões, o que mostra visualmente toda a discussão dos parágrafos prévios.

Figura 42 Zoneamento de aptidão solar em áreas de pastagens com indicativos de degradação, sem restrições, com destaque as Regiões do Brasil.



Fonte: Elaboração própria.

Utilizando a base de municípios do IBGE, também foi feita uma análise quanto a aptidão de cada localidade municipal, levando em conta as categorias boa e excelente. Como esperado, o maior número de municípios classificados como boa e excelente aptidão para geração de energia solar situa-se em estados da região Nordeste. Areal, na Paraíba, é o único município brasileiro a apresentar índices de aptidão acima de 90%, com 96,68% do seu território nessas faixas. Os dez municípios de maiores índices de aptidão foram, respectivamente, Areal (PB), Passa e Fica (RN), Ouro Branco (AL), Montadas (PB), Ibititá (BA), Lapão (BA), Carira (SE), Maravilha (AL), Poço Verde (SE) e Queimadas (BA).

Ao focar na área total, o destaque fica para os municípios de João Pinheiro (MG), Porangatu (GO), Paranã (TO), Palmas de Monte Alto (BA), Unai (MG), Buritizeiro

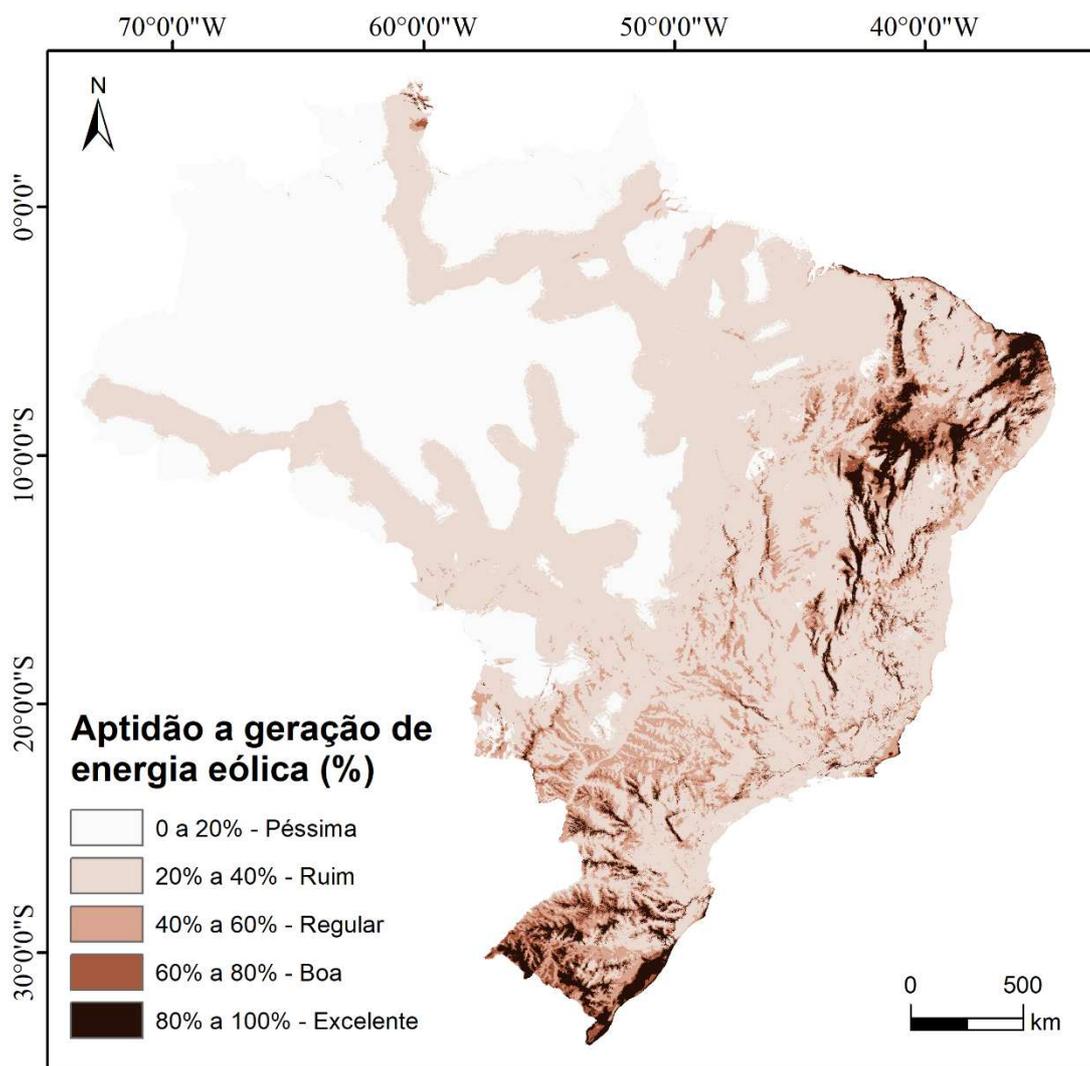
(MG), Santa Vitória (MG), Paracatu (MG), Peixe (TO) e Flores de Goiás (GO) que compõe o “top 10” de área total com aptidão boa excelente. Destas dez cidades, nove – exceção de Santa Vitória, em Minas Gerais – estão no espaço descrito anteriormente que contempla o sul da Bahia, norte mineiro, nordeste de Goiás e sul de Tocantins. É possível destacar ainda os quatro municípios mineiros de Unaí, Paracatu, João Pinheiro e Buritizeiro que são limítrofes, criando assim uma grande área classificada como boa e excelente aptidão.

No Apêndice A encontra-se a lista de todos os municípios que apresentaram pelo menos 50% de boa ou excelente aptidão solar em áreas com indicativo de degradação, sem restrições.

5.7 – ZONEAMENTO DAS ÁREAS APTAS A GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA

De maneira similar ao item 5.6, foi possível elaborar o zoneamento das áreas com a aptidão para geração de energia eólica. A Figura 43 apresenta o mapa de aptidão para esta tipologia, com base na metodologia proposta, em valor percentual sem considerar as restrições impostas pelas áreas especiais.

Figura 43 Zoneamento das áreas de aptidão para a geração de energia eólica no Brasil.

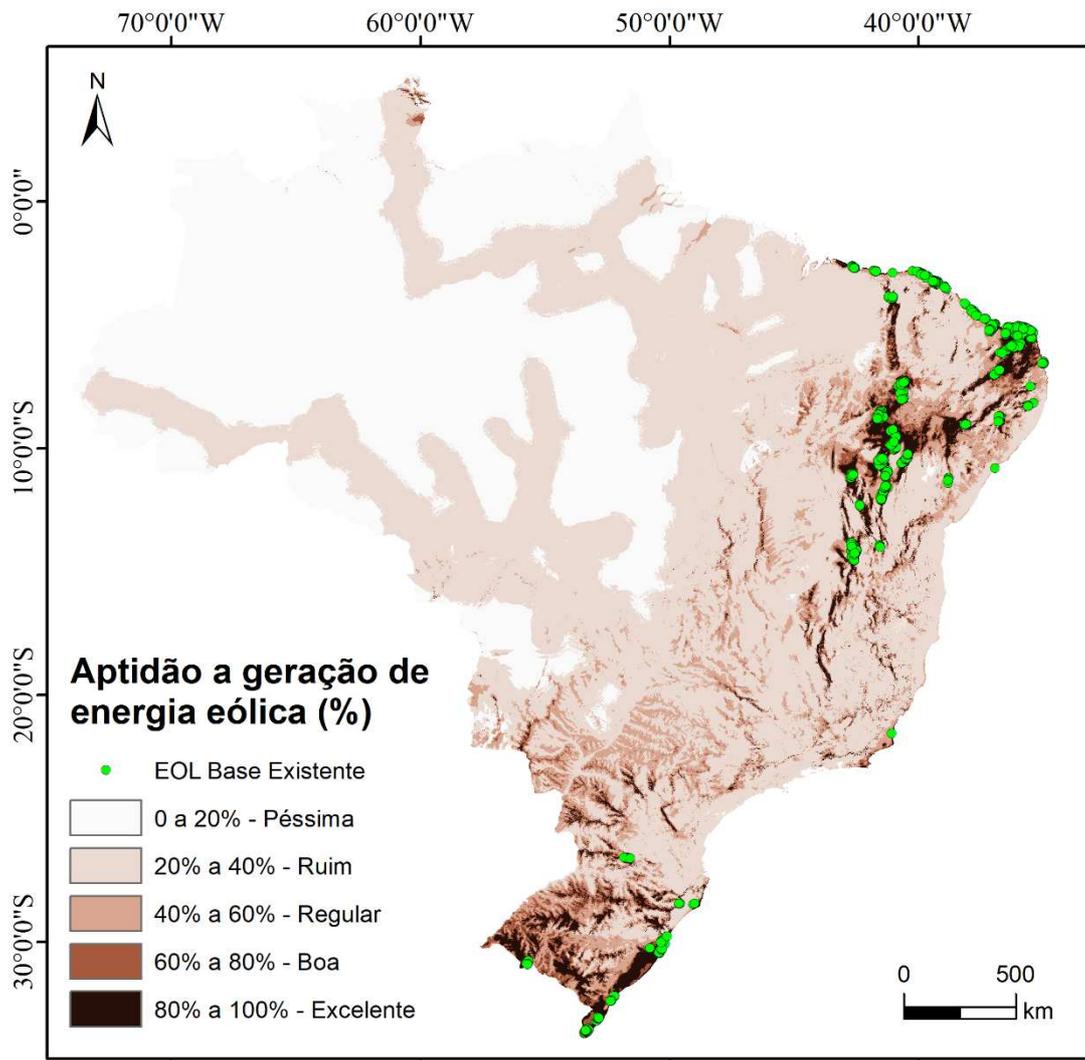


Fonte: Elaboração própria.

De acordo com o mapa, observa-se que algumas partes do Nordeste e extremo Sul foram classificadas como de excelente aptidão para tipologia eólica – 80 a 100% – embora o restante esteja quase na totalidade nas classes de péssima a ruim aptidão – abaixo de 40%. Tal qual para solar, pela proximidade geográfica, o norte de Minas Gerais também possui algumas áreas classificadas como e excelente aptidão.

Como forma de validar o apresentado, foi feita a comparação dos resultados apresentados na Figura 44 com a localização dos atuais empreendimentos eólicos (EOL) em operação no Brasil, de acordo com a EPE (2024). A mostra o mapa do potencial de geração de energia com as usinas em atividade.

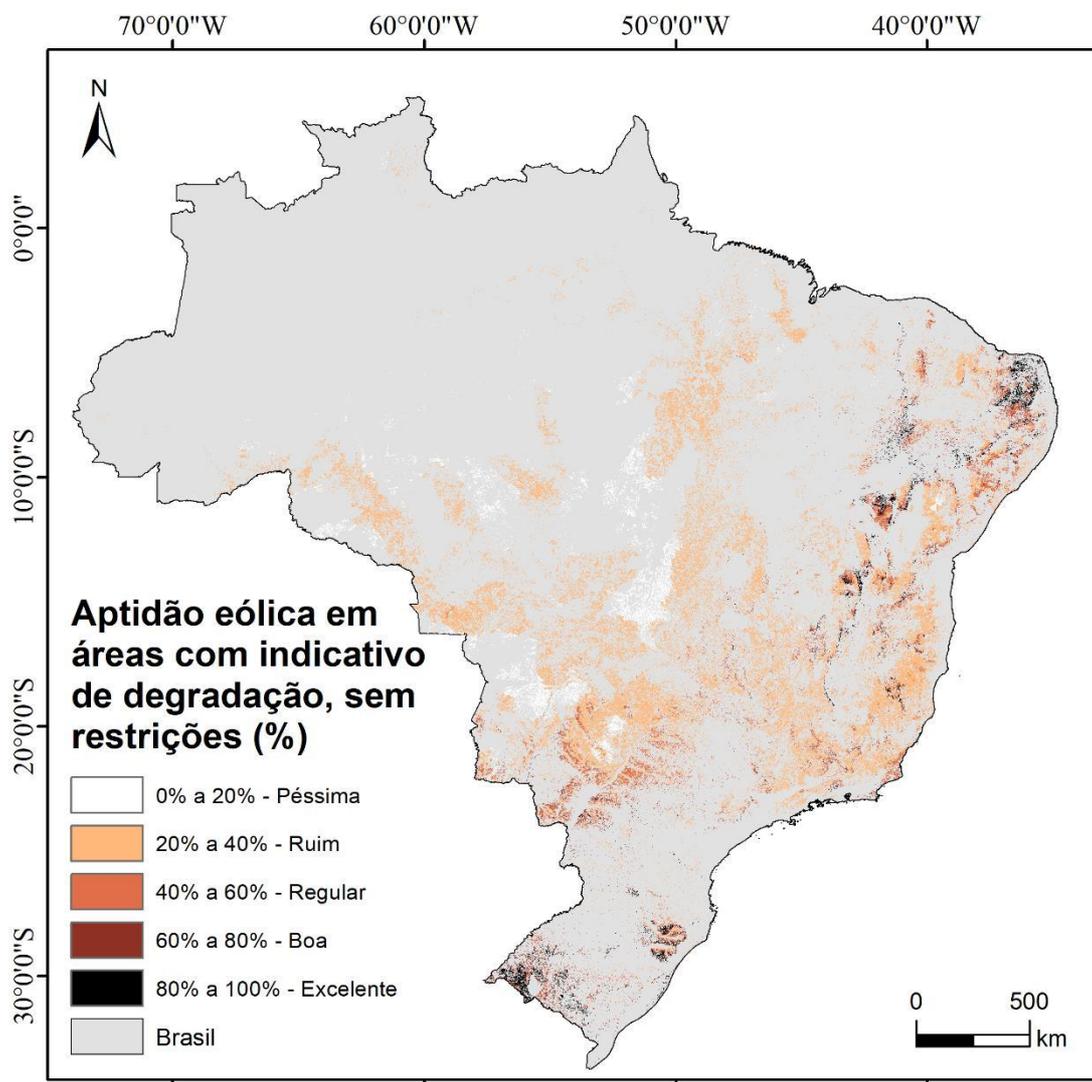
Figura 44 Mapa da aptidão de geração de energia eólica com a localidade das atuais usinas eólicas (EOL).



Fonte: Elaboração própria.

A Figura 45, por sua vez, apresenta o zoneamento das áreas de pastagens com indicativos de degradação com aptidão para a geração de energia eólica.

Figura 45 Zoneamento das áreas de pastagens com indicativos de degradação aptas a geração eólica onde não há restrições sociais, ambientais e política.



Fonte: Elaboração própria.

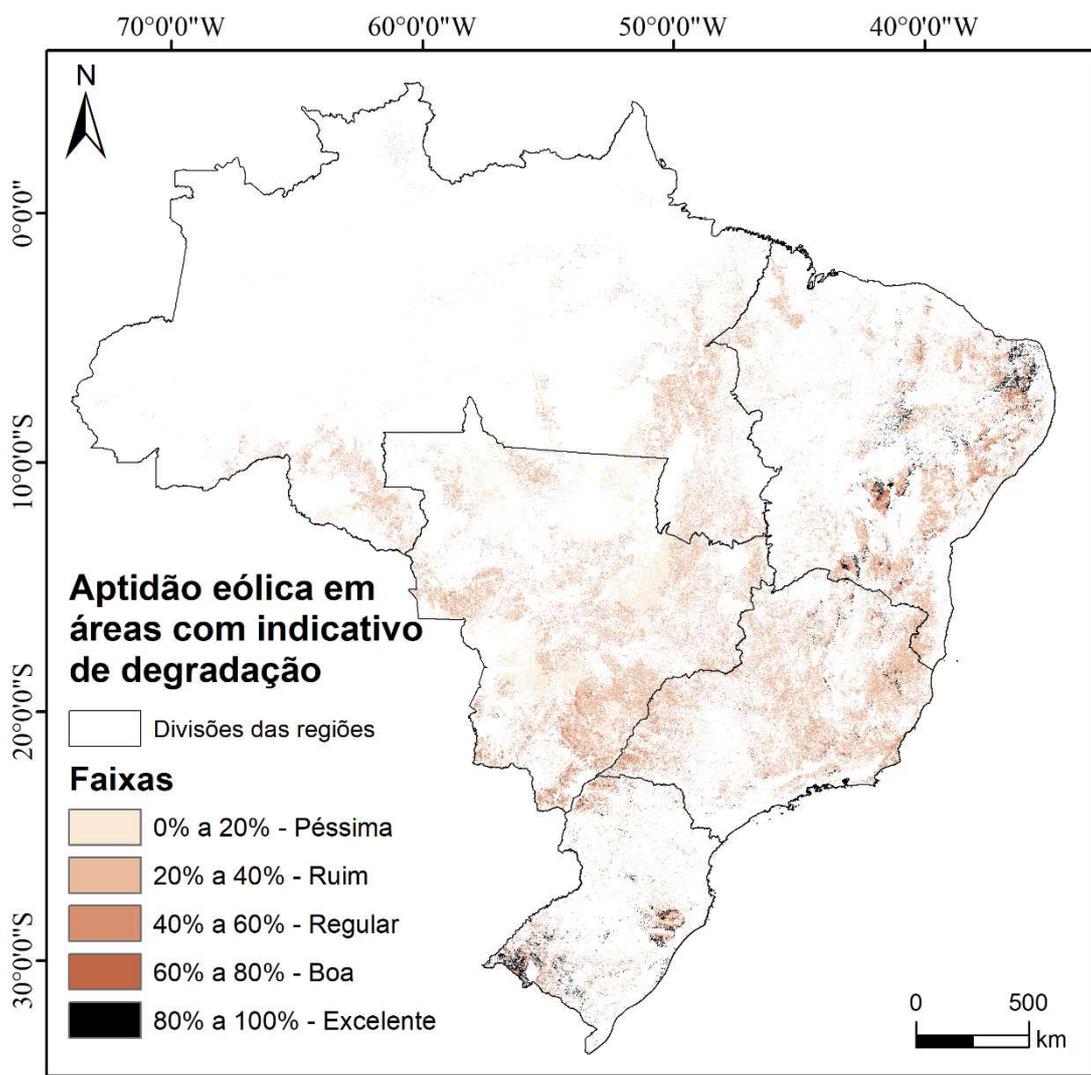
Conforme os resultados apresentados no zoneamento das áreas de pastagens com sinal de degradação aptas para geração de energia eólica, verificou-se que existem 963 mil km² de áreas com indicativo de degradação, fora das áreas especiais. Destes, 892 mil km² apresentam aptidão entre péssima e regular, ou seja, com valores inferiores a 60%, sendo que há predominância da classe de aptidão ruim sobre as demais, com 648 mil km². Estas classes representam cerca de 92% da área total com indicativos de degradação, sobrando apenas pouco mais de 71 mil km² compreendidos nas classes boa e excelente – de 60% a 100%.

De acordo com o mapa da Figura 45, evidenciou-se que as áreas consideradas de aptidão excelente estão predominantemente situadas em alguns estados nordestinos e sulistas. Ao todo, são cerca de 36 mil km² de áreas de pastagens com indicativos de

degradação classificadas como altíssimo potencial para receber um empreendimento de geração de energia eólica, onde 33 mil km² encontram-se nas regiões nordeste e sul. Existe ainda, nestas duas regiões, cerca de 27 mil km² de áreas classificadas como de boa aptidão.

Na região Sul, o destaque é para o estado do Rio Grande do Sul, o primeiro em área potencial com 11 mil km² de excelente aptidão e quase 9 mil km² de boa aptidão para geração de energia eólica. A Bahia é o segundo estado em termos de áreas classificadas como excelente aptidão, com cerca de 7 mil km², seguido por Rio Grande do Norte e Paraíba. A Figura 46 apresenta o mapa das áreas de pastagens com sinais de degradação com aptidão para energia eólica, sem restrições, destacando as Regiões.

Figura 46 Zoneamento das áreas de pastagem com indicativos de degradação aptas para a geração de energia eólica, sem restrições, por Regiões do Brasil.



Fonte: Elaboração própria.

Utilizando a base de municípios do IBGE, também foi feita uma análise quanto a aptidão em escala municipal, levando em conta as classes de aptidão boa e excelente. Areial, na Paraíba, foi o único município brasileiro a apresentar índices de aptidão acima de 90%; Os dez municípios com maiores índices de aptidão foram, respectivamente, Areial (PB), Passa e Fica (RN) – também segundo lugar na aptidão solar –, Montadas (PB) – quarto lugar na aptidão solar –, Cacimba de Dentro (PB), Lagoa d’Anta (RN), Baraúna (PB), São José do Sabugi (PB), Irecê (BA), Casserengue (PB) e São José do Campestre (RN).

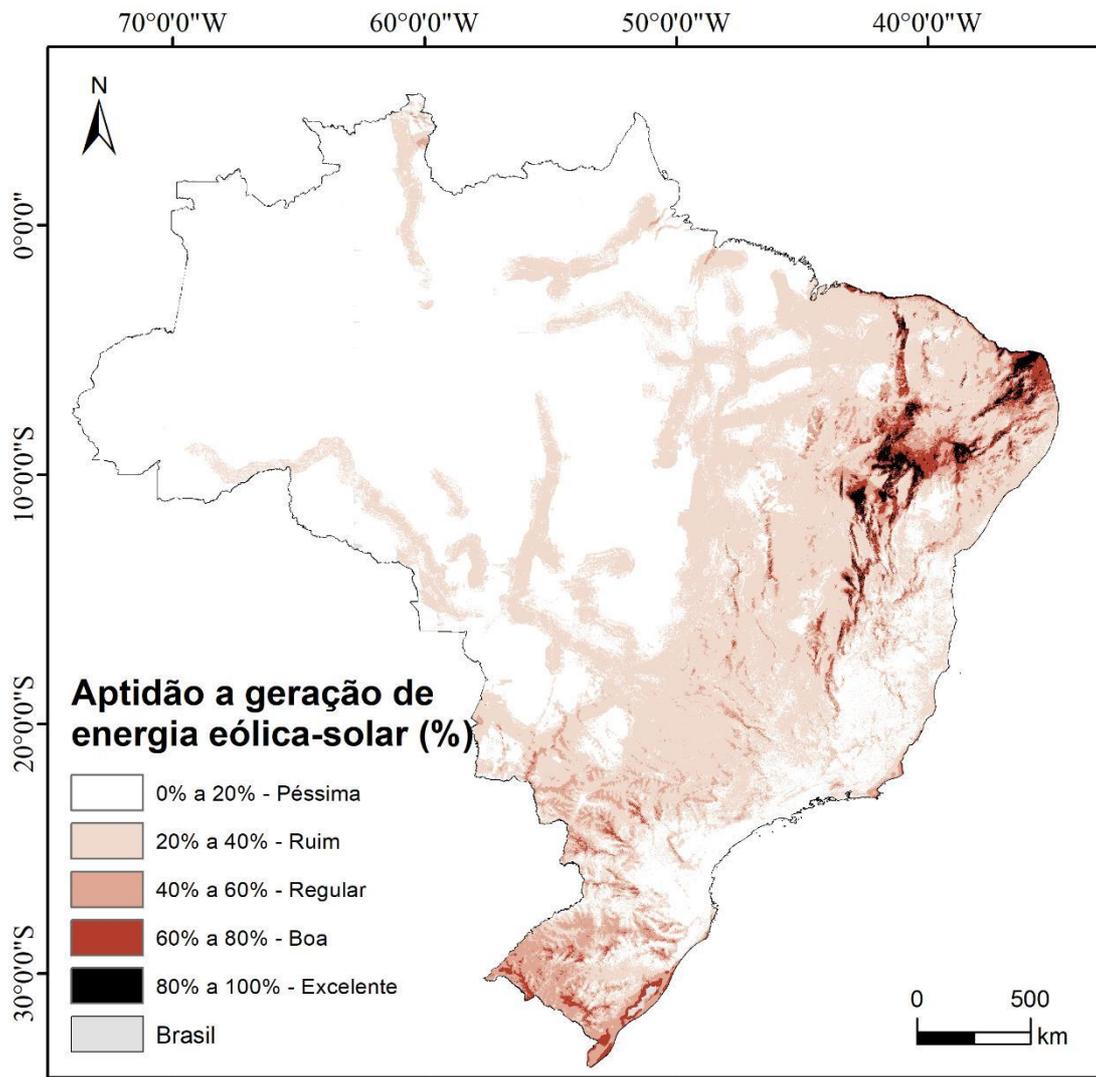
Por outro lado, em termos de abrangência territorial das classes de aptidão boa e excelente, o destaque fica para a região Sul. Os municípios de Alegrete (RS), Uruguaiana (RS), Quaraí (RS), Sant’Ana do Livramento (RS), São Francisco de Paula (RS), São Gabriel (RS), Rosário do Sul (RS), Palmas de Monte Alto (BA), Jussara (BA) e Lages (SC) compõe o “top 10”. Destas dez cidades, sete encontram-se no Rio Grande do Sul, sendo que seis delas – exceção de São Francisco de Paula – são limítrofes, criando assim uma grande zona de aptidão no extremo sul brasileiro.

No Apêndice B encontra-se a lista de todos os municípios que apresentaram pelo menos 50% de boa ou excelente aptidão eólica em áreas com indicativo de degradação, sem restrições.

5.8 – ZONEAMENTO DAS ÁREAS APTAS A GERAÇÃO CONJUNTA DE ENERGIA SOLAR E EÓLICA

Além de analisar as tipologias separadamente, é importante também observar a possibilidade de instalação de uma usina híbrida eólico-solar. Estas podem ser uma alternativa muito interessante, uma vez que havendo a disponibilidade de recursos, existe uma maior geração com menores gastos associados. A Figura 47 apresenta o mapa das áreas com classes de aptidão conjunta eólico-solar.

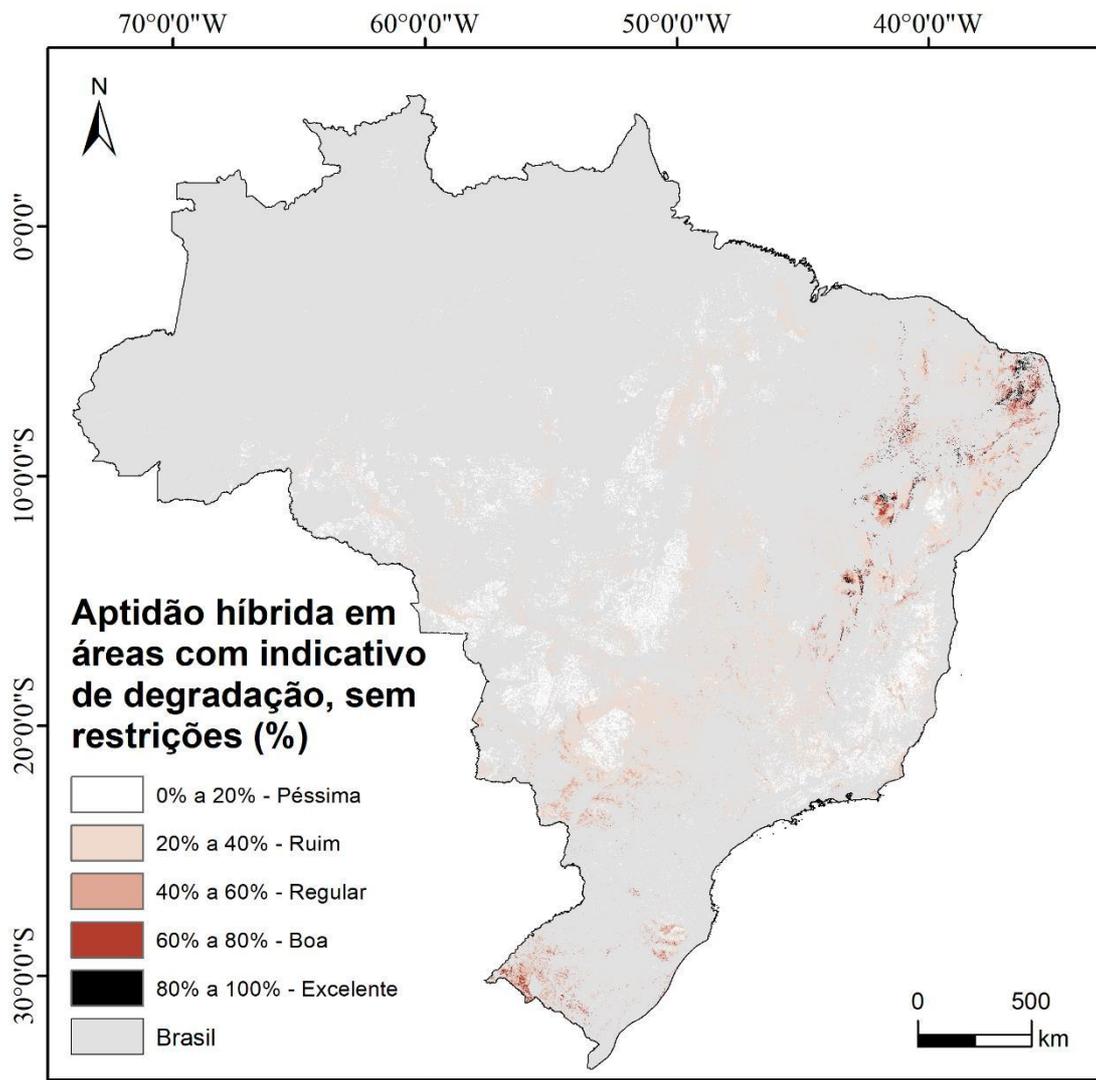
Figura 47 Zoneamento de áreas com aptidão para instalação de usina híbrida no território brasileiro.



Fonte: Elaboração própria.

Conforme esperado, assim como observados nos mapas das tipologias analisadas de forma individual nos itens 5.6 e 5.7, a maior aptidão híbrida encontra-se na região Nordeste, existindo também boa aptidão para o norte de Minas Gerais. A região Sul, apresenta boa abrangência de áreas classificadas ou zoneadas como boa aptidão – entre 60% e 80%. Já o mapa da Figura 48 apresenta o zoneamento das áreas de pastagens com indicativos de degradação com aptidão à instalação de uma usina híbrida, excluindo-se as restrições legais.

Figura 48 Zoneamento das áreas de pastagens com indicativos de degradação aptas a geração eólico-solar onde não há restrições sociais, ambientais e política.



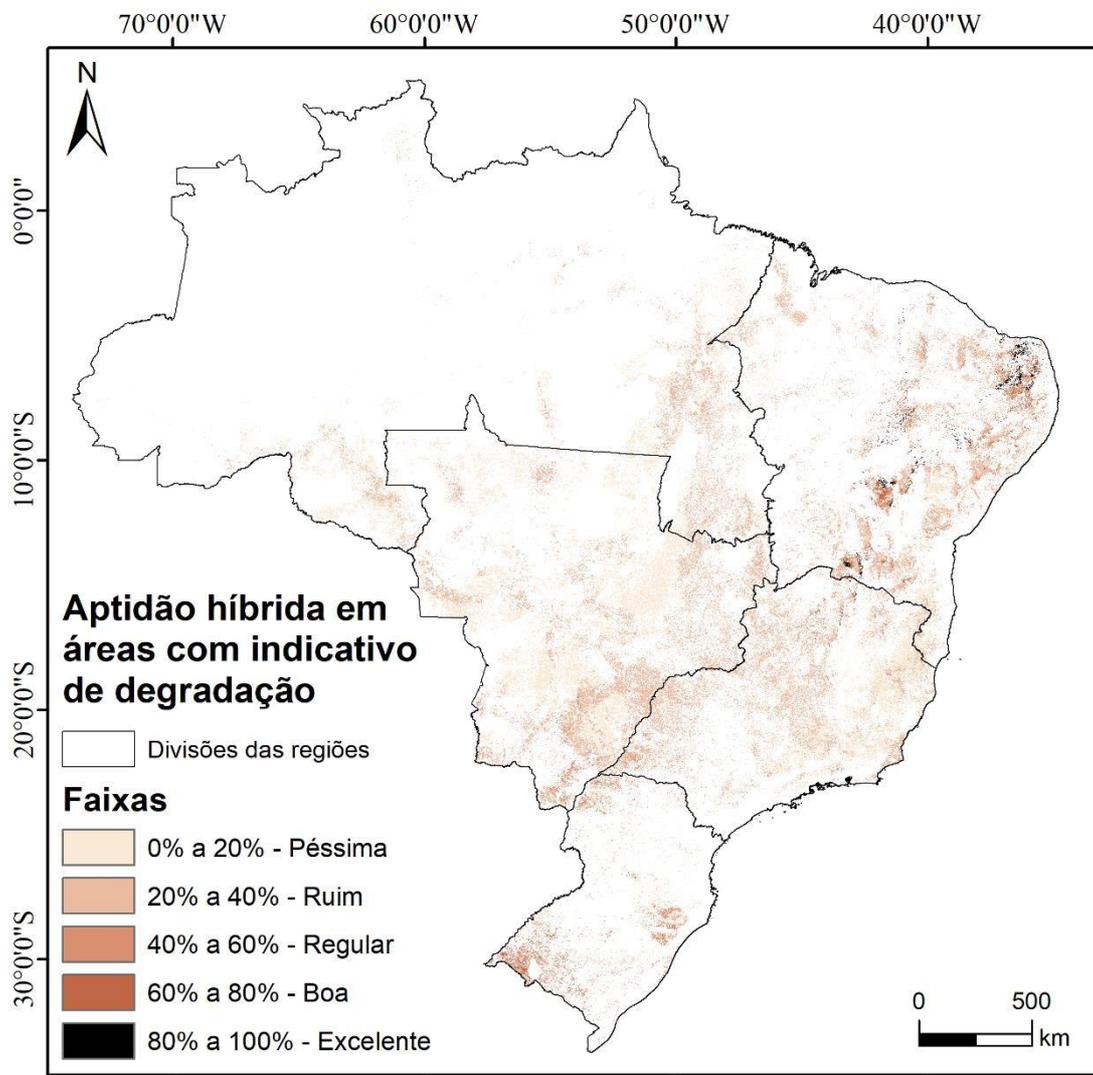
Fonte: Elaboração própria.

De acordo com os resultados apresentados no mapa, existem 963 mil km² de áreas de pastagens com sinais de degradação, excluindo as áreas especiais. Destes, 930 mil km² apresentam aptidão péssima, regular ou regular – entre 0% e 60% – sendo a classe de aptidão ruim a predominante, com 475 mil km², seguido da péssima com 380 mil km². Estas três classes combinadas somam cerca de 97% de toda a área de pastagem com indicativos de degradação, sobrando apenas pouco mais de 33 mil km² classificados como boa ou ótima aptidão, entre de 60% a 100%.

Conforme esperado, foram em estados nordestinos as áreas com maiores índices de aptidão para receber novas usinas. Dos 33 mil km² de áreas classificadas como boa ou excelente aptidão para receber um empreendimento híbrido, cerca de 26 mil km² estão

localizadas na região Nordeste. A Figura 49 apresenta o mapa das áreas de pastagens com indicativos de degradação com aptidão híbrida, sem restrições, por Regiões.

Figura 49 Zoneamento das áreas de pastagens com indicativo de degradação aptas para geração de energia eólico-solar, sem restrições, divididos por Regiões do Brasil.



Fonte: Elaboração própria.

Utilizando a lista de municípios brasileiros, também foi feita uma análise quanto a aptidão em escala municipal, levando em conta as classes de aptidão boa e excelente. Novamente, Areal, na Paraíba, foi o único município brasileiro a apresentar índices de aptidão acima de 90%. Os dez primeiros municípios de maiores índices de aptidão foram, respectivamente, Areal (PB), Montadas (PB), Passa e Fica (RN), Lagoa d'Anta (RN), Baraúna (PB), São José do Sabugi (PB), São José do Campestre (RN), Cacimba de Dentro (PB), Santana do Seridó (RN) e Irecê (BA).

Por outro lado, ao focar na abrangência territorial em termos de aptidão boa/excelente, os dez primeiros municípios foram: Palmas de Monte Alto (BA),

Uruguaiana (RS), Sant'Ana do Livramento (RS), Jussara (BA), Quaraí (RS), Campo Formoso (BA), Morro do Chapéu (BA), Angicos (RN), Pedro Avelino (RN) e Caetité (BA).

No Apêndice C encontra-se a lista de todos os municípios que apresentaram pelo menos 50% de boa ou excelente aptidão eólico-solar em áreas com indicativo de degradação, sem restrições.

6 – Considerações finais

A presente dissertação teve como objetivo realizar o zoneamento das áreas de pastagem com indicativo de degradação aptas a geração de energia sustentável. A opção por trabalhar com áreas com sinais de degradação se deu por entender que estas se estendem por todo o Brasil, constituindo um problema ambiental, social e político muito relevante e que carece de alternativas para lidar com este enorme passivo ambiental. Ainda, esta pesquisa buscou discutir a necessidade de ampliação da matriz energética renovável – mais especificamente solar e eólica – visto a necessidade de diversificação da matriz energética brasileira, atualmente muito dependente das hidrelétricas. Assim, o estudo atrelou estes dois importantes pontos, contribuindo na seara do conhecimento das geociências e geração de energia, levando a resultados importantes, não só já na sua apresentação nesta dissertação, mas também com a possibilidade de serem detalhados em estudos futuros.

Levando em consideração o que foi apontado na revisão sistemática da literatura e os resultados alcançados, a metodologia se mostrou eficiente na seleção de locais uma vez que levou em consideração fatores associados não só aos recursos base de cada tipologia – radiação, insolação, velocidade do vento –, mas também aspectos sociais, legais, políticos e de infraestrutura. Ainda, o método apresentado é passível de acréscimo de mais fatores, caso seja necessário realizar uma investigação em áreas menores e trabalhar com mais camadas – que sejam mais específicas a uma cidade, estado ou região.

O zoneamento das áreas com indicativo de degradação aptas a receber um empreendimento de geração solar mostra o quanto o Brasil é um país que deve investir nessa tipologia de produção de energia. Mesmo excluindo-se as áreas restritivas, existe uma área considerável com aptidão boa ou excelente para tal. Este é um indicativo que o país tem total capacidade de, nos próximos anos, diversificar sua matriz energética.

Isso também vale para a produção de energia eólica. Bem menos abrangente que a solar – por conta das características edafoclimáticas do Brasil –, esta tipologia possui uma quantidade significativa de áreas com indicativo de degradação que podem contribuir na diversificação das formas de produzir energia. Ainda, existem áreas que atendem aos critérios de adequação de ambas as tipologias, abrindo a possibilidade de construções híbridas.

Com a incerteza cada vez maior sobre o ciclo hidrológico, fruto das mudanças climáticas, a produção de energia por meio das fontes eólica e solar apresenta-se como

uma grande oportunidade para que o Brasil possa enfrentar o aumento da demanda de energia no futuro com sustentabilidade e segurança.

Dessa maneira, acredita-se que o presente trabalho venha contribuir para a comunidade científica como um guia de prospecção de zonas ou áreas, ambientalmente adequadas, para instalação de usinas de geração de energia renovável. Com a delimitação macro que foi apresentada e discutida, é possível fazer estudos mais pontuais, em áreas mais específicas de interesse, onde possam ser realizados investigações comprobatórias com imageamento de alta resolução espacial e análises em campo.

REFERÊNCIAS

ABRAHÃO, Karla Cristina de Freitas Jorge; SOUZA, Roberta Gonçalves Vieira de. Estimativa da evolução do uso final de energia elétrica no setor residencial do Brasil por região geográfica. **Ambiente Construído**, v. 21, p. 383-408, 2021.

ADELAJA, Soji et al. Renewable energy potential on brownfield sites: A case study of Michigan. **Energy Policy**, v. 38, n. 11, p. 7021-7030, 2010.

AKIYAMA, Tsuyoshi; KAWAMURA, Kensuke. Grassland degradation in China: methods of monitoring, management and restoration. **Grassland science**, v. 53, n. 1, p. 1-17, 2007.

ALI, Iftikhar et al. Satellite remote sensing of grasslands: from observation to management. **Journal of Plant Ecology**, v. 9, n. 6, p. 649-671, 2016.

ALMEIDA, Francisco Thiago Rodrigues; DE SOUZA GUIMARÃES, Claudinei; SERRA, Eduardo Gonçalves. Estimativa das emissões de gases de efeito estufa e proposta de mitigação dos impactos ambientais gerados por um empreendimento de geração de energia elétrica: um estudo de caso. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 6, p. 41175-41189, 2020.

ANDRADE, R. G. et al. Monitoramento de processos de degradação de pastagens a partir de dados Spot Vegetation. **Embrapa Territorial-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2011.

ANDRADE, Ricardo Guimarães et al. Uso de técnicas de sensoriamento remoto na detecção de processos de degradação de pastagens. **Revista Engenharia na Agricultura-REVENG**, v. 21, n. 3, p. 234-243, 2013.

ANDRADE, Ricardo Guimarães et al. Avaliação das condições de pastagens no cerrado brasileiro por meio de geotecnologias. 2017.

ARAÚJO, Raiane Sodré de et al. Fontes de energias renováveis: pesquisas, tendências e perspectivas sobre as práticas sustentáveis. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 11, p. e468111133893-e468111133893, 2022.

ARTATI, Yustina et al. Bioenergy production on degraded land: Landowner perceptions in Central Kalimantan, Indonesia. **Forests**, v. 10, n. 2, p. 99, 2019.

BARDGETT, Richard D. et al. Combatting global grassland degradation. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 2, n. 10, p. 720-735, 2021.

BEZERRA, P. E. S., Moraes, E. D., & Soares, I. D. C. (2018). Análise da Temperatura de Superfície e do  ndice de Vegeta o no Município de Belém na Identifica o das Ilhas de Calor. **Revista Brasileira de Cartografia**, 70(3), 803-818.

BHATT, B. P. et al. Fuelwood energy pattern and biomass resources in Eastern Himalaya. **Renewable Energy**, v. 94, p. 410-417, 2016.

BORGHI, Emerson et al. Recupera o de pastagens degradadas. **Agricultura de baixo carbono: tecnologias e estratégias de implanta o**. Brasília, DF: Embrapa, v. 4, p. 105-138, 2018.

BORGES, Gustavo G.; SALLES, Mauricio BC. A Política de Descontos para as Energias Renováveis no Brasil. **Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos-SBSE**, v. 1, n. 1, 2020.

Brasil. **Mapas nacionais e Bases georreferenciadas**: base georreferenciada. Base georreferenciada. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/dados-de-transportes/bit/bit-mapas>. Acesso em: 02 jul. 2024a.

BRASIL. INMET. . **Normais Climatológicas do Brasil (1981- 2010) - Insolação**: insolação. Insolação Total Mensal e Anual. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais> . Acesso em: 20 jul. 2024b.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Mercado. Brasília: Brasil, 2022a. Disponível em: [https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/mercado#:~:text=Ambiente%20de%20Contrata%C3%A7%C3%A3o%20Livre%20\(ACL\),-Segmento%20do%20mercado](https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/mercado#:~:text=Ambiente%20de%20Contrata%C3%A7%C3%A3o%20Livre%20(ACL),-Segmento%20do%20mercado) . Acesso em: 24 out. 2023.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. . **Portaria do MME permite que consumidores tenham liberdade de escolha e melhores preços**. 2022b. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/portaria-do-mme-permite-que-consumidores-tenham-liberdade-de-escolha-e-melhores-precos> . Acesso em: 24 out. 2023.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. . SIGA - Sistema de Informações de Geração da ANEEL. 2023. Disponível em: <https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/siga-sistema-de-informacoes-de-geracao-da-aneel> . Acesso em: 27 jul. 2023c.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. . Quantidade de empreendimentos de geração de energia em operação. 2023d. Disponível em: <https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/empreendimentos-em-operacao> . Acesso em: 23 out. 2023d.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. . Transição energética: a mudança de energia que o planeta precisa. 2023e. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/transicao-energetica-a-mudanca-de-energia-que-o-planeta-precisa> . Acesso em: 25 out. 2023e.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. . Sobre o programa. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/destaques/Programa%20Luz%20para%20Todos/sobre-o-programa> . Acesso em: 18 out. 2023f.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. . VGeo - Visualizador de Dados do DNITGeo. Disponível em: <https://servicos.dnit.gov.br/vgeo/> . Acesso em: 01 nov. 2023g.

BRASIL. INMET. . **Normais Climatológicas do Brasil (1991- 2020)**. 2022. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/uploads/normais/NORMAISCLIMATOLOGICAS.pdf> . Acesso em: 05 ago. 2024.

- BRASIL. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). **NSTRUÇÃO NORMATIVA ICMBIO N° 11**. 2014. Disponível em: < https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Instrucao_normativa/2014/in_icmbio_11_2014_estabelece_procedimentos_prad.pdf > Acesso em: 01 mai. 2024.
- BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉ-TRICA (Brasil)-ANEEL. 1° Ed. Brasília-DF: Atlas de energia elétrica do Brasil: Energia Hidráulica. 2008 P.17-45 Disponível em: < http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf pdf > Acesso em: out/2023.
- BRASIL. [Constituição (1988)]. Constituição da República Federativa do Brasil. **Brasília**, DF: Senado Federal.
- BRITO, Ana Luiza Oliveira de. O futuro da energia nuclear no Brasil e no mundo. **e-Boletim da Física**, v. 11, n. 2, 2023.
- BURAYU, Dawit Girma; KARUPPANNAN, Shankar; SHUNIYE, Gemachu. Identifying flood vulnerable and risk areas using the integration of analytical hierarchy process (AHP), GIS, and remote sensing: A case study of southern Oromia region. **Urban Climate**, v. 51, p. 101640, 2023.
- CHADAEVA, Victoria et al. Stages of grassland degradation in subalpine ecosystems of the Central Caucasus, Russia. **Chilean journal of agricultural research**, v. 81, n. 4, p. 630-642, 2021.
- CHEN, I.-Chun; YANG, Bo-Chieh. Developing decision model and sustainable mapping to screen the efficiency of brownfield redevelopment based on socioeconomic open data. **Sustainable Environment Research**, v. 32, n. 1, p. 29, 2022.
- CORRÊA, Maria Letícia. Contribuição para uma história da regulamentação do setor de energia elétrica no Brasil: o Código de Águas de 1934 e o Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica. **Política & Sociedade**, v. 4, n. 6, p. 255-292, 2005.
- DAMEN, Michiel. **Introduction to remote sensing**. 2022.
- DE ALMEIDA, Cláudia Maria. Aplicação dos sistemas de sensoriamento remoto por imagens e o planejamento urbano regional. **arq. urb**, n. 3, p. 98-123, 2010.
- DE JONG, Pieter et al. Estimating the impact of climate change on wind and solar energy in Brazil using a South American regional climate model. **Renewable energy**, v. 141, p. 390-401, 2019.
- DE MELLO, Mariana Torres Correia; et al. O uso de técnicas de geoprocessamento na prospecção de áreas para aproveitamento de energia eólica. 2013.
- DE QUEIROZ, Rosemar et al. Geração de energia elétrica através da energia hidráulica e seus impactos ambientais. **Revista eletrônica em gestão, educação e tecnologia ambiental**, p. 2774-2784, 2013.
- DERMEVAL, Diego; COELHO, Jorge AP de M.; BITTENCOURT, Ig Ibert. Mapeamento sistemático e revisão sistemática da literatura em informática na educação. JQUES, Patrícia Augustin; SIQUEIRA; Sean; BITTENCOURT, Ig; PIMENTEL,

Mariano.(Org.) Metodologia de Pesquisa Científica em Informática na Educação: Abordagem Quantitativa. **Porto Alegre: SBC**, 2020.

DIAS, Nuno Jorge Sousa. Escoamento de ventos em floresta: estudo numérico de efeitos de heterogeneidades da cobertura florestal. 2009.

DING, Zeyu et al. Performance analysis of a wind-solar hybrid power generation system. **Energy Conversion and Management**, v. 181, p. 223-234, 2019.

EDRISI, Sheikh Adil et al. Bioenergy crop production potential and carbon mitigation from marginal and degraded lands of India. **Renewable Energy**, v. 192, p. 300-312, 2022.

DONALDSON, Ross; LORD, Richard. Can brownfield land be reused for ground source heating to alleviate fuel poverty?. **Renewable Energy**, v. 116, p. 344-355, 2018.

DUTRA, Ricardo Marques; SZKLO, Alexandre Salem. Incentive policies for promoting wind power production in Brazil: Scenarios for the Alternative Energy Sources Incentive Program (PROINFA) under the New Brazilian electric power sector regulation. **Renewable Energy**, v. 33, n. 1, p. 65-76, 2008.

EDRISI, Sheikh Adil et al. Bioenergy crop production potential and carbon mitigation from marginal and degraded lands of India. **Renewable Energy**, v. 192, p. 300-312, 2022.

EMBRAPA TERRITORIAL. Satélites de Monitoramento. Campinas, 2018. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/sentinel> >. Acesso em: 19 mai. 2022a.

EMBRAPA TERRITORIAL. Satélites de Monitoramento. Campinas, 2018. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/landsat> >. Acesso em: 19 mai. 2022b.

EMBRAPA TERRITORIAL. Satélites de Monitoramento. Campinas, 2018. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/spot> >. Acesso em: 19 mai. 2022c.

EMBRAPA TERRITORIAL. **Agricultura e preservação ambiental: uma análise do cadastro ambiental rural**. Campinas, 2020. Disponível em: < www.embrapa.br/car >. Acesso em: 17 set. 2024

EMBRAPA TERRITORIAL. Agricultura de baixa emissão de carbono. Brasília. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/tema-agricultura-de-baixo-carbono/perguntas-e-respostas> >. Acesso em: 31 de ago. 2022d.

ENGESAT. **Sentinel-2**. Disponível em: <<http://www.engesat.com.br/sentinel-2/>>. Acesso em 06 de agosto de 2022.

EUROPEAN SPACE AGENCY. **History of Europe in space**. Disponível em: < https://www.esa.int/About_Us/ESA_history/History_of_Europe_in_space >. Acesso em: 01 set. 2022a.

EUROPEAN SPACE AGENCY. **Key Dates**. Disponível em: < https://www.esa.int/About_Us/ESA_history/Key_dates_1960-2018 >. Acesso em: 01 set. 2022b.

EUROPEAN SPACE AGENCY. **Copernicus Open Access Hub**. Open Hub. Disponível em: < <https://scihub.copernicus.eu/> > Acesso em: 01 set. 2022c.

EUROPEAN SPACE AGENCY. **Sentinel Online**. Overview. Disponível em: < <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2/overview> > Acesso em: 01 set. 2022d.

ESTADOS UNIDOS. USGS. . **USGS EROS Archive - Digital Elevation - Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Non-Void Filled**. 2018. Disponível em: <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-non>. Acesso em: 01 jul. 2024.

EPE. Sistema de Informações Geográficas do Setor Energético Brasileiro. WEBMAP EPE 2024. Disponível em: < <https://gisepeprd2.epe.gov.br/WebMapEPE/> >.

FAAIJ, André PC. Repairing What Policy Is Missing Out on: A Constructive View on Prospects and Preconditions for Sustainable Biobased Economy Options to Mitigate and Adapt to Climate Change. **Energies**, v. 15, n. 16, p. 5955, 2022

FERNANDES, Patrícia Gloriza et al. Multitemporal analysis by remote sensing of the evolution of coastal line of Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil. **Sistemas & Gestão**, v. 15, n. 1, p. 59-69, 2020.

FERREIRA, André Luís; SILVA, Felipe Barcellos. Universalização do acesso ao serviço público de energia elétrica no Brasil: evolução recente e desafios para a **Amazônia Legal**. **Revista Brasileira de Energia**, v. 27, n. 3, p. 135-154, 2021.

FIGUEIREDO, Divino. Conceitos básicos de sensoriamento remoto. **São Paulo**, 2005.

Feltran-Barbieri R, Féres JG. 2021 Degraded pastures in Brazil: improving livestock production and forest restoration. **R. Soc. Open Sci.** **8**: 201854. <https://doi.org/10.1098/rsos.201854>

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Os satélites e suas aplicações**. 2008.

GAIMAN, NEIL. Sandman: especial 30 anos: v. 6 / Neil Gaiman, arte por Bryan Talbot, Stan Woch, P. Craig Russel, tradução por Jotapê Martins – Barueri, SP : Panini Brasil, 2020.

GAGLIA, Athina G. et al. Energy efficiency of PV panels under real outdoor conditions—An experimental assessment in Athens, Greece. **Renewable energy**, v. 101, p. 236-243, 2017.

GAO, Qingzhu et al. Grassland degradation in Northern Tibet based on remote sensing data. **Journal of Geographical Sciences**, v. 16, n. 2, p. 165-173, 2006.

GIBBS, H. K.; SALMON, J. Megham. Mapping the world's degraded lands. **Applied geography**, v. 57, p. 12-21, 2015.

GOMES, João Paulo Pombeiro; VIEIRA, Marcelo Milano Falcão. O campo da energia elétrica no Brasil de 1880 a 2002. **Revista de Administração Pública**, v. 43, p. 295-321, 2009.

GÓMEZ, Xiomar et al. Thermal evaluation of plant biomass from the phytostabilisation of soils contaminated by potentially toxic elements. **Chemosphere**, v.342, p.140116, 2023.

GONÇALVES, J. L. G.; FRANCISCO, P. R. M.; VIEIRA, EN de L. Identificação de áreas degradadas através de técnicas de detecção de mudanças. In: **Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação**. 2013. p. 2013.

GORMAN, Courtney E. et al. Reconciling climate action with the need for biodiversity protection, restoration and rehabilitation. **Science of The Total Environment**, v. 857, p. 159316, 2023.

GUEDES, J., & DA SILVA, S. M. P. (2018). SENSORIAMENTO REMOTO NO ESTUDO DA VEGETAÇÃO: PRINCÍPIOS FÍSICOS, SENSORES E MÉTODOS. **Acta Geográfica**, 12(29), 127-144.

HOTT, Marcos C. et al. Analysis of grassland degradation in Zona da Mata, MG, Brazil, based on NDVI time series data with the integration of phenological metrics. **Remote Sensing**, v. 11, n. 24, p. 2956, 2019.

HUANG, F.; WANG, P.; LIU, X. Monitoring vegetation dynamic in Horqin Sandy Land from SPOT Vegetation Time series imagery. **Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci**, v. 37, p. 915-920, 2008.

IBGE. **Downloads**: geociências. Geociências. 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>. Acesso em: 01 mar. 2024.

INÁCIO, Diego Ramos; BARBOZA, Douglas Vieira; BRUNO, Sávio Freire. Sensoriamento Remoto e uso e Cobertura da Terra: Uma Revisão sobre Monitoramento Remote Sensing and Land use and Cover: A Review About Monitoring. **Revista FSA (Centro Universitário Santo Agostinho)**, v. 17, n. 10, p. 263-277, 2020.

JIANG, Ping et al. Climate and Anthropogenic Influences on the Spatiotemporal Change in Degraded Grassland in China. **Environmental Engineering Science**, v. 38, n. 11, p. 1065-1077, 2021.

JÚNIOR, Paulo Torres; MOREIRA, Carlos Américo Leire. O programa de incentivo às energias renováveis no Brasil (PROINFA) e a sua relação com a sustentabilidade: um estudo sobre a política energética brasileira sob a ótica neoliberal neoextrativista. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 15466-15478, 2020.

KODA, Eugeniusz et al. Space redevelopment of old landfill located in the zone between urban and protected areas: case study. **Energies**, v. 15, n. 1, p. 146, 2021.

LANFREDI, Maria et al. Early identification of land degradation hotspots in complex bio-geographic regions. **Remote Sensing**, v. 7, n. 6, p. 8154-8179, 2015.

Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG). Atlas das

Pastagens. 2022. Disponível em: < <https://atlasdaspastagens.ufg.br/map> >. Acesso em: 01 jan. 2024.

LANG, Yanqing; YANG, Xiaohuan; CAI, Hongyan. Assessing the degradation of grassland ecosystems based on the advanced local net production scaling method—The case of Inner Mongolia, China. **Land Degradation & Development**, v. 32, n. 2, p. 559-572, 2021.

LEAL, Luciana Braga Bacelar; ALVA, Juan Carlos Rossi. Políticas públicas de acesso à energia elétrica, como ferramenta na efetividade dos direitos fundamentais Public policies of access to electric energy, as a tool to make fundamental rights effective. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 8, p. 82796-82823, 2021.

LEKSONO, Budi et al. Pongamia: A possible option for degraded land restoration and bioenergy production in Indonesia. **Forests**, v. 12, n. 11, p. 1468, 2021.

LIANG, Shuai et al. Studying green financing, factor allocation efficiency, and regional productivity growth in renewable energy industries. **Renewable Energy**, 2023.

LIMA, Maria Thereza da Silva Lopes; DE SOUZA, Marina Corrêa. Discorrendo sobre o uso das termétricas no Brasil. **Ciência e Natura**, v. 37, n. 2, p. 17-23, 2015.

LIU, Shulin et al. Vegetation change based on SPOT-VGT data from 1998 to 2007, northern China. *Environmental Earth Sciences*, v. 60, n. 7, p. 1459-1466, 2010.

LIU, Min et al. The impacts of the eco-environmental policy on grassland degradation and livestock production in Inner Mongolia, China: An empirical analysis based on the simultaneous equation model. **Land Use Policy**, v. 88, p. 104167, 2019.

LIU, T. T. et al. Strengths, weaknessness, opportunities and threats analysis of bioenergy production on marginal land. **Energy Procedia**, v. 5, p. 2378-2386, 2011.

LIU, Wei et al. Sustainable bioenergy production with little carbon debt in the Loess Plateau of China. **Biotechnology for Biofuels**, v. 9, p. 1-10, 2016.

LOEFFLER, Dan; CALKIN, David E.; SILVERSTEIN, Robin P. Estimating volumes and costs of forest biomass in Western Montana using forest inventory and geospatial data. **Forest products journal**. 56 (6): 31-37, 2006.

LUZ, Antônio da; FOCHEZATTO, Adelar. O transbordamento do PIB do Agronegócio do Brasil: uma análise da importância setorial via Matrizes de Insumo-Produto. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 61, 2022.

MAIA, Ivaniel Foro; VITORAZZI, Raquel; SCHNLZ, Lara Moreira. Combinação entre o método AHP e SIG na identificação de áreas prioritárias para implantação de caixas secas no Município de Linhares—ES. **Revista Científica Foz**, v. 4, n. 1, 2021.

MELO, Danilo Heitor et al. Evolução da observação da terra por Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v. 2, n. 2, 2021.

- MENDES, O. R., DANELICHEN, V. H. M., & PEREIRA, O. A. (2019). Avaliação da temperatura da superfície no Pantanal Mato-grossense por Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 12(5), 1784-1793.
- METZGER, Jürgen O.; HÜTTERMANN, Aloys. Sustainable global energy supply based on lignocellulosic biomass from afforestation of degraded areas. **Naturwissenschaften**, v. 96, p. 279-288, 2009.
- MIGUEL, B. H., & 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(2), 427-442.
- MILANO, Jackson. Proposta de utilização de sistema híbrido eólico/solar de geração de energia em estabelecimentos comerciais na Ilha do Mel-PR. **Ciência e Natura**, v. 40, p. e66, 2018.
- MOUSTAFA, Ahmed M. et al. Reuse of Abandoned oil and gas wells for Power generation in Western Dessert and Gulf of Suez fields of Egypt. **Energy Reports**, v. 8, p. 1349-1360, 2022.
- MOHANTY, Binayak P.; SKAGGS, T. H. Spatio-temporal evolution and time-stable characteristics of soil moisture within remote sensing footprints with varying soil, slope, and vegetation. **Advances in water resources**, v. 24, n. 9-10, p. 1051-1067, 2001.
- MOTTA, Matheus Bertolino et al. Zoning of degraded areas suitable for implementation of renewable energy generation systems: systematic review. 2024.
- MORAES, Darlan Angelo et al. A relação da pecuária na economia brasileira. **Repositório Institucional do Conhecimento - RIC-CPS**. 2021.
- MOURA, Adriana Maria Magalhães de. Trajetória da política ambiental federal no Brasil. **Brasil**. 2016.
- MULLER, Marcelo ML et al. The relationship between pasture degradation and soil properties in the Brazilian Amazon: a case study. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 103, n. 2, p. 279-288, 2004.
- NARENDRA, Budi Hadi et al. A System Dynamics Model for Wood-Based Renewable Energy Production from Degraded Land Rehabilitation. **Pol. J. Environ. Stud**, v. 30, p. 5643-5656, 2021.
- NETO, Tomaz Espósito. Uma análise histórico-jurídica do Código de Águas (1934) e o início da presença do Estado no setor elétrico brasileiro no primeiro Governo Vargas. **Revista Eletrônica História em Reflexão**, v. 9, n. 17, 2015.
- NGUGI, Michael R. et al. Estimating potential harvestable biomass for bioenergy from sustainably managed private native forests in Southeast Queensland, Australia. **Forest Ecosystems**, v. 5, p. 1-15, 2018.
- NOWAK, Arkadiusz et al. Ecovoltaics-a truly ecological and green source of renewable goods. **Ecological Chemistry and Engineering S**, v. 30, n. 3, p. 315-332, 2023.

NASA. National Aeronautics and Space Administration. NASA History Division. Disponível em: < <https://history.nasa.gov/40thann/define.htm> >. Acesso: 01 set. 2022.

OGBONNAYA, Chukwuma; TURAN, Ali; ABEYKOON, Chamil. Novel thermodynamic efficiency indices for choosing an optimal location for large-scale photovoltaic power generation. **Journal of cleaner production**, v. 249, p. 119405, 2020.

OTT, Jacqueline P. et al. Energy development and production in the Great Plains: Implications and mitigation opportunities. **Rangeland Ecology & Management**, v. 78, p. 257-272, 2021.

PÉREZ MARTÍN, B. et al. **El Programa Copernicus para la monitorización del territorio y los Objetivos del Desarrollo Sostenible**. Instituto Geográfico Nacional (IGN). Madrid, ES: DOI, v. 10, n. 162.13, p. 2020, 2020.

PEETERS, Alain et al. Grassland term definitions and classifications adapted to the diversity of European grassland-based systems. **In: 25th EGF General Meeting on “EGF at 50: The Future of European Grasslands**. 2014. p. 743-750.

PERTILLE, C. T., SILVA, G. O., DE SOUZA, C. F., & NICOLETTI, M. F. (2018). Estudo da Eficiência de Classificações Supervisionadas Aplicadas em Imagem de Média Resolução Espacial. **BIOFIX Scientific Journal**, 3(2), 289-296.

PEYGHAMBARI, Sima; ZHANG, Yun. Hyperspectral remote sensing in lithological mapping, mineral exploration, and environmental geology: an updated review. **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 15, n. 3, p. 031501, 2021.

PHIRI, D., SIMWANDA, M., SALEKIN, S., NYIRENDA, V. R., MURAYAMA, Y., & RANAGALAGE, M. (2020). Sentinel-2 data for land cover/use mapping: A review. **Remote Sensing**, 12(14), 2291.

PHUKUBYE, K. et al. On the impact of grassland management on soil carbon stocks: a worldwide meta-analysis. **Geoderma Régional**, v. 28, p. e00479, 2022.

QAZI, Atika et al. Towards sustainable energy: a systematic review of renewable energy sources, technologies, and public opinions. **IEEE access**, v. 7, p. 63837-63851, 2019.

RAMOS, Leonardo Affonso; DURANTE, Luciane Cleonice; CALLEJAS, Ivan Julio Apolônio. Geração de Eletricidade Abordando o Ciclo de Vida: Uma Revisão Sistemática sob a Ótica da Sustentabilidade Ambiental. **E&S Engineering and Science**, v. 6, n. 1, p. 14-28, 2017.

RACHTER, Laísa; ROCHA, Rudi. Eletrificação rural, eletrodomésticos e oferta de trabalho feminino: Evidência para o Brasil. **Revista Brasileira de Economia**, v. 76, p. 92-134, 2022.

REGINATO, Vivian da Silva Celestino. Sensoriamento remoto aplicado à identificação de potencial solar em escalas regionais. **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v. 1, n. 2, 2020.

- REGHINI, Fernando Lucas; CAVICHIOLI, Fábio Alexandre. Utilização de geoprocessamento na agricultura de precisão. **Revista Interface Tecnológica**, v. 17, n. 1, p. 329-339, 2020.
- REINERMANN, Sophie; ASAM, Sarah; KUENZER, Claudia. Remote sensing of grassland production and management—A review. **Remote Sensing**, v. 12, n. 12, p. 1949, 2020.
- REIS, Simony Lopes da Silva; DO VALE, Raquel Matos Cardoso; LOBÃO, Jocimara Souza Britto. IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS NO OESTE DA BAHIA ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO. 2009.
- RIMACHE, Jorge Yuniór Torres. Delimitación de áreas adecuadas para rellenos sanitarios utilizando SIG y selección por AHP en la provincia de Yungay, Áncash, 2021. 2021.
- ROQUE, Mariane Paulina Batalha; NETO, José Ambrósio Ferreira; DE FARIA, André Luiz Lopes. Degraded grassland and the conflict of land use in protected areas of hotspot in Brazil. **Environment, Development and Sustainability**, v. 24, n. 1, p. 1475-1492, 2022.
- ROY, Pranoy et al. Recent advances of wind-solar hybrid renewable energy systems for power generation: A review. **IEEE Open Journal of the Industrial Electronics Society**, v. 3, p. 81-104, 2022.
- solar. 2018. Monografia (Especialização em Planejamento e Estratégias de Desenvolvimento) - Escola Nacional de Administração Pública-ENAP. Brasília, 2018.
- SAATY, T.L. The Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw-Hill, **1980**.
- SAATY, Roseanna W. The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. **Mathematical modelling**, v. 9, n. 3-5, p. 161-176, 1987.
- SANO, E. E.; MATRICARDI, EAT; CAMARGO, F. F. State-of-the-art of Radar Remote Sensing: Fundamentals, Sensors, Image Processing, and Applications. 2020.
- SANTOS, RCD. Geração distribuída Brasil: perspectivas para a expansão da energia solar. 2018. Monografia (Especialização em Planejamento e Estratégias de Desenvolvimento) - Escola Nacional de Administração Pública-ENAP. **Brasília**, 2018.
- SHEN, Shili et al. Using bioenergy crop cassava (*Manihot esculenta*) for reclamation of heavily metal-contaminated land. **International Journal of Phytoremediation**, v. 22, n. 12, p. 1313-1320, 2020.
- SILVA, Bruno Gonçalves da. Evolução No Setor Elétrico Brasileiro No Contexto Econômico Nacional: Uma Análise Histórica E Econométrica De Longo Prazo. 2011. 162 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Energia, **Universidade de São Paulo**, São Paulo, 2011.

SILVA, Mateus Dos Santos et al. Análise da energia eólica no Brasil usando Séries Temporais. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 1, p. e26611124827-e26611124827, 2022.

SHELAR, Rahul S. et al. Unlocking the hidden potential: groundwater zone mapping using AHP, remote sensing and GIS techniques. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, v. 14, n. 1, p. 2264458, 2023.

SOARES, Joyce Aristércia Siqueira; CÂNDIDO, Gesinaldo Ataíde. Planejamento energético no Brasil: a caminho de uma política energética de inserção da matriz nos moldes da sustentabilidade. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 637-662, 2020.

SOLARGIS. **Solar resource maps of Brazil**. 2024. Disponível em: <https://solargis.com/resources/free-maps-and-gis-data?locality=brazil>. Acesso em: 01 jun. 2024.

SPIESS, Thierry; DE SOUSA, Christopher. Barriers to renewable energy development on brownfields. **Journal of environmental policy & planning**, v. 18, n. 4, p. 507-534, 2016.

STOW, D. et al. Variability of the seasonally integrated normalized difference vegetation index across the north slope of Alaska in the 1990s. **International journal of Remote sensing**, v. 24, n. 5, p. 1111-1117, 2003.

SZUMILAS-KOWALCZYK, Hanna; GIEDYCH, Renata. Analysis of Regulatory Possibilities and Obstacles to Expand Renewable Energy and Preserve Landscape Quality in the Silesian Voivodship. **Resources**, v. 11, n. 2, p. 23, 2022.

THE WORLD BANK. **Global Wind Atlas**. Disponível em: <https://globalwindatlas.info/en/area/Brazil>. Acesso em: 31 dez. 2023.

THEWYS, Theo et al. Economic viability of phytoremediation of a cadmium contaminated agricultural area using energy maize. Part I: Effect on the farmer's income. **International journal of phytoremediation**, v. 12, n. 7, p. 650-662, 2010.

TOLEDO, André Correa de. Avaliação das condições socioambientais da Bacia do Rio Corumbataí (SP) pela integração de SIG e AHP: diretrizes para o planejamento e gestão territorial. 2024.

TOPUZ, Mustafa; DENIZ, Mehmet. Application of GIS and AHP for land use suitability analysis: case of Demirci district (Turkey). **Humanities and social sciences communications**, v. 10, n. 1, p. 1-15, 2023.

TURKOVSKA, Olga et al. Land-use impacts of Brazilian wind power expansion. **Environmental Research Letters**, v. 16, n. 2, p. 024010, 2021.

VANDENHOVE, H. et al. Economic viability of short rotation coppice for energy production for reuse of caesium-contaminated land in Belarus. **Biomass and Bioenergy**, v. 22, n. 6, p. 421-431, 2002.

VASCONCELOS, Priscila Elise Alves; MELLO, Cleyson de Moraes. Direitos humanos a luz da agenda 2030 e plano clima energia 2050: o uso das energias renováveis em prol do meio ambiente. **Revista Interdisciplinar do Direito-Faculdade de Direito de Valença**, v. 19, n. 1, p. 154-164, 2021.

VRÎNCEANU, Alexandra; DUMITRAȘCU, Monica; KUCSICSA, Gheorghe. Site suitability for photovoltaic farms and current investment in Romania. **Renewable Energy**, v. 187, p. 320-330, 2022.

WAITE, Jacqueline L. Land reuse in support of renewable energy development. **Land use policy**, v. 66, p. 105-110, 2017.

WOODS, T. Visualizing all of Earth's satellites: Who owns our orbit. **Visual Capitalist, October**, v. 30, 2020

Xiao, B., Zhao, L.J., Zheng, L.P., Tan, L., Zheng, F.L. and Siya·Man Like, A. (2022) Review of the Impact of Grassland Degradation on Ecosystem Service Value. **Open Journal of Applied Sciences** , 12, 1083-1097.<https://doi.org/10.4236/ojapps.2022.127074>

ZHANG, Bin et al. Deploying photovoltaic arrays in degraded grasslands is a promising win-win strategy for promoting grassland restoration and resolving land use conflicts. **Journal of Environmental Management**, v. 349, p. 119495, 2024.

Zheng, L.P., Zhao, L.J., Xiao, B., Tan, L., Zheng, F.L. and Like, A.S.M. (2022) Overview of Grassland Degradation Research Based on Remote Sensing Monitoring. **Open Journal of Applied Sciences** , 12, 614-630.
<https://doi.org/10.4236/ojapps.2022.124042>

ZHENG, Liping et al. Overview of Grassland Degradation Research Based on Remote Sensing Monitoring. **Open Journal of Applied Sciences**, v. 12, n. 4, p. 614-630, 2022.

ZIENKIEWICZ, Aleksandra; PODCIBORSKI, Tomasz Stanisław. A conceptual database model for the identification of degraded areas and areas proposed for planned revitalisation. **Bulletin of Geography. Socio-economic Series**, n. 51, p. 85-94, 2021.

ZULUAGA, Cristian Felipe et al. The climate change perspective of photovoltaic power potential in Brazil. **Renewable Energy**, v. 193, p. 1019-1031, 2022.

APÊNDICE A – Cidades com aptidão solar boa ou excelente em áreas com indicativo de degradação sem restrições.

APTIDÃO SOLAR EM ÁREAS COM INDICATIVO DE DEGRADAÇÃO, SEM RESTRIÇÕES					
MunicípioUF	Área com boa aptidão em regiões com indicativos de degradação (60% a 80%) em km ²	Área com excelente aptidão em regiões com indicativos de degradação (80% a 100%) em km ²	Soma da área apta em regiões com indicativo de degradação, sem restrição, com boa e excelente aptidão km ²	Área total do município (km ²)	% da área municipal com aptidão boa ou excelente
AreialPB	6,92	27,70	34,62	35,81	96,68%
Passa e FicaRN	5,54	31,85	37,39	42,14	88,74%
Ouro BrancoAL	0,00	173,11	173,11	196,56	88,07%
MontadasPB	1,38	26,31	27,70	31,79	87,12%
IbititáBA	5,54	479,17	484,71	573,03	84,59%
LapãoBA	0,00	535,95	535,95	642,88	83,37%
CariraSE	271,44	245,13	516,56	638,74	80,87%
MaravilhaAL	4,15	260,36	264,51	332,37	79,58%
Poço VerdeSE	335,14	15,23	350,38	441,33	79,39%
QueimadasBA	1.587,09	0,00	1.587,09	2.011,06	78,92%
América DouradaBA	33,24	613,51	646,74	822,37	78,64%
Cacimba de DentroPB	65,09	63,71	128,80	165,07	78,02%
Senador Rui PalmeiraAL	5,54	254,82	260,36	338,57	76,90%
João DouradoBA	55,40	645,36	700,76	913,26	76,73%
Malhada de PedrasBA	130,18	286,67	416,85	550,55	75,72%
Figueirópolis D'OesteMT	671,67	0,00	671,67	891,45	75,35%
PiquerobiSP	281,13	78,94	360,07	482,77	74,58%
GaviãoBA	286,67	0,00	286,67	384,59	74,54%
CanaranaBA	0,00	432,09	432,09	579,73	74,53%
GurjãoPB	0,00	254,82	254,82	344,50	73,97%
Bom LugarMA	326,83	0,00	326,83	445,17	73,42%
AdustinaBA	459,78	0,00	459,78	629,10	73,09%
LajedãoBA	455,63	0,00	455,63	624,35	72,98%
Coronel João SáBA	365,61	214,66	580,27	797,43	72,77%
Santo AndréPB	0,00	142,64	142,64	197,79	72,12%

Nova FátimaBA	246,51	0,00	246,51	346,78	71,08%
Barro AltoBA	0,00	293,60	293,60	414,51	70,83%
IbipitangaBA	19,39	642,59	661,98	954,37	69,36%
Ouro BrancoRN	1,38	173,11	174,50	253,21	68,91%
MucuriciES	371,15	0,00	371,15	540,53	68,66%
IrecêBA	0,00	218,81	218,81	319,17	68,56%
Frei MiguelinhoPE	58,17	87,25	145,41	212,71	68,36%
PracinhaSP	40,16	2,77	42,93	63,05	68,09%
MariápolisSP	106,64	19,39	126,03	186,54	67,56%
São José dos Quatro MarcosMT	857,25	0,00	857,25	1.282,76	66,83%
Presidente VenceslauSP	360,07	144,03	504,10	755,20	66,75%
CafarnaumBA	4,15	425,16	429,32	643,66	66,70%
ParariPB	2,77	135,72	138,49	207,81	66,64%
Timbaúba dos BatistasRN	0,00	90,02	90,02	135,46	66,46%
ParipirangaBA	286,67	5,54	292,21	442,19	66,08%
Palmeira d'OesteSP	188,35	22,16	210,50	318,74	66,04%
CumbeSE	84,48	0,00	84,48	128,39	65,80%
Aparecida do Rio DoceGO	396,08	0,00	396,08	603,25	65,66%
Lagoa SantaGO	196,65	106,64	303,29	463,29	65,46%
IpiráBA	2.028,87	0,00	2.028,87	3.105,28	65,34%
TanhaçuBA	553,96	278,36	832,32	1.277,51	65,15%
SoledadePB	15,23	361,46	376,69	578,18	65,15%
CaturitéPB	60,94	15,23	76,17	117,82	64,65%
Barra de SantanaPB	207,73	34,62	242,36	375,18	64,60%
GuanambiBA	77,55	742,30	819,86	1.272,37	64,44%
Lagoa d'AntaRN	0,00	67,86	67,86	105,65	64,23%
São José do SabugiPB	18,00	119,10	137,10	213,56	64,20%
Dores do IndaiáMG	713,22	0,00	713,22	1.111,20	64,18%

Alfredo MarcondesSP	74,78	1,38	76,17	118,92	64,05%
Água LimpaGO	220,20	73,40	293,60	458,84	63,99%
CassilândiaMS	1.948,54	380,85	2.329,39	3.658,25	63,67%
BaraúnaPB	1,38	30,47	31,85	50,03	63,67%
CaiuáSP	256,21	92,79	348,99	551,16	63,32%
MontanhaES	695,22	0,00	695,22	1.099,06	63,26%
Santa Maria do CambucáPE	20,77	37,39	58,17	92,15	63,12%
IuiuBA	30,47	930,65	961,12	1.525,14	63,02%
IaciaraGO	103,87	871,10	974,96	1.547,18	63,02%
CasserenguePB	72,01	55,40	127,41	202,76	62,84%
ArapoemaTO	974,96	0,00	974,96	1.558,14	62,57%
ItajáRN	0,00	127,41	127,41	203,62	62,57%
AnadiaAL	81,71	34,62	116,33	186,13	62,50%
ItapirapuãGO	1.215,94	63,71	1.279,64	2.047,87	62,49%
São FranciscoSP	47,09	0,00	47,09	75,58	62,30%
Nossa Senhora AparecidaSE	127,41	84,48	211,89	340,77	62,18%
Palmas de Monte AltoBA	4,15	1.587,09	1.591,24	2.560,03	62,16%
ParanaíbaMS	2.077,34	1.274,10	3.351,44	5.405,48	62,00%
CarneirosAL	0,00	69,24	69,24	111,70	61,99%
Ribeirão VermelhoMG	30,47	0,00	30,47	49,25	61,86%
ParaúRN	0,00	236,82	236,82	383,21	61,80%
Pedro AlexandreBA	267,28	279,75	547,03	889,57	61,49%
Dom BasílioBA	105,25	317,14	422,39	689,52	61,26%
CanapiAL	27,70	340,68	368,38	602,78	61,11%
São FranciscoSE	45,70	5,54	51,24	83,99	61,01%
Serra dos AimorésMG	130,18	0,00	130,18	213,57	60,95%

Nossa Senhora das DoresSE	265,90	27,70	293,60	482,41	60,86%
Pé de SerraBA	362,84	0,00	362,84	596,77	60,80%
BritâniaGO	884,95	0,00	884,95	1.458,46	60,68%
AuriflamaSP	199,42	63,71	263,13	434,50	60,56%
JussaraBA	2,77	817,09	819,86	1.355,17	60,50%
MozarlândiaGO	1.044,21	5,54	1.049,75	1.738,52	60,38%
CandibaBA	13,85	247,90	261,74	433,64	60,36%
Sítio do QuintoBA	360,07	52,63	412,70	684,09	60,33%
DamiãoPB	38,78	73,40	112,18	186,20	60,25%
Ribas do Rio PardoMS	10.064,01	317,14	10.381,15	17.315,28	59,95%
GlaucilândiaMG	42,93	44,32	87,25	145,86	59,82%
OurolândiaBA	173,11	749,23	922,34	1.544,99	59,70%
São José do CampestreRN	20,77	182,81	203,58	341,12	59,68%
QueimadasPB	164,80	74,78	239,59	402,75	59,49%
BrumadoBA	451,47	860,02	1.311,49	2.207,61	59,41%
Três FronteirasSP	85,86	4,15	90,02	151,59	59,38%
Salto da DivisaMG	556,73	0,00	556,73	938,01	59,35%
SurubimPE	85,86	63,71	149,57	252,90	59,14%
Água ClaraMS	4.595,07	0,00	4.595,07	7.781,56	59,05%
Morro da GarçaMG	243,74	0,00	243,74	414,77	58,77%
CarmolândiaTO	199,42	0,00	199,42	339,37	58,76%
Campos VerdesGO	80,32	180,04	260,36	443,13	58,76%
ItajáGO	394,69	828,17	1.222,86	2.082,74	58,71%
PotiretamaCE	0,00	239,59	239,59	409,14	58,56%
Rolim de MouraRO	851,71	0,00	851,71	1.457,81	58,42%
LoandaPR	421,01	0,00	421,01	722,50	58,27%
BonfimMG	175,88	0,00	175,88	301,87	58,26%
ItarumãGO	1.094,07	905,72	1.999,78	3.437,37	58,18%
Glória de DouradosMS	189,73	96,94	286,67	493,43	58,10%
Santana do SeridóRN	5,54	103,87	109,41	188,40	58,07%

InocênciaMS	3.338,98	5,54	3.344,52	5.761,19	58,05%
São FernandoRN	5,54	228,51	234,05	404,43	57,87%
AracatuBA	562,27	299,14	861,40	1.489,80	57,82%
Ribeirão dos ÍndiosSP	92,79	20,77	113,56	196,45	57,81%
Lagoa do CarroPE	29,08	11,08	40,16	69,67	57,65%
Presidente DutraBA	4,15	128,80	132,95	232,06	57,29%
CrucilândiaMG	95,56	0,00	95,56	167,16	57,16%
Lagoa do OuroPE	102,48	11,08	113,56	198,76	57,13%
Riachão do JacuípeBA	659,21	0,00	659,21	1.155,42	57,05%
PenaforteCE	0,00	85,86	85,86	150,54	57,04%
CurvelândiaMT	203,58	0,00	203,58	357,13	57,00%
Ponto BeloES	204,96	0,00	204,96	360,11	56,92%
Santa Rita do PardoMS	3.495,47	0,00	3.495,47	6.142,00	56,91%
PérolaPR	134,33	0,00	134,33	236,19	56,88%
PinhãoSE	55,40	33,24	88,63	156,37	56,68%
Cana VerdeMG	120,49	0,00	120,49	212,72	56,64%
Santa Fé de GoiásGO	659,21	0,00	659,21	1.164,19	56,62%
EmilianópolisSP	90,02	37,39	127,41	225,17	56,58%
Dirce ReisSP	49,86	0,00	49,86	88,13	56,57%
Santana da Ponte PensaSP	73,40	0,00	73,40	129,89	56,51%
Castro AlvesBA	400,23	0,00	400,23	713,79	56,07%
Riacho das AlmasPE	120,49	55,40	175,88	314,00	56,01%
Marabá PaulistaSP	445,94	66,47	512,41	919,52	55,73%
AngicosRN	1,38	411,31	412,70	741,58	55,65%
Nova Canaã PaulistaSP	60,94	8,31	69,24	124,47	55,63%
JaguaribeCE	31,85	1.010,97	1.042,82	1.877,06	55,56%
CarneirinhoMG	540,11	605,20	1.145,31	2.063,46	55,50%
Capim GrossoBA	257,59	0,00	257,59	464,78	55,42%
Paraíso das ÁguasMS	2.139,66	663,36	2.803,02	5.061,43	55,38%

EsperançaPB	16,62	70,63	87,25	157,85	55,27%
Santa Terezinha de GoiásGO	300,52	365,61	666,13	1.206,60	55,21%
ItaúRN	0,00	73,40	73,40	133,03	55,17%
MarinópolisSP	36,01	6,92	42,93	77,83	55,16%
CubatiPB	1,38	88,63	90,02	163,57	55,03%
CedroPE	2,77	78,94	81,71	148,75	54,93%
Santo AfonsoMT	638,44	0,00	638,44	1.166,38	54,74%
JussaraGO	2.225,52	9,69	2.235,22	4.092,34	54,62%
AngueraBA	102,48	0,00	102,48	187,84	54,56%
PuxinanãPB	2,77	36,01	38,78	71,12	54,52%
Serra de São BentoRN	29,08	23,54	52,63	96,63	54,46%
CastanheirasRO	486,10	0,00	486,10	892,84	54,44%
Serra PretaBA	324,06	0,00	324,06	595,30	54,44%
Jardim do SeridóRN	0,00	199,42	199,42	367,65	54,24%
QuaraíRS	1.697,88	0,00	1.697,88	3.140,00	54,07%
PereirasSP	120,49	0,00	120,49	223,14	54,00%
JuazeirinhoPB	5,54	250,67	256,21	474,61	53,98%
Esperança NovaPR	76,17	0,00	76,17	141,29	53,91%
AspásiaSP	37,39	0,00	37,39	69,37	53,90%
FigueirãoMS	2.603,60	24,93	2.628,53	4.879,93	53,86%
MatrinchãGO	619,05	0,00	619,05	1.150,50	53,81%
Conceição da Barra de MinasMG	146,80	0,00	146,80	273,01	53,77%
Cabaceiras do ParaguaçuBA	119,10	0,00	119,10	222,03	53,64%
CaçuGO	743,69	461,17	1.204,86	2.254,34	53,45%
Santo AnastácioSP	250,67	44,32	294,98	552,88	53,35%
União de MinasMG	27,70	584,42	612,12	1.147,41	53,35%
PerdõesMG	144,03	0,00	144,03	270,66	53,21%
FátimaBA	186,96	6,92	193,88	364,42	53,20%
Santa Tereza de GoiásGO	12,46	407,16	419,62	789,54	53,15%
XambrêPR	191,12	0,00	191,12	359,71	53,13%

Várzea NovaBA	156,49	494,41	650,90	1.225,89	53,10%
CentralBA	5,54	294,98	300,52	566,97	53,00%
PocinhosPB	95,56	234,05	329,60	623,97	52,82%
São João do CaiuáPR	135,72	24,93	160,65	304,41	52,77%
AlcantilPB	149,57	13,85	163,42	309,90	52,73%
CaetanosBA	404,39	0,00	404,39	767,15	52,71%
Novo PlanaltoGO	328,22	332,37	660,59	1.254,49	52,66%
Nova CrixásGO	3.840,31	0,00	3.840,31	7.308,68	52,54%
Gado BravoPB	96,94	4,15	101,10	192,42	52,54%
ItarantimBA	879,41	0,00	879,41	1.674,03	52,53%
Campo GrandeMS	3.311,28	920,95	4.232,23	8.082,98	52,36%
Boa EsperançaES	224,35	0,00	224,35	428,72	52,33%
Livramento de Nossa SenhoraBA	256,21	764,46	1.020,67	1.952,51	52,27%
São SimãoGO	4,15	211,89	216,04	415,02	52,06%
CaturamaBA	29,08	343,45	372,54	716,26	52,01%
CamapuãMS	2.906,89	335,14	3.242,03	6.238,13	51,97%
Rio Verde de Mato GrossoMS	4.246,08	0,00	4.246,08	8.173,87	51,95%
Montes Claros de GoiásGO	1.292,10	206,35	1.498,45	2.900,40	51,66%
São João do CaririPB	59,55	256,21	315,76	612,97	51,51%
Buriti do TocantinsTO	130,18	0,00	130,18	252,73	51,51%
Rio do AntônioBA	314,37	85,86	400,23	777,90	51,45%
LivramentoPB	5,54	131,56	137,10	266,95	51,36%
PindaíbaBA	56,78	265,90	322,68	628,47	51,34%
SapucaiaPA	664,75	0,00	664,75	1.298,19	51,21%
Serra BrancaPB	23,54	333,76	357,30	698,10	51,18%
São Vicente do SeridóPB	18,00	116,33	134,33	262,75	51,13%
AporéGO	1.377,97	103,87	1.481,84	2.899,24	51,11%
AruanãGO	1.560,77	0,00	1.560,77	3.054,77	51,09%
São GabrielBA	13,85	570,58	584,42	1.146,05	50,99%

Rodolfo FernandesRN	0,00	78,94	78,94	154,84	50,98%
CoximMS	3.251,73	0,00	3.251,73	6.391,49	50,88%
CorumbaíbaGO	566,42	380,85	947,27	1.864,28	50,81%
Cachoeira AltaGO	738,15	102,48	840,63	1.657,23	50,73%
ItumirimMG	119,10	0,00	119,10	234,80	50,72%
MiranteBA	594,12	0,00	594,12	1.172,86	50,66%
Aparecida do TaboadoMS	835,09	558,11	1.393,20	2.751,49	50,63%
JapiRN	15,23	80,32	95,56	188,99	50,56%
São Francisco de ItabapoanaRJ	565,04	0,00	565,04	1.118,04	50,54%
AraguapazGO	1.044,21	59,55	1.103,76	2.188,10	50,44%
Glória D'OesteMT	419,62	0,00	419,62	833,13	50,37%
Santa VitóriaMG	19,39	1.490,14	1.509,53	2.998,36	50,35%
RianópolisGO	37,39	41,55	78,94	157,38	50,16%
VertentesPE	56,78	41,55	98,33	196,33	50,08%
UirapuruGO	360,07	217,43	577,50	1.154,31	50,03%
IjaciMG	52,63	0,00	52,63	105,25	50,00%

Fim apêndice A

APÊNDICE B – Cidades com aptidão eólica boa ou excelente em áreas com indicativo de degradação sem restrições.

APTIDÃO EÓLICA EM ÁREAS COM INDICATIVO DE DEGRADAÇÃO, SEM RESTRIÇÕES					
MunicípioUF	Área com boa aptidão em regiões com indicativos de degradação (60% a 80%) em km ²	Área com excelente aptidão em regiões com indicativos de degradação (80% a 100%) em km ²	Soma da área apta em regiões com indicativo de degradação, sem restrição, com boa e excelente aptidão km ²	Área total do município (km ²)	% da área municipal com aptidão boa ou excelente
AreialPB	0,00	34,62	34,62	35,81	96,68%
Passa e FicaRN	4,15	33,24	37,39	42,14	88,74%
MontadasPB	0,00	27,70	27,70	31,79	87,12%
Cacimba de DentroPB	12,46	103,87	116,33	165,07	70,47%
Lagoa d'AntaRN	1,38	66,47	67,86	105,65	64,23%
BaraúnaPB	0,00	31,85	31,85	50,03	63,67%
São José do SabugiPB	1,38	134,33	135,72	213,56	63,55%
IrecêBA	108,02	91,40	199,42	319,17	62,48%
CasserenguePB	18,00	105,25	123,26	202,76	60,79%
São José do CampestreRN	11,08	192,50	203,58	341,12	59,68%
JussaraBA	397,46	405,77	803,24	1.355,17	59,27%
Santo AndréPB	114,95	1,38	116,33	197,79	58,82%
Santana do SeridóRN	0,00	109,41	109,41	188,40	58,07%
DamiãoPB	42,93	60,94	103,87	186,20	55,78%
EsperançaPB	0,00	87,25	87,25	157,85	55,27%
CubatiPB	0,00	90,02	90,02	163,57	55,03%
PuxinanãPB	0,00	38,78	38,78	71,12	54,52%
Serra de São BentoRN	0,00	52,63	52,63	96,63	54,46%
AngicosRN	110,79	292,21	403,00	741,58	54,34%
PocinhosPB	65,09	264,51	329,60	623,97	52,82%
QuaraíRS	307,45	1.330,88	1.638,33	3.140,00	52,18%
LapãoBA	254,82	76,17	330,99	642,88	51,49%
São Vicente do SeridóPB	1,38	132,95	134,33	262,75	51,13%
São Félix de MinasMG	29,08	52,63	81,71	162,56	50,26%

Fim apêndice B

APÊNDICE C – Cidades com aptidão híbrida boa ou excelente em áreas com indicativo de degradação sem restrições.

APTIDÃO HÍBRIDA EM ÁREAS COM INDICATIVO DE DEGRADAÇÃO, SEM RESTRIÇÕES					
MunicípioUF	Área com boa aptidão em regiões com indicativos de degradação (60% a 80%) em km ²	Área com excelente aptidão em regiões com indicativos de degradação (80% a 100%) em km ²	Soma da área apta em regiões com indicativo de degradação, sem restrição, com boa e excelente aptidão km ²	Área total do município (km ²)	% da área municipal com aptidão boa ou excelente
AreialPB	13,85	20,77	34,62	35,81	96,68%
MontadasPB	4,15	23,54	27,70	31,79	87,12%
Passa e FicaRN	33,24	1,38	34,62	42,14	82,17%
Lagoa d'AntaRN	54,01	13,85	67,86	105,65	64,23%
BaraúnaPB	5,54	26,31	31,85	50,03	63,67%
São José do SabugiPB	27,70	105,25	132,95	213,56	62,26%
São José do					
CampestreRN	120,49	80,32	200,81	341,12	58,87%
Cacimba de DentroPB	37,39	59,55	96,94	165,07	58,73%
Santana do SeridóRN	9,69	99,71	109,41	188,40	58,07%
IrecêBA	181,42	0,00	181,42	319,17	56,84%
EsperançaPB	34,62	52,63	87,25	157,85	55,27%
CubatiPB	12,46	77,55	90,02	163,57	55,03%
Santo AndréPB	108,02	0,00	108,02	197,79	54,61%
PuxinanãPB	8,31	30,47	38,78	71,12	54,52%
Serra de São BentoRN	30,47	22,16	52,63	96,63	54,46%
AngicosRN	254,82	148,18	403,00	741,58	54,34%
LapãoBA	325,45	0,00	325,45	642,88	50,62%
São Vicente do SeridóPB	45,70	87,25	132,95	262,75	50,60%

Fim apêndice C