

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA

Bruna Renata de Melo Dino

**PRIORIZAÇÃO DE ÁREAS PARA INSTALAÇÃO DE USINAS SOLARES
FOTOVOLTAICAS NO ESTADO DE SÃO PAULO**

Buri

2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA

Bruna Renata de Melo Dino

**PRIORIZAÇÃO DE ÁREAS PARA INSTALAÇÃO DE USINAS SOLARES
FOTOVOLTAICAS NO ESTADO DE SÃO PAULO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como exigência parcial para a obtenção do grau
de Bacharel em Engenharia Ambiental na
Universidade Federal de São Carlos.

Orientação: Prof. Dr. Paulo Guilherme Molin

Buri

2022

Bruna Renata de Melo, Dino

**Priorização de áreas para instalação de usinas solares fotovoltaicas no estado de São Paulo / Dino Bruna Renata de Melo -- 2022.
51f.**

**TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos, campus Lagoa do Sino, Buri
Orientador (a): Paulo Guilherme Molin
Banca Examinadora: André Marcondes Andrade Toledo, Reginaldo Santos Coutinho Neto
Bibliografia**

1. Análise multicritério. 2. Sistema de Informações Geográficas. 3. Energia renovável. I. Bruna Renata de Melo, Dino. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Lissandra Pinhatelli de Britto - CRB/8 7539



Folha de Aprovação

Assinatura dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Trabalho de Conclusão de Curso do(a) candidato(a) BRUNA RENATA DE MELO DINO, realizada em 06/04/2022:

Prof. **Paulo Guilherme Molin** - Orientador
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Prof. **André Marcondes Andrade Toledo**
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Reginaldo Santos Coutinho Neto
PROTON ENERGY

AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus, por me guiar pelos melhores caminhos, de realizações e felicidades. Por me permitir chegar até aqui, com saúde e cheia de amor e aprendizados pra viver e compartilhar. Por ter me direcionado à Lagoa do Sino, onde conheci pessoas incríveis e vivi experiências especiais.

Agradeço à minha mãe Renata e ao meu pai Anderson, por todo apoio nessa trajetória, por serem suporte e inspiração todos os dias. Se não fosse por vocês, hoje não estaria me formando como engenheira.

À minha avó Suely, por toda dedicação diária, carinho e paciência que tem comigo em casa.

À minha avó Beth pelas orações e empurrõezinhos para finalizar logo o estudo.

Aos meus irmãos, Isabella e Lucas, madrinhas, padrinhos, tios e tias por estarem sempre presente.

Aos meus avôs Dino e Antônio (em memória), pelos incentivos e admiração.

Aos meus orientadores Paulo Guilherme e André Toledo, pelas oportunidades e ensinamentos compartilhados.

Aos meus amigos e colegas CePE-Geo, pelas trocas que tivemos e por toda estrutura de trabalho, em especial ao Elder, Dheosmani, Reginaldo e Vinicius. O apoio e auxílio de vocês foi essencial para desenvolvimento deste trabalho.

Ao Marco Souza pelo direcionamento neste trabalho.

Aos meus amigos de infância, por estarem ao meu lado durante todos os anos independente da distância.

Aos meus amigos da graduação, que foram minha família nos anos de Campininha.

E aos meus amigos do trabalho, que torceram e me incentivaram a finalizar este projeto.

Que eu seja todo dia como um girassol, de costas pro escuro e de frente para luz.

Priscilla Alcantara e Whindersson Nunes

RESUMO

DINO, Bruna Renata de Melo Dino. **Priorização de áreas para instalação de usinas solares fotovoltaicas no estado de São Paulo.** Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de São Carlos, *campus* Lagoa do Sino, Buri, 2022.

Com o desenvolvimento do país, a demanda por energia elétrica tende a crescer, com estimativas apontando para um aumento de mais de 100% até 2050. Atualmente, no Brasil, a principal fonte de energia são as usinas hidrelétricas, entretanto, com as mudanças climáticas e crises hídricas que vem acontecendo no país, investir em outras fontes de energia é necessário para evitar possíveis crises energéticas. Uma das ações para contribuir com a redução das emissões de gases de efeito estufa, tendo em vista o acordo firmado em Paris, em 2017, é o aumento do uso de fontes de energia renováveis. Dentre as fontes, levando em conta o potencial de incidência solar no Brasil, a instalação de usinas solares fotovoltaicas é uma alternativa que deve ser considerada. Definir as melhores áreas para implementação dessas, utilizando critérios ambientais, técnicos e econômicos se faz importante para otimizar o uso das áreas disponíveis e aumentar a eficiência energética. A partir de revisão bibliográfica definiu-se as principais variáveis utilizadas no presente estudo e a priorização dos mesmos. Com a combinação dos critérios e o processamento em ferramentas de Sistema de Informações Geográficas (SIG) apresentou-se o mapa das áreas prioritárias para a instalação de usinas solares fotovoltaicas para o Estado de São Paulo. Identificou-se que a região norte do estado apresenta elevado grau de aptidão para implantação deste tipo de empreendimento, enquanto a região sul os menores índices de aptidão.

Palavras-chave: Análise multicritério. Sistema de Informações Geográficas. Energia renovável.

ABSTRACT

DINO, Bruna Renata de Melo Dino. **Prioritization of areas for the installation of photovoltaic solar power plants in the state of São Paulo.** Course Completion Work – Universidade Federal de São Carlos, campus Lagoa do Sino, Buri, 2022.

With the development of the country, the demand for electric energy tends to grow, with estimates pointing outgrowth of more than 100% until 2025. Currently, in Brazil, one of the main sources of energy is hydroelectric power. Due to the recent climate change and water crises in the country, investing in alternative sources is necessary to avoid energy crises. One of the actions to reduce greenhouse gas emissions, given the agreement set in Paris, in 2017, is the increase of renewable energy. Among the sources, taking into account the potential for solar incidence in Brazil, the installation of photovoltaic solar power is an alternative that should be considered. Defining the best areas for implementing these, using environmental, technical, and economical criteria is important to optimize the use of available areas and increase energy efficiency. The main variables used in this study and their prioritization were defined from a bibliographic review. With the combination of the criteria and the processing in Geographic Information System (GIS) tools, the map of the priority areas for the installation of solar photovoltaic plants for the State of São Paulo was presented. It was identified that the north region of the state have a high degree of aptitude, while the southern region had the lowest, for the implementation of this type of business.

Keywords: Multi-criteria analysis. Geographic Information System. Renewable energy.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP – *Analytic Hierarchy Process* / Processo Analítico Hierárquico

AI – Áreas de Interesse

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

APA – Área de Proteção Ambiental

ARSESP - Agência Reguladora de Serviços Públicos no Estado de São Paulo

AZIM – Azimute

DECLIV – Declividade

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura Terrestre

DISTROD – Distância para Rodovias

DISTLT – Distância para Linhas de Transmissão

DISTUBR – Distância para Áreas Urbanas

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

IRRADSOL – Irradiação Solar

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LABREN – Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia

SIG – Sistema de Informações Geográficas

TEMP – Temperatura

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1 MATRIZ ENERGÉTICA.....	13
2.2 ENERGIA RENOVÁVEL, SOLAR E FOTOVOLTAICA	14
2.3 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)	15
2.4 PROCESSO HIERÁRQUICO ANALÍTICO (AHP).....	16
2.5 METODOLOGIA FUZZY.....	16
3 METODOLOGIA	18
3.1 ÁREA DE ESTUDO	18
3.2 DEFINIÇÃO E OBTENÇÃO DAS VARIÁVEIS E ATRIBUIÇÃO DE PESOS.....	19
3.3 PROCESSAMENTO E ELABORAÇÃO DOS MAPAS.....	22
4 RESULTADOS.....	26
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	31
APÊNDICE A – MAPA DAS ÁREAS COM MAIOR APTIDÃO PARA INSTALAÇÃO DE USINAS SOLARES FOTOVOLTAICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO.....	34
APÊNDICE B – MAPAS DAS VARIÁVEIS PÓS PROCESSADAS E NORMALIZADAS.....	35
APÊNDICE C – MAPAS DAS VARIÁVEIS ORIGINAIS	43

1 INTRODUÇÃO

A demanda por energia elétrica no mundo tende a crescer, acompanhando o desenvolvimento econômico dos países. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (2016) estima-se que entre 2013 e 2050 a demanda total de energia no Brasil seja elevada em mais de 100%. A demanda brasileira por eletricidade é liderada pelo setor industrial com 35,9% do consumo, seguido pelo residencial (26,1%), comercial (17,4%), público (8,5%), energético (6,0%), agropecuário (5,7%) e transporte (0,4%) (EPE, 2020a).

O cenário futuro socioeconômico, ambiental, de consumo e outros âmbitos, brasileiro e mundial, são incertos (EPE, 2016). Entretanto o Relatório Mundial de Desenvolvimento dos Recursos Hídricos (WWAP, 2014), tendo em vista a importância da água e da energia para a população, alerta sobre a necessidade de cuidar e preservar os recursos hídricos para que no futuro possamos utilizá-los para consumo, com quantidade e qualidade, e na geração de energia.

Apesar de fontes como combustíveis fósseis não serem a principal fonte de energia do Brasil, em 2015 o país celebrou o conhecido como “Acordo de Paris” na Convenção das Nações Unidas sobre mudanças climáticas. Dentre os acordos, promulgado pelo Decreto nº 9.073, de junho de 2017, o país se comprometeu a mitigar as emissões de gases de efeito estufa, fomentar o desenvolvimento sustentável, aumentar o uso de fontes alternativas de energia, dentre outras ações (BRASIL, 2017).

Considerando esses objetivos, uma das alternativas é o investimento em fontes de energia renováveis, como a solar. O governo tem incentivado esse tipo de geração através de iniciativas como o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD) e vêm estabelecendo diretrizes e condições para viabilizá-la, por meio de resoluções como a Normativa ANEEL nº 482/2012.

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (2016), a produção de energia para consumo próprio tende a crescer mundialmente e contribuirá fortemente no atendimento da demanda por energia futura. A participação desse tipo de geração pode ser benéfica ao sistema elétrico, pois no geral possui baixo impacto ambiental, adia maiores investimentos para expandir as redes de transmissão e distribuição, melhora o nível de tensão da rede, além de diversificar a matriz energética (ANEEL, 2016).

Segundo Enio Pereira, et al. (2017), no Atlas Brasileiro de Energia Solar, o Brasil possui uma irradiação de em média 5.000 Wh/m², valor interessante para produção de energia solar. Entre os anos de 2018 e 2019, o Brasil aumentou sua capacidade instalada de geração de eletricidade em 4,5%. Neste mesmo período a geração solar representou o maior crescimento

de 37,6% em relação a 2018, vale ressaltar que de 2017 para 2018 esse aumento foi de quase 100%. (EPE, 2020a).

O planejamento em conjunto com a eficiência energética são fundamentais para redução de possíveis impactos ambientais e sociais resultantes de novas instalações para geração de energia (EPE, 2016). Para subsidiar e dar suporte a estudos e tomadas de decisão, existem metodologias como o Avaliação Multicritério. Esta análise permite realizar a comparação de diferentes variáveis em cenários distintos (MEDEIROS, 2013). Existem alguns métodos para realizar essa análise, dentre eles o Processo Analítico Hierárquico (Analytic Hierarchy Process - AHP), o qual utiliza modelagem matemática em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG).

Com o clima tropical brasileiro e a incidência solar constante durante o ano, a procura pela geração de energia solar têm aumentado significativamente tanto pela população quanto por investidores e grandes empresas. Tendo em vista a crescente demanda por energia no Brasil e no mundo, e o compromisso de reduzir as emissões de gases de efeito estufa, a adoção de métodos de obtenção de energia de fontes renováveis torna-se uma solução. Entretanto diversos fatores interferem na determinação do local mais apropriado para instalação deste sistema.

Portanto, o objetivo do presente projeto foi identificar zonas mais aptas para instalação de usinas solares fotovoltaicas no Estado de São Paulo, a partir da elaboração de mapas e análise multicritério. Dessa maneira, contribuir para um melhor planejamento urbano, nas tomadas de decisão e tornar os projetos mais viáveis, rentáveis e sustentáveis.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 MATRIZ ENERGÉTICA

Em 2017, a principal fonte de energia elétrica no mundo eram os combustíveis fósseis, representando 64,2%, seguida pela hidrelétrica (16,3%), nuclear (10,2%), eólica (4,6%), resíduos sólidos (2,4%), solar (1,8%) e outras (0,5%). Neste mesmo ano a geração hidrelétrica no Brasil representava 9,3% de toda energia gerada por essa fonte no mundo (EPE, 2020a).

Analisando o panorama nacional, em 2019, a geração hidrelétrica representou 64,9% da oferta brasileira de energia elétrica. Outras fontes representativas no país são o gás natural (9,3%), eólica (8,6%), biomassa (8,4%), carvão e derivados, derivados de petróleo e nuclear, que juntos representam 7,8%, e a solar (1,0%) (EPE, 2020b).

Ainda que a geração de energia no Brasil seja predominante de fontes renovável, a parcela de geração hidrelétrica representa quase 65% de toda energia gerada. Apesar de o sistema estar quase 100% interligado, através do Sistema Interligado Nacional (SIN), tendo em vista os cenários de crise hídrica, a diversificação da fonte de energia é importante, a fim de reduzir riscos e dependências de apenas um recurso (PEREIRA, 2017). A geração de energia solar é um aliado positivo nessa diversificação, além de contribuir para a redução das emissões dos gases do efeito estufa, previstos em acordo firmado na COP21 (BRASIL, 2017).

O estado de São Paulo é responsável pela geração de aproximadamente de 15% de toda energia gerada no Brasil. Cerca de 90% da energia gerada no estado é proveniente de hidrelétrica e queima de biomassa, 65% e 25%, respectivamente. A geração solar e eólica ainda não é considerada representativa na matriz energética (SIMA, 2022).

A Alemanha é um dos 5 países que mais produz energia solar no mundo e quando comparado com os locais de níveis mais baixos de incidência solar no Brasil, a irradiação incidente lá ainda é 40% mais baixa (JUNIOR E SOUZA, 2020). A Alemanha apresenta irradiação na faixa de 900 e 1.250 kWh/m², enquanto o Brasil a menor faixa está entre 1.500 a 2.200 kWh/m². Isso mostra o potencial de produção no país que pode ser explorado.

Em 2012 a Empresa de Pesquisa Energética realizou a comparação do consumo nacional através do SIN no ano anterior com o potencial energético solar brasileiro. Constatou-se que instalando painéis fotovoltaicos em uma área de 2400 km², que se equipara à cidade de Salvador na Bahia e sua região metropolitana, em uma região com insolação em torno de 1400 kWh/m², atenderia a demanda necessária do SIN (EPE, 2012).

2.2 ENERGIA RENOVÁVEL, SOLAR E FOTOVOLTAICA

A energia renovável é proveniente de fontes que não se esgotam, devido a renovação natural, como hidráulica, solar, eólica e geotérmica. A substituição da energia proveniente de queima de materiais fósseis, principal fonte de energia do mundo, é essencial para garantir a redução da emissão de gases de efeito estufa envolvidos no processo. Com o aumento desse nicho de mercado há também um incremento de vagas de emprego e fornecimento de renda à população (BORGES, 2017).

Segundo Dunlap (2015), existem algumas questões e desafios a serem analisados e superados para a implantação de novas usinas geradoras de energia renovável, como a disponibilidade de recurso, fatores socioambientais, econômicos, tecnológicos, políticos e a adaptação entre os sistemas antigos e atuais.

Devido às características regionais do Brasil, por encontrar-se próximo a linha do equador, a dissipabilidade de irradiação solar ocorre durante o ano todo e tende a variar minimamente, isto é, independente da estação do ano haverá a geração de energia. Ademais, por encontrar-se entre as linhas dos trópicos os raios solares incidem verticalmente, favorecendo o aproveitamento da energia (TOLMASQUIM, 2016).

A irradiação solar representa o quanto determinada área está exposta à radiação, que por sua vez é a potência da energia eletromagnética, em forma de calor e luz, que chega à Terra. A conversão da radiação solar em eletricidade é conhecida como energia solar fotovoltaica quando é utilizado elétrons e materiais semicondutores com a incidência da luz, pelo processo fotovoltaico. O silício é o elemento mais utilizado e é encontrado com abundância (PINHO; GALDINO, 2014).

Os painéis fotovoltaicos são criados a partir da combinação de células fotovoltaicas, descrita anteriormente, juntamente com camadas de filme, moldura e vidro temperado para proteção do módulo e ainda sim permite a passagem da luz que será gerar energia elétrica. Temperaturas elevadas impactam na queda da tensão desse sistema, que resultam na redução da eficiência da planta, portanto é um fator a ser analisado ao definir o local de instalação e as tecnologias a serem implementadas. (PINHO; GALDINO, 2014). Com o passar dos anos diversas tecnologias vêm sendo desenvolvidas, a fim de aprimorar a recepção da irradiação bem como a conversão em energia (TOLMASQUIM, 2016).

A implantação em locais ideais e favoráveis ao bom funcionamento de usinas fotovoltaicas variam com o conjunto de informações técnicas, climáticas e da geografia do

local. Dessa forma, realizar uma análise com múltiplos critérios, combinando-os, auxiliará na melhor tomada de decisão.

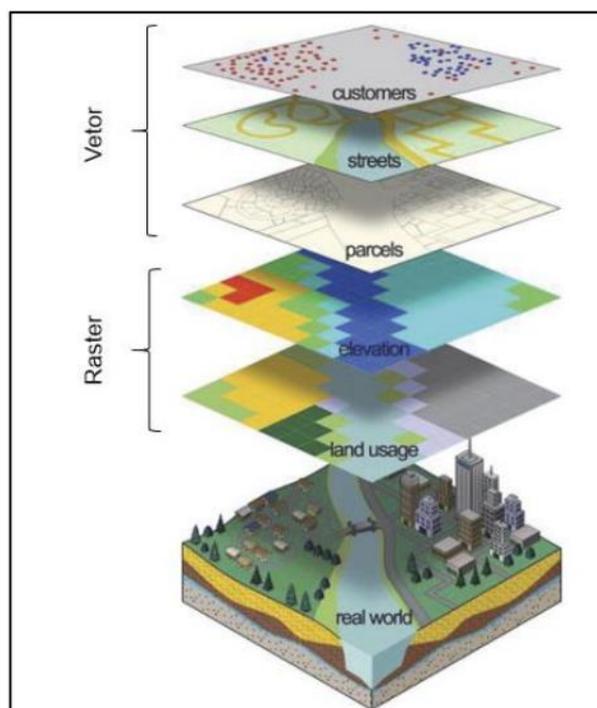
2.3 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)

O Sistema de Informação Geográfica (SIG ou GIS) é a combinação de dados, ferramentas, softwares, peopleware e metodologias que possibilitem obter, armazenar e processar informações geoespacializadas. O resultado pode ser a criação de bancos de dados que facilitam e tornam ágil o acompanhamento, organização e definição de estratégias e planejamento das ações antrópicas ao meio ambiente (ROSA, 2005).

Os dados geoespacializados são obtidos de maneira primária, através de levantamentos de campo ou secundária, por processamentos computacionais de dados primários. A representação pode ser representada de duas formas: raster ou vetor (ROSA, 2005).

O raster, também conhecido por estrutura matricial, é formado por pixels, células ou quadrados que apresentam valores referente a área em análise. A estrutura vetorial, também conhecidos como shapefiles, são pontos, linhas ou polígonos, os quais contemplam, em sua maioria, uma tabela com atributos referentes a representação que se deseja compartilhar. Em conjunto, essas informações são usualmente apresentadas como mapas (SCHMIDT, 2016).

Figura 1. Representação de Raster e Vetor



Fonte: Adaptado de Sánchez-Lozano (2013).

O processamento e combinação dos dados obtidos em formato raster ou shapefile pode ser realizado em softwares como QGIS e ArcGIS. A partir disso é possível realizar diversas análises a fim de obter resultados como a priorização de áreas que podem ser feitas através de métodos que avaliam múltiplos critérios como a Lógica Booleana e Fuzzy e o método Analytical Hierarch Process (AHP) (SÁNCHEZ-LOZANO et al., 2013).

2.4 PROCESSO HIERÁRQUICO ANALÍTICO (AHP)

O método denominado Processo Hierárquico Analítico (AHP - Analytic Hierarchy Process) foi criado por Thomas Saaty como um processo de medição que possibilita comparar diferentes parâmetros a partir de prioridades definidas por especialistas no assunto em estudo. Para sua aplicação se faz necessário ter conhecimento da problemática, de modo que permita definir critérios de análise e as propostas para tomada de decisão a partir da comparação entre os resultados escalonados por prioridade (SAATY, 2008).

O método utiliza de uma escala absoluta, portanto todos os valores dos critérios a serem analisados devem ser equiparados a fim de permitir a comparação de parâmetros julgados como não mensuráveis. Após padronizados, é necessário que sejam atribuídos pesos, ou seja, o quanto um critério é prioritário quando comparado ao outro. Por fim, a metodologia permite obter como resultado uma análise multicritério com priorizações e ponderações (SAATY, 2008).

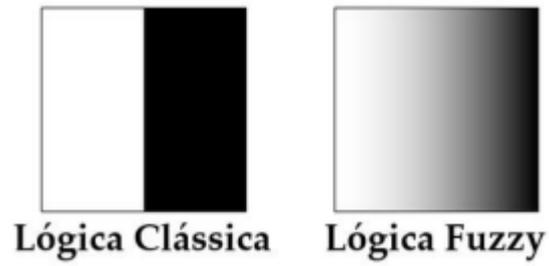
2.5 METODOLOGIA FUZZY

Segundo Cox (1994), a metodologia Fuzzy é utilizada para identificar o nível de pertinência, próximos à realidade, para determinado objeto de estudo, os quais serão representados dentro de um intervalo como de 0 a 1. A lógica propõe que existem graus de pertencimento entre dois extremos, e não valores absolutos como é sugerido pela lógica tradicional. Para o intervalo exemplificado, zero significa que o aquele objeto não pertence ao grupo analisado, enquanto quanto mais próximo a um maior será o grau de pertencimento do mesmo.

A figura 2 representa visualmente que para a lógica clássica não há gradualidade, uma vez que apresenta apenas duas tonalidades de cor, branca e preta, em analogia seria como se existisse apenas o “verdadeiro” e “falso”. Diferente da lógica Fuzzy, que do branco até o preto

contempla múltiplas tonalidades de cinza, isto é, uma pluralidade de opções nem tudo é 100% verdadeiro nem 100% falso.

Figura 2. Comparação entre as lógicas clássica e de Fuzzy.



Fonte: Adaptado de Kohagura (2007)

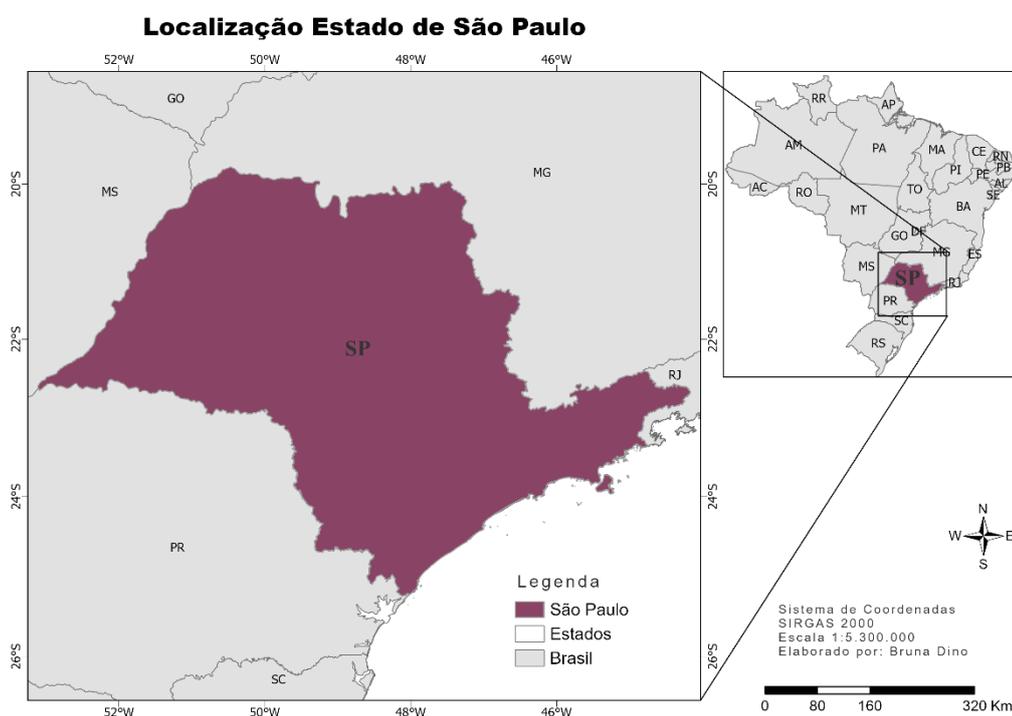
3 METODOLOGIA

A fim de determinar as áreas prioritárias para instalação de usinas solares fotovoltaicas o presente estudo utilizou a metodologia criada por Souza et al (2021) em seu artigo “Análise para a localização ótima de uma usina solar fotovoltaica no Estado do Rio de Janeiro”. Utilizou-se de métodos de Sistema de Informação Geográficas e análise multicritério para elaboração de mapas de aptidão para geração de energia fotovoltaica.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O Estado de São Paulo está situado na região sudeste do Brasil (Figura 3), é composto por 645 municípios e abrange uma área territorial de 248.219 km². Com população estimada em 46.649.132 pessoas, a densidade demográfica no estado é de aproximadamente 166 hab/km². Isso representa a maior população entre as unidades federativas, além da capital (São Paulo) contar com a maior concentração de habitantes do Brasil (IBGE, 2021).

Figura 3. Localização Estado de São Paulo



Fonte: próprio autor

O estado apresenta a maior economia do país, com o Produto Interno Bruto (PIB) de R\$ 2.348.338 mi (IBGE, 2019). É reconhecido por apresentar economia diversificada e se destaca pela produção de laranja e etanol (SÃO PAULO, 2019).

Segundo a Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente o maior parque industrial do Brasil é a indústria paulista. No ano de 2017 de todo consumo de energia elétrica no estado de São Paulo, 37% foi para usos industriais, 30% foi para uso residencial e 22% comercial. O consumo para o referido ano foi de aproximadamente 127 GWh (ARSESP, 2017). O estado tem capacidade instalada de 23 GW, representando 15% do que é gerado no país. Mais de 65% são provenientes de fontes renováveis, predominantemente hidrelétricas, a geração solar fotovoltaica ainda é pouco explorada no estado, apesar de apresentar potencial para geração de 12.000 GWh/ano (SIMA, 2022).

3.2 DEFINIÇÃO E OBTENÇÃO DAS VARIÁVEIS E ATRIBUIÇÃO DE PESOS

As variáveis utilizadas na metodologia desenvolvida por Souza et al (2021) foram definidas através de revisões bibliográficas, consultou-se 20 artigos acadêmicos voltados para produção de energia solar fotovoltaica, sendo que a maioria utilizou métodos AHP e SIG em conjunto. Elencou-se todas as variáveis que foram citadas nos estudos e considerou-se aquelas utilizadas em mais de 40% destes, conforme Tabela 1. As demais variáveis como altitude, umidade, área ocupada, poeira, duração do dia, vento, entre outras, foram utilizadas por menos de 3 artigos e não consideradas no presente estudo.

Tabela 1. Quantidade de artigos que utilizaram as variáveis empregadas no presente estudo

Variável	Quantidade de Artigos	Fonte
Irradiação Solar	20	INPE (2017)
Inclinação	18	INPE
Distância para Rodovias	17	IBGE (2021b) e DNIT (2018)
Distância para Linhas de Transmissão	15	IBGE (2021b) e EPE (2022)
Distância para Cidades	14	IBGE (2015) E MapBiomass (2021)
Aptidão Agrícola	12	WRI (2017)
Temperatura	11	Worldclim (2018)
Azimute	10	INPE

Fonte: Adaptado de Souza et al (2021)

Os mapas das variáveis originais obtidas a partir das fontes acima apresentadas, antes dos processamentos realizados neste estudo, estão dispostos no Anexo I. Com exceção das variáveis de distância para rodovias, linhas de transmissão e cidades, que representam a junção das bases do IBGE com a do DNIT, EPE e MapBiomass, respectivamente, como complementação.

Irradiação Solar

Dos 20 artigos consultados por Souza, todos citaram a irradiação solar como uma das principais variáveis para definição das áreas mais propícias para instalação de usinas solares fotovoltaicas. Isso porque é a partir das luzes solares que atingem as placas que é produzida a energia (STAMBUK, 2017).

Os dados utilizados no presente estudo foram disponibilizados pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) através do LABREN (Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia). Obteve-se arquivos referentes a média anuais e mensais do total diário da irradiação Global Horizontal, Difusa, Direta Normal, no Plano Inclinado e PAR, em Wh/m².dia, com resolução espacial de aproximadamente 10 km x 10 km (PEREIRA, E. B et al, 2017)

Temperatura

A temperatura é uma variável física muito presente nas pesquisas, e também tem sua importância, uma vez que a energia se dissipa com mais facilidade em temperaturas mais elevadas. Portanto, quanto menor a temperatura, melhor o aproveitamento das placas. (STAMBUK, 2017). As informações de temperatura média mensal mundial foram obtidas no *WorldClim*, para o período de 1970 a 2000 e com resolução espacial de 1 km² (FICK AND HIJMANS, 2017).

Declividade

A declividade representa a inclinação do terreno em relação ao horizonte. Elevados índices de declive podem causar sombra nas placas, além da irradiação não incidir com a melhor eficiência. Por isso, quanto mais próximo a 0° foi a declividade, menos o custo de implantação e manutenção das usinas. O conteúdo foi obtido no INPE, a partir da plataforma Ambdata, em graus (INPE, s.d.).

Azimute

O azimute é a distância em graus a partir do norte geográfico a um determinado ponto de interesse, seus valores variam de 0° a 360°. Para o Hemisfério sul, as placas voltadas ao norte, recebem níveis maiores de radiação (PEREIRA et al., 2017). O conteúdo foi obtido no INPE, a partir da plataforma Ambdata, gerados a partir da altitude e representados em graus (INPE, s.d.).

Aptidão Agrícola

A variável de aptidão agrícola apresenta informações sobre a fertilidade, características físicas, morfológicas e do uso do solo e topografia. Com a implantação dos painéis solares o solo ficará recoberto e sem a possibilidade de outros usos, portanto é mais interessante utilizar solos improdutivos para esse tipo de atividade. O conteúdo foi extraído e adaptado do estudo de modelagem de aptidão agrícola para restauração florestal e reflorestamento do World Resources Institute (WRI, 2017).

Distâncias para rodovias, linhas de transmissão e áreas urbanas

A implantação de usinas solares fotovoltaicas requer certa proximidade com infraestruturas urbanas. Quanto mais próximo de rodovias, mais facilitado será o acesso à usina, para realizar manutenções, por exemplo. Com a implantação de uma usina, se a energia não for consumida localmente, será necessário ligar em uma rede de energia, por isso, quanto mais próximo às linhas, menor o custo com extensão de rede e melhoria nas estruturas.

O mesmo vale para proximidade aos centros urbanos, além da facilidade no acesso, a demanda por energia será mais próxima ao local da geração, minimizando perdas e tornando o processo mais eficiente. O shapefile das rodovias foi obtido através da união de duas fontes (IBGE, 2021b) (DNIT, 2018). As linhas de transmissão também tiveram seu arquivo resultante da junção de dois shapefiles (IBGE, 2021b) (EPE, 2022). As áreas urbanizadas foram provenientes do IBGE e MapBiomias (IBGE, 2015) (SOUZA et al, 2020).

Os pesos das variáveis foram definidos com base em 11 dos 20 artigos revisados por Souza et al (2021), os quais empregaram AHP. Realizou-se a média aritmética dos pesos atribuídos à cada variável em caso um dos artigos e aplicou-se uma correção de forma a somar 100%, conforme tabela abaixo (SOUZA, et al. 2021).

Tabela 2. Pesos atribuídos às variáveis

Variável	Peso
Irradiação Solar	42,41%
Temperatura	11,34%
Inclinação	13,69%
Azimute	8,50%
Distância para rodovias	5,33%
Distância para Linhas de Transmissão	9,12%
Distância de Cidades	5,68%
Aptidão Agrícola	3,92%
Total	100,00%

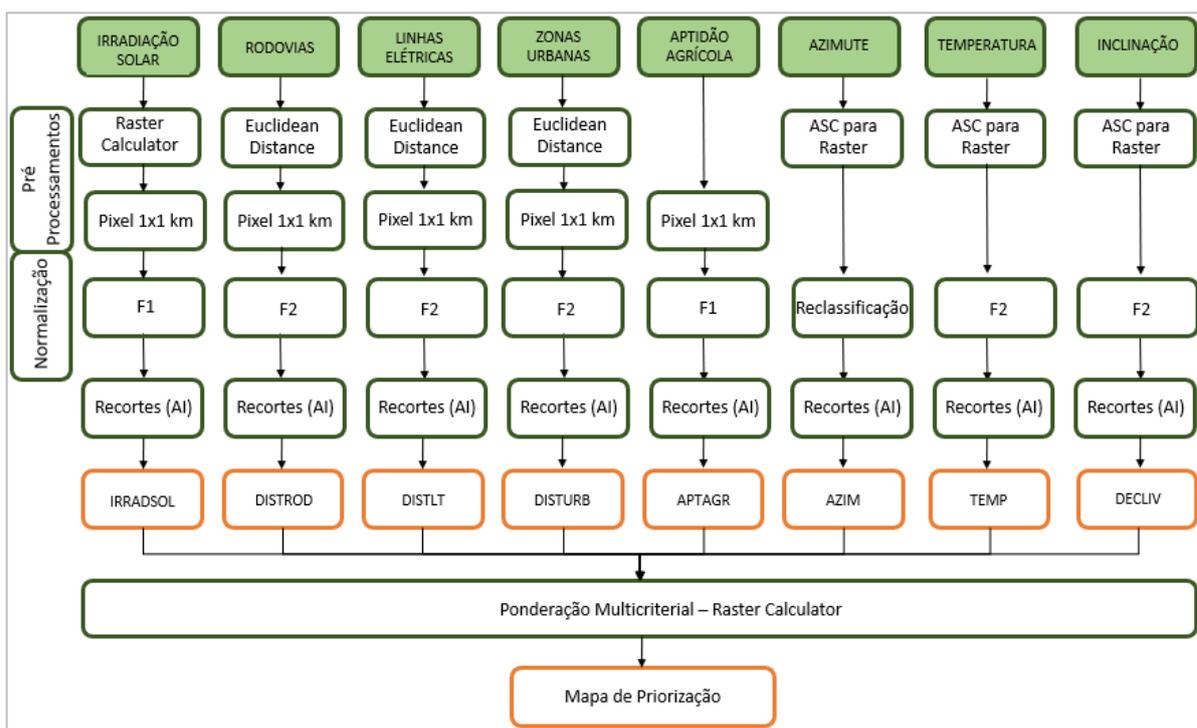
Fonte: Adaptado de Souza et al (2021)

3.3 PROCESSAMENTO E ELABORAÇÃO DOS MAPAS

Após obtenção dos dados, utilizou-se o software ArcGIS Pro 2.9.2 para realizar os processamentos necessários para elaboração dos mapas georreferenciados e padronizados. As variáveis foram trabalhadas em formato raster para que todas possuíssem pixels com valores atribuídos, tornando-as passíveis de comparação. Para isso utilizou-se ferramentas de suporte como: “*Feature to Raster*” – transformar shapefile em raster; “*Clip*” – recortar o estado de São Paulo; “*Project*” – definir a mesma projeção para todas as camadas, utilizou-se o sistema padrão nacional SIRGAS 2000.

A Figura 4 apresenta os processamentos (caixas com contorno verde) e os resultados obtidos (caixas com contorno laranja) de forma resumida. As abreviações estão descritas a seguir.

Figura 4. Fluxograma de processamentos e resultados

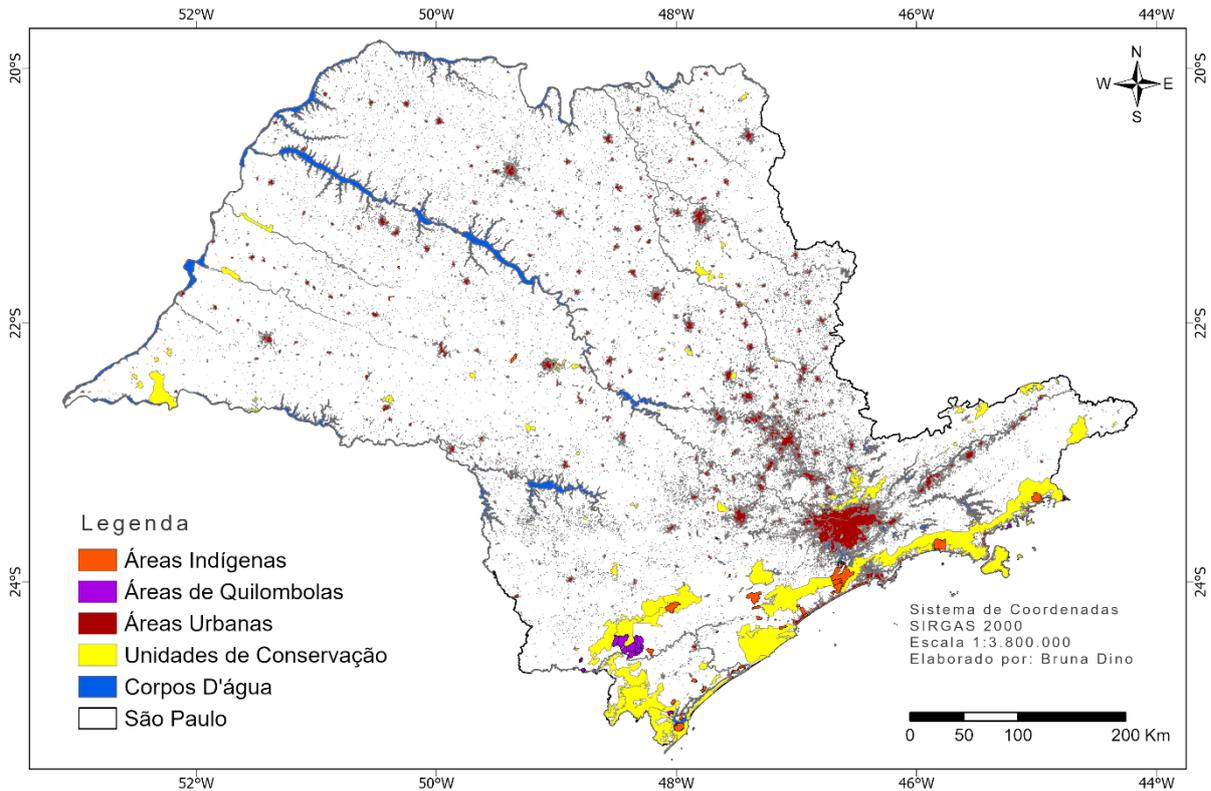


Fonte: próprio autor

A ferramenta “*Raster Calculator*” permite que o usuário realize operações entre as camadas do tipo ‘raster’ como soma, média, subtração, entre outras funções. Para a variável de irradiação solar utilizou-se a ferramenta para encontrar os valores médios dos pixels para os 5 diferentes tipos de irradiação. Também foi utilizada, em conjunto com a “*eraser*”, para a obtenções da camada das áreas de interesse (AI), a qual foi aplicada em todas as variáveis a fim de definir as áreas a serem estudadas. Portanto, extraiu-se da área total do estado as zonas de

restrição: Unidades de Conservação (com exceção das Áreas de Proteção Ambiental [APAs]), Território Indígena, Território Quilombola, Recursos Hídricos e Áreas Urbanas, representadas na Figura 5.

Figura 5. Zonas restritas à implantação de usinas solares fotovoltaicas



Fonte: próprio autor

Para os dados de distância de rodovias, linhas de transmissão de energia e áreas urbanas, utilizou-se a ferramenta “*Euclidean Distance*” que permite obter a distância para cada célula do mapa aos pontos de interesse mais próximos.

Para normalização utilizou-se o conceito de *Fuzzy*, descrito no tópico 2.3, e definiu-se o intervalo de 0 a 1. Tomou-se como base os valores mínimos e máximos de cada variável, como sendo equivalente a 0 e 1, respectivamente. Dessa forma obteve-se por meio de interpolação as equações 1 e 2 descritas abaixo, aplicando-as na ferramenta “*Raster Calculator*” para cada variável conforme apresentado na Figura 4 (Fluxograma).

$$X = \frac{\text{Variável} - V_{\min}}{V_{\max} - V_{\min}} \quad (\text{Equação 1})$$

$$X = \frac{\text{Variável} - V_{\text{máx}}}{V_{\text{min}} - V_{\text{máx}}} \quad (\text{Equação 2})$$

onde,

X é o valor da variável em análise representado entre 0 e 1

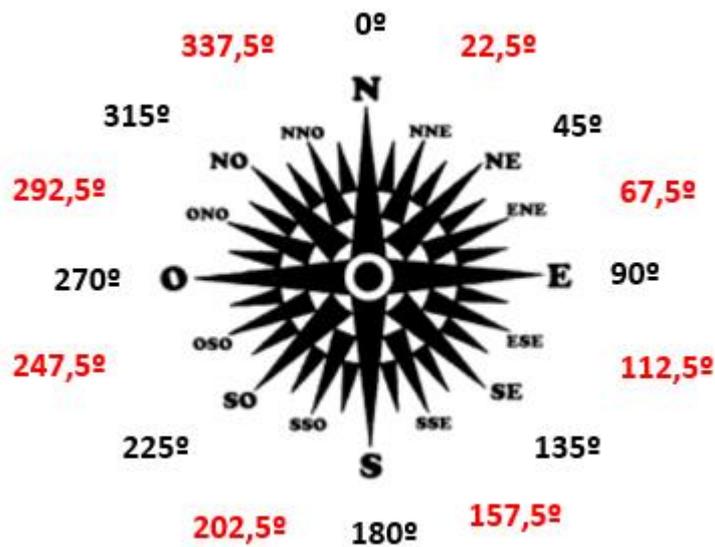
V min – valor mínimo dos pixels da variável em análise

V máx – valor máximo dos pixels da variável em análise

Para a variável de irradiação solar, quanto maior o seu valor mais apta é a região, por isso utilizou-se a equação 1. Enquanto para as variáveis de inclinação, temperatura, aptidão agrícola e distancias, utilizou-se a equação 2 pois quanto menor for o seu valor, mais favorável será ao estudo. Dessa maneira, quanto mais próximo de 1 for o valor do pixel para todas as variáveis mais apta será a área para instalação de usinas solares fotovoltaicas.

Para os dados do azimute, por se tratar de uma variável qualitativa, utilizou-se a ferramenta “*Reclassify*” para normalização entre 0 e 1. A nova classificação foi feita baseada nas direções subcolaterais, na ferramenta “*Symbology*”, conforme ângulos apresentados em cor vermelho na Figura 6 abaixo. Dessa forma foi possível reclassificar a variável normalizando-a entre 0 e 1, de acordo com as funções propostas por Souza et al (2021), representado na tabela abaixo.

Figura 6. Rosa dos ventos



Fonte: Adaptado de Afonso, M. A. G. D (2010)

Tabela 3. Atribuição de pesos variável azimute

Direção	Angulação	Valor
Norte	0 - 22,5	1,0
Nordeste	22,5 - 67,5	0,7
Noroeste	292,5 - 337,5	0,7
Leste	67,5 - 112,5	0,5
Oeste	247,5 - 292,5	0,5
Sudeste	112,5 - 157,5	0,3
Sudoeste	202,5 - 247,5	0,3
Sul	157,5 202,5	0,0
Norte	337,5 - 360	1,0

Fonte: Adaptado de Souza et al (2021)

Após todos os processamentos descritos anteriormente obteve-se um mapa para cada variável, todos com pixel de 1 km² e com valores variando de 0 a 1. A partir destes, utilizou-se o “*Raster Calculator*” para aplicação do método AHP, atribuindo os pesos definidos anteriormente às variáveis, conforme Equação abaixo.

$$\begin{aligned} \text{Mapa Ponderação Variáveis} = & (\text{IRRADSOL} * 0,4241) + (\text{TEMP} * 0,1134) + \\ & (\text{DECLIV} * 0,1369) + (\text{AZIM} * 0,085) + (\text{DISTROD} * 0,0533) + (\text{DISTLT} * 0,0912) + \\ & (\text{DISTURB} * 0,0568) + (\text{APTAGR} * 0,0392) \end{aligned} \quad \text{Equação (3)}$$

Por fim, obteve-se o mapa final com a priorização de áreas para instalação de usinas solares fotovoltaicas.

4 RESULTADOS

Para cada variável obteve-se um mapa com dados no intervalo de 0 a 1, representados no Apêndice B. Quanto mais próximo de 1, mais apropriada é a área para a instalação de usinas fotovoltaicas pois trarão melhores resultados técnicos, na geração de energia, como também no custo e oportunidade da implantação da usina.

A escala de cores foi padronizada em todos os mapas a fim de facilitar a comparação entre os resultados. As áreas a serem priorizadas (com valores mais próximos a 1) são representadas pela cor vermelha, enquanto as de menor interesse (valores mais próximos a 0) pela cor azul.

Distância de áreas urbanas (DISTURB)

Verificou-se que em praticamente todo estado existem zonas com elevada aptidão quando analisada a proximidade às zonas urbanas. Na região norte a presença de diversos municípios próximos uns aos outros torna a área atrativa. Percebe-se também que grandes centros urbanos tendem a atrair cidades menores ao seu redor, como acontece na região centro-leste do estado onde está localizado o município de São Paulo e sua região metropolitana. As áreas mais distantes de centros urbanos encontram-se a aproximadamente 30 quilômetros.

Distância de Rodovias (DISTROD)

Por ser um estado bastante urbanizado e por muitos anos utilizado como rota de transporte e distribuição de mercadorias, a malha viária de São Paulo é extensa e recobre bem todo estado. As regiões que apresentaram menor aptidão devido ao distanciamento de rodovias foram a oeste e nordeste. O ponto do estado que se apresentou mais distante de uma rodovia está a aproximadamente 23 km do acesso. Isso mostra que o estado de São Paulo possui uma malha viária densa e que abrange o estado por completo.

Distância de Linhas de Transmissão (DISTLT)

As linhas de transmissão estão interligadas e percorrem por todo estado. Notou-se que os trechos norte-sudeste e sudoeste-sudeste apresentaram maior quantidade de linhas e conseqüentemente áreas com mais aptidão. Diferente das regiões sul e o litoral norte, onde identificou-se poucas redes, e da região oeste, a qual apresentou extensa área sem presença de linhas de transmissão. As regiões mais distantes estão a aproximadamente 110 km de distância das linhas, estrutura fundamental para conexão da energia produzida ao sistema interligado nacional (SIN).

Declividade (DECLIV)

Após excluir as áreas de restrição, como unidades de conservação, corpos hídricos e áreas urbanas, notou-se que a declividade do estado se encontra abaixo de 45. A região norte e oeste apresentaram áreas com menor declividade, isto é, melhores para implantação de usinas fotovoltaicas. Já as regiões sul e leste, possuem áreas serranas e montanhosas que dificultam o preparo do terreno e até mesmo impossibilitam a instalação das placas solares.

Irradiação Solar (IRRADSOL)

A irradiação solar média anual, variável considerada mais importante para implantação de usinas solares fotovoltaicas, apresentou seus maiores valores na região norte e oeste do estado (com níveis de 4021,8 Wh/m².dia). Os menores níveis de irradiação (na faixa de 2736,4 Wh/m².dia) foram encontrados na faixa litorânea, especialmente ao sul do estado. Apenas para um dos tipos de irradiação, a difusa, os maiores índices foram encontrados na região sul. Isso ocorre, pois, a irradiação difusa considera a radiação refletida por gases e partículas, e como o litoral é uma região mais úmida, além de possuir trechos de vegetação densos que auxiliam na retenção dessa umidade, espera-se que a radiação difusa apresente maiores resultados quando comparados a região norte, centro e oeste, que possuem características mais secas.

Temperatura (TEMP)

As temperaturas médias anuais para o estado de São Paulo variaram entre 16,9 °C e 26,7 °C. Áreas com temperaturas mais amenas são consideradas melhores ao sistema de geração fotovoltaica, uma vez que o calor contribui com a dissipação e perda da energia (STAMBUK, 2017). A região norte, por ser mais próxima do equador apresenta temperaturas mais elevadas. Nesse sentido, as regiões centrais e próximas ao cinturão verde, região de elevado nível de preservação da vegetação que se localiza no trecho sul e leste do estado, destacam-se por temperaturas mais baixas.

Azimute (AZIM)

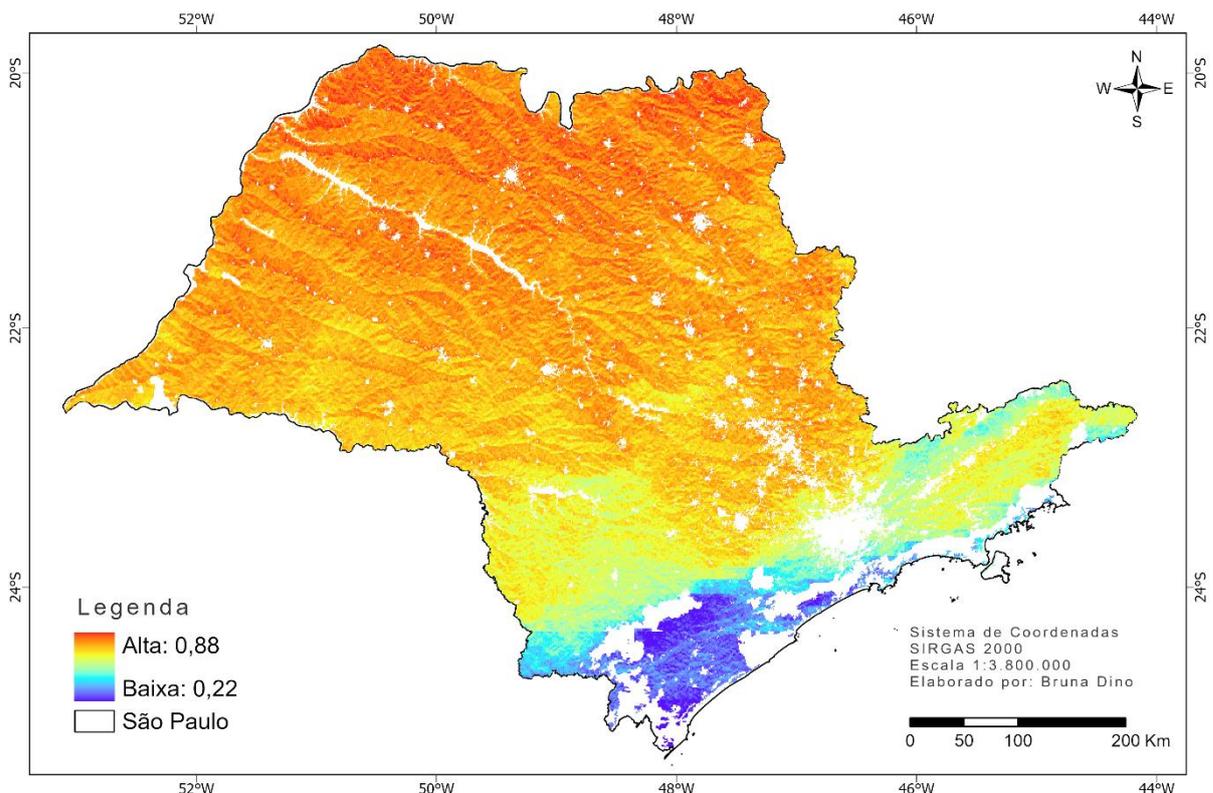
Áreas voltadas ao norte, isto é, próximas de 0°, são as mais apropriadas para aproveitar ao máximo a irradiação solar do dia. Para essa variável não houve concentrações visualmente significativas. Nota-se que quando há algum tipo de declividade, enquanto um lado recebe mais irradiação o outro recebe menos. Por isso o comportamento mais comum neste mapa é representado por faixas mais aptas seguidas de faixas menos aptas.

Aptidão Agrícola (APTAGR)

Devido às interferências antrópicas, uso do solo e o relevo, as regiões sul, sudeste e leste apresentam mais áreas com menor aptidão agrícola. Existem duas faixas bem azuis nessa região, isso é, com maior aptidão agrícola. Acredita-se que se deve a declividade que é baixa nessas áreas, além da não ser uma região muito antropizada. Já ao norte e oeste do estado a situação é invertida e as áreas são consideradas aptas à culturas agrícolas. Com a escassez de recursos naturais e necessidade de otimização no uso da terra, este é um fator que deve ser considerado em tomadas de decisão e priorizado o uso mais adequado.

A Figura 7 apresentada a seguir representa as zonas mais aptas para instalação de usinas solares fotovoltaicas no estado de São Paulo, obtidas a partir da análise multicritério, que combinou todos os mapas expostos anteriormente considerando o peso atribuído à cada variável. O mapa com melhor resolução é apresentado no Apêndice A.

Figura 7. Mapa das áreas mais aptas para instalação de usinas solares fotovoltaicas do Estado de São Paulo.



Fonte: próprio autor

Verificou-se que, a partir das variáveis e ponderações utilizadas no estudo, no estado de São Paulo não há regiões com 100% das características consideradas ótimas para instalação de

usinas fotovoltaicas. As zonas com maior aptidão localizam-se no norte do estado e apresentam em torno de 90% das atribuições esperadas das melhores áreas para geração de energia solar.

Isso se deve especialmente ao fato de que a região norte, a qual se destacou positivamente frente às variáveis avaliadas e em especial à irradiação solar, a qual representa aproximadamente 42% de relevância, apresentou zonas de baixa aptidão para as variáveis de temperatura e aptidão agrícola, que representam juntas pouco mais de 15%. O norte do estado é uma das regiões mais quentes, não sendo considerado vantajoso para a geração de energia, além de possuir um elevado grau de aptidão agrícola, fazendo-se necessário avaliar o custo de oportunidade entre instalar uma usina de geração de energia ou produzir alimentos e insumos.

A região sul, por sua vez, apresentou os índices mais baixos de aptidão à geração de energia fotovoltaica do estado. A área é bastante preservada e pode-se verificar que um trecho considerável foi desconsiderado do estudo devido a presença de unidades de conservação e outras áreas especiais e protegidas. Ademais, é uma região mais serrana, com elevado declive

Isso não significa que são zonas nas quais não haverá geração de energia caso instaladas usinas, apenas sinaliza que a geração não terá sua eficiência máxima e o projeto para construção pode ter um custo mais elevado em comparação às demais áreas, uma vez que possivelmente precisará de maior investimento para conectar as instalações às redes de transmissão de energia e zonas urbanas. Vale ressaltar que apesar da região sul apresentar os piores índices para irradiação do estado, ainda é um valor considerável, tendo em vista que países da Europa como a Alemanha estão entre os principais geradores de energia solar fotovoltaica e recebem menos de 40% desta irradiação (JÚNIOR e SOUZA, 2018).

Analisando a relevância dos pesos atribuídos às variáveis é possível notar que os fatores naturais, de clima e informações geográficas, representam quase 80% da relevância para definição de áreas para instalação de usinas solares fotovoltaicas. Em contrapartida, pouco mais de 20% dos fatores está atribuído a questões estruturais de interferência antrópica. Os fatores antrópicos, como rodovias e áreas urbanas, encontram-se distribuídos por todas as regiões de São Paulo. Ademais, a falta de infraestrutura não torna o projeto inviável, uma vez que é possível a construção e adaptação.

A avaliação do uso do solo e aptidão agrícola são importantes antes da instalação de usinas solares fotovoltaicas sejam avaliadas, com o objetivo de priorizar regiões onde há maior dificuldade de cultivo, ou seja, solos menos férteis e também que não interfiram em ambientes de conexão entre parques, como corredores ecológicos e áreas com potencial para criação de reservas legais.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As variáveis consideradas na análise multicritério que mais impactaram no resultado do mapa das áreas com melhor aptidão para instalação de usinas solares fotovoltaicas foram os fatores naturais. E as regiões norte e nordeste se destacaram com as áreas com maior potencial. A implantação de sistemas solares fotovoltaicos é um método que vem sendo explorado cada dia mais, portanto um direcionamento ao ordenamento territorial é fundamental para garantir que o uso do solo adequado para cada necessidade da sociedade, como produção de alimento, proteção ambiental.

A elaboração de mapas e definição de zonas nas quais há restrição de instalação de usinas, bem como locais onde há a oportunidade de beneficiar mais pessoas, como comunidades locais, podem direcionar possíveis interessados neste tipo de investimento. O estado de São Paulo possui extensão territorial considerável, é responsável por grande parcela do PIB do Brasil, além de ser o mais populoso entre as unidades federativas. Dessa forma, a gestão adequada e tomadas de decisão ágeis e embasadas em estudos são fundamentais para o estado, para os 645 municípios nele inserido, como também para interesses a nível federal.

As ferramentas de SIG combinadas às metodologias de análise utilizadas mostraram-se satisfatórias para atingir o objetivo do estudo. Para estudos futuros, algumas melhorias podem ser realizadas, como reduzir a área de análise a fim de estudar com maior nível de detalhamento cada variável e obter um resultado ainda mais preciso.

Acrescentar uma avaliação do custo-benefício das áreas, a fim de compreender qual o tipo de atividade melhor a ser implementado nos locais de estudo também terá seus benefícios. A depender do tipo e magnitude da usina de interessada, seria válido inserir informações de subestação e linhas de distribuição. A inserção da base de cadastro do CAR também traz outra possibilidade de avaliação, pois com seu uso já são selecionadas áreas regularizadas para arrendamento ou compra e com potenciais de geração de energia solar.

REFERÊNCIAL TEÓRICO

AFONSO, Marcos André Gomes Dias. **Sistema de Monitorização de Condições Meteorológicas e Correlação com Produção Renovável de Energia**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova Lisboa, Lisboa, 2010.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Micro e minigeração distribuída: Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Cadernos Temáticos ANEEL - 2ª Edição**. Brasília, 2016. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro+e+Minigera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida+-+2+edicao/716e8bb2-83b8-48e9-b4c8-a66d7f655161>>.

ARSESP – Agência Reguladora de Serviços Públicos no Estado de São Paulo. **Perfil do setor de energia elétrica**. Disponível em: <<http://www.arsesp.sp.gov.br/SitePages/energia-eletrica/perfil-setor-energia-eletrica.aspx>>.

BORGES, Ane Caroline Pereira *et al.* **Energias renováveis: uma Contextualização da biomassa como fonte de energia**. Renewable energy: a contextualization of the biomass as power supply. REDE-Revista Eletrônica do PRODEMA, v. 10, n. 2, 2017.

BRASIL. Decreto Federal nº 9.073, 05 de junho de 2017. **Promulga o acordo de Paris. Poder Executivo**. Brasília, DF, 2017. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/decreto/d9073.htm>.

COX, Earl. **The fuzzy systems handbook: a practitioner's guide to building, using, and maintaining fuzzy systems**. New York: AP Professional, 1994.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **Serviços vgeo**, 2018. Disponível em: <<http://servicos.dnit.gov.br/vgeo/>>.

DUNLAP, Richard. **Sustainable energy**. Halifax: Dalhousie University, 2015.

EPE. **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**, 2012.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **WebMap**, 2022. Disponível em: <<https://gisepeprd2.epe.gov.br/WebMapEPE/>>.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sitespt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico168/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202020.pdf>>.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética (2020a). **Balanco Energético Nacional**

2020: Ano base 2019. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dadosabertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico528/BEN2020_sp.pdf>.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética (2020b). **Demanda de Energia 2050. Nota técnica DEA 13/15, janeiro de 2016.** Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sitespt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico458/DEA%2013-15%20Demanda%20de%20Energia%202050.pdf#search=demanda%20de%20energia%202050>>.

FICK, Stephen; HIJMANS, Robert. **WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas.** International Journal of Climatology 37 (12): 4302-4315, 2017.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA. **Cidades e Estados,** 2021a. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp.html>>.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA. **Downloads Bases Cartográficas,** 2021b. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html?caminho=cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bc250/versao2021/>.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA. **Áreas Urbanizadas, 2015.** Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/redes-geograficas/15789-areas-urbanizadas.html?=&t=downloads>>.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA. **Produto Interno Bruto - PIB,** 2019. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/pib.php>>.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA ESPACIAL. **Ambdata.** [s.d.]. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/download.php>>.

KOHAGURA, T. Lógica Fuzzy e suas aplicações. 2007. 49 f. Monografia (Graduação em Ciência da Computação), Departamento de Computação da Universidade Estadual de Londrina, Londrina - PR, 2007.

JÚNIOR, Orlando Moreira; SOUZA, Celso Correia. **Aproveitamento fotovoltaico, análise comparativa entre Brasil e Alemanha.** INTERAÇÕES, Campo Grande, MS, v. 21, n. 2, p. 379-387, abr./jun. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.20435/inter.v21i2.1760>. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/inter/a/t7NryC6KdCmwL4RXL4pjVfN/?format=pdf&lang=pt>>.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Mapa do Potencial Agrícola do Brasil.** 2002. Disponível em: <<http://mapas.mma.gov.br/geonetwork/srv/br/metadata.show?id=417>>.

MEDEIROS, Anderson. **Análise multicritério em SIG – Parte 1. 2013.** Disponível em: <<http://www.andersonmedeiros.com/analise-multicriterio-em-sig-1/>>.

PEREIRA, Enio Bueno *et al.* **Atlas brasileiro de energia solar.** 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p. Disponível em: <http://doi.org/10.34024/978851700089>.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco A. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014.

ROSA, Roberto. **Geotecnologias na geografia aplicada**. Revista do Departamento de Geografia, 16 (2005) 81-90. Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47288/51024>>.

SAATY, Thomas. **Decision making with the analytic hierarchy process**. International Journal of Services Sciences, v. 1, n. 1, p. 83, 2008. Disponível em: <<https://www.rafikulislam.com/uploads/resources/197245512559a37aadea6d.pdf>>.

SÁNCHEZ-LOZANO, Juan M. et al. **Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 24, p. 544-556, 2013.

SCHMIDT, Tanara. **Seleção de área e dimensionamento de aterro sanitário para o consórcio público intermunicipal para assuntos estratégicos do G8 – CIPAE G8**. 2016. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 15 dez. 2016.

SÃO PAULO. **Diagnóstico do estado de São Paulo e suas regiões**. Boletim 1, 2019.

SIMA – SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE. **Coordenadoria de Energias e Elétricas e Renováveis**, 2022. Disponível em: <<https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/infraestrutura/coordenadorias/coordenadoria-de-energias-eletrica-e-renovaveis/>>.

SOUZA, Marco Pereira *et al.* **Análise para a localização ótima de uma usina solar fotovoltaica no estado do rio de janeiro**. Revista Brasileira de Energia | Vol. 27, Nº 4, 4º Trimestre de 2021. DOI: 10.47168/rbe.v27i4.491.

SOUZA, Carlos *et al.* **Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine** - Remote Sensing, Volume 12, Issue 17, 2020. DOI: 10.3390/rs12172735.

STAMBUK, Richard Heinrich. **Influência da temperatura no desempenho de sistemas fotovoltaicos**. 2017. 57 páginas. Monografia de Especialização em Energias Renováveis - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/bitstream/1/18570/2/CT_CEER_I_2016_16.pdf>.

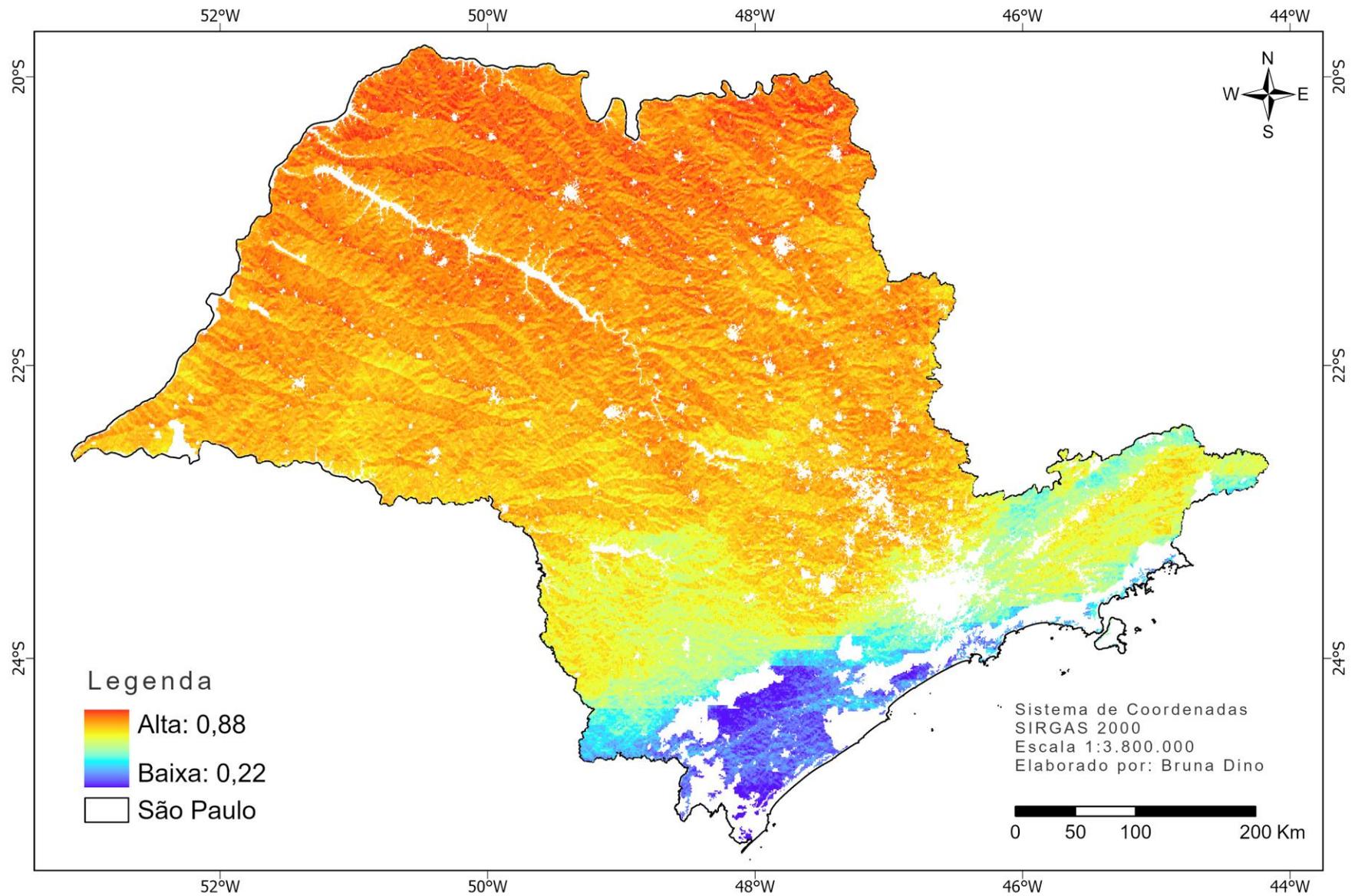
TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. EPE: Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-172/Energia%20Renov%C3%A1vel%20-%20Online%2016maio2016.pdf>>.

WRI (World Resources Institute). 2017. **Modelagem de aptidão agrícola para restauração florestal e reflorestamento para fins econômicos com espécies nativas e exóticas no brasil**. Parceria entre AG de OP BARRETTO Serviços LTDA e WRI Brasil. Disponível em: <<https://wribrasil.org.br/pt/publicacoes>>.

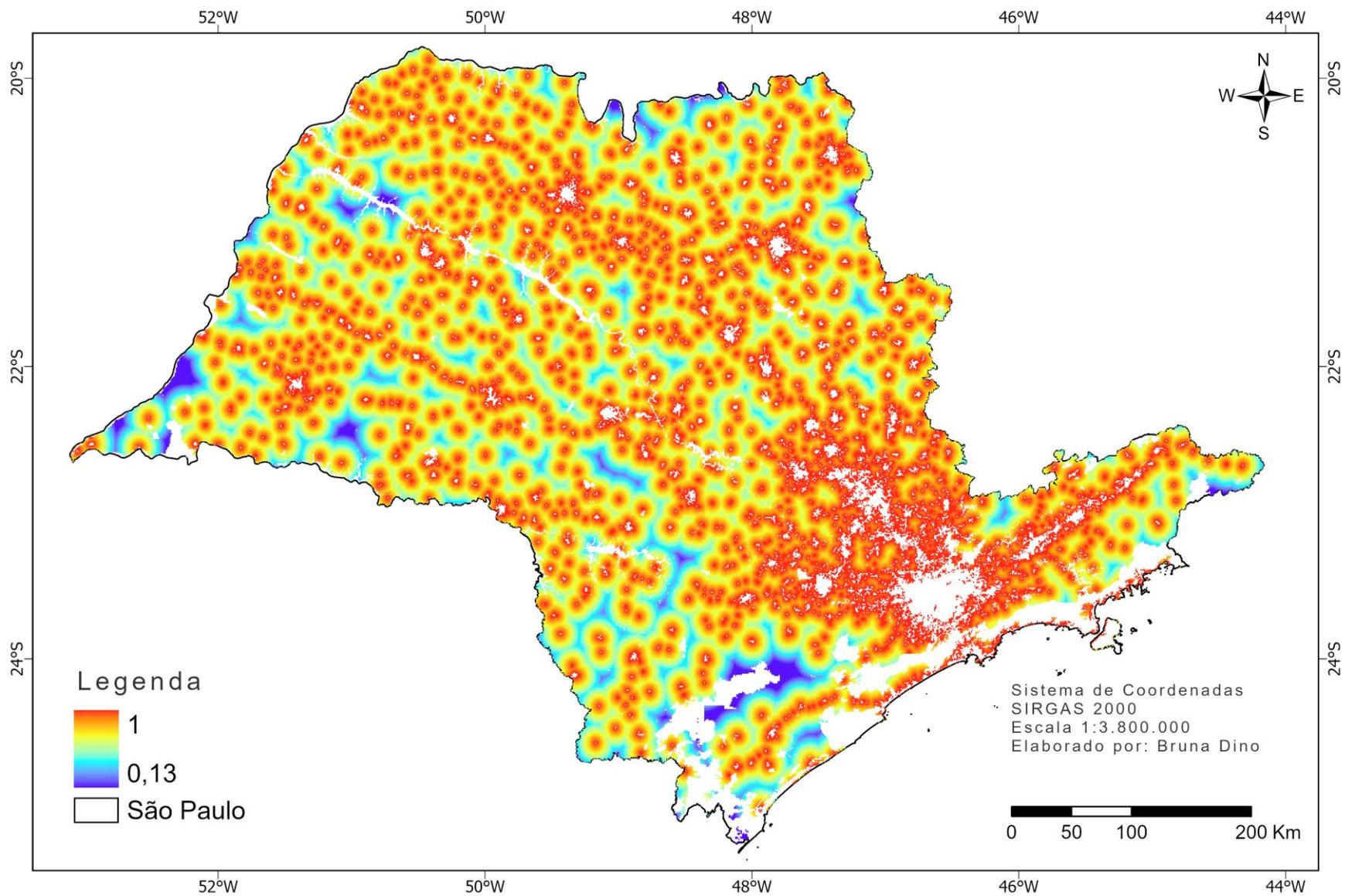
WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). 2014. **The United Nations World Water Development Report 2014: Water and Energy**. Paris, UNESCO. Disponível em: <<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000225741>>.

APÊNDICE A – MAPA DAS ÁREAS COM MAIOR APTIDÃO PARA INSTALAÇÃO DE USINAS SOLARES FOTOVOLTAICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO

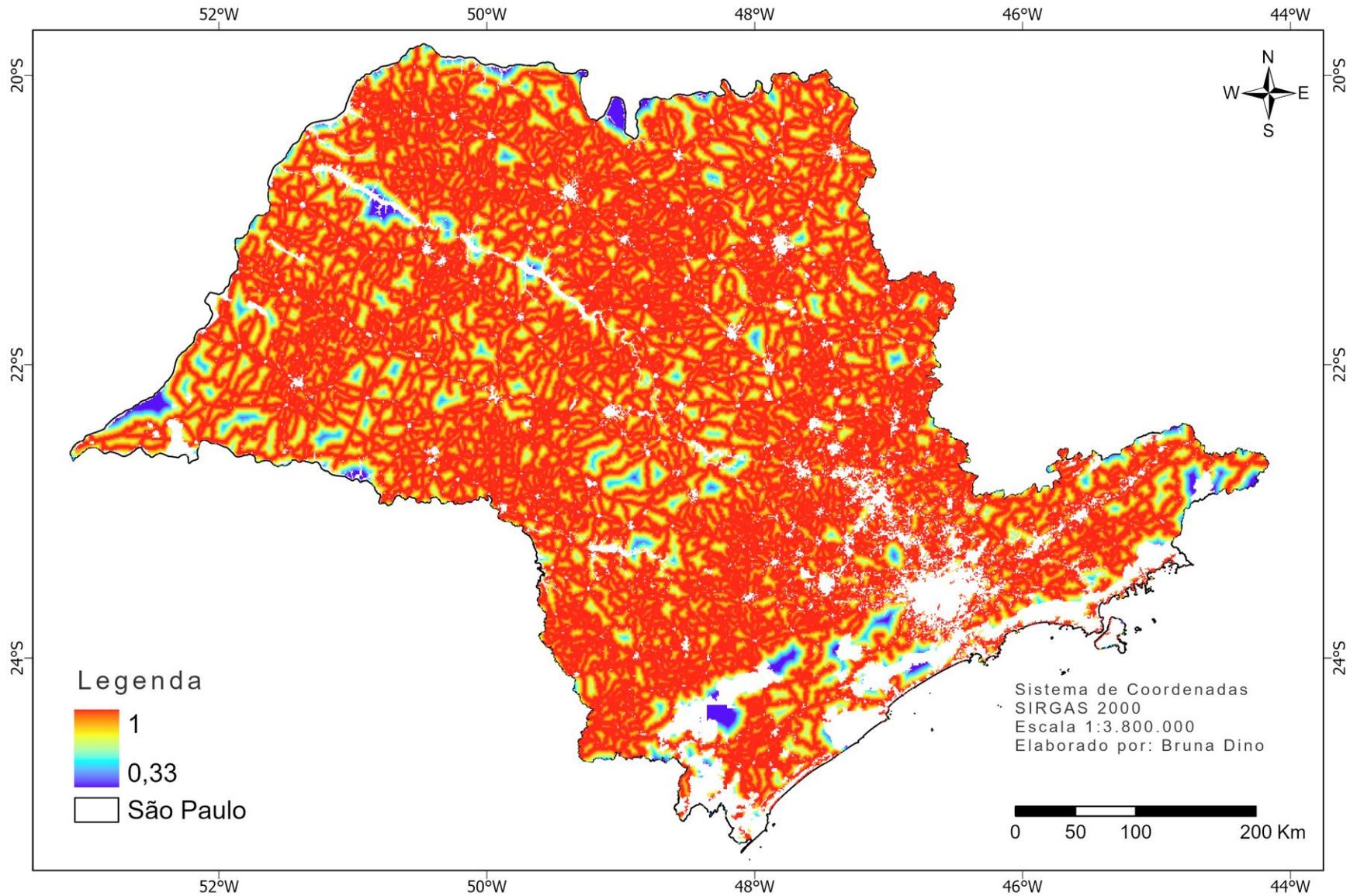
Zonas Prioritárias para Instalação de Usinas Solares Fotovoltaicas no Estado de São Paulo



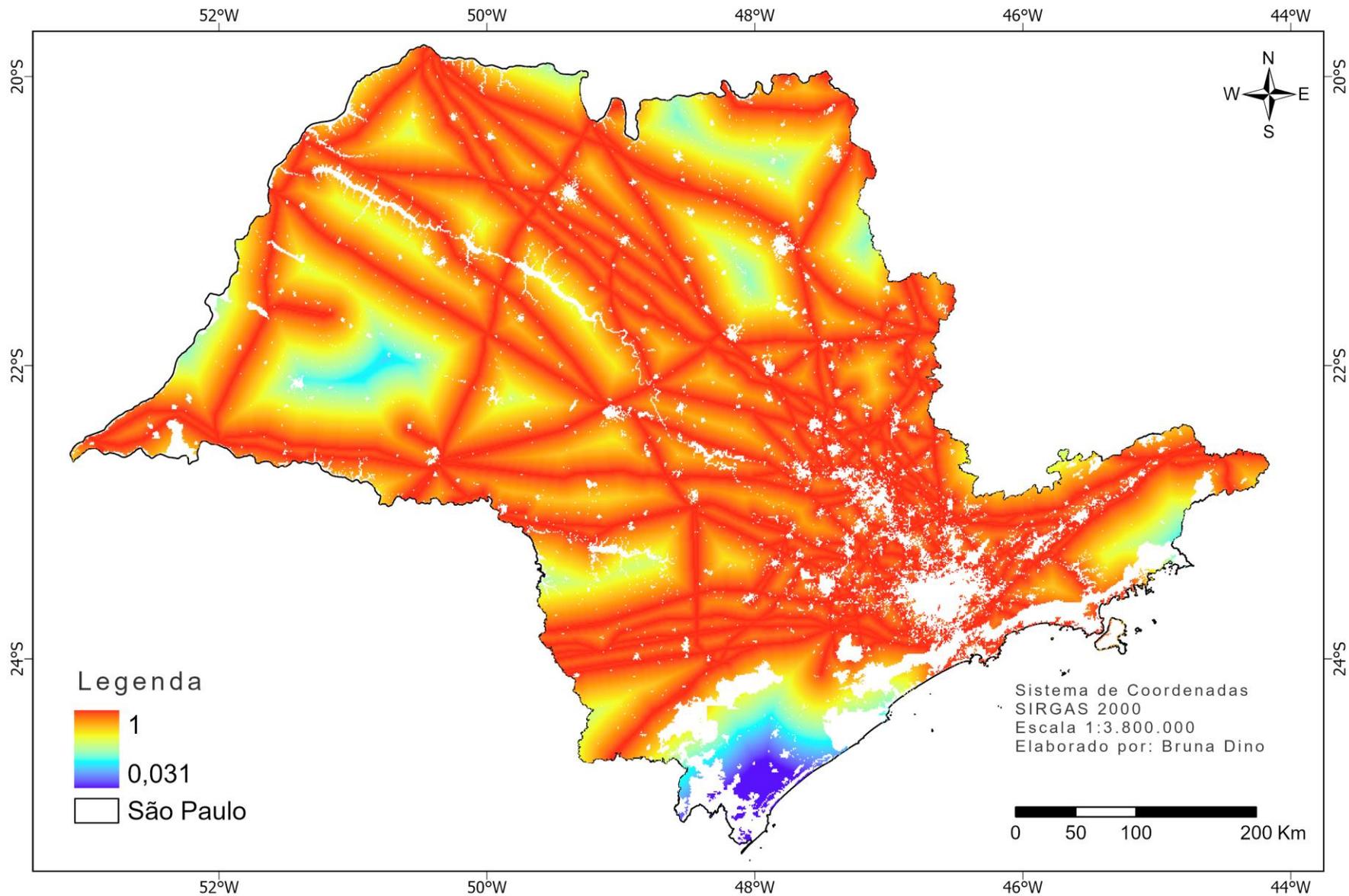
Distância de Áreas Urbanas Estado de São Paulo



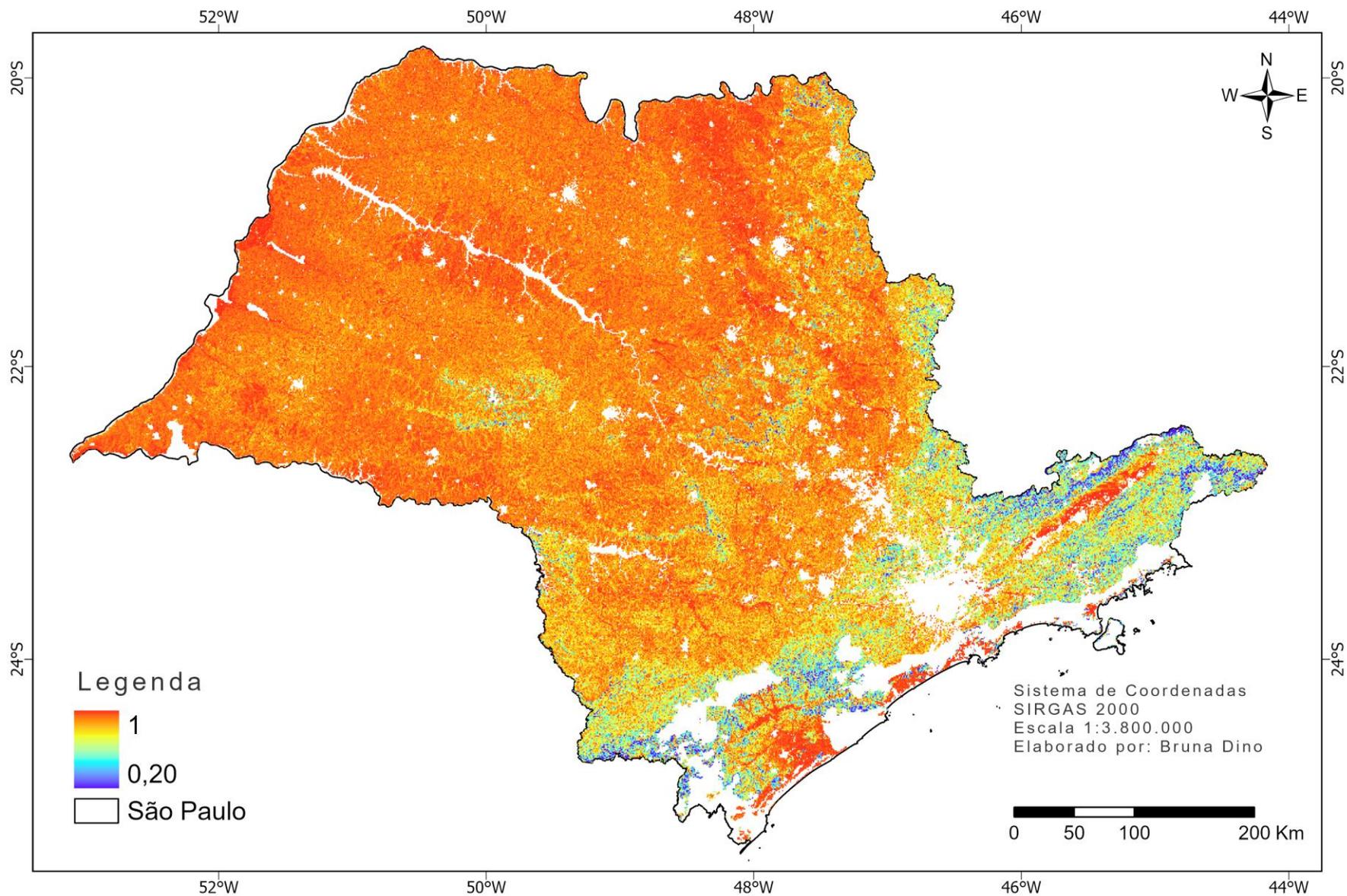
Distância de Rodovias Estado de São Paulo



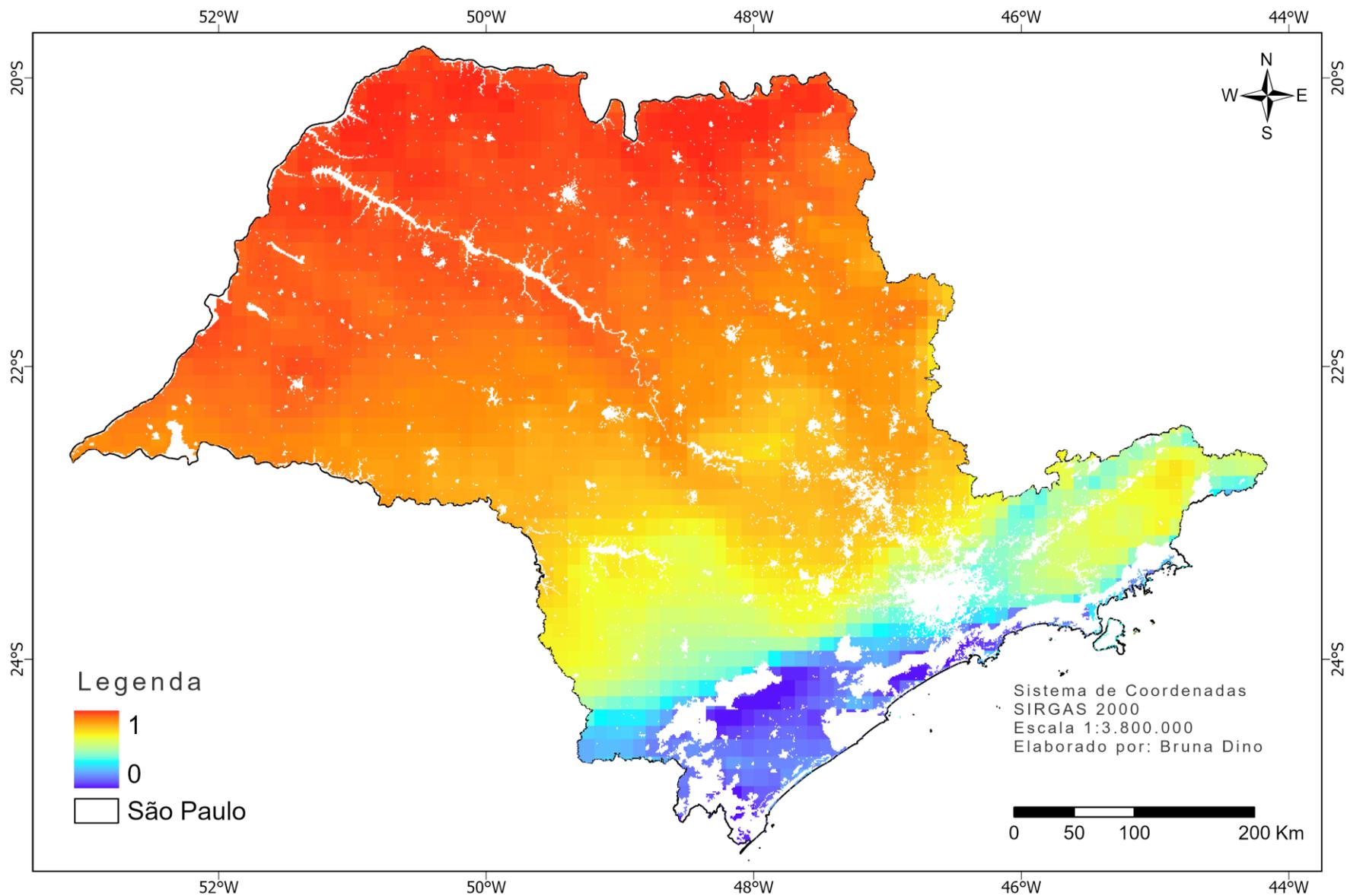
Distância de Linhas de Transmissão Estado de São Paulo



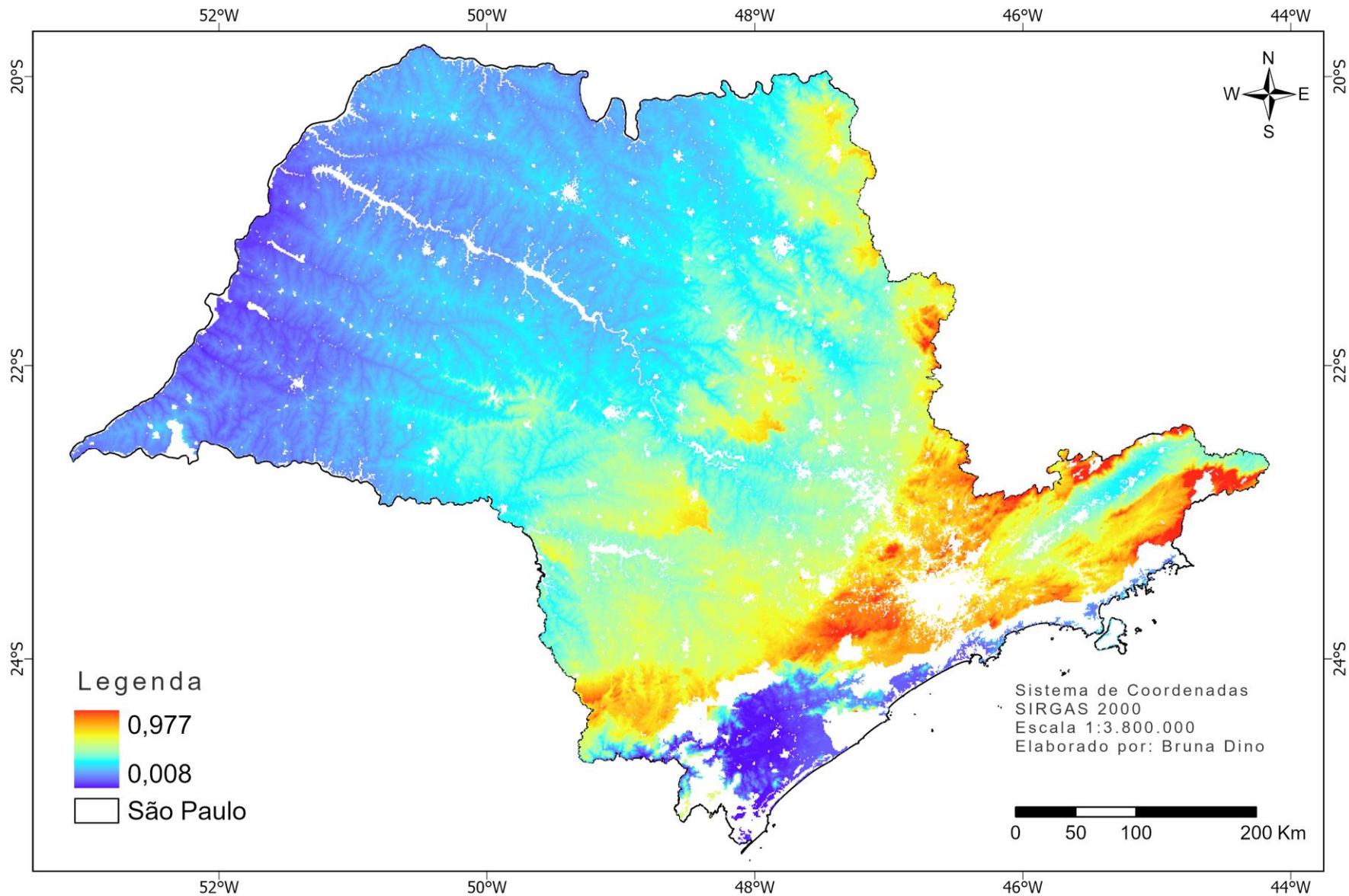
Declividade Estado de São Paulo



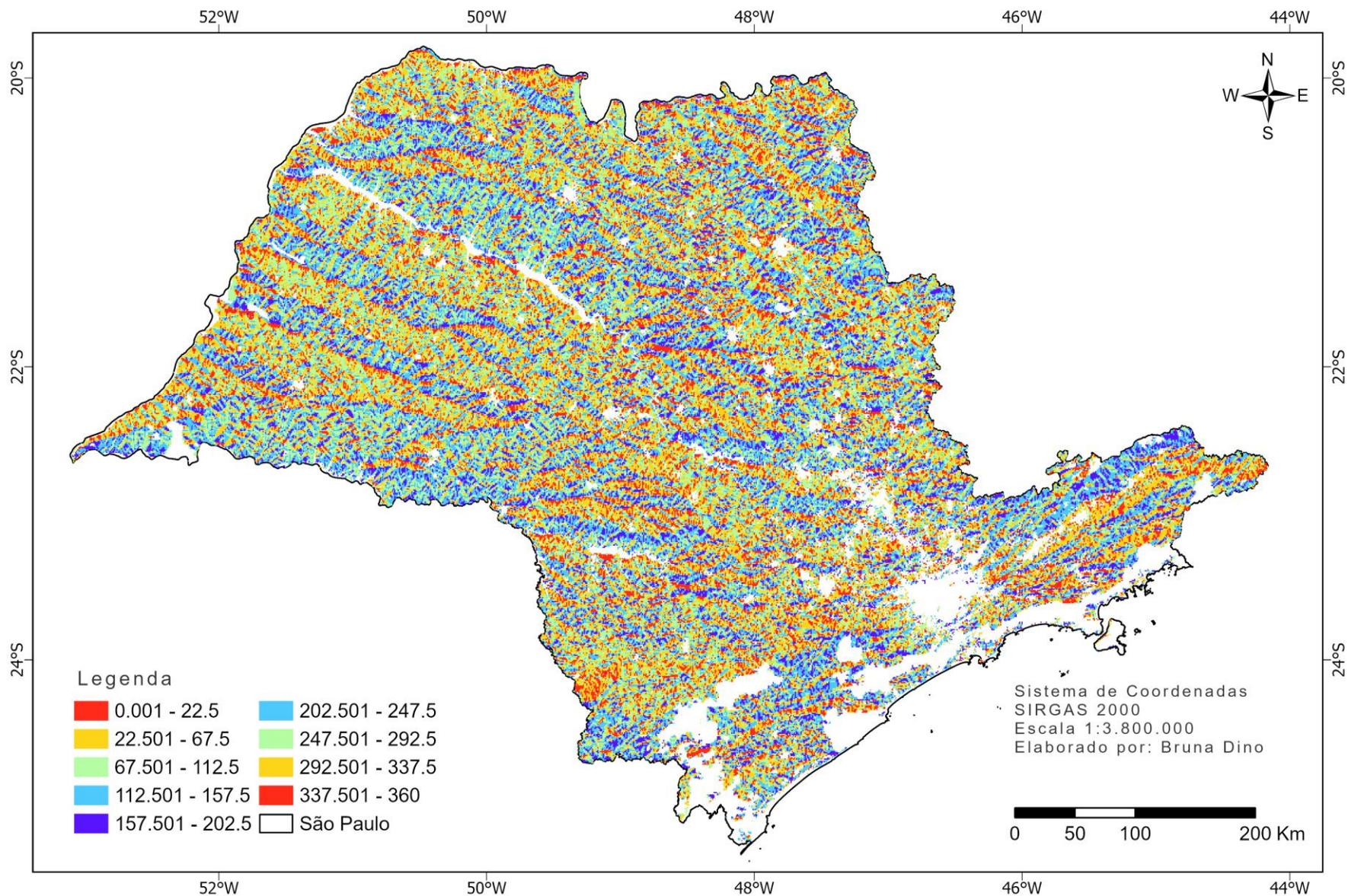
Irradiação Solar Estado de São Paulo



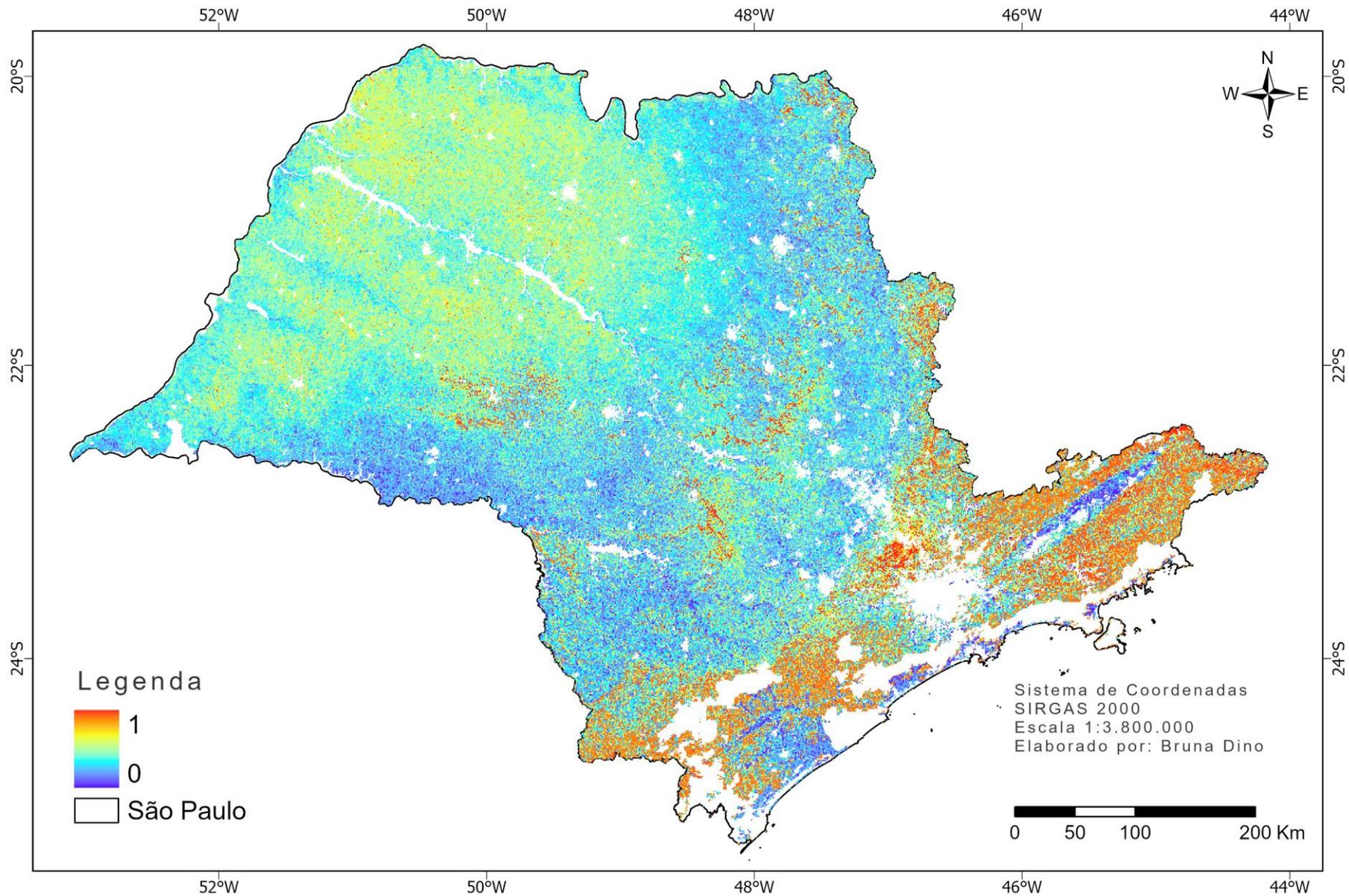
Temperatura Média Estado de São Paulo



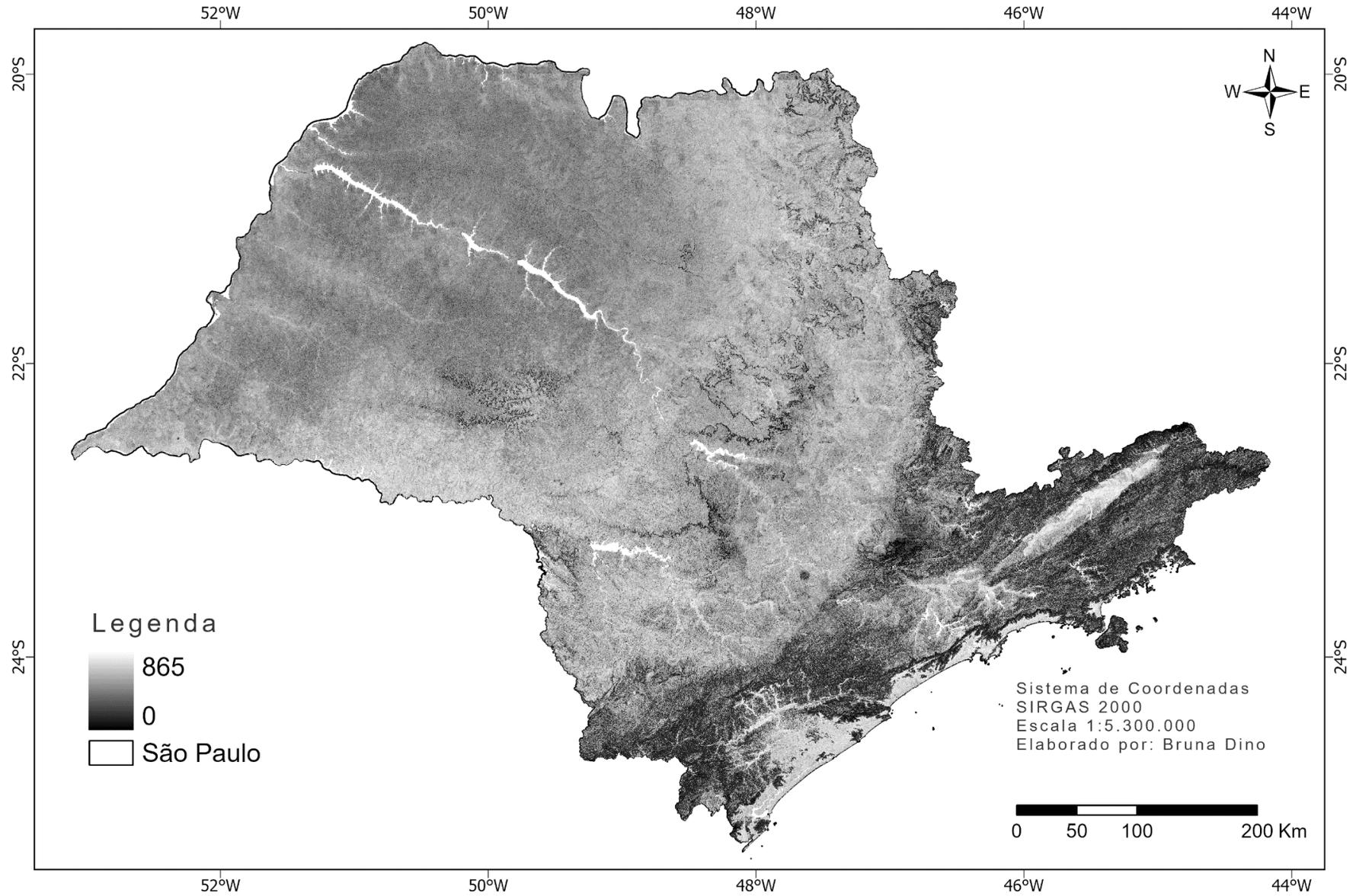
Azimute Estado de São Paulo



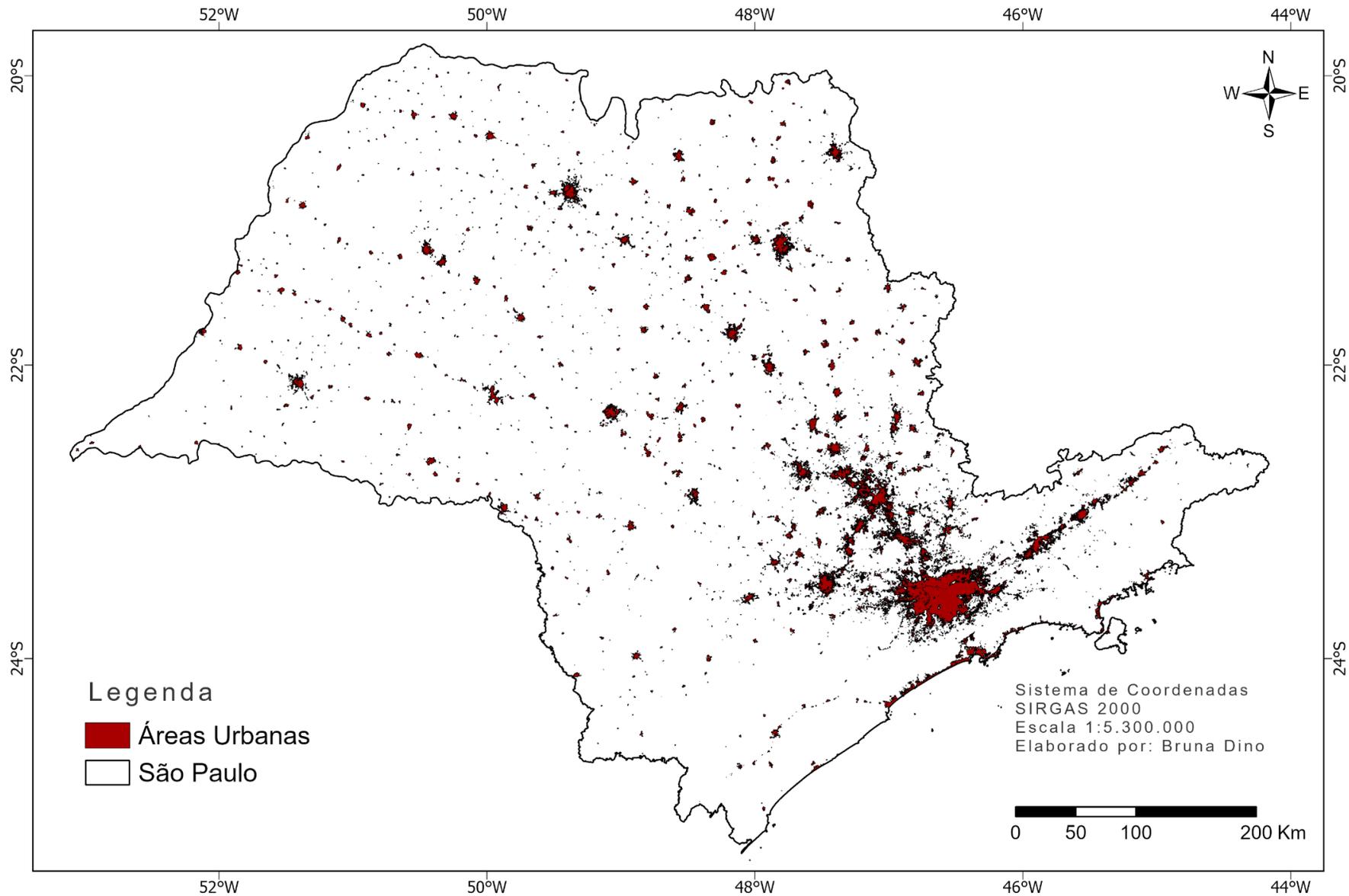
Aptidão Agrícola Estado de São Paulo



Aptidão Agrícola Estado de São Paulo

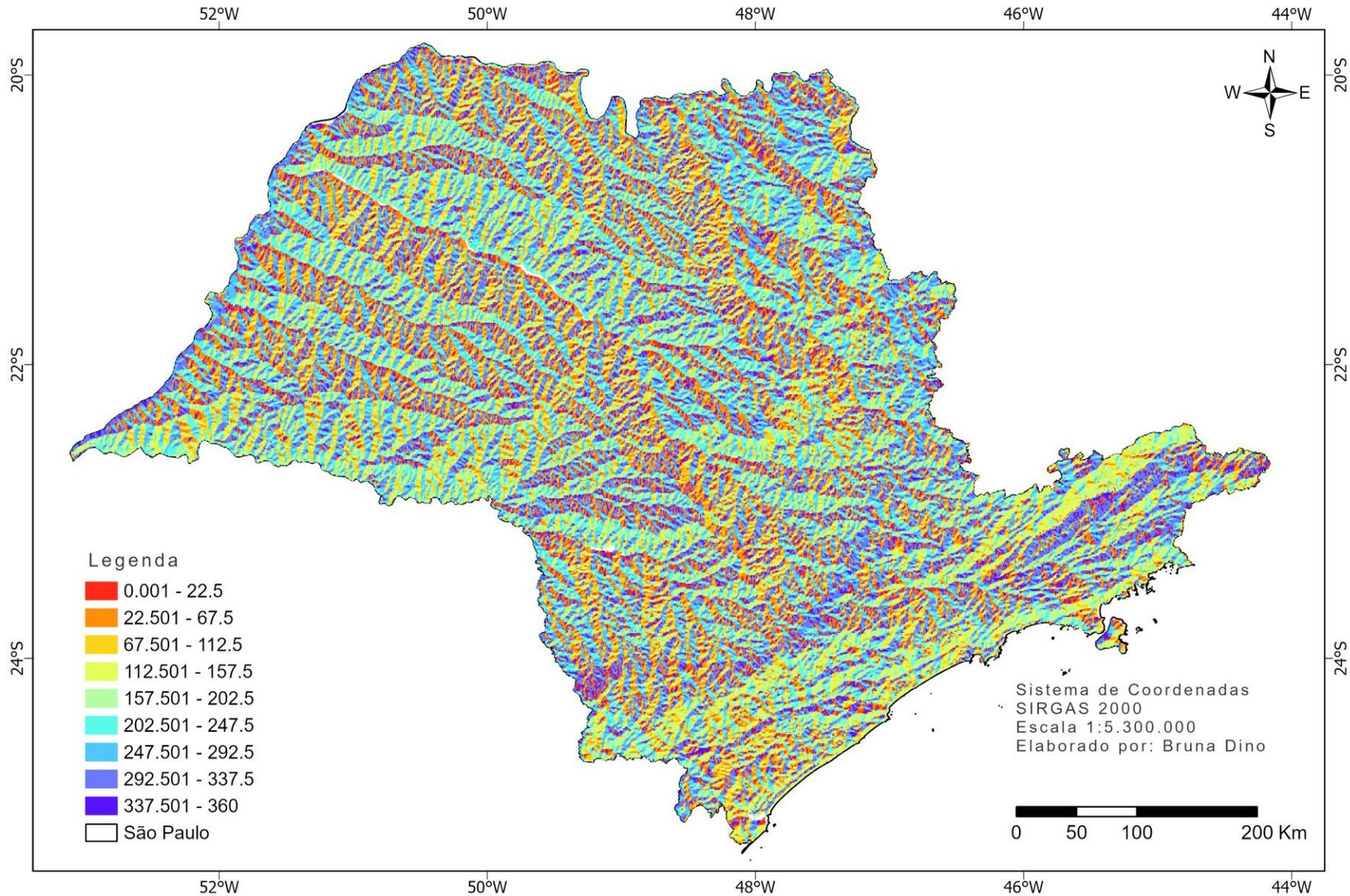


Áreas Urbanas Estado de São Paulo



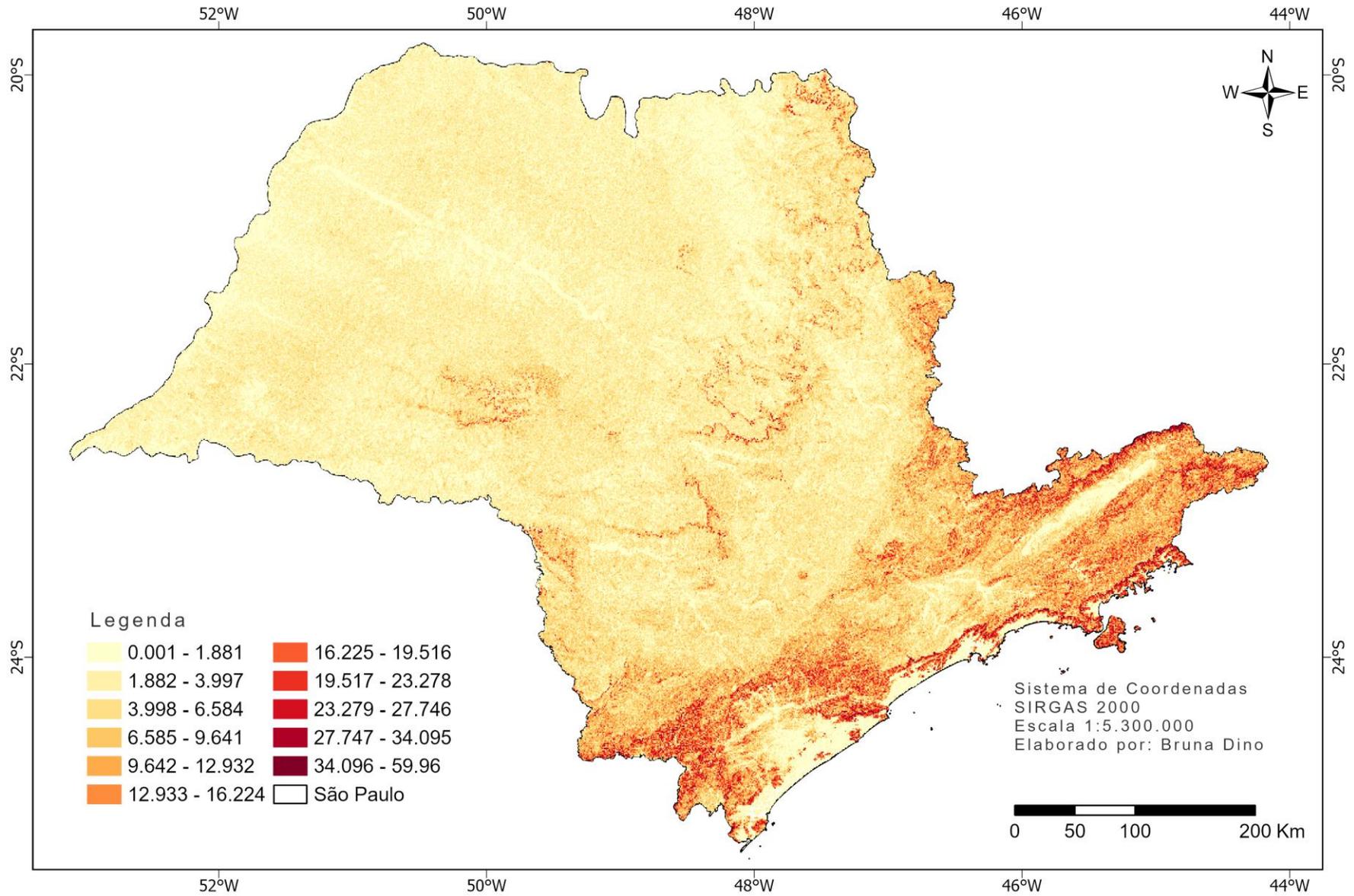
APÊNDICE C – MAPAS DAS VARIÁVEIS ORIGINAIS

Azimute Estado de São Paulo



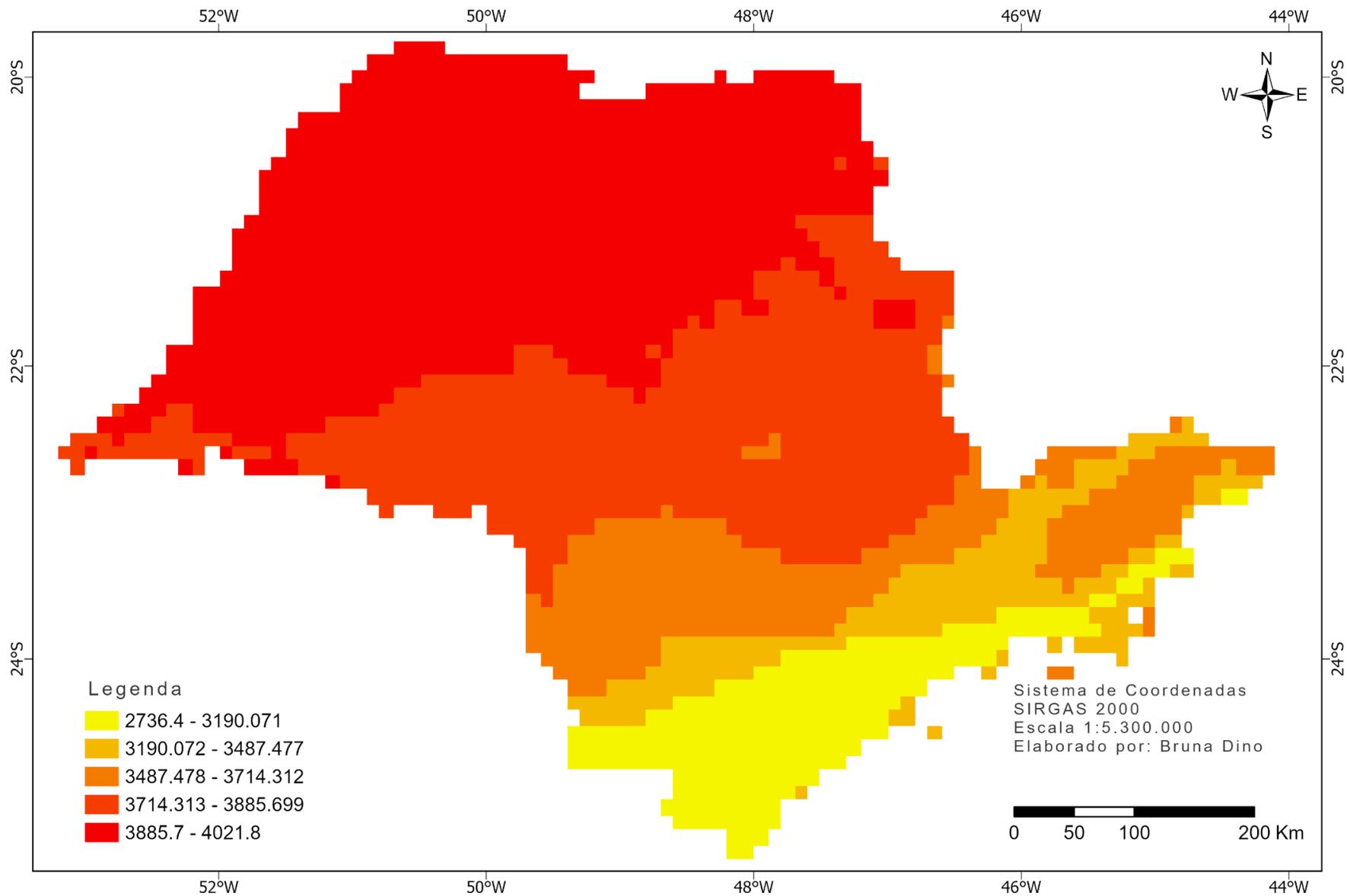
APÊNDICE C – MAPAS DAS VARIÁVEIS ORIGINAIS

Declividade Estado de São Paulo

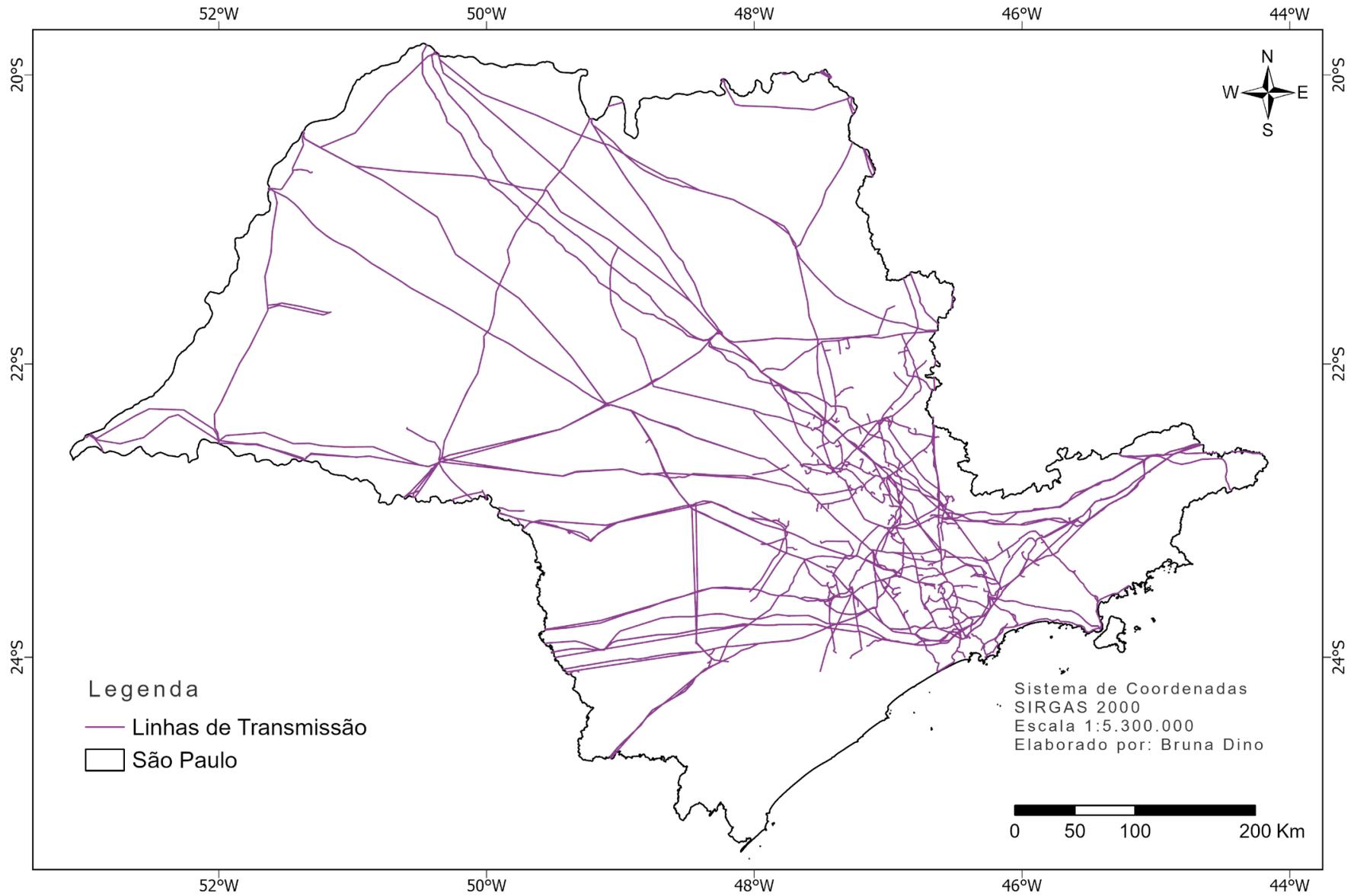


APÊNDICE C – MAPAS DAS VARIÁVEIS ORIGINAIS

Irradiação Estado de São Paulo

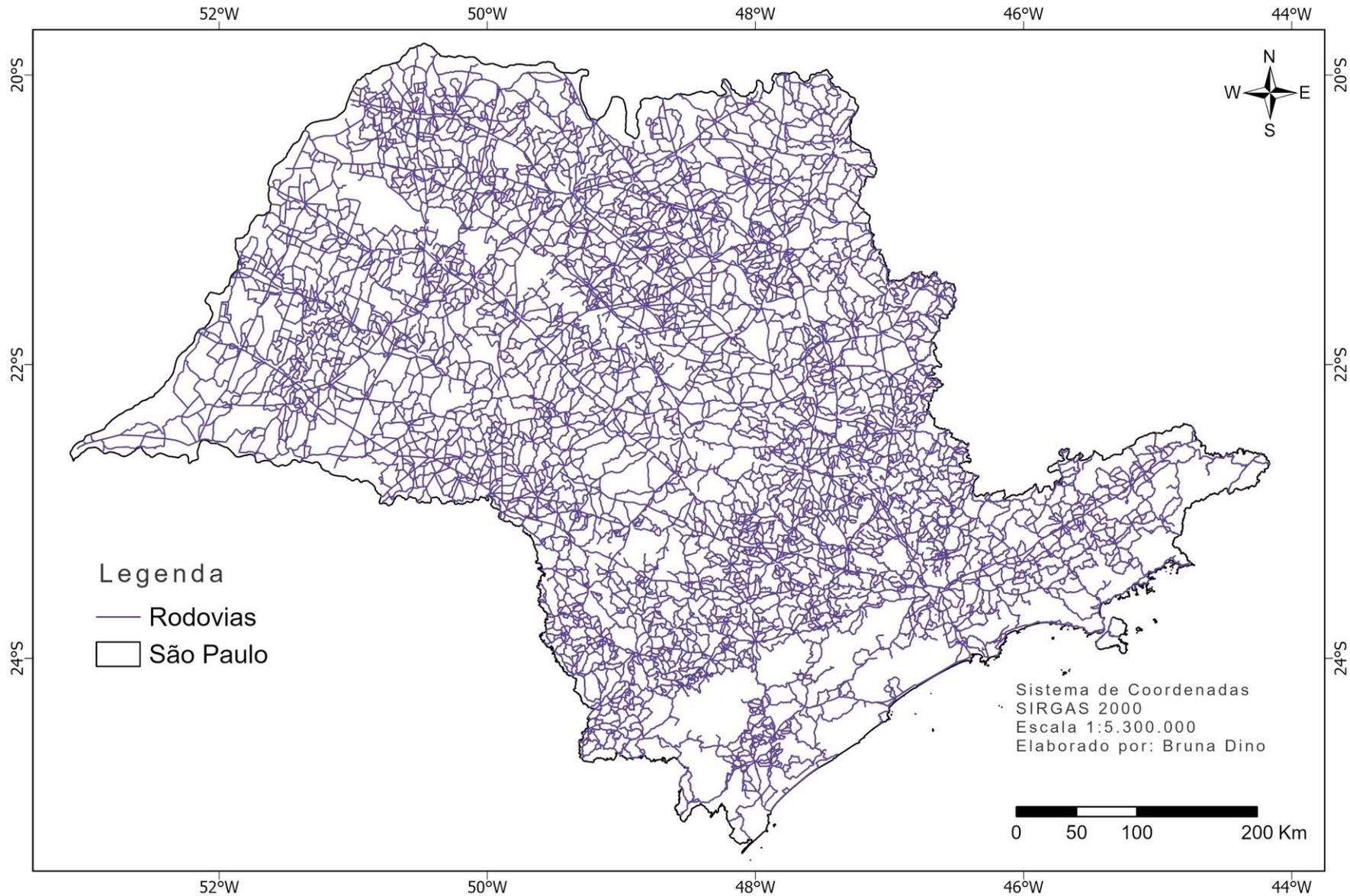


Linhas de Transmissão Estado de São Paulo



APÊNDICE C – MAPAS DAS VARIÁVEIS ORIGINAIS

Rodovias Estado de São Paulo



APÊNDICE C – MAPAS DAS VARIÁVEIS ORIGINAIS

Temperatura Média Estado de São Paulo

