



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E
AMBIENTAL

DISSERTAÇÃO

**DETECÇÃO DE ÁREAS DE RISCO À DESERTIFICAÇÃO NO ESTADO DO RIO
DE JANEIRO COM UTILIZAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS.**

CÁTIA AZEVEDO DOS SANTOS

2019



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E
AMBIENTAL

DETECÇÃO DE ÁREAS DE RISCO À DESERTIFICAÇÃO NO ESTADO
DO RIO DE JANEIRO COM UTILIZAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS.

CÁTIA AZEVEDO DOS SANTOS

Sob orientação do Professor
Gustavo Bastos Lyra

e Coorientação do Professor
Gustavo Mota de Sousa

Dissertação submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental.

SEROPÉDICA, RJ
Fevereiro de 2019.

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S237d Santos, Cátia Azevedo dos, 1971-
Detecção de áreas de risco à desertificação no Estado
do Rio de Janeiro com utilização de geotecnologias /
Cátia Azevedo dos Santos. - Rio de Janeiro, 2019.
57 f.: il.

Orientador: Gustavo Bastos Lyra.
Coorientador: Gustavo Mota de Sousa.
Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal
Rural do Rio de Janeiro, PGEEAmb, 2019.

1. Geoprocessamento. 2. Degradação ambiental . 3.
Atividades antrópicas. I. Lyra, Gustavo Bastos, 1975-,
orient. II. Sousa, Gustavo Mota de, 1977-, coorient.
III Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
PGEEAmb. IV. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E
AMBIENTAL

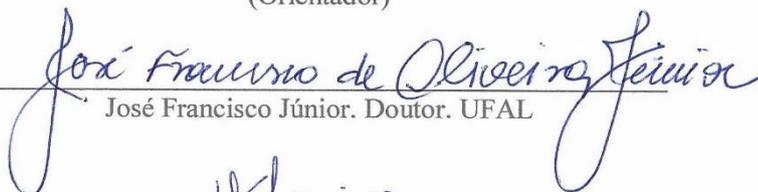
CÁTIA AZEVEDO DOS SANTOS

Dissertação submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, na área de concentração de **Meio Ambiente**.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 28/02/2019



Gustavo Bastos Lyra. Doutor. DCA/IF/UFRRJ
(Orientador)



José Francisco Júnior. Doutor. UFAL



Heitor Soares de Farias. Doutor. DG/IA/UFRRJ

I

DEDICATÓRIA

Obrigada ao meu Deus, por me dar muito mais do que eu preciso, e por me abençoar muito mais do que eu mereço!

Aos meus pais por terem me dado o dom da vida, educação e valores que contribuíram para eu ser a mulher que sou, os quais carrego pela vida, onde pude batalhar com as minhas próprias armas pelos meus ideais.

As irmãs que a vida me deu, Jheina Daniele Alves e Taíssa Rafaela Guinâncio, por estarem presente em todos os momentos da minha vida, inclusive os mais críticos, dando-me apoio e suporte emocional para encarar os desafios e dissabores que tive ao longo desta jornada, obrigada amigas pela força!

“Solidários, seremos união. Separados uns dos outros seremos pontos de vista. Juntos, alcançaremos a realização de nossos propósitos”. Bezerra de Menezes.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Agradecimentos a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) por ter me dado a honra de fazer um curso de pós-graduação nesta conceituada instituição e através dela adquirir o meu título de Mestre.

A oportunidade de participar do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental (PGEAAmb) e a coordenadora do curso Prof^a D.Sc Camila Pinho.

Ao professor e amigo José Roberto M. R. Gonçalves o incentivador a me inscrever neste programa de mestrado, obrigada Zé!

A professora Dinara Alves (PGEAAmb) por ter me apoiado a entrar como aluna ouvinte com suas palavras de carinho e esperança. Jamais a esquecerei!

A oportunidade que tive ao longo do mestrado de participar de um curso de pós-graduação na UNC e todas as experiências e amizades que fiz lá, amigos que jamais os esquecerei. Aos ensinamentos da Prof^a. Inés Asis (UNC) a respeito da verdadeira missão de um mestre no desenvolvimento de uma sociedade melhor, algo de grande relevância que aplicarei na minha carreira de docente. Ao coordenador do curso de pós-graduação em “*Desarrollo económico y medio ambiente*”, Prof^o DSc Ernesto Guillermo Abril (UNC) pela paciência por eu estar em um grupo que todos falavam espanhol e ser eu a única brasileira. Agradeço imensamente ao Centro Latino-americano de Formação Interdisciplinares (CELFI - Argentina) pela bolsa de estudos, experiência incrível! Agradecimentos a Universidade Nacional de Córdoba por me acolher neste país maravilhoso e compartilhar conhecimentos e um novo formato universitário. Me fazendo enxergar que a universidade não pode ter fronteiras, exemplo notório com o seu campus totalmente aberto e liberado para a população usufruir de conhecimentos sem limites.

Agradecimentos ao meu orientador Prof^o. Gustavo Lyra por compartilhar o seu conhecimento científico, sem sombra de dúvidas ele foi o pilar de sustentação nesta empreitada, dando-me suporte técnico em todas as etapas deste projeto, sempre com palavras de apoio, motivação e fé.

Agradecimentos ao meu coorientador Prof^o. Gustavo Mota, desde o início com palavras de força e motivação, o que me fez acreditar que o desafio seria algo possível.

Agradecimentos a “família ruralina” que ganhei, por todo suporte técnico, emocional e carinho, amigos que jamais esquecerei por toda a vida! Um agradecimento especial à Tamires Partelli e Felipe Moutinho por estarem diretamente ligados ao meu projeto, e também aos que atuaram de forma indireta, porém não menos importante, dando-me suporte em vários aspectos dentre eles não posso esquecer de citar meus companheiros de laboratório Mariane Pessanha, Suelen Martins, Anderson, Danilo, Vitor e outros... Obrigada!

Aos amigos que fiz na UFF e aos nossos encontros inesquecíveis para os trabalhos em grupo da disciplina de evapotranspiração, especialmente pela atenção recebida dos colegas Joana e Ayrton, que me ofereceram ajuda sem que eu precisasse pedir. Obrigada!

Aos professores da banca (Prof^o Heitor e Prof^o Oliveira Júnior) que contribuíram positivamente para o meu desenvolvimento intelectual, enriquecendo o meu projeto, aos funcionários do DCA/IF e ao secretário Thiago do PGEAAmb, sempre atencioso e prestativo em todas as solicitações. Agradecimentos.

Enfim, só tenho a dizer que todos foram peças fundamentais para a concretização desse projeto, sem o trabalho em equipe seria algo difícil de realizar.

“Agradeço tudo aquilo que já aconteceu na minha vida até o presente momento, até mesmo as dores. A minha compreensão do universo ainda é muito superficial, para julgar o que quer que seja da minha vida”. Obrigada a todos!

Cátia Azevedo dos Santos.

RESUMO

SANTOS, Cátia Azevedo dos. **Detecção de áreas de risco à desertificação no Estado do Rio de Janeiro com utilização de geotecnologias**. 2019. 57p Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente). Departamento de Engenharia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2019.

A desertificação é um processo relacionado à degradação da Terra, devido às atividades antrópicas, e, ou fatores naturais, como a variabilidade climática. A desertificação afeta cerca de dois terços dos países do mundo, e têm implicações nos setores econômico, social e ambiental, além de diminuir a qualidade de vida humana. O Estado do Rio de Janeiro apresenta variabilidade climática espacial, temporal e diversificadas atividades econômicas. Nesse sentido, o objetivo do presente estudo foi identificar áreas de risco à desertificação no Estado do Rio de Janeiro, com base nos indicadores físicos (clima, solo, uso e ocupação da Terra, vegetação, características do relevo, unidades de conservação e geomorfologia), considerados na determinação de um índice de Áreas Ambientais Sensíveis (ESAI). Para determinar o ESAI, foram calculados os índices intermediários: Índice Físico de Qualidade do Solo (PLQI - geomorfologia, tipo de solo e declividade), Índice de Manejo do Solo (MQI - unidades de conservação e uso e ocupação da Terra) e Índice de Qualidade do Clima (CQI - chuva, índice de aridez e orientação do relevo). A partir desses índices intermediários foi possível obter o ESAI para as mesorregiões de governo e para os municípios. As faixas de susceptibilidade adotadas foram: Baixa, moderada e alta susceptibilidade calculadas para cada índice intermediário e para o ESAI. A maior parte do Estado foi classificado como não susceptível à desertificação. A região norte apresentou a maior porcentagem da classe baixa susceptibilidade (57,85 %), seguidas da região noroeste (31,96 %), Metropolitana (25,43 %), Baixada Litorânea (10,96 %) e Serrana (3,28 %). Para classe moderada, apresentaram maiores porcentagem a região noroeste (26,66 %), norte (57,85 %), serrana (2,60 %), Metropolitana (1,98 %) e Baixada Litorânea (0,60 %). Em relação aos municípios que apresentaram algum grau de susceptibilidade, destaca-se São João de Meriti com a maior porcentagem de áreas de baixa susceptibilidade (99,36 %) e município de Cardoso Moreira com maior classe de susceptibilidade moderada (48,02 %). O método foi eficiente em determinar áreas susceptíveis à desertificação, e serve como alerta para necessidade de medidas mitigadoras ou de adaptação aos processos de degradação ambiental.

Palavras-Chave: Degradação ambiental, atividades antrópicas, geoprocessamento.

ABSTRACT

SANTOS, Cátia Azevedo dos. **Detection of areas at risk of desertification in the State of Rio de Janeiro using geotechnologies.** 2019. 57p Dissertation (M.Sc in Environment). Department of Engineering, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2019.

Desertification is a process linked to the land degradation due to anthropic activities, and natural factors such as climate variability. Desertification affects about two-thirds of the world's countries, and has implications for the economic, social and environmental sectors, as well as diminishing the quality of human life. The State of Rio de Janeiro presents spatial, temporal and climatic variability and economic activities. In this sense, the objective of the present study was to identify areas at risk of desertification in the State of Rio de Janeiro, based on the physical indicators (climate, soil, land use and occupation, vegetation, relief features, conservation units and geomorphology) and the determination of an Index of Sensitive Environmental Areas (ESAI). In order to determine the ESAI, the intermediate indices were calculated: Soil Quality Index (PLQI - geomorphology, soil type and slope), Soil Management Index (MQI - conservation units and land use and occupation), Index of Climate Quality (CQI - rainfall, dryness index and relief orientation). From these intermediate indices, it was possible to obtain the ESAI, for the mesoregions of government and for the municipalities. The ranges of susceptibility adopted were: Low, moderate and high susceptibility calculated for each intermediate index and ESAI. Most of the state has been classified as not susceptible to desertification. The north region had the highest percentage of the low susceptibility class (57.85 %), followed by the northwest (31.96 %), Metropolitan (25.43 %), lowered (10.96 %) and Serrana (%). For the moderate class, the northwest region (26.66 %), north (57.85 %), Serrana (2.60 %), Metropolitan region (1.98%) and Coastal shallows (0.60%) had the highest percentage. São João de Meriti, with the highest percentage of areas with low susceptibility (99.36 %) and municipality of Cardoso Moreira with a higher class of moderate susceptibility (48.02 %). The method was efficient in determining areas susceptible to desertification and serves as an alert for the need for mitigation measures or adaptation to environmental degradation processes.

Key Words: Environmental degradation, anthropogenic derivations, geoprocessing.

LISTA DE FIGURA

Figura 1: Localização das áreas de risco à desertificação no planeta.....	17
Figura 2: Organograma das situações que levam ao risco às degradações da Terra.....	21
Figura 3. Mapa do Estado do Rio de Janeiro – Brasil, com as regiões de governo do estado..	25
Figura 4. Mapa do Rio de Janeiro com as estações de temperatura do ar e precipitação pluvial	32
Figura 5. Fluxograma metodológico.....	35
Figura 6. Classificação da Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro, segundo as classes de susceptibilidade ao estudo de desertificação.	36
Figura 7. Mapa de solos do Estado do Rio de Janeiro classificado segundo os graus de susceptibilidade ao estudo de desertificação.	37
Figura 8. Mapa do Índice de Aridez do Estado do Rio de Janeiro classificado segundo os graus de susceptibilidade ao estudo de desertificação.	38
Figura 9. Mapa das Unidades de Conservação de Proteção Integral e Uso Sustentável do Estado do Rio de Janeiro classificado segundo os graus de susceptibilidade ao estudo de desertificação.	39
Figura 10. Mapa da declividade (%) do Estado do Rio de Janeiro classificado segundo os graus de susceptibilidade ao estudo de desertificação.	40
Figura 11. Mapa com Uso do Solo do Estado do Rio de Janeiro classificado segundo os graus de susceptibilidade ao estudo de desertificação.	41
Figura 12. Índice de Qualidade Física do Solo para o Estado do Rio de Janeiro.....	42
Figura 13. Área em porcentagem do Índice de Qualidade Física do Solo para cada Região de Governo do Estado do Rio de Janeiro.....	43
Figura 14. Índice de Qualidade de Manejo do Solo (MQI) para o Estado do Rio de Janeiro..	44
Figura 15. Área em porcentagem do Índice de Qualidade de Manejo do Solo (MQI) para o Estado do Rio de Janeiro.....	45
Figura 16. Índice de Qualidade Climática – CQI para o Estado do Rio de Janeiro.	46
Figura 17. Área em porcentagem do Índice de Qualidade Climática – CQI para cada região do Estado do Rio de Janeiro.	47
Figura 18. Mapa do Índice de Qualidade de Ambientes Sensíveis para o Estado do Rio de Janeiro. Fonte:	48
Figura 19. Área em porcentagem do Índice de Qualidade de Ambientes Sensíveis para o Estado do Rio de Janeiro.....	49
Figura 20. Municípios e as classes de susceptibilidade em porcentagem do Índice de Qualidade de Ambientes Sensíveis para o Estado do Rio de Janeiro.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classes de geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro e os respectivos pesos de susceptibilidade a desertificação.....	28
Tabela 2. Classes de solos do Estado do Rio de Janeiro e os respectivos pesos de susceptibilidade a desertificação.....	28
Tabela 3. Classes de declividade (%) para o Estado do Rio de Janeiro e os respectivos pesos de susceptibilidade a desertificação.....	28
Tabela 4. Classes de Uso do Solo do Estado do Rio de Janeiro e os respectivos pesos de susceptibilidade a desertificação.....	29
Tabela 5. Classes de Uso do Solo do Estado do Rio de Janeiro e os respectivos pesos de susceptibilidade a desertificação.....	30
Tabela 6. Pesos do parâmetro de precipitação anual, para reclassificação (C1).	33
Tabela 7. Pesos do parâmetro de índice de aridez, para reclassificação (C2).....	33
Tabela 8. Pesos do parâmetro de para orientação do relevo, para reclassificação (C3).	33
Tabela 9. Área (km ²) do Índice de Qualidade Física do solo para cada Região de Governo. .	43
Tabela 10. Área (km ²) do Índice de Qualidade de Manejo do Solo (MQI) para cada região do Estado do Rio de Janeiro.	45
Tabela 11. Área em km ² do Índice de Qualidade Climática – CQI para cada região do Estado do Rio de Janeiro.	47
Tabela 12. Área (km ²) do Índice de Qualidade de Ambientes Sensíveis para cada região do Estado do Rio de Janeiro.....	51

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 Desertificação	14
2.2 Desertificação à nível mundial.....	16
3. MATERIAIS E MÉTODOS	24
3.1 Área de Estudo	24
3.2 Indicadores Utilizados para Susceptibilidade a Desertificação	27
3.2.1 Índice Físico de Qualidade do Solo (PLQI).....	27
3.2.2 Índice de Manejo do Solo (MQI)	29
3.2.3 Índice de Qualidade do Clima (CQI).....	29
3.3 Índice de Áreas Ambientais Sensíveis (ESAI)	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1 Indicadores utilizados para obtenção de cada Índice	30
4.1.1 Índice de Qualidade Física do Solo (PLQI).....	33
4.1.2 Índice de Manejo do Solo (MQI)	36
4.1.3 Índice de Qualidade do Clima – CQI	41
4.1.4 ESAI – Índice de Qualidade de Ambientes Sensíveis.....	45
5. CONCLUSÃO	53
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

1 INTRODUÇÃO

A desertificação é um problema global, que afeta de forma considerável a busca pelo desenvolvimento sustentável em várias regiões do planeta. As áreas de risco associadas ao fenômeno representam em torno de um terço da superfície continental da Terra e aproximadamente 70 % das regiões com climas subúmido seco, semiárido e árido (PETTA et al., 2013; UNCCD, 2014). A desertificação suprime as necessidades básicas para a sobrevivência humana, subsistência local e o desenvolvimento socioeconômico (FERNANDINO; ELLIFF; SILVA, 2018).

O fenômeno da desertificação se caracteriza pela intensa degradação da Terra, em regiões com clima árido, semiárido e subúmido seco, como resultado de diversos fatores que incluem variações climáticas, características do relevo, geomorfologia, tipo de solo e atividades humanas (TOMASELLA et al., 2018). Ele implica em alterações no clima regional (temperatura do ar, regime de chuvas e evapotranspiração), em características da superfície (albedo e rugosidade), na concentração de gases atmosféricos (dióxido de carbono – CO₂) e nos ciclos biogeofísicos e biogeoquímicos (WANG; YAN, 2017). Também está associado a diminuição da biodiversidade e menor disponibilidade hídrica (MOHAMEDA et al., 2018).

Os efeitos da desertificação resultam em graves consequências socioeconômicas e ambientais, principalmente para as populações de baixa renda, além de alarmar toda a sociedade para os desafios as novas adaptações ao ambiente (BERCHIN et al., 2017). Seus efeitos podem ser agravados devido à variabilidade (intemperismo) e, ou mudanças climáticas relacionadas as atividades antrópicas ou naturais, ao inadequado uso e manejo do solo, substituição da cobertura vegetal nativa, características do relevo e outros processos, como por exemplo, o crescimento populacional, expansão dos núcleos urbanos, industriais e avanço da fronteira agrícola assim como a intensificação de incêndios e, ou queimadas (ZHU; LIU, 2015).

Existem na literatura, diversas metodologias para determinar o risco ao fenômeno de desertificação (VIEIRA et al., 2015; AFIFI; DARWISH; YOUSSEF, 2014; BAI; SCOTT; MIN, 2014; MARIANO et al., 2018; PACHECO et al., 2018). WANG e YAN (2017) utilizaram-se modelo de atmosfera de equilíbrio de umidade e energia em 2-D, o Model-2 (MPM-2), para analisar os efeitos biogeofísicos da desertificação no Hemisfério Sul. Garcia et al. (2018), com intuito de avaliar o grau da desertificação em diferentes sistemas de uso da Terra (LUS - *Land Use System*), utilizaram a metodologia da Iniciativa Visão Geral de Abordagens e Tecnologias de Conservação (LADA-WOCAT), obtidas por metodologia de mapeamento participativo e Sensoriamento Remoto.

Prăvălie *et al.* (2017) para análise dos principais indicadores da degradação da Terra tais como: Índice de Qualidade do Clima, Índice de Qualidade do Solo, Índice de Qualidade da Vegetação e Índice de Qualidade da Gestão no sudoeste da Romênia, fizeram uso do método MEDALUS (*Mediterranean Desertification and Land Use*) desenvolvido por Kosmas *et al.* (1999), para um estudo da desertificação na região mediterrânea decorrente do uso da Terra. Esse método é amplamente utilizado não só no ambiente mediterrâneo, mas também em outras áreas em todo o mundo por sua flexibilidade na escolha das variáveis.

Vieira *et al.* (2015) para identificar áreas suscetíveis a desertificação na região nordeste do Brasil e as regiões norte do Estado de Minas Gerais e Espírito Santo, adaptaram um método baseado em matriz de ponderação (avaliação multicritério) para determinar 11 tipos de índices. Vieira *et al.* (2015), basearam-se no método MEDALUS e na metodologia de Crepani *et al.* (1996), pois consideraram um conjunto de fatores ecodinâmicos e a relação entre morfogênese e pedogênese do solo. Sobrepondo as metodologias de Crepani (1996) e a MEDALUS,

propuseram um único índice de áreas ambientais sensíveis à degradação da Terra, baseado nos aspectos sociais e ambientais.

Esses métodos normalmente são aplicados com o auxílio das geotecnologias e essas têm influenciado de maneira satisfatória nas pesquisas científicas. Destacam-se entre as geotecnologias o Sensoriamento Remoto (SR) e o Sistema de Informações Geográficas (SIG) como ferramentas para detectar, monitorar e mapear áreas afetadas por degradação ambiental. Por meio da análise dos dados espaciais, obtém-se de forma rápida, confiável e frequente informações de alvos terrestres (SHEN *et al.*, 2018).

Dessa forma, o SR e o SIG são eficazes para identificação dos processos de desertificação a nível regional e global, que incluem alterações nos padrões de reflectância da vegetação natural e dos demais usos da Terra. Os produtos dos satélites ambientais, com diferentes resoluções espacial, temporal e espectral fornecem uma gama de informações importantes sobre as mudanças e alterações no ambiente em qualquer região do planeta. (ALBALAWI *et al.*, 2013).

O Estado do Rio de Janeiro, situado na região sudeste do país, apresenta áreas com alto grau de degradação, locais de clima seco (tropical seco), concentração de focos de calor (CAÚLA *et al.*, 2016), baixa nebulosidade, baixos índices de precipitação (BRITO *et al.*, 2018; LYRA *et al.*, 2018), evapotranspiração elevada (SANTOS *et al.*, 2016), alta tendência à salinização e a ocorrência de secas (SOBRAL *et al.*, 2019), com ocorrência de vegetação xerófila decidual, típica de climas semiáridos, nas regiões da Baixada Litorânea e norte fluminense (CORRÊA *et al.*, 2011).

Assim o objetivo do presente estudo, foi identificar áreas de risco à desertificação no Estado do Rio de Janeiro com base nos indicadores físicos (clima, solo, uso e ocupação da terra, vegetação, presença de Unidades de Conservação – UC, características do relevo e geomorfologia) e na determinação de um índice de áreas ambientais sensíveis (ESAI).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Desertificação

O tema desertificação é levantado pela comunidade científica como um dos mais preocupantes problemas em escala mundial, desde o século passado. Afeta cerca de dois terços dos países do mundo, tem implicações nos setores econômico, social e ambiental, além de diminuir a qualidade de vida humana (WANG; YAN, 2017). Existem no planeta, pelo menos 1/3 de superfícies áridas, que abrigam mais de 1 (um) bilhão de pessoas, correspondendo a 22 % da produção mundial de alimentos (UNCCD, 2014).

O termo desertificação foi utilizado pela primeira vez em 1949 por Aubreville (1949), com o significado de mudança da Terra produtiva em deserto, com acentuadas mudanças no albedo, transpiração e rugosidade da superfície. O encadeamento da desertificação tem influência nas emissões de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxidos de nitrogênio (N₂O) para atmosfera e altera o balanço de energia da Terra, além de poder contribuir negativamente com alterações climáticas globais (ARORA; BOER, 2010). As projeções realizadas pelo Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (IPCC, 2014), mostram que as consequências da desertificação serão ainda mais proeminentes.

No ano de 1977, em Nairóbi, no Quênia, reuniram-se mais de 500 delegados de 94 países, para a primeira Conferência das Nações Unidas sobre a Desertificação com adoção de um Plano de Ação para Combater a Desertificação (PACD). No entanto, os esforços não foram

significativos e o tema voltou a ser tratado com relevância e urgência na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (UNCED), realizada no Rio de Janeiro em 1992, conhecida como ECO-92 (PNUD, 2015).

Na ECO-92 foi estabelecido um Comitê Intergovernamental de negociação para elaboração da Convenção das Nações Unidas no combate à desertificação. A Convenção ficou pronta em 1994 em Paris e foi aberta para assinatura das partes. O tratado começou a ter validade em dezembro de 1996 (UNITED NATIONS, 1992).

Atualmente, de acordo com a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD), especialmente nos países afetados por seca grave e/ou desertificação, particularmente na África, a desertificação deve-se à degradação da Terra devido a vários fatores naturais, como as variações climáticas e, ou atividades humanas. Essa medida faz parte do Programa de Ação para o Desenvolvimento Sustentável - Agenda 21 (UNCCD; UNFCC, 2007). As diretrizes dessa ação foram aprovadas em junho de 1994 e ratificada por Portugal em abril de 1996, também foi aprovada pela União Europeia por meio do Conselho n.º98/216/CE em março de 1998. O documento produzido faz um direcionamento para que os países desenvolvidos (partes assinantes) destinem recursos financeiros e a transferência de tecnologia e inovações para os países afetados ainda em desenvolvimento, esclarecendo que a África deve ser o principal destinatário (ROXO, 2006).

Em 1999, foi incluído em Portugal o anexo 4, que contém os principais fatores e fenômenos contribuintes aos processos de desertificação, principalmente no norte Mediterrâneo. Os pontos levantados e discutidos foram: condições climáticas semiáridas, solos pobres, relevo acidentado, grandes perdas na cobertura vegetal, crise do modelo de agricultura convencional, escassez e exploração desordenada dos recursos hídricos e concentração de atividades econômicas no litoral (UNCCD, 2011).

A partir do levantamento das causas e efeitos, foram sugeridos aos países que trabalhassem nos eixos de promoção de: conservação do solo e da água, ordenamento e gestão dos recursos naturais, monitorização e controle do abandono do território, áreas de conservação, restauração ecológica, educação e sensibilização, políticas de planejamento do território, cooperação política, técnica e científica, assim como informação, dados e indicadores. O conhecimento dessas medidas é importante para subsidiar ações em qualquer outro lugar com condições susceptíveis à desertificação. Pois as ações implantadas com sucesso podem ser replicadas de acordo com a realidade regional local (VIOLA, 2002).

Em 2007, foi adotado pela Convenção (UNCCD) o plano estratégico de 10 anos (2008-2018). O plano estratégico teve como objetivos a formação de uma aliança global para reversão e prevenção da desertificação e degradação da Terra e, que busca mitigar os efeitos da seca. Os grupos de programas foram definidos para África, Ásia, América Latina e Caribe, norte do Mediterrâneo e na Europa Central e Oriental com a participação de 194 países signatários (UNCCD; UNFCC, 2007).

O processo de desertificação pode ser intensificado por meio de vários fatores agravantes da degradação da Terra e, podem ser citados como exemplo os diversos tipos de erosão (eólica, hídrica, geológica, gravidade, voçoroca, entre outras). A ação antrópica, quando mal planejada, também contribui para a degradação da Terra, principalmente as atividades relacionadas à alteração do uso do solo, mudanças na paisagem e poluição (UNCCD, 2014).

As consequências da desertificação são relatadas na comunidade científica, como os processos de imigração, pobreza, escassez hídrica, conflitos ambientais por terra, baixa produção de alimentos e a perda da biodiversidade. As consequências também são evidentes na saúde humana, como por exemplo, presença acentuada de cargas de sal no solo e outras partículas maléficas à saúde, tais como as relacionadas: doenças respiratórias, cardíacas, silicose, conjuntivite, entre outras (GOUDIE, 2014).

O governo brasileiro entende que ter coadjuvação internacional é um meio auxiliar para combater os processos de desertificação, assim como para consolidação de práticas de desenvolvimento mais condizentes com a sustentabilidade. O Brasil tem interesse e aderência ao tema devido às extensas áreas semiáridas e subúmidas secas o, que reforça a necessidade para o desenvolvimento aliado com a conservação e manejo adequados aos recursos naturais e para erradicação da pobreza (VIOLA, 2002).

No nordeste do Brasil, onde estão localizadas as maiores áreas semiáridas e subúmidas secas do país, estima-se que aproximadamente 20 % das áreas semiáridas da região estão em constantes processos de desertificação. De acordo com Vieira (2015), a desertificação no Nordeste é resultado de cinco séculos de exploração e ocupação desordenada, juntamente com o manejo inadequado da terra, agricultura extensiva e queima de madeira para combustível.

Segundo o Pan-Brasil, lançado em 2004 pela antiga secretária de Recursos Hídricos do Ministério de Meio Ambiente, as áreas potenciais à desertificação representam 1.338.076 de km² (15,72 % do território brasileiro), com uma população de aproximadamente 31,6 milhões de pessoas (18,65 % da população do país).

Tomasella et al. (2018) realizaram um estudo sobre a região semiárida do Brasil, nos anos de 2000 até 2016, e observaram tendência positiva na expansão de Terras degradadas com mais proeminência nos anos de 2003 até 2012. Os autores utilizaram várias modalidades para classificar o grau de degradação da Terra e, notaram, que a seca que aflige a região nordeste está sendo crítica para expandir as áreas de grau moderado a desertificação. Souza e Oyama (2011) avaliaram os impactos da desertificação na área semiárida do nordeste do Brasil com o modelo MM5, que é um modelo meteorológico de mesoescala para a estação chuvosa, baseado em níveis de desertificação observaram que o nível total levou a redução significativa da chuva na maior parte da região semiárida do país.

Em setembro de 2017, em Ordos na China, ocorreu mais um marco internacional importante, a 13^a Conferência das Partes (COP-13) da UNCCD, com a confecção cinco objetivos e que trata sobre os impactos das ações humana nos processos de desertificação, degradação da Terra e a seca, assim como a importância do manejo sustentável das Terras (SAFRIEL, 2017). Em conjunto com Índia e Libéria, o Brasil sinalizou a participação no projeto contra a degradação neutra da Terra que, contabilizaram um total 113 países assinantes do projeto.

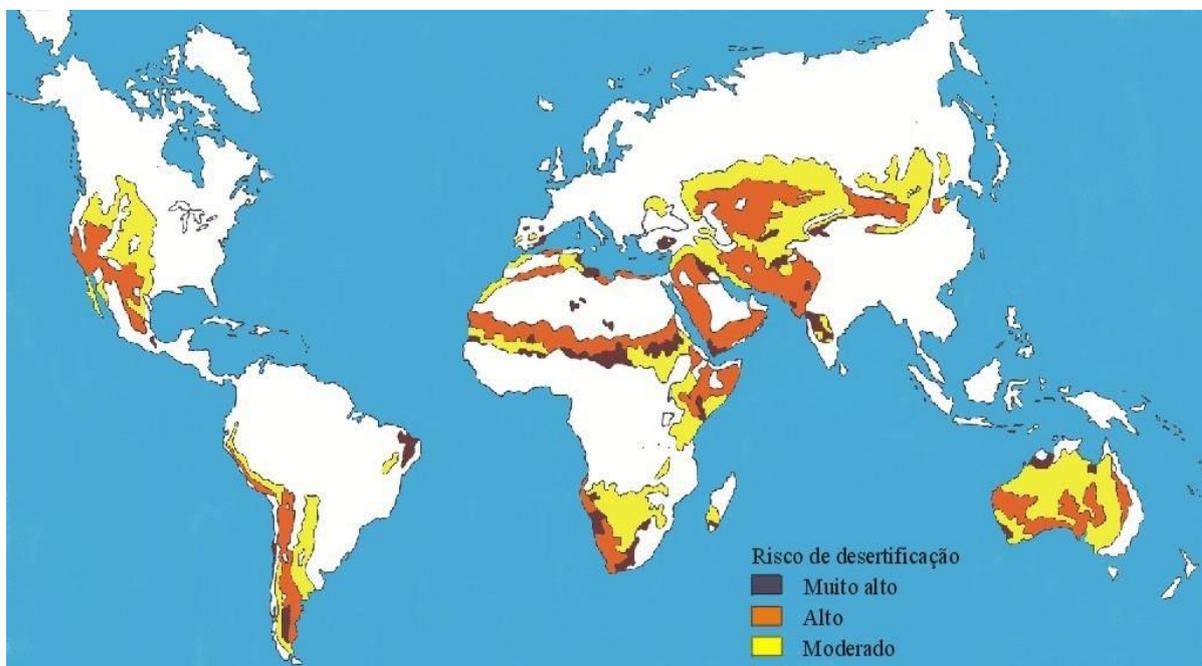
2.2 Desertificação a Nível Mundial

A forte seca que atingiu a região de Sahel, situada na África subsaariana, entre os anos 1968 a 1974, intensificou a pobreza, a fome, a destruição dos recursos naturais e aumentou de sobremaneira os movimentos migratórios no continente africano. Esse quadro de degradação chamou a atenção mundial e motivou a ONU, por meio do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – PNUMA, a criar a primeira Conferência das Nações Unidas de Combate a Desertificação - UNCCD, no ano de 1977 em Nairóbi, que gerou o Plano Mundial de Ação contra a Desertificação (PANBRASIL, 2005).

Surgiu a primeira delimitação oficial do que seria desertificação, definida como sendo a deterioração do potencial biológico da Terra e que poderia conduzi-la a condições similares a de um deserto, e desde então foram atualizados e monitorados os riscos ao fenômeno de desertificação a nível mundial e elaborado mapas com os graus de degradação. Na Figura 1 representa as áreas em risco de desertificação mundial, de forma a demonstrar a distribuição espacial desse tipo de degradação. Os efeitos da desertificação foram expostos na participação de 95 países que, incluíram o Brasil, por meio de pesquisas coordenadas por João Vasconcelos Sobrinho (1977). João Sobrinho apresentou um relatório nacional nessa conferência (UNCCD), que mostrava a realidade brasileira com relação ao fenômeno. Até aquele momento, a

desertificação só havia sido apresentada como preocupante no continente africano (PANBRASIL, 2005). Conforme a Conferência sobre desertificação das Nações Unidas, 1977, o Brasil já aparecia com áreas de risco e grau elevado em algumas regiões do nordeste do país.

Figura 1: Localização das áreas de risco à desertificação no planeta



Fonte: UNCCD, 1977.

2.3 Métodos de Análise da Desertificação

Existem na literatura inúmeros métodos, citados anteriormente e outros para a análise e quantificação dos processos de desertificação, dentre os mais utilizados destaca-se o MEDALUS. Trata-se de um método simples e flexível desenvolvido para o ambiente do mediterrâneo europeu, sendo baseado no ESAI (Índice de Áreas Ambientais Sensíveis), que avalia os níveis de degradação da Terra, e pode ser adaptado e aplicado em outras regiões do mundo (PARVARI et al., 2011). O método MEDALUS identifica áreas potencialmente afetadas pela degradação da Terra e desertificação por meio dos indicadores, seja por fatores naturais ou antrópicos (VIEIRA et al., 2015). O MEDALUS é baseado nas principais variáveis de caráter físico, tais como: clima, solo, vegetação e manejo da Terra e permite ser avaliado em diferentes escalas.

Symeonakis et al. (2016) utilizaram o método de MEDALUS com a ampliação de outros índices proposto por Desertlinks (2004) para o monitoramento contínuo de áreas ambientalmente sensíveis na Ilha de Lesbos (Grécia). Os autores conseguiram calcular 25 indicadores estruturados em cinco índices de qualidade ambiental: clima, vegetação, solo, água subterrânea e características socioeconômicas. Os indicadores escolhidos foram de acordo com a disponibilidade de dados, relação com os processos de degradação do solo e capacidade de manter esse mesmo dado atualizado.

De acordo com Symeonakis et al. (2016), o índice do método MEDALUS, o ESAI, fornece o mesmo peso para diferentes indicadores para obter-se o índice final. Isso significa que não importa o número de camadas que foi utilizado para obter cada indicador, pois no cálculo global os pesos dos indicadores intermediários são de igual relevância para o ESAI. Por um lado, o método se destaca pela diversidade das variáveis que podem ser utilizadas, no

entanto, para precisar o grau de cada impacto, deve-se acoplar metodologias à parte no estudo para melhor detalhamento do risco.

Muitos autores utilizam mais de um método ou adapta metodologias diversas. Vieira et al. (2015), em um estudo sobre desertificação no nordeste do Brasil, adaptou a metodologia de MEDALUS e a de Crepani *et al.* (1996). A metodologia de Crepani *et al.* (1996) relaciona a morfogênese e a pedogênese para identificar áreas favoráveis a erosão do solo. Ambos os métodos juntos integram o ambiente físico com as atividades antrópicas, no entanto, em relação as interferências antrópicas o limitante do método é a não utilização dos dados sócioeconômicos e do manejo como influenciador da perda de solo.

A principal justificativa de Vieira *et al.* (2015) para abordar diferentes metodologias é a combinação dos índices físicos, ambientais, econômicos e sociais que geram resultados mais robustos para diagnósticos e prognósticos da desertificação na área de estudos. O presente trabalho é baseado na metodologia de Vieira et al. (2015) e Symeonakis et al. (2016), ambos possuem em comum a utilização do método MEDALUS para obtenção do ESAI, com algumas diferenças na quantidade dos indicadores e quais indicadores adotaram para obter os resultados.

2.3.1 Técnicas de geoprocessamento utilizados para monitoramento da desertificação

O SIG (Sistema de Informação Geográfica) é um sistema com base em softwares confeccionados para armazenar, manipular, analisar dados geográficos. Atualmente existem uma gama de SIG com baixo custo de aquisição, gratuitos, interfaces amigáveis e com armazenamento de informações (bancos de dados). Os elementos básicos de um SIG são: equipe capacitada, software, hardware, métodos e dados. Uma das principais vantagens dos SIG para área ambiental são as análises espaciais e temporais, ou seja, a informação cobrindo toda região de estudo (técnicas de interpolação) em diversos períodos ao longo dos anos (série temporal). As informações ainda podem ser trabalhadas de forma discretas (pontuais, lineares ou área) ou com superfícies contínuas (matricial) (ABDELRAHMAN et al., 2016).

O SIG destaca-se como poderosa ferramenta, por ser flexível para trabalhar com vários tipos e conjuntos de dados compatíveis com o sensoriamento remoto, a geoestatística, as modelagens, a topografia entre outras áreas. As ferramentas de SIG como sensoriamento remoto, por exemplo, são muito utilizadas para estudos, análises e monitoramento de degradação da Terra, por meio visual de vários mapas temáticos (AFIFI; DARWISH; YOUSSEF, 2014).

De acordo com Mohameda et al. (2018), o SIG apoia a confecção de modelos para degradação da Terra pela facilidade em armazenar dados, modelagem e apresentação dos dados em *layout* de fácil interpretação. Os autores também destacam a utilização conjunta do SIG com GPS para navegação e controle de dados de degradação ambiental. Outra ferramenta de suma importância na visão dos autores (MOHAMEDA et al., 2018), é o sensoriamento remoto por apresentar forma única de avaliação da degradação da Terra, devido as inúmeras escalas espaciais nacionais, continentais ou globais.

Modelos Digitais de Elevação (MDE) – É um produto do (SR) que representa uma ferramenta eficaz para o conhecimento do relevo da superfície terrestre e permite a derivação de informações sobre a declividade, exposição solar e mapeamento da rede de drenagem de áreas extensas. Por meio desse processo torna-se mais fácil a identificação de áreas favoráveis para a agricultura (culturas, variedades, possibilidade de mecanização, necessidade de irrigação, estimativa de determinados custos), além de indicação de áreas para conservação do solo e da diversidade biológica, modelagem hidrológica, ortorretificação de imagens de satélite, avaliação de riscos de desmoronamentos, degradações da Terra e outros (LANDAU E GUIMARÃES, 2011).

Os Modelos Digitais de Elevação ASTER (NASA - *National Aeronautics and Space Administration*) e SRTM (USGS - *United States Geological Survey*) são exemplos de produtos obtidos por meio de diferentes técnicas de sensoriamento remoto, em escala compatível para aplicação no planejamento do uso do espaço agrícola, gestão ambiental, manejo de bacias hidrográficas, zoneamentos ecológicos, programas de conservação de florestas e de solo, entre outros (LANDAU e GUIMARÃES, 2011).

O ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), a bordo do satélite Terra, representa um sensor capaz de adquirir pares estereoscópicos para quase todo o globo terrestre (entre as latitudes 83° S e 83° N). Para tal, o sistema de aquisições de imagens no espectro visível (VIS) e infravermelho próximo (IVP) do ASTER conta com dois telescópios. Um deles, o instrumento VIS-IVP, gera imagens em nadir (vertical) ou com um ângulo lateral de até 8,55°. Cerca de 55 segundos após esse primeiro imageamento, a mesma área é imageada com outro instrumento que também opera na faixa do IVP, capaz de gerar uma imagem em retro-visada de aproximadamente 27°, em direção oposta à órbita do satélite. Essa operação possibilita a constituição de um par estereoscópico de bandas posicionadas no IVP, denominadas bandas 3N (Nadir) e 3B (*backward looking*). Dado o curtíssimo intervalo de tempo entre a aquisição das imagens que compõem o par estereoscópico, praticamente não são verificadas diferenças radiométricas, nas condições de iluminação da cena e de cobertura de nuvens, o que não é verificado em sistemas que adquirem pares estereoscópicos a partir de órbitas adjacentes. Para a América do Sul, os dados obtidos são disponibilizados na resolução espacial de 1 arco de segundo (aproximadamente 30 m), no sistema de coordenadas Lat/Long e Datum WGS84 (LANDAU e GUIMARÃES, 2011).

A missão SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) objetivou gerar um modelo digital de elevação de 80 % do Globo terrestre (entre as latitudes 54°S e 60°N), através de interferometria por meio do sensoriamento remoto operante na faixa de micro-ondas (Rabus et al., 2003). A missão foi lançada em fevereiro de 2000 pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), juntamente com a NIMA (*National Imagery and Mapping Agency*), a DLR (Agência Espacial Alemã) e a ASI (Agência Espacial Italiana). Os dados referentes à América do Sul foram disponibilizados na resolução espacial de 3 arcos de segundo (~ 90 m), no sistema de coordenadas Lat/Long e Sistema Geodésico WGS84 (LANDAU e GUIMARÃES, 2011).

Ainda segundo Landau e Guimarães (2011), o MDE SRTM apresenta maior continuidade das informações que o MDE ASTER se comparados. Em função da sua resolução, apresenta limitações de uso para áreas pequenas, sendo relativamente mais adequado para áreas extensas.

Índices de Vegetação - Existem diversidades de produtos de vários satélites com aquisição gratuita e que diferem nas resoluções espectral, temporal ou mesmo espacial. Um produto muito utilizado na literatura para estudos de degradação da Terra, é o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) (MARIANO et al., 2018). O NDVI é um que consiste em operação aritmética entre duas bandas espectrais, a banda do vermelho e a banda do infravermelho próximo), que permite apontar as áreas verdes presentes no tecido urbano, ambas as bandas são ideais para realçar a vegetação existente nas imagens. Por meio do NDVI pode-se obter o melhor retrato referente à quantidade de vegetação existente na área de estudo que permite a estimar a cobertura vegetal, detecção de mudanças de padrão de uso e cobertura da terra, assim como, a compreensão do processo de degradação do ambiente (MARTINES, 2015). Jensen (1996) descreveu para o cálculo do NDVI a seguinte equação: $NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$, em que: NDVI é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada; NIR é a refletância no comprimento de onda correspondente ao infravermelho próximo (0,76 a 0,90 μ m); R é a refletância no comprimento de onda correspondente ao Vermelho (0,63 a 0,69 μ m). A vegetação é caracterizada, assim, por uma intensa absorção devido à clorofila na região do vermelho (0,63

– 0,69 μm) e por uma intensa energia refletida na região do infravermelho próximo (0,76 – 0,90 μm) causada pela estrutura celular das folhas.

O EVI (Índice de Realce da Vegetação – *Enhanced Vegetation Index*) é um índice de vegetação desenvolvido por Huete et al. (2002), como produto do sensor MODIS. Ele é uma variação do NDVI, sendo aprimorado em relação à redução de influências atmosféricas e do solo. Seu valor vai de 0 a 1, sendo os valores mais próximos de 1 indicativo de maior acúmulo de biomassa. Assim como o NDVI, o EVI reflete os parâmetros biofísicos da vegetação. É importante notar que o NDVI é mais sensível à presença de clorofila e outros pigmentos responsáveis pela absorção de luz na banda do vermelho, enquanto o EVI é mais sensível a variações na estrutura do dossel (HUETE et al., 2002).

Para Pacheco et al. (2018), desde 1980 os produtos de sensoriamento remoto têm sido úteis para estudos sobre degradação da Terra/desertificação e destacam-se o NDVI como indicador de alta confiança para avaliar as condições de cobertura da Terra e sua variabilidade sazonal e/ou anual.

Wunder e Bodle (2019), em um estudo, desafia como a Alemanha alcançará a neutralidade da degradação da Terra para cumprir com os objetivos de desenvolvimento sustentável da ONU de 2015, que estabelecem metas até 2030. Apontaram a mudança do uso da Terra como assunto chave do processo de degradação e o mesmo servirá para estudo. De acordo com os autores, a definição da escala espacial, condições geográficas, mapeamento do atual uso do solo e as coletas e análises de dados são pontapés iniciais para equilibrar a degradação da Terra, restauração e regeneração da cobertura vegetal para atingir-se um ponto neutro. Os autores também propõem um tipo de zoneamento para determinar a aptidão das unidades de estado. Neste sentido as ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto dão subsídio para o desenvolvimento de mapas, análises e consequentemente facilitará a tomada de decisão do órgão gestor.

Os mapas temáticos são construídos com ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, pode-se citar: mapa de chuva, temperatura do ar, umidade, déficit hídrico, índices de vegetação, modelo digital de elevação, mapa de uso do solo, focos de calor, solos, geologia e muitos outros, que associadamente produzem resultados mais confiáveis para avaliar o nível de degradação da Terra (GAREDEW *et al.*, 2009; MEKONNEN *et al.*, 2018).

2.4 Conceitos para Diferentes Tipos de Degradação

Segundo Cunha (2014), existem conceituações distintas nas expressões usadas para diferentes problemas e ocorrências que permeiam as ciências, as que mais se destacam são:

Probabilidade (eventualidade) - Incidência temporal de um processo perigoso. Representa a propensão para uma área ser afetada por um processo perigoso, num tempo determinado, ou seja, contemplando o período de retorno do fenômeno ou a sua probabilidade de ocorrência.

Susceptibilidade – Incidência espacial de um processo perigoso. Representa a propensão para uma área ser afetada por um processo perigoso, em tempo indeterminado, sendo avaliada por meio dos fatores de predisposição para a ocorrência de processos ou ações, não contemplando o seu período de retorno ou a probabilidade de ocorrência.

Conceitos de Exposição – População, propriedades, infraestruturas, e atividades econômicas potencialmente afetáveis por um processo perigoso.

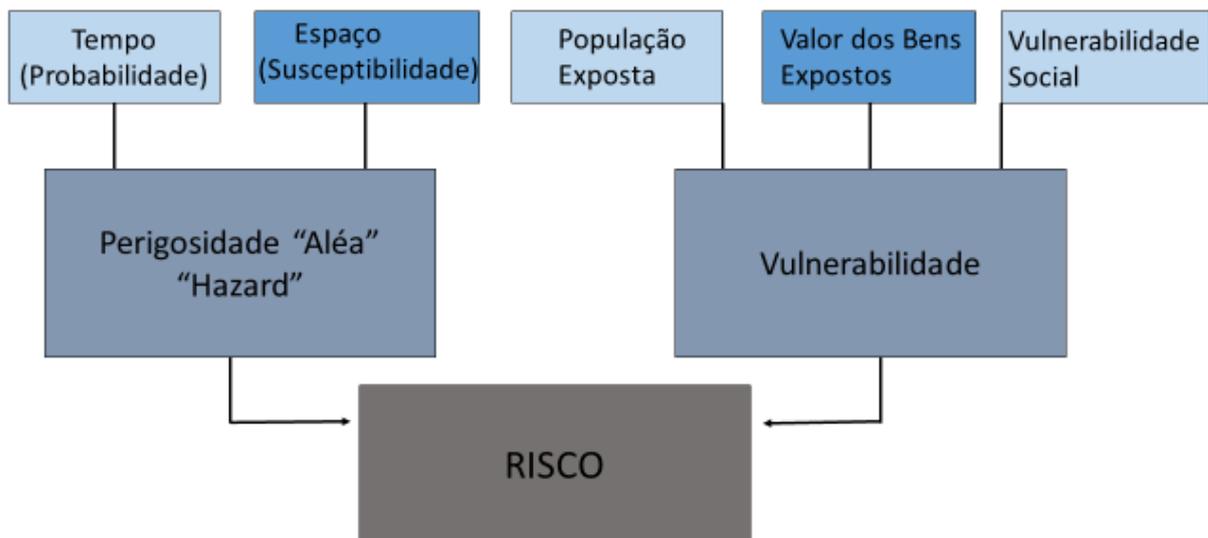
Vulnerabilidade – Grau de perda do conjunto de elementos expostos em resultado da ocorrência de um processo perigoso.

Risco – Probabilidade de ocorrência de um processo (ou ação) perigoso e estimativa das suas consequências sobre pessoas, bens ou ambiente, expressas em danos corporais e/ou em prejuízos materiais e funcionais, diretos ou indiretos.

Os tipos de riscos:

- Riscos naturais;
- Riscos climáticos;
- Riscos Hidrológicos;
- Riscos Geodinâmica interna;
- Riscos Geodinâmica externa;
- Riscos tecnológicos;
- Riscos transportes;
- Riscos de vias de comunicação e infraestruturas;
- Riscos de atividades industrial e comercial;
- Riscos mistos;
- Riscos à atmosfera (incêndios florestais);
- Riscos à água (poluição e degradação de aquíferos);
- Riscos ao solo (poluição e degradação dos solos);
- Riscos naturais;
- Riscos climáticos diretos (ondas de calor e frio – secas, nevoeiros, nevões e formações de gelo);
- Riscos hidrológicos – inundações progressivas, inundações rápidas, inundações rápidas urbanas, galgamentos costeiros, tsunamis;
- Riscos ligados à geodinâmica interna – sismos, atividades vulcânicas, radioatividade natural;
- Riscos ligados à geodinâmica externa – movimentos em massa, erosão hídrica, erosão costeira, colapsos cársticos.

Figura 2: Organograma das situações que levam ao risco as degradações da Terra



Fonte: Adaptação, Cunha (2014). Elaborado: própria autora.

2.5 Política Nacional de Combate e Mitigação à Desertificação

O principal propósito da nova Lei 13.153/15 é estabelecer mecanismos de combate à desertificação e de mitigação dos efeitos da seca, introduzindo conceitos que provavelmente serão invocados para responsabilização por danos ambientais.

Esta é a definição de desertificação na nova Lei brasileira n. 13.153, que entrou em vigor em dia 31 de julho de 2015 estabelece a nova Política Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (art. 2º, inciso I): “Desertificação é a degradação da terra, nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultantes de vários fatores e vetores, incluindo as variações climáticas e as atividades humanas” (PAN-Brasil, 2015).

A nova Lei brasileira n. 13.153 diferencia “fatores” de “vetores” da desertificação. Então, de acordo com esta lei:

- **Fatores de desertificação:** São as condições naturais originais que tornam os ambientes mais frágeis susceptíveis a diversos processos de degradação (art. 2º, inciso II);
- **Vetores de desertificação:** São forças que atuam sobre o ambiente e a sociedade, incluindo interferências humanas diretas e desastres naturais cuja ocorrência seja agravada pela ação antrópica (art. 3º, III).

Assim, muito embora o principal propósito da nova Lei 13.153 seja estabelecer mecanismos de combate à desertificação e de mitigação dos efeitos da seca no Brasil, esta lei introduz conceitos, especialmente este de “vetores de desertificação”, que serão provavelmente invocados para responsabilização de indivíduos, empresas e outros por danos ambientais relacionados à desertificação. Não apenas por causa da Lei nº 13.153, mas também em razão de algumas outras leis já adotadas nas esferas municipal, estadual e federal para garantir o desenvolvimento sustentável.

Por exemplo, a Lei Federal nº 10.228, de maio de 2001, acrescentou o artigo 21-A à Lei nº 8.171/1991, que, por sua vez, dispõe sobre a política agrícola, a fim de estabelecer procedimentos relativos ao cadastramento e à recuperação de áreas desertificadas, com seguinte redação:

“Art. 21-A. O Poder Público procederá à identificação, em todo o território nacional, das áreas desertificadas, as quais somente poderão ser exploradas mediante a adoção de um adequado plano de manejo, com o emprego de tecnologias capazes de interromper o processo de desertificação e de promover a recuperação dessas áreas.

§ 1º O Poder Público estabelecerá cadastros das áreas sujeitas a processos de desertificação, em âmbito estadual ou municipal.

§ 2º O Poder Público, por intermédio dos órgãos competentes, promoverá a pesquisa, a geração e a difusão de tecnologias capazes de suprir as condições expressas neste artigo”.

O dispositivo determinou que as autoridades públicas identifiquem terras em processos de desertificação em todo o território nacional, com cadastramento e exploração submetida à adoção de adequado plano de manejo, com o emprego de tecnologias capazes de:

- I - Interromper o processo de desertificação;
- II - Promover a recuperação dessas áreas.

A UNCCD também havia incluído as “atividades humanas” no conceito de desertificação. Essa Convenção da ONU foi ratificada pelo Congresso Nacional pelo Decreto Legislativo nº. 28, de junho de 1997 e recebeu promulgação pelo Decreto Presidencial nº. 2.741, de agosto de 1998. No parágrafo terceiro do art. 225, a Constituição Federal determina:

“As condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores (pessoas físicas ou jurídicas), a sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar os danos gerados”.

Os Editoriais ambientais (*Environmental Compliance*) são cruciais para bons resultados, notavelmente nas atividades agrícolas e em obras de significativo impacto ambiental que estejam em desenvolvimento ou venham a desenvolver-se no Brasil em **Áreas Suscetíveis à Desertificação**. E é relevante realçar que o conceito legal de “Áreas Suscetíveis à Desertificação” inclui não só os territórios vulneráveis à desertificação, mas também seu entorno (Lei n. 13.153/15, art. 2º, inciso VIII).

Na Cúpula da ONU de 1992 (Eco-92, no Rio de Janeiro), a desertificação foi mencionada como um dos maiores desafios ao desenvolvimento sustentável, juntamente com **mudanças climáticas** e **perda de biodiversidade**. Porque a desertificação é um problema socioeconômico, que afeta a todos os níveis sociais, principalmente a parcela mais pobre da população, já que está relacionada à diminuição da produtividade da terra.

A nova lei brasileira nº.13.153/15 diz também sobre mitigação dos efeitos da seca, assim, no seu artigo terceiro constam os objetivos da Política Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca, estabelecidos para:

- Prevenir e combater a desertificação e recuperar as áreas em processo de degradação da terra em todo o território nacional;
- Prevenir, adaptar e mitigar os efeitos da seca em todo o território nacional;
- Instituir mecanismos de proteção, preservação, conservação e recuperação dos recursos naturais;
- Integrar socioambiental e de forma sustentável a produção e o uso dos recursos hídricos, a produção e o uso da infraestrutura de captação, de armazenamento e de condução hídrica com as ações de prevenção, adaptação e de combate à desertificação e à degradação da terra;
- Estimular as pesquisas científicas e as tecnológicas;
- Promover mecanismos de fomento para pesquisas e a ampliação do conhecimento sobre o processo de desertificação e a ocorrência de secas no Brasil, assim como sobre a recuperação de áreas degradadas;
- Promover a segurança ambiental, alimentar, hídrica e energética nas áreas susceptíveis à desertificação;
- Promover a educação socioambiental dos atores sociais envolvidos na temática do combate à desertificação;
- Coordenar e promover ações interinstitucionais com a parceria das organizações da sociedade civil no âmbito temático;
- Fomentar a sustentabilidade ambiental da produção, incluindo ecoagricultura, silvicultura e sistemas agroflorestais, com a diversificação e o beneficiamento da produção na origem;
- Melhorar as condições de vida das populações afetadas pelos processos de desertificação e pela ocorrência de secas;
- Apoiar e fomentar o desenvolvimento socioambiental sustentável nas áreas susceptíveis à desertificação;
- Apoiar sistemas de irrigação socioambientais sustentáveis em áreas que sejam aptas para a atividade, considerando os processos de salinização, alcalinização e degradação do solo;
- Promover infraestruturas de captação, armazenagem e condução hídrica, a agricultura irrigada e a prática de uso eficiente e reúso da água na modalidade agrícola e florestal nas áreas susceptíveis à desertificação.

Esta nova lei também permite que o Poder Executivo Federal estabeleça a Comissão Nacional de Combate à Desertificação – CNCD (Lei nº. 13.153/15, art. 7º a 9º). Tais como no artigo:

Art. 7º O Poder Executivo poderá criar a Comissão Nacional de Combate à Desertificação - CNCD, órgão colegiado da estrutura regimental do Ministério do Meio Ambiente, de natureza deliberativa e consultiva, tendo a finalidade de:

I - Deliberar sobre a implementação da Política Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca, em articulação com as demais políticas setoriais, programas, projetos e atividades governamentais sobre o combate à desertificação e à degradação da terra e a mitigação dos efeitos da seca;

II - Promover a articulação da Política Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca com o planejamento em âmbito nacional, regional, estadual e municipal;

III - Orientar, acompanhar e avaliar a implementação dos compromissos assumidos pelo Brasil com a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca;

IV - Deliberar sobre as propostas advindas dos comitês e grupos de trabalho criados no âmbito da CNCD;

V - Estabelecer estratégias de ações de governo para o combate à desertificação e à degradação da terra e a mitigação dos efeitos da seca, com vistas ao desenvolvimento sustentável em todo o território nacional;

VI - Promover a construção de pactos para o combate à desertificação e à degradação da terra e a mitigação dos efeitos da seca.

Art. 8º Compete à CNCD:

I - Acompanhar e avaliar a gestão do combate à desertificação, da recuperação de áreas degradadas e da mitigação dos efeitos da seca mediante a abordagem integrada dos aspectos físicos, biológicos, socioeconômicos e culturais;

II - Promover a integração das estratégias de erradicação da pobreza nos esforços de combate à desertificação e à degradação da terra e da mitigação dos efeitos da seca;

III - Propor ações estratégicas para o combate à desertificação e à degradação da terra e a mitigação dos efeitos da seca;

IV - Acompanhar e avaliar a execução do Plano de Ação Brasileiro de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca e propor providências necessárias ao cumprimento de seus objetivos, assim como apresentar propostas para o seu aperfeiçoamento;

V - Analisar propostas de alteração da legislação pertinente ao combate à desertificação, à recuperação de áreas degradadas e à mitigação dos efeitos da seca, bem como à Política Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca;

VI - Propor medidas para o cumprimento pelo poder público federal dos princípios e diretrizes para implementação da Política Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca, estimulando a descentralização da execução das ações e assegurando a participação dos setores interessados;

VII - Identificar a necessidade e propor a criação ou modificação dos instrumentos necessários à plena execução dos princípios e diretrizes da Política Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca;

VIII - Estimular a cooperação interinstitucional e internacional para a implementação dos princípios e diretrizes da Política Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca e da UNCCD no País;

IX - Elaborar e aprovar seu regimento interno.

Art. 9º A CNCD será presidida pelo Ministro de Estado do Meio Ambiente e terá sua composição e funcionamento fixados no seu regulamento."

A nova Lei nº 13.153 aplica-se nas esferas Federal, assim como nas esferas dos Estados, Municípios e Distrito Federal, com as especificidades próprias.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

O estado do Rio de Janeiro (ERJ) situa-se na região Sudeste do Brasil, entre as latitudes 20° 45' e 23° 21' S e as longitudes 45° 57' e 44° 53' W (Figura 3). O ERJ é dividido em oito regiões de governo: Noroeste fluminense, norte fluminense, Baixadas Litorâneas, Serrana, centro-sul fluminense, metropolitana, médio Vale Paraíba e Costa Verde.

A região noroeste fluminense apresenta baixo IDH (Índice de Desenvolvimento Humano), com participação somente de 1 % do PIB do Estado. A cidade de Itaperuna é o maior centro da região. A economia local é basicamente agropecuária (pecuária leiteira). A região é marcada também pela Serra da Mantiqueira, compostas por serras, rios, morros e até cachoeiras.

A região norte, também caracterizada pela pobreza e pela concentração fundiária de terras, apesar de possuir *royalties* da exploração de petróleo (bacia de Campos) e muitas indústrias do setor petrolífero (IBGE, 2012a). De forma geral, as terras são férteis, mas existem cultivos intensivos de cana para geração de etanol e um modelo de agricultura extensiva (plantio de abacaxi, coco, entre outros) (IBGE, 2015a). A paisagem é marcada por relevo plano com extensas áreas de pastagem degradada.

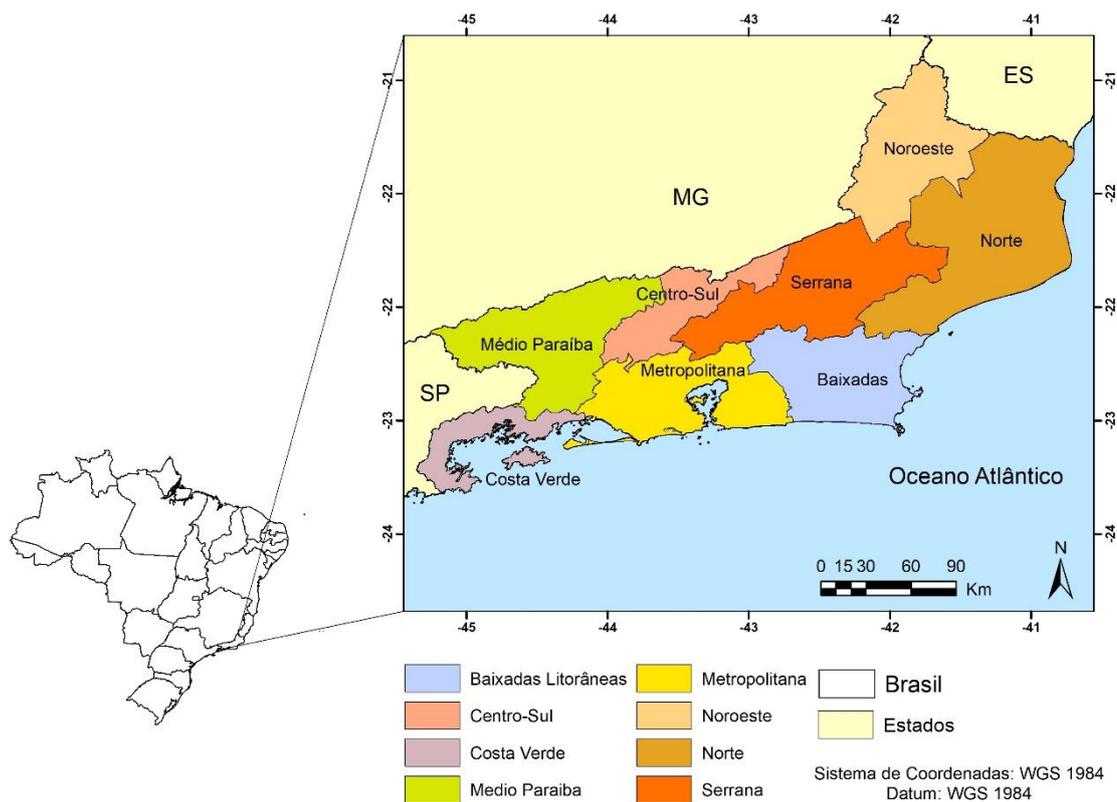


Figura 3. Mapa do Estado do Rio de Janeiro – Brasil, com as regiões de governo do Estado.

As regiões das Baixadas Litorâneas apresentam clima totalmente diferente de todo Estado, com baixos índices de chuva, ventos constantes e maior número de dias de insolação. Na região ocorre o fenômeno da ressurgência, que atrai grande número de pescadores. Os

ecossistemas de restingas e lagunas são alvos constantes de pressão antrópica (IBGE, 2012b). Como atividades econômicas destacam-se o turismo, pesca e a produção de sal (IBGE, 2015b).

A região Serrana apresenta ótimos indicadores de desenvolvimento socioeconômicos e com setores diversificados. Nos últimos anos foi alvo de vários desastres naturais, devido aos altos índices pluviométricos e a declividade do relevo. Possui grande parte das áreas agrícolas do Estado e abastece a região metropolitana com suprimentos alimentares. As principais atividades econômicas são: turismo (histórico, rural, ecoturismo, turismo cultural e comercial), indústria têxtil e a agricultura (IBGE, 2012a).

A região centro-sul fluminense é historicamente marcada pela produção cafeeira e produção de carvão com o desmatamento da mata para abrir novas áreas de plantios de café, no entanto, essas áreas apresentam-se atualmente degradadas e com constante aparecimento de voçorocas. A cidade de Três Rios é o maior centro econômico da região, tendo sua principal atividade a metalurgia. Destaca-se também como atividade econômica na região a produção de alimentos, mecânica, cerâmica e construção civil (IBGE, 2010).

A região metropolitana apresenta intensa urbanização e elevada densidade demográfica, que chega a comportar cerca de 80 % de toda população do Estado. É responsável por mais de 60 % do PIB do Estado, destacando-se como o 2º maior polo industrial do Brasil (IBGE, 2012a). Apresenta contradições socioeconômicas acentuadas, problemas ambientais e altíssimos índices de violência.

A região do Médio Vale do Paraíba também tem grande parte do seu território devastado, devido ao modelo insustentável de exploração do café. Alguns municípios ainda se destacam pela produção leiteira e agrícola, como Valença, Barra Mansa, Quatis e Resende. Como principal atividade econômica, destaca-se a indústria com grandes polos, como por exemplo a CSN (Volta Redonda), Volkswagen (Resende), Nissan e Peugeot (Porto Real), Michelin (Itatiaia) (IBGE, 2015a).

A região da Costa Verde apresenta como principal atividade econômica o turismo devido à variedade de praias e ilhas. A região possui a maior cobertura verde do estado, com inúmeras Unidades de Conservação, pesca e indústrias (IBGE, 2012b).

O clima predominante do Estado do Rio de Janeiro é o Aw (tropical úmido, com uma estação chuvosa no verão e seca no inverno), de acordo com a classificação de Köppen. Ainda ocorre no Estado os tipos de clima: Cfb, Cwb, Cwa, Cfa e Af (clima oceânico temperado, clima subtropical de altitude, clima subtropical úmido monçônico, clima subtropical úmido, clima tropical úmido, respectivamente) (ALVARES et al., 2013). O Estado do Rio de Janeiro apresenta padrões heterogêneos de distribuição espaço-temporal da precipitação pluvial em função, principalmente, da interação dos sistemas meteorológicos com o seu relevo complexo e da influência do ambiente costeiro. O clima do Estado é diversificado com forte influência local, como: maritimidade/continentalidade, relevo e altitude. E alguns fatores com maior influência regional, como por exemplo, os deslocamentos dos Sistemas Frontais (SF), a migração da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e a ocorrência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (LAING; EVANS, 2015).

A temperatura do ar e a distribuição do regime de chuvas são influenciadas diretamente por esses fatores ou sistemas meteorológicos. O Estado apresenta ampla variabilidade espacial da precipitação pluvial. No litoral sul fluminense, podem-se citar os fatores fisiográficos em resposta as variáveis explicativas para distribuição espacial das chuvas, a qual destaca-se a distância do litoral, onde aponta a frequente origem marinha das frentes frias (LYRA et al., 2017).

O relevo da região metropolitana do Rio de Janeiro é complexo, formado por maciços significativos como: Gericinó-Medanha, Pedra Branca e Tijuca. No Estado, a forma que estão dispostas às serras do Mar e da Mantiqueira, e outras áreas montanhosas com altitudes acima de 1.500 m, evidenciam o aumento considerável da precipitação na face das montanhas voltadas

para o ambiente costeiro em comparação com as mesmas condições atmosféricas nas regiões do Médio Vale do Paraíba e da Baixada Litorânea e a região norte do Estado. Os Sistemas Frontais são responsáveis por acentuadas diminuições na temperatura, processos convectivos e também provocam chuvas em toda região sudeste (LAING; EVANS, 2015).

Na maior parte do tempo, o Estado fica sob influência do ASAS, sistema esse de grande importância para o clima da América do Sul, e que influencia o clima em várias regiões do Brasil. O ASAS é um sistema migratório, no verão encontra-se sobre o oceano e no inverno sobre o continente e, pode causar destruições nos centros urbanos localizados próximos ao litoral. Na porção norte da região, a Serra do Mar, onde está situado Petrópolis, atua de modo significativo na formação de sistemas convectivos estruturados, que levam a frequentes formações de *cumulonimbus* (Cb). Os Cb's, normalmente, deslocam-se numa trajetória nortesul, passando por Duque de Caxias e outros municípios próximos, com precipitações intensas, preferencialmente em grande número de fins de tardes desde meados de primavera até meados de outono, tendo os meses de verão mais ativos para a formação desses fenômenos (LAING; EVANS, 2015).

3.1.1 Indicadores Utilizados para Susceptibilidade à Desertificação

Para o mapeamento das áreas de risco à desertificação foram considerados oito indicadores, são eles: precipitação pluvial, índice de aridez, orientações do relevo, geomorfologia, tipo de solo, declividade, manejo e uso do solo e Unidades de Conservação. Cada indicador recebeu um peso em cada subclasse das variáveis, os pesos atribuídos foram adaptados da metodologia usada por Vieira et al. (2015) e Symeonakis et al. (2016), sobretudo para o índice de qualidade do Clima – CQI, utilizou-se somente o método de MEDALUS, devido a sua capacidade em potencializar o processo de desertificação. Para caracterizar cada índice foram adotadas faixas de susceptibilidade graduadas em baixa, moderada e alta e também atribuídos pesos de acordo com as classes. Com base nesses indicadores posteriormente foram calculados os Índice Físico de Qualidade do Solo (PLQI), Índice de Manejo do Solo (MQI), Índice de Qualidade do Clima (CQI). A partir desses índices intermediários foi possível calcular e obter o resultado do Índice de Áreas Ambientais Sensíveis (ESAI). Abaixo está descrito como foram determinados os índices intermediários e o índice final (ESAI).

3.1.2 Índice Físico de Qualidade do Solo (PLQI)

Para obtenção dos resultados, os indicadores físicos utilizados foram: geomorfologia, tipo de solo e declividade. O mapa de geomorfologia foi obtido no diretório de mapas GEOINEA do Instituto Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro, os dados estão disponíveis no site: <https://inea.maps.arcgis.com>, na escala de 1:50.000. O mapa disponível no formato *shapefile* foi classificado com a ferramenta *Reclassify*, de acordo com as classes de susceptibilidade da Tabela 1.

Tabela 1. Classes de geomorfologia do estado do Rio de Janeiro e os respectivos pesos de susceptibilidade a desertificação.

Feições Geomorfológica	Pesos	Classe de Susceptibilidade
Planícies fluviais e flúvio-marinhas	1,00	
Cordões arenosos, dunas e restingas	1,00	Baixa
Colinas	1,25	
Morros	1,50	Moderada
Serras escarpadas	1,75	
Serras isoladas e locais	1,75	Alta

Fonte: Adaptação Vieira (2015).

O mapa base de solos foi obtido na base de dados de solos do Estado do Rio de Janeiro, realizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (CARVALHO FILHO et al., 2003), com escala 1:250.000. Utilizou-se a ferramenta *Reclassify* para reclassificar o mapa de solos e também atribuir os pesos de susceptibilidade para cada classe de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2. Classes de solos do ERJ com os pesos de susceptibilidade à desertificação.

Tipo de solo	Pesos	Classe de Susceptibilidade
Espodosolos		
Latossolos	1,00	Baixa
Gleissolos		
Organossolos		
Argisolos	1,33	Moderado
Chernossolos		
Planossolos		
Cambissolos	1,66	
Neossolos	2,00	Alto

Fonte: Adaptação de Vieira (2015).

O mapa base de declividade do relevo foi extraído do Modelo Digital de Elevação (MDE), do projeto *Shuttle Radar Topographic Mission* – SRTM, com resolução espacial de 90 m. Para o processamento foi utilizada a ferramenta *Slope* do ArcGis® a fim de gerar o mapa de declividade. Com a ferramenta *Reclassify*, foi possível categorizar o mapa nas classes e nos pesos de susceptibilidade de acordo com a Tabela 3 apresentada abaixo:

Tabela 3. Classes de declividade (%) para o estado do Rio de Janeiro e os respectivos pesos de susceptibilidade a desertificação.

Declividade (%)	Pesos	Classe de Susceptibilidade
0 – 6	1,00	Baixa
6 – 18	1,50	Moderada
> 18	2,00	Alta

Fonte: Adaptação de Vieira (2015).

Obtenção do Índice (PLQI):

O índice (PLQI) foi obtido com o cruzamento dos mapas dos índices intermediários de acordo com a fórmula (Eq. 1):

$$PLQI = (I_g * I_s * I_d)^{\frac{1}{3}} \quad \text{Eq. (1)}$$

em que,

PLQI: é o mapa com o índice físico do solo;

I_g: é o mapa de índice de geomorfologia;

I_s: é o mapa com o índice de solo;

I_d: é o mapa de índice de declividade.

3.1.3 Índice de Manejo do Solo (MQI)

Esse índice foi composto pelo mapa de Unidades de Conservação – UC na esfera federal e estadual, tanto para as Unidades de Conservação de Proteção Integral como as de Uso Sustentável e pelo mapa de uso e ocupação da Terra.

3.1.4 Unidades de Conservação – UC

O mapa de referência com todas as Unidades de Conservação de Proteção Integral e Uso Sustentável do estado do Rio de Janeiro nas esferas federal e estadual foram obtidos no banco de dados do GEOINEA (2016), no formato *shapefile* (shp), na escala de 1:100.000. Com o auxílio da ferramenta *Reclassify* foram realizadas as reclassificações das UC para o estado conforme apresentado na Tabela 4 abaixo:

Tabela 4. Uso do Solo (U.C) do ERJ: Pesos e classes para susceptibilidade à desertificação.

Tipo de Unidade de Conservação	Pesos	Classe de Susceptibilidade
Proteção Integral	1,0	Baixa
Uso Sustentável	1,5	Moderada
Sem Unidade de Conservação	2,0	Alta

Fonte: Adaptação de Vieira (2015).

O mapa de referência do Uso do Solo foi obtido na base de dados do GEOINEA (2016) (<https://inea.maps.arcgis.com>), a partir do monitoramento do órgão estadual. O mapa é proveniente de classificações realizadas por meio das imagens do satélite *Landsat* para o ano de 2015 com escala de 1:100.000.

Com auxílio da ferramenta *Reclassify* realizou-se também as reclassificações do uso da Terra, separando-as de acordo com o grau de susceptibilidade para desertificação, conforme apresentado na Tabela 5 abaixo:

Tabela 5. Uso do Solo do ERJ: Classes e pesos de susceptibilidade à desertificação.

Classes de Uso do Solo	Pesos	Classe de Susceptibilidade
Água		
Cordões arenosos		
Urbano	1,00	Baixo
Vegetação secundária em estágio médio / avançado		
Restinga	1,45	
Reflorestamento		
Áreas úmidas		
Comunidade relíquia	1,50	Moderado
Mangue		
Campo / pastagem		
Vegetação secundária em estágio inicial		
Agricultura	1,90	

Fonte: Adaptação de Vieira (2015).

3.1.5 Obtenção do Índice de Manejo e Uso do Solo (MQI)

O Índice (MQI) foi obtido com os mapas intermediários de Unidade de Conservação e Uso do Solo de acordo com a fórmula (Eq.2):

$$MQI = (I_c * I_{uc})^{\frac{1}{2}} \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde:

MQI : é o mapa de Índice de Manejo de Solo;

I_c : é o mapa de Índice de Unidade de Conservação;

I_{uc} : é o mapa de Índice de Uso do Solo.

3.1.6 Índice de Qualidade do Clima (CQI)

O Índice de Qualidade do Clima (CQI) foi obtido através do cálculo do Índice de aridez (Ia), chuva (mm) e a declividade do relevo (%). A seguir será detalhado como foi elaborado cada índice intermediário.

3.1.7 Índice de Aridez (Ia)

O índice de aridez (Ia), desenvolvido por Thornthwaite (1948) e ajustado por Penman (1953), foi determinado para as coordenadas geográficas de cada estação pluviométrica, sendo expresso pela relação:

$$I_a = P / ETP \quad \text{(Eq. 3)}$$

Onde:

Ia: é o índice de aridez;

ETP: é a evapotranspiração potencial anual, em mm;

P: é a precipitação anual, em mm.

A evapotranspiração potencial (ETP) foi estimada pelo método de Thornthwaite (Eq. 4). Os dados necessários para obter os resultados foram a temperatura do ar média e o fotoperíodo (THORNTHWAITE, 1948):

$$ETP_p = 16 * (10 * T_i / I)^a \quad \text{(Eq. 4)}$$

Onde:

T_i : é a temperatura do ar média do mês n , em °C; O_i representa o mês.

I : é um índice que expressa o nível de calor da região;

ETP_p : é a evapotranspiração potencial padrão (ETP_p mm/mês), que é definida como valor típico de um mês padrão de 30 dias, sendo que cada dia tem exatamente 12 horas de fotoperíodo.

A ETP mensal foi calculada com a correção do valor real de dias e do fotoperíodo do mês, de acordo com as equações (Eq. 5)

$$ETP = ETP_p * (ND/30) * (N/12) \text{ ou } ND * \frac{N}{360} * 16 * (10 * T_i/I)^a \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde:

ETP: Evapotranspiração de um mês real (com 28 a 31 dias e fotoperíodo variável);

ND: Número de dias, dias/mês;

N: Fotoperíodo real do local no mês (N, horas/dia).

Os dados de temperatura do ar mensal foram oriundos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para as estações convencionais localizadas dentro do limite do Estado e de regiões limítrofes nos Estados do Espírito Santo, Minas Gerais e São Paulo. No total foram utilizadas séries mensais no período de 1961 – 2009 de 20 estações (PRECINOTO et al., 2013). Na Figura 4 mostra o mapa espacializado do Estado do Rio de Janeiro e os Estados limítrofes, onde observa-se as estações meteorológicas pertencentes ao INMET e as estações de precipitação pluvial pertencentes a Agência Nacional de Águas (ANA), localizadas dentro do estado e fora do Estado do Rio de Janeiro.

O modelo determinístico global foi ajustado com base na regressão linear múltipla (Eq. 6), em função da latitude, longitude e altitude para estimar e espacializar a temperatura do ar mensal:

$$T_i = \beta_0 + \beta_{\phi_i} + \beta_{\gamma_i} + \beta_{z_i} + \epsilon_i \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde:

T_{ar} : temperatura do ar mensal ou anual, em °C;

β_0 : intercepto da regressão;

β_{ϕ_i} : latitude, em graus;

β_{γ_i} : longitude, em graus;

β_{z_i} : altitude, em m;

ϵ_i : o erro aleatório.

O termo subscripto i representa a i -ésima estação meteorológica.

Na figura 4 mostra o Estado do Rio de Janeiro especializado e dividido em mesorregiões de governo e também os estados limítrofes com as estações de temperatura do ar – INMET (sinalizado em amarelo) e as estações de precipitação pluvial – ANA (sinalizado em azul).

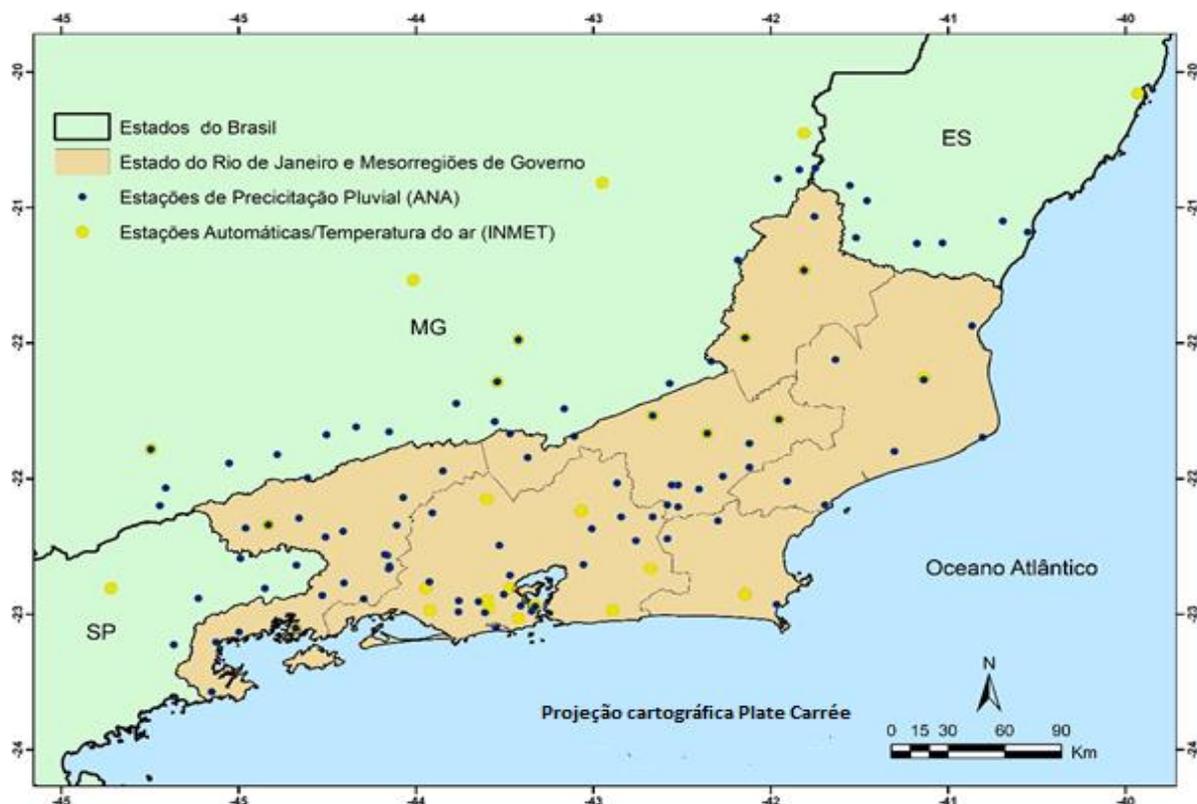


Figura 4: Estações de temperatura do ar e estações de precipitação pluvial. Fonte: ANA/INMET (2010). Elaborado: Própria autora.

O sistema Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA) foi utilizado para aquisição dos dados diários de chuva (mm), tanto das estações localizadas dentro do limite do Estado do Rio de Janeiro como nas estações de regiões limítrofes com os estados do Espírito Santo, Minas Gerais e São Paulo, conforme observado na figura 4.

Para selecionar as estações de interesse, foi estabelecido o critério de tamanho mínimo de série (20 anos), e com início no ano de 1960. As médias mensais de chuva das estações passaram por um controle de qualidade, preenchimento de falhas (método da regressão linear simples) e análise de consistência (método resíduo acumulado) (CORREIA et al., 2011). Nas interpolações foram utilizados dados de chuva de 110 estações com dados de 1960 até 2010. Dessas 110 estações, foram selecionadas aleatoriamente 80 estações, as quais foram espacializadas e posteriormente obtidos percentuais entre os dados simulados com os dados observados (30 estações). O método utilizado para espacialização da chuva mensal e anual foi o método de mínima curvatura (MC), por meio da ferramenta *spline tension* (LYRA et al., 2017).

O Modelo Digital de Elevação – MDE (m), projeto *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM), com resolução espacial original de 90m foi utilizado para obtenção das faces de orientação do relevo por meio da ferramenta (*Aspect*).

A partir dos mapas bases, foi processado o mapa de susceptibilidade a desertificação com base no Índice de Qualidade do Clima (CQI), categorizado em níveis: baixo, moderado e alto. Para o cálculo do CQI foi feita a reclassificação do mapa de precipitação anual (C1) (Tabela 6), do mapa do índice de aridez (C2) (Tabela 7), e da orientação do relevo (C3) (Tabela

8), todas feitas por meio da ferramenta *Reclassify Values*. A metodologia do CQI foi realizada de acordo com Symeonakis et al. (2014).

Tabela 6: Precipitação anual - parâmetro de pesos para reclassificação (C1).

Intervalo (mm)	Pesos	Classe de Susceptibilidade
> 650	1,0	Nenhum
280 - 650	1,5	Baixo
< 280	2,0	Moderado
0	2,5	Alto

Fonte: Adaptação de Vieira et. al., 2015 e Symeonakis *et al.* (2016).

Tabela 7: Índice de aridez - parâmetro de pesos para reclassificação (C2)

Intervalo	Peso	Classe de Susceptibilidade
Ia > 1	0	Nenhum
0,65 < Ia ≤ 1	1,0	Baixo
0,50 < Ia ≤ 0,65	1,5	Moderado
Ia ≤ 0,50	2,0	Alto

Fonte: Adaptação de Vieira et. al., 2015 e Symeonakis *et al.* (2016).

Tabela 8: Orientações do relevo - parâmetro de pesos para reclassificação (C3).

Classes	Peso	Classe de Susceptibilidade
S, SE, SW, plano (<5%)	1,0	Nenhum
N, NE, NW	2,0	Baixo

Fonte: Adaptação de Vieira et. al., 2015 e Symeonakis *et al.* (2016).

O mapa de CQI foi obtido pela expressão abaixo, utilizando-se a ferramenta *Raster Calculator*:

$$CQI = (C_1 * C_2 * C_3)^{1/3} \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde:

C₁: é a precipitação pluvial;

C₂: é o índice de aridez;

C₃: é a orientação do relevo.

As variáveis C₁, C₂ e C₃ são os mapas reclassificados segundo os pesos definidos.

3.2 Índice de Áreas Ambientais Sensíveis (ESAI)

O ESAI foi calculado com base nos índices intermediários (PLQI, MQI e CQI), pela seguinte equação (Eq. 8):

$$ESAI = (PLQI * MQI * CQI)^{1/3} \quad (\text{Eq. 8})$$

Onde:

ESAI: é o Índice de Áreas Ambientais Sensíveis;

PLQI: é o Índice Físico de Qualidade do Solo;

MQI: é o Índice de Manejo do Solo;

IQC: é o Índice de Qualidade do Clima.

Após a determinação do ESAI, foi utilizada a ferramenta *Intersect* do software Arcgis 10.3 para extrair a área (km²) de classe determinadas no mapa de ESAI para cada uma das oitos mesorregiões do Estado do Rio de Janeiro e para cada município.

O ESAI posteriormente foi calculado apenas para as áreas onde o índice (Ia) indicou susceptibilidade a desertificação, ou seja, somente áreas subúmida seca, semiáridas ou áridas, partindo do princípio que são essas as características que determinam o processo de desertificação. Haja vista que o objetivo do presente trabalho foi avaliar o risco à desertificação para o Estado e não a degradação da Terra como um todo. Na Figura 5 o fluxograma mostra todo o processo percorrido deste trabalho para obtenção do resultado final (ESAI):

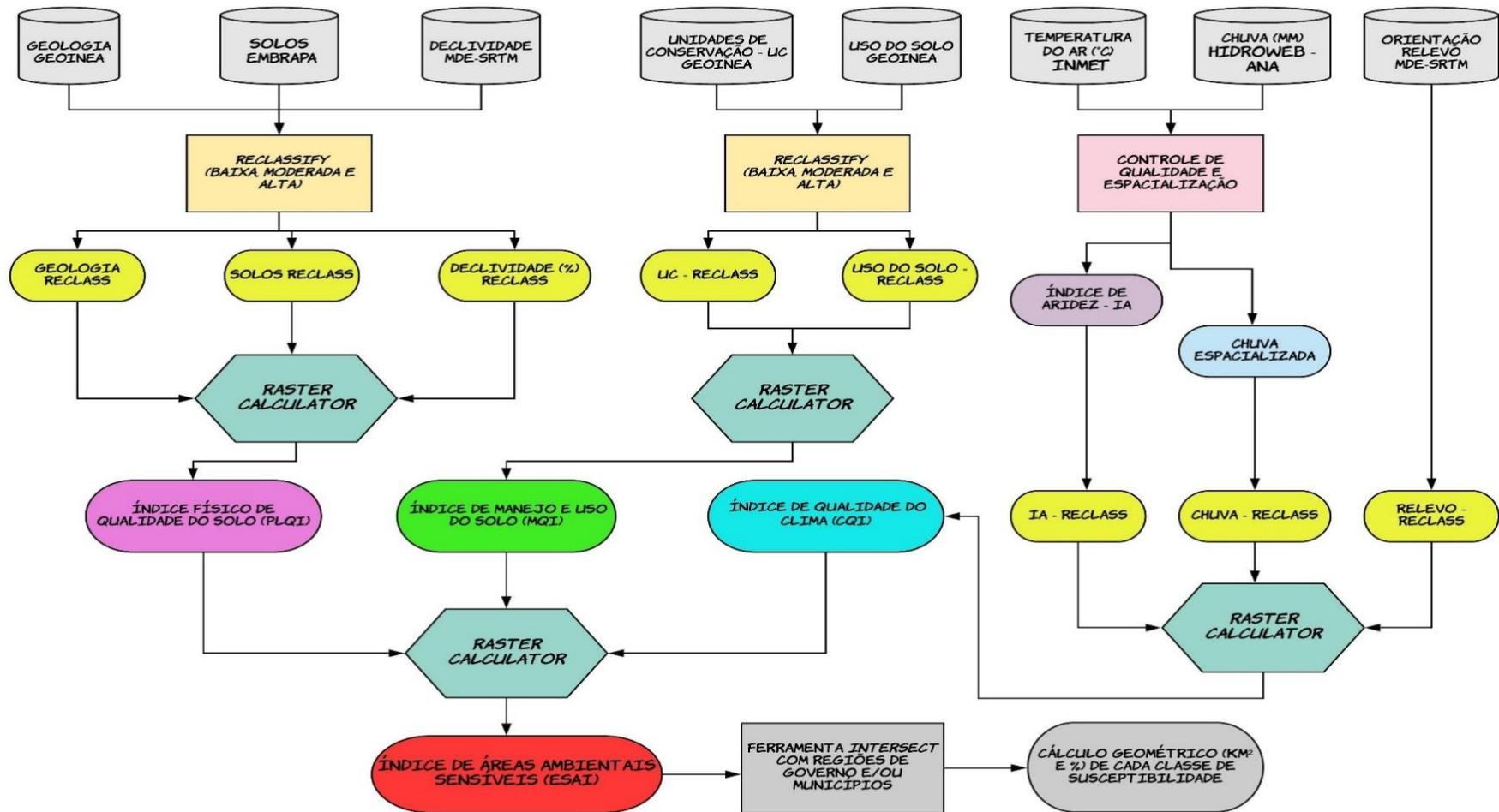


Figura 5: Fluxograma metodológico. Elaboração: Própria autora.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Indicadores Utilizados para Obtenção de Cada Índice

A classificação da geomorfologia, obtida por meio dos pesos para cada grau de susceptibilidade, está representada a seguir.

Figura 6: De acordo com o mapa geomorfológico do Estado, as áreas de planícies foram classificadas com o menor grau de susceptibilidade (peso 1). As colinas também foram classificadas com baixo grau de susceptibilidade (peso 1,25). Os morros foram considerados de moderado grau (peso 1,50) e a classe de geomorfologia com o maior grau de susceptibilidade foram as serras escarpadas, presentes principalmente na região Serrana e Costa Verde. Essas áreas de serras escarpadas também declivosas, são locais de ocorrência de desastres ambientais no Estado, como as ocorrências registradas nos municípios de Angra do Reis, Friburgo e Teresópolis. A literatura aponta que deslizamentos ocorrem na declividade de 20-25, devido a capacidade de acúmulo de sedimentos.

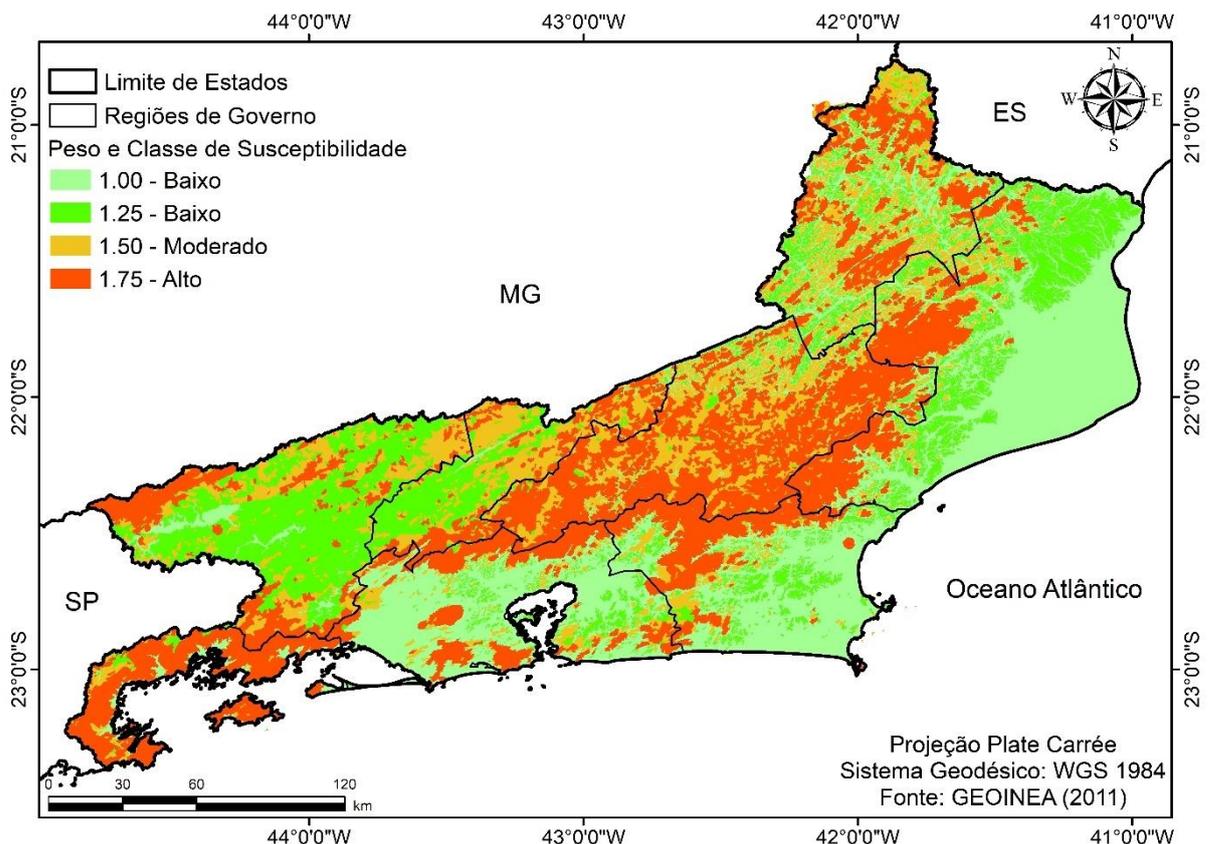


Figura 6: Classificação da Geomorfologia do ERJ, de acordo com as classes de susceptibilidade ao estudo de desertificação. Elaboração: Própria autora.

O mapa de solos foi classificado segundo os pesos e classes de susceptibilidade e está representado na Figura 7.

Figura 7: O Estado do Rio de Janeiro, majoritariamente é composto por solos do tipo: Argissolo, Latossolo e Cambissolo (EMBRAPA, 2013). Os solos do tipo: Gleissolos, Latossolos e Espodossolos foram classificados com baixo grau de susceptibilidade. Os solos Argissolos, Chernossolos, e Planossolos receberam moderado grau. Os tipos de solos Cambissolo e Neossolo foram classificados com alto grau de susceptibilidade. Os Cambissolos localizam-se em grande parte nas áreas de maiores altitudes no ERJ, como a região Serrana e Costa Verde. Os Neossolos encontram-se mais distribuídos, com alguma concentração na região Norte, especificamente no município de Campos dos Goytacazes.

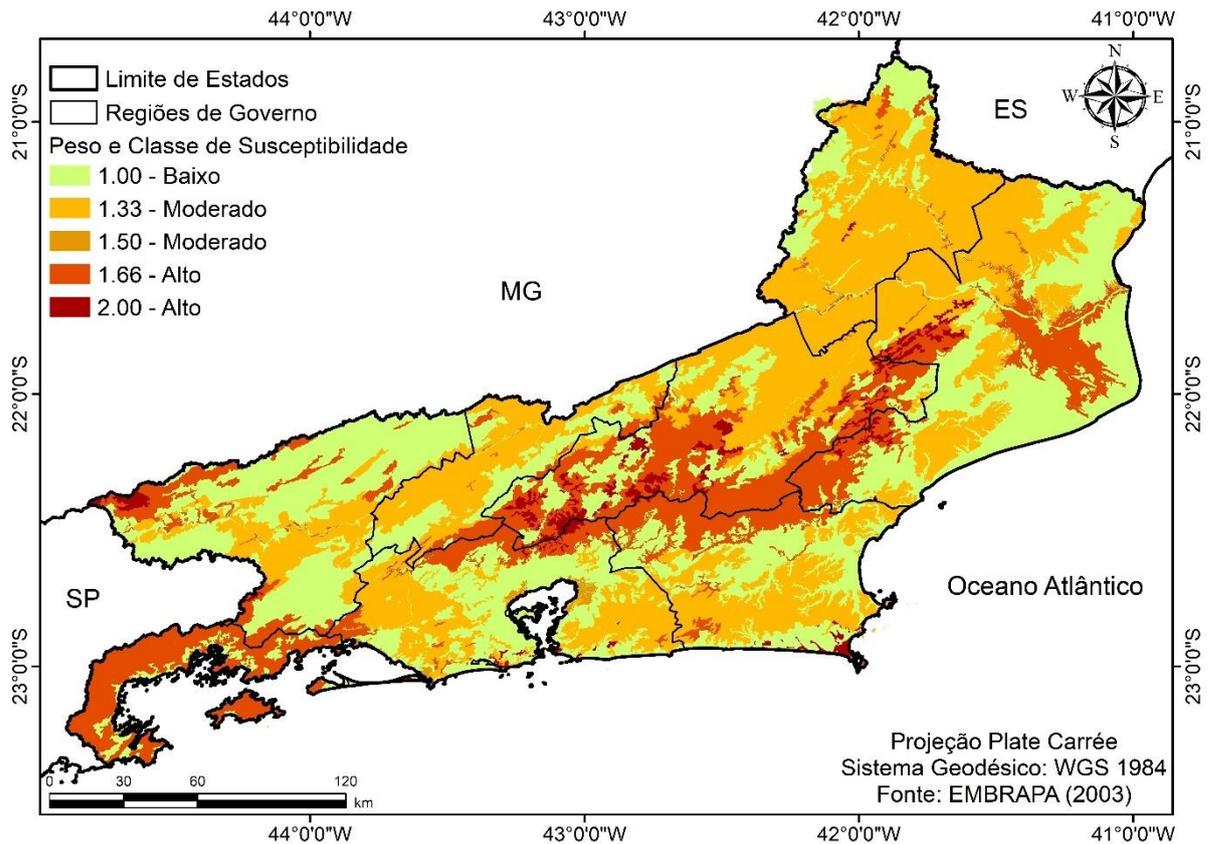


Figura 7: Mapa de solos do ERJ classificado segundo os graus de susceptibilidade ao estudo de desertificação. Elaboração: Própria autora.

O mapa do índice de aridez, com os respectivos pesos para as classes de susceptibilidade, está representado na Figura 8.

Figura 8: Mostra como o índice de aridez foi classificado em moderada susceptibilidade nos locais com os menores índices pluviiais do Estado (LYRA et al., 2017). Esses locais abrangem grande parte da região norte, noroeste, parte da região da Baixada Litorânea e na região Metropolitana, principalmente próximos ao litoral.

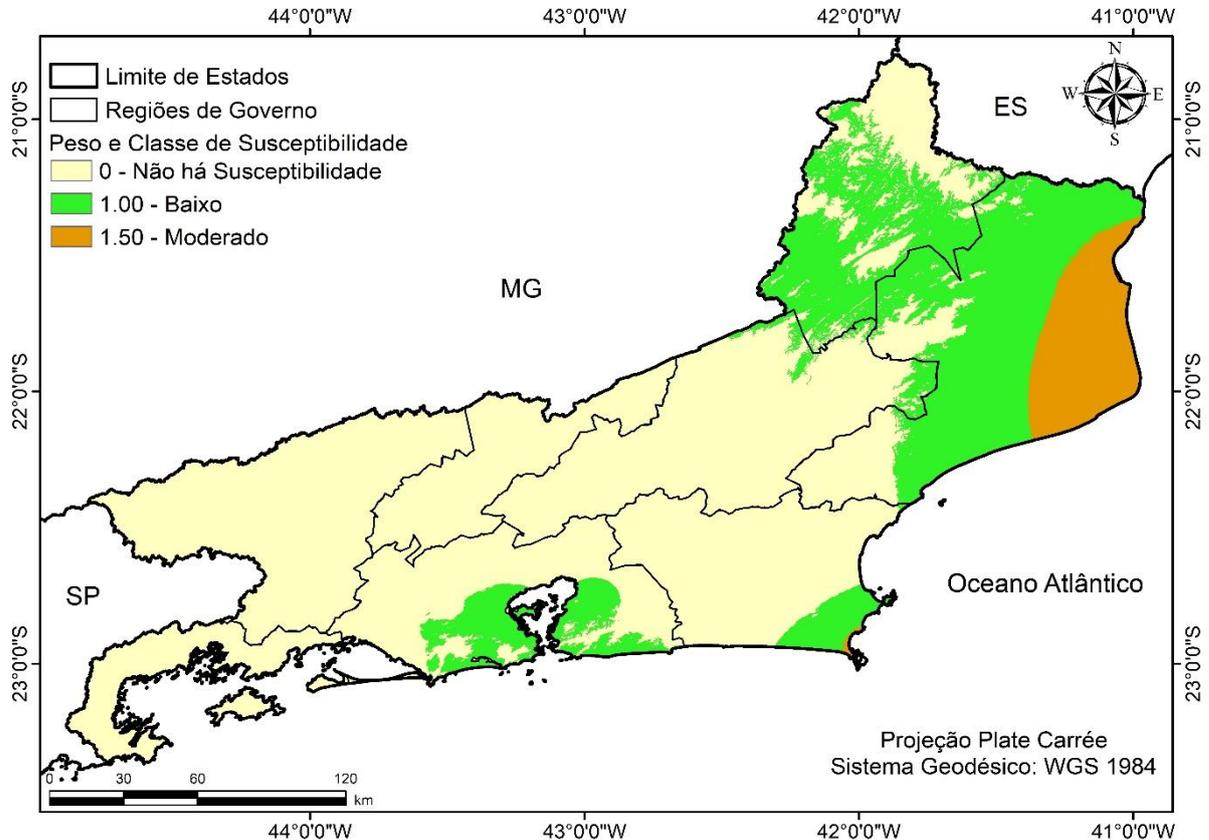


Figura 8: Mapa do Índice de Aridez do ERJ classificado segundo o estudo de susceptibilidade à desertificação. Elaboração: Própria autora.

O mapa do Estado do Rio de Janeiro, com a distribuição espacial dos pesos e classes de susceptibilidade para Unidades de Conservação está na Figura 9. As Unidades de Conservação estadual e federal foram separadas em: Uso sustentável e de proteção integral. A maior parte das Unidades de Proteção Integral são parques, reservas e estações ecológicas, localizadas em regiões de alta altitude, como por exemplo, o Parque Nacional da Serra dos Órgãos (região Serrana), Parque Nacional do Itatiaia (região Médio Vale do Paraíba), Parque Nacional da Serra da Bocaina (região Costa Verde), REBIO Tinguá (região Metropolitana) (INEA, 2017). As Unidades de Proteção Integral são de baixo grau de susceptibilidade à desertificação, enquanto que as Unidades de Uso Sustentável são de moderado grau.

Figura 9: Ilustra as Unidades de Conservação (UC) estaduais e federais, as mesmas foram separadas em: Uso sustentável e de Proteção integral. As Unidades de Proteção Integral são de baixo grau de susceptibilidade à desertificação, enquanto que as Unidades de Uso Sustentável são de moderado grau conforme observa-se a seguir.

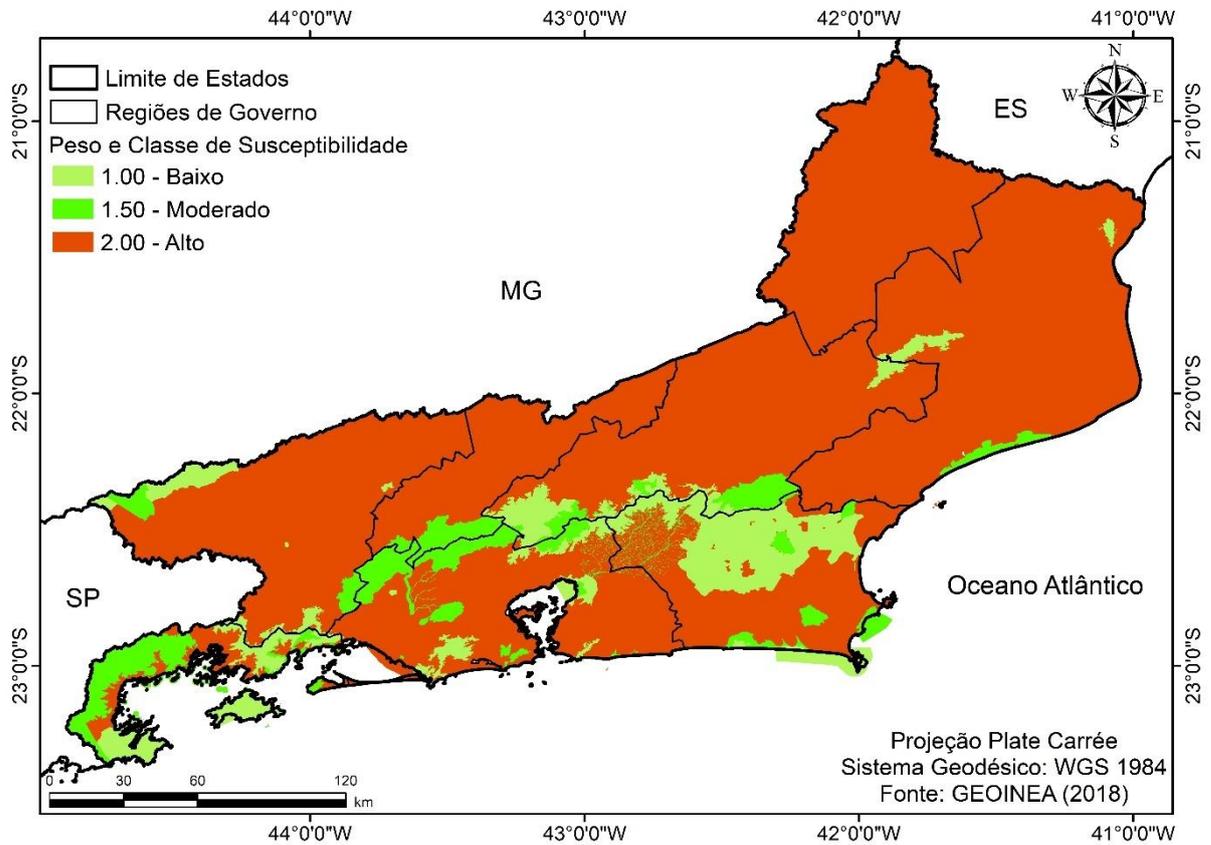


Figura 9: Mapa das Unidades de Conservação de Proteção Integral e Uso Sustentável do ERJ classificado segundo o estudo susceptibilidade a desertificação. Elaboração: Própria autora.

Figura 10: Mostra o ERJ com a espacialização do mapa de declividade. Foi observado neste mapa a representação de cada classe de susceptibilidade. As áreas de maior declividade e com maiores altitudes foram classificadas com alto grau de susceptibilidade para a maior parte do Estado. Somente as regiões da Baixada Litorânea, Metropolitana foram classificadas com baixa susceptibilidade.

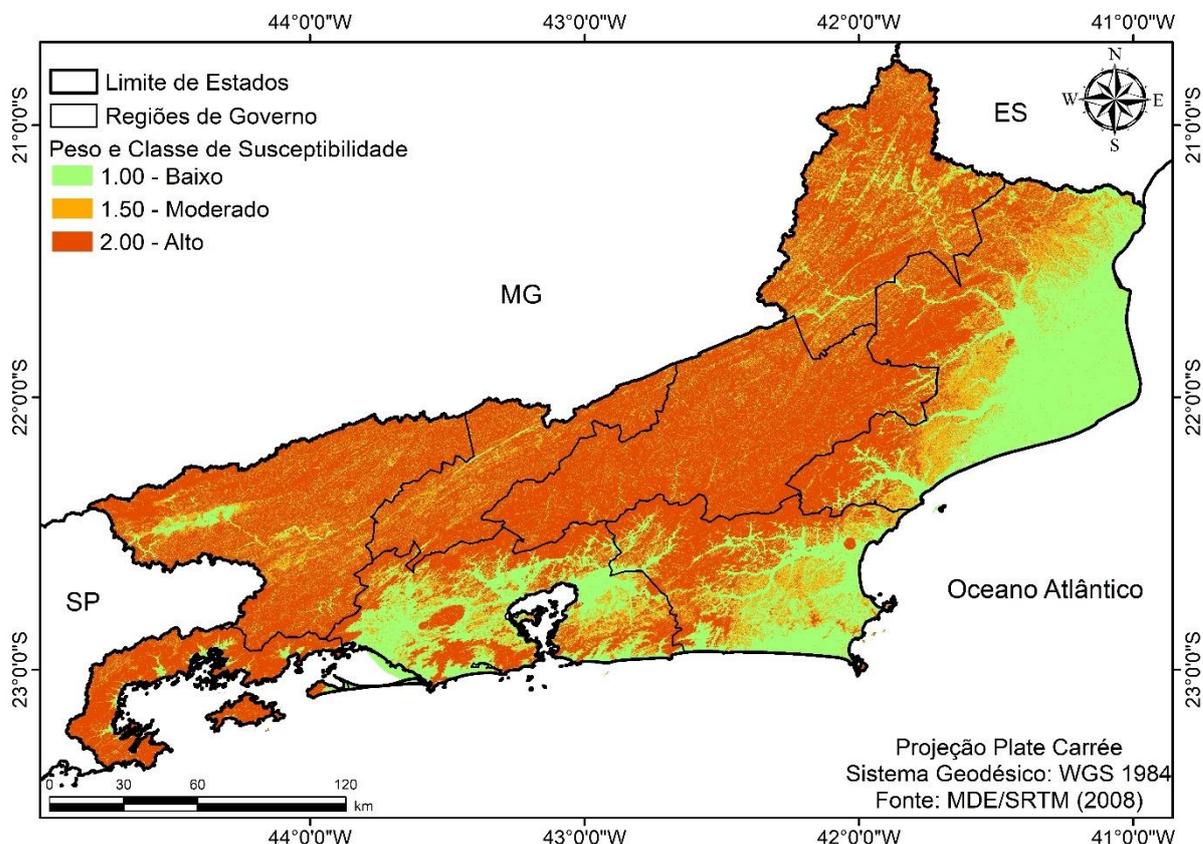


Figura 10: Mapa da declividade do ERJ classificado segundo o estudo de suscetibilidade a desertificação. Elaboração: Própria autora.

O Estado do Rio de Janeiro possui o uso do solo diversificado em todas as regiões. Para isso foi especializado um mapa de Uso do Solo para um melhor entendimento das divisões. No entanto, a pastagem é o uso do solo predominante em algumas regiões do Estado, o que justifica estar classificado com o grau de moderada susceptibilidade (IBGE, 2015a). No município de Campos dos Goytacazes, além da pastagem destaca-se também a agricultura extensiva, com as plantações de cana-de-açúcar e abacaxi, essas áreas obtiveram o maior grau de susceptibilidade do uso do solo em todo Estado. As regiões Serras e Costa Verde, que possuem amplas áreas de cobertura florestal de Mata Atlântica, apresentaram baixo grau de susceptibilidade. Na região metropolitana, além das áreas de cobertura vegetal, as regiões urbanizadas também foram responsáveis pela baixa classificação à susceptibilidade.

Figura 11: Mostra o mapa para o Uso do Solo no ERJ com os pesos e classes de susceptibilidade está apresentado de forma espacial.

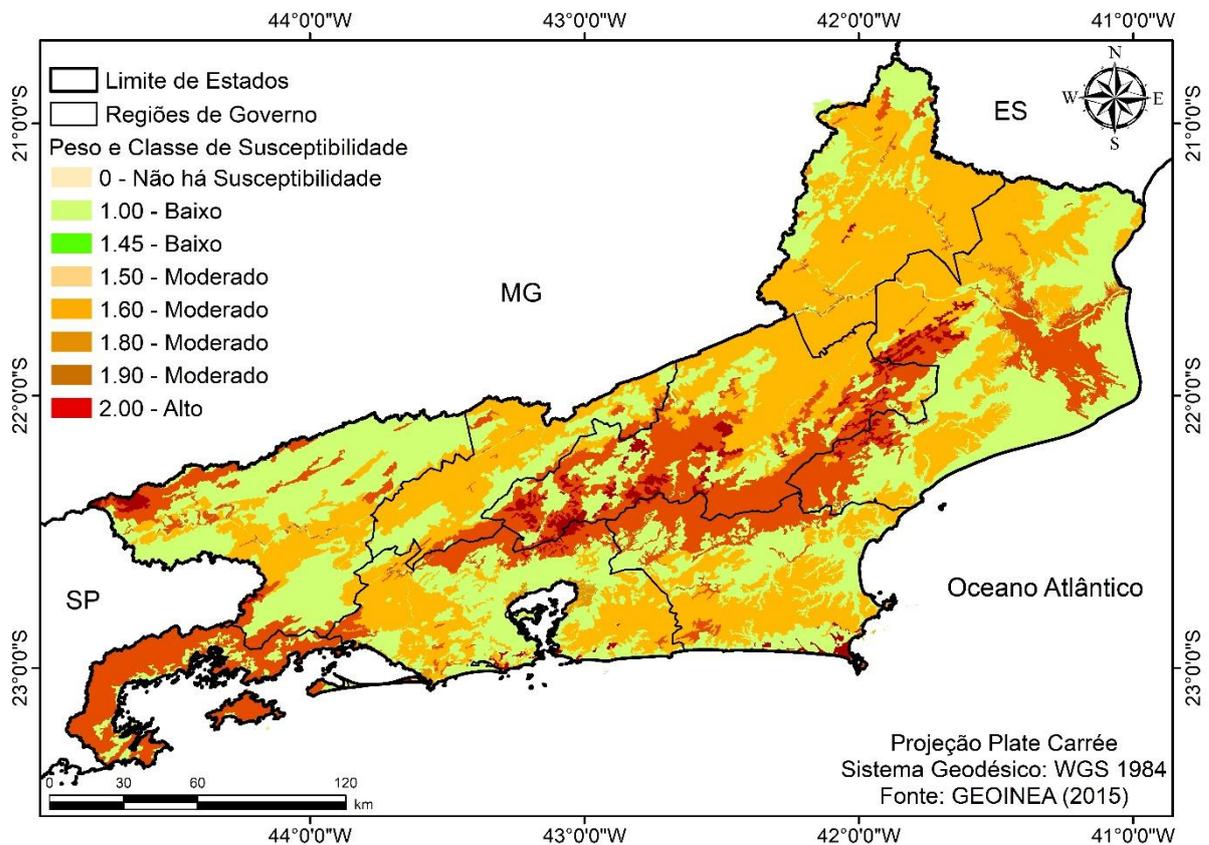


Figura 11: Mapa com Uso do Solo do ERJ classificado segundo o estudo de susceptibilidade a desertificação. Elaboração: Própria autora.

4.1.1 Índice de Qualidade Física do Solo (PLQI)

O PLQI é composto por geomorfologia, tipo de solo e declividade. As áreas ambientais com classe de susceptibilidade foram as com maiores declividades e com geomorfologia mais complexas, nas quais estão os morros, serras e solos com menores teores de umidade ou com algum nível de salinização. As classes encontradas no mapa do PLQI foram de baixa a moderada.

Figura 12: As regiões que apresentaram classes de susceptibilidade a desertificação foram as regiões norte, noroeste, Serrana, Baixada Litorânea e Metropolitana. As regiões Centro-Sul, Costa Verde e Médio Vale do Paraíba não apresentaram susceptibilidade conforme ilustrado na figura a seguir.

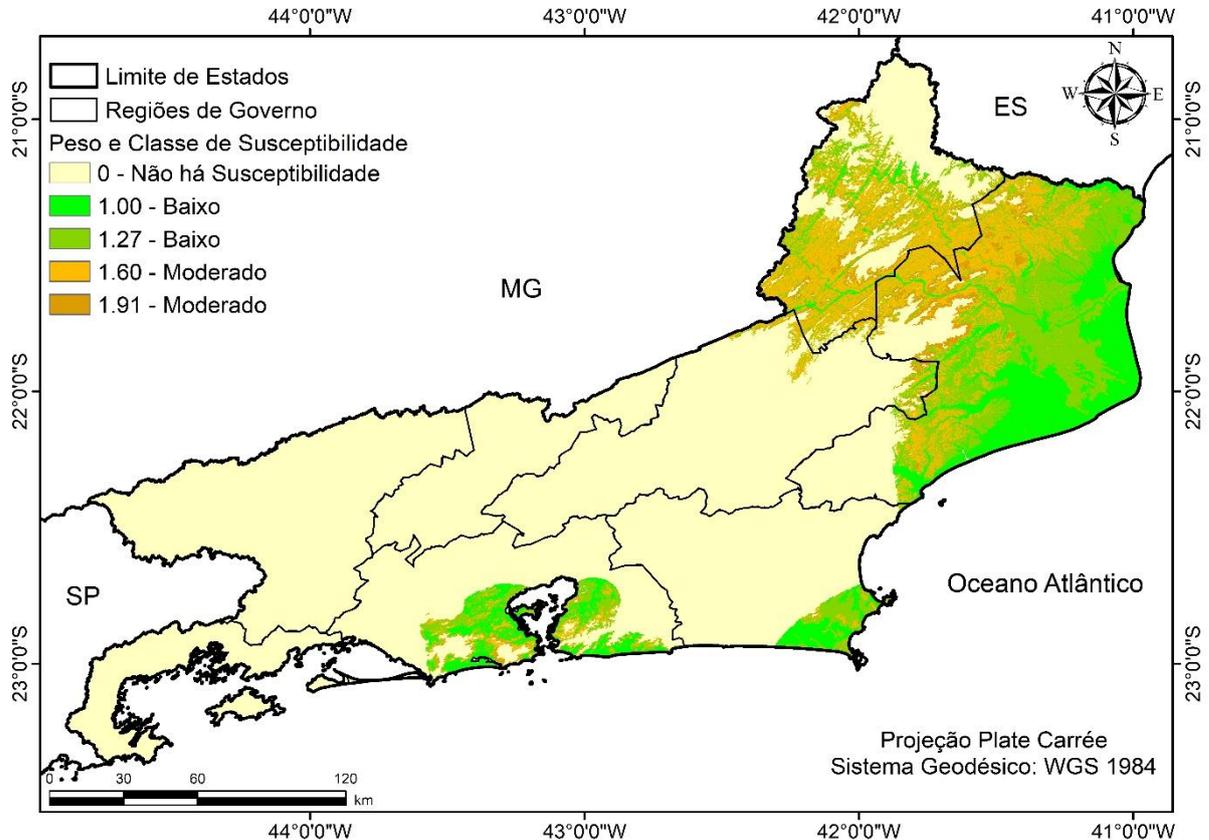


Figura 12: Índice de Qualidade Física do Solo para o ERJ.
Elaboração: Própria autora.

As maiores porcentagens de susceptibilidade ocorreram nas regiões: Norte com 57,34 % da classe moderada e 24,96 % da classe baixa de susceptibilidade, noroeste com 55,57 % da classe moderada e 3,14 % de baixa susceptibilidade, e região Metropolitana com 16,93 % da classe moderada e 10,62 % de baixa susceptibilidade.

Figura 13: Mostra os percentuais distribuídos de acordo com as regiões e classes de susceptibilidade para o Estado do Rio de Janeiro. As regiões Médio Vale do Paraíba, Costa Verde e região Cento Sul do Estado não apresentaram nenhum percentual de susceptibilidade a desertificação, conforme a figura a seguir.

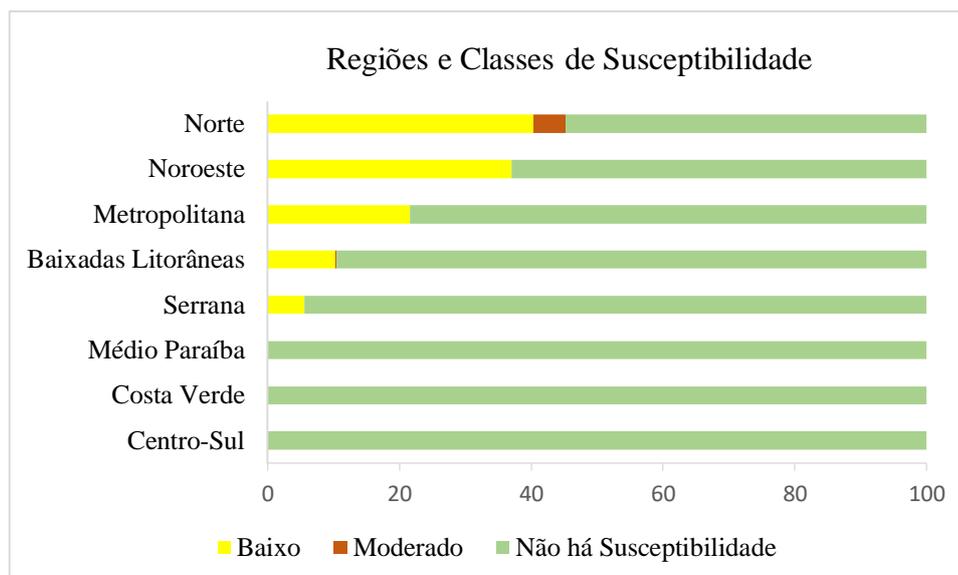


Figura 13: Distribuição percentual da área do Índice de Qualidade Física do Solo para as regiões do ERJ. Elaboração: Própria autora.

As maiores áreas de susceptibilidade também foram observadas para as regiões norte, noroeste e Metropolitana. Com área correspondente à 5.573,45 km² de susceptibilidade moderada na região norte e 2.965,74 km² na região noroeste, demonstrado na Tabela 9.

Tabela 9: Área (km²) do Índice de Qualidade Física do solo para cada região de governo.

Regiões	Baixo (km ²)	Moderado (km ²)	Não há Susceptibilidade (km ²)
Norte	8274,49	991,73	11238,74
Noroeste	3612,02	0,00	6141,58
Metropolitana	1710,85	0,00	6198,34
Baixada Litorânea	674,53	12,92	5906,82
Serrana	475,19	0,00	8069,75
Centro-Sul	0,00	0,00	3047,64
Costa Verde	0,00	0,00	2015,44
Médio V. Paraíba	0,00	0,00	6205,70

Elaboração: Própria autora.

4.1.2 Índice de Manejo do Solo (MQI)

O Índice MQI foi calculado a partir do mapa de unidade de conservação e do uso da Terra, considerando maior peso para áreas em que não existem Unidades de Conservação. Para o uso da Terra os maiores pesos foram considerados para pastagem, agricultura e solo exposto. As classes de susceptibilidade determinadas no mapa variam no gráfico de baixa, moderada e alta susceptibilidade. As regiões norte, noroeste, Serrana, Baixada Litorânea e Metropolitana apresentaram classes de susceptibilidade, enquanto as regiões Centro-Sul, Costa Verde e Médio Vale do Paraíba não apresentaram susceptibilidade na sua grande parte, conforme indicado abaixo na Figura 14.

Figura 14: Ilustra a variação das classes de susceptibilidade com relação ao Manejo do solo, obtendo a classificação de alta, moderada e baixa, a concentração de maior susceptibilidade foi observado nas regiões noroeste e norte do ERJ.

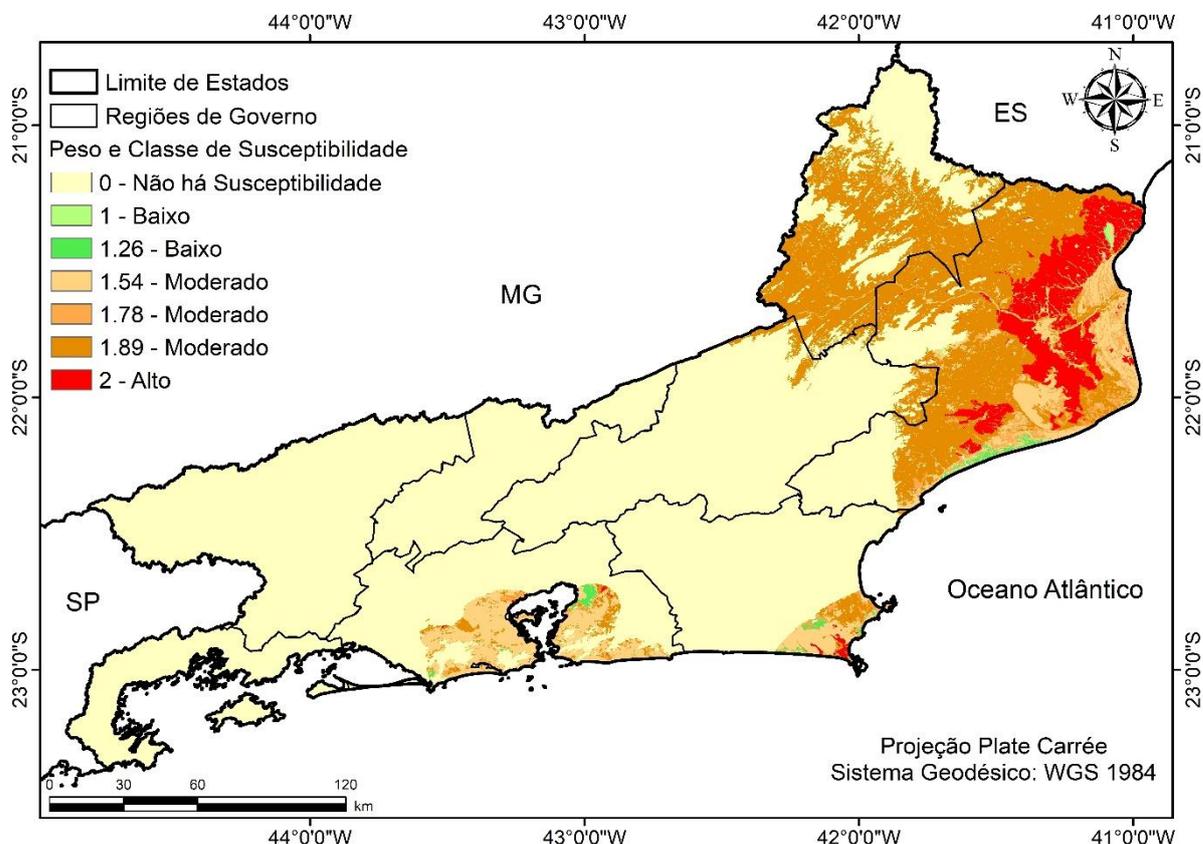


Figura 14: Índice de Qualidade de Manejo do Solo (MQI) para o ERJ.
Elaboração: Própria autora.

O índice (MQI) foi o mais sensível para as os graus de susceptibilidade, pois foi o único que identificou classe alta. As regiões que apresentaram as maiores classes de susceptibilidade foram: Região norte com 18,88 % (alta), 49,56 % (moderada) e 14,10 % (baixa); Região noroeste com 0,02 % (alta), 56,73 % (moderada) e 2,45 % (baixa); Região Metropolitana com 0,23 % (alta), 5,26 % (moderada) e 21,77 % (baixa).

Figura 15: Mostra os percentuais de acordo com as regiões e as classes de susceptibilidade à desertificação para o Estado do Rio de Janeiro.

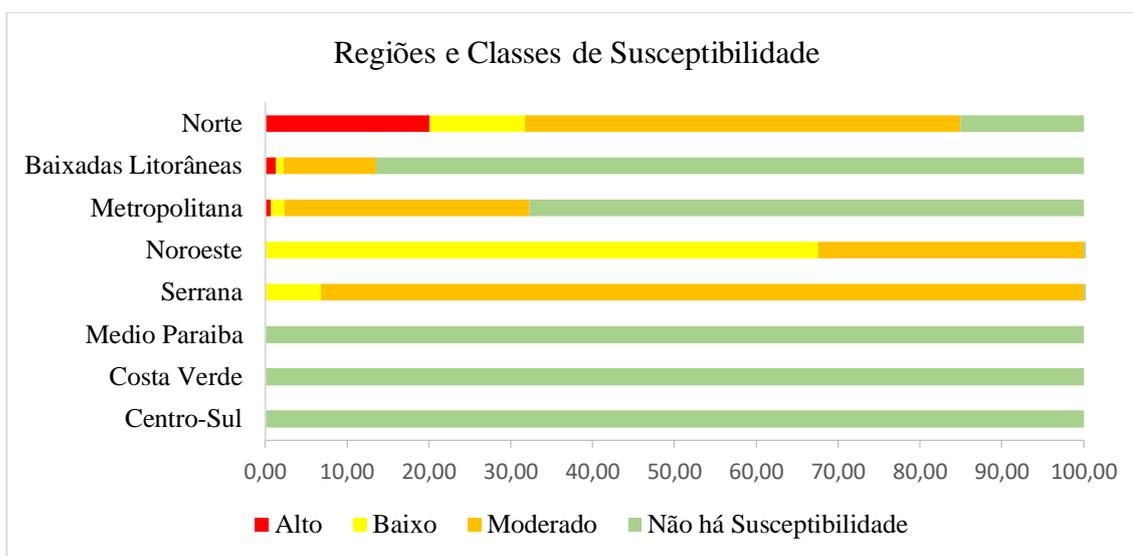


Figura 15: Distribuição percentual da área do Índice de Qualidade de Manejo do Solo (MQI) para as regiões do ERJ. Elaboração: Própria autora.

Os maiores percentuais de áreas susceptíveis foram identificados nas regiões norte que apresentou grau moderado (4816,21 km²) e noroeste com uma área equivalente a 3027,59 km² também para classe moderada conforme mostra a tabela 10.

Tabela 10: Área (km²) do Índice de Qualidade de Manejo do Solo (MQI) para cada região do Estado do Rio de Janeiro.

Regiões	Alto (km ²)	Baixo (km ²)	Moderado (km ²)	Não há Susceptibilidade (km ²)
Norte	1949,87	1131,71	5176,01	1461,15
Baixada Litorânea	65,05	49,01	568,91	4345,65
Metropolitana	35,69	84,70	1579,17	3564,13
Noroeste	0,00	0,00	3606,81	1730,05
Serrana	0,00	0,00	473,37	6460,57
Centro-Sul	0,00	0,00	0,00	3016,05
Costa Verde	0,00	0,00	0,00	1959,99
Médio V. Paraíba	0,00	0,00	0,00	6125,91

Elaboração: Própria autora.

4.1.3 Índice de Qualidade do Clima – CQI

O mapa de CQI para Estado do Rio de Janeiro, na maioria das mesorregiões e municípios foi classificado como neutro, ou seja, não há susceptibilidade climática para desertificação.

Figura 16: No mapa a seguir mostra que a região norte apresentou áreas com maior grau de susceptibilidade climática no ERJ, atingindo os graus baixo e moderado, seguida da região noroeste, Metropolitana, Baixada Litorânea e Serrana, todas com o mesmo grau de susceptibilidade. Conforme a ilustração a seguir.

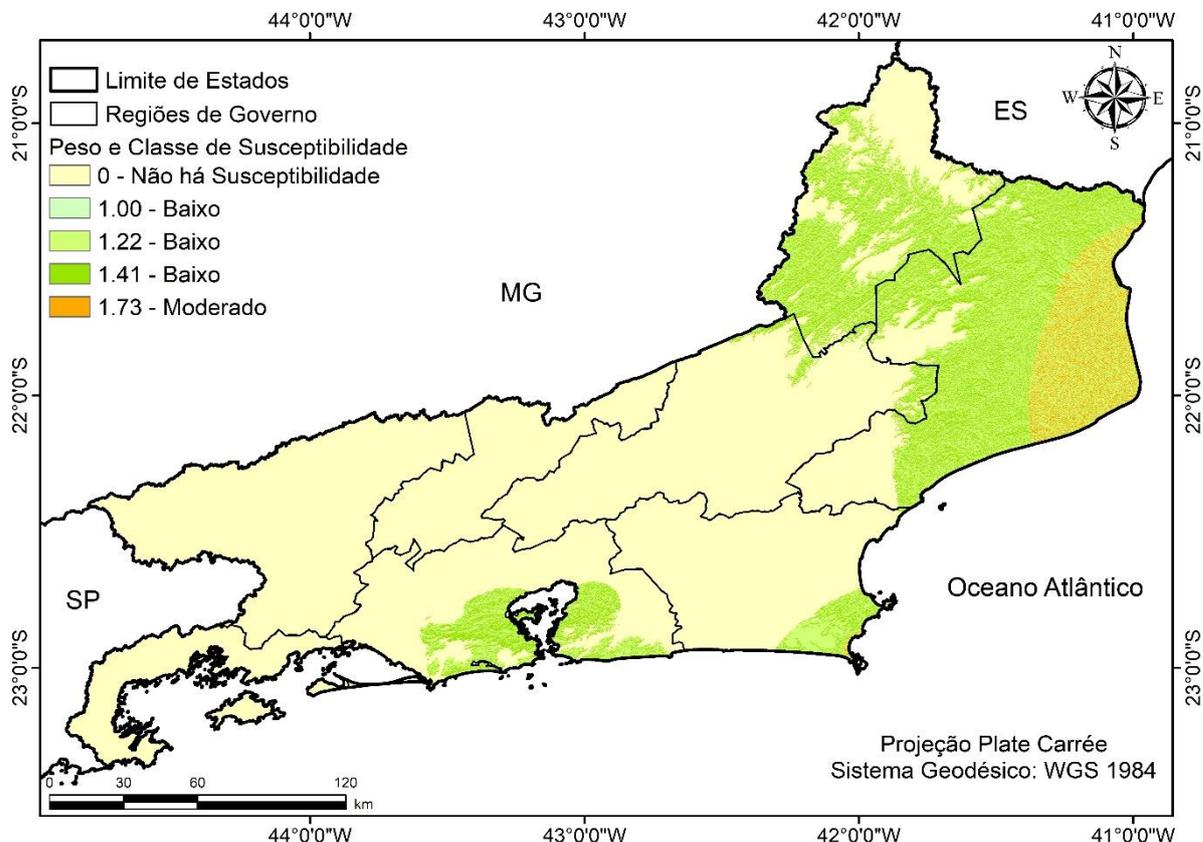


Figura 16: Índice de Qualidade Climática – CQI para o ERJ.
Elaboração: Própria autora.

A região norte apresentou 45 % das áreas no total com baixa susceptibilidade, 36,79 % da área com moderado e apenas 17,61 % de áreas não susceptíveis. Destaca-se também a região noroeste com 40,68 % de áreas com baixa susceptibilidade e 18% de susceptibilidade moderada. A região Metropolitana apresentou 23 % de baixa susceptibilidade e 4,21 % de susceptibilidade moderada. Na Baixada Litorânea, aproximadamente 10% da área total foi classificada com baixa susceptibilidade e 1,07 % como moderada. A região Serrana apresentou entre as regiões com baixos e moderados graus de susceptibilidade a menor porcentagem em relação a área total da região, com 3,87 % e 2 % de baixa e moderada susceptibilidade, respectivamente.

Figura 17: Mostra o gráfico com os percentuais distribuídos de acordo com as regiões e classes de susceptibilidade à desertificação para o Estado do Rio de Janeiro.

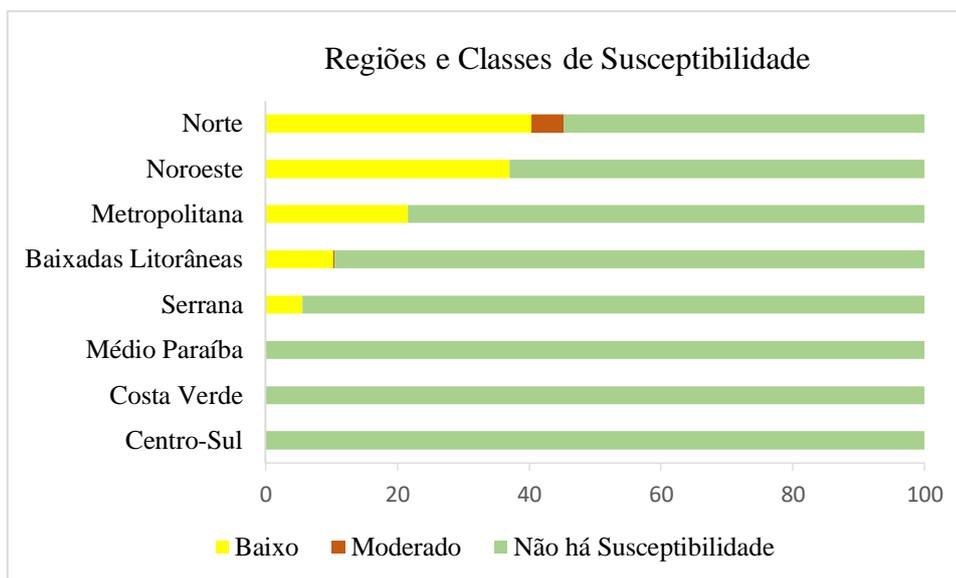


Figura 17: Área em porcentagem do Índice de Qualidade Climática – CQI para cada região do ERJ. Elaboração: Própria autora.

As maiores áreas de susceptibilidade foram encontradas para a região norte com 4.433,05 km² e susceptibilidade baixa e 3.573,36 km² com susceptibilidade moderada, conforme mostrado na Tabela 11.

Tabela 11: Área em km² do Índice de Qualidade Climática – CQI para cada região do Estado do Rio de Janeiro.

Regiões	Baixo (km ²)	Moderado (km ²)	Não há Susceptibilidade (km ²)
Norte	8274,49	991,73	11238,74
Noroeste	3612,02	0,00	6141,58
Metropolitana	1710,85	0,00	6198,34
Baixada Litorânea	674,53	12,92	5906,82
Serrana	475,19	0,00	8069,75
Centro-Sul	0,00	0,00	3047,64
Costa Verde	0,00	0,00	2015,44
Médio V. Paraíba	0,00	0,00	6205,70

Elaborado: Própria autora.

4.1.4 ESAI – Índice de Qualidade de Ambientes Sensíveis

O ESAI é considerado um índice robusto por considerar todos os indicadores analisados, todavia são importantes se relacionados com a dinâmica do ambiente, todos com base nos resultados provenientes da sobreposição dos parâmetros de clima, solo, uso da terra e características do relevo. Por meio da análise espacial identificaram-se as seguintes regiões que

apresentaram áreas com classes ambientais sensíveis: norte, noroeste, Serrana, região da Baixada Litorânea e Metropolitana. As regiões Centro-Sul, Médio Vale do Paraíba e Costa Verde não apresentaram susceptibilidade ao processo de desertificação.

Figura 18: Representa a espacialização do Índice de Qualidade de Ambientes Sensíveis para o ERJ, chamando a atenção de susceptibilidade ao início do processo de desertificação para as áreas norte, noroeste, região Serrana, região da Baixada Litorânea e pequena parte da região Metropolitana.

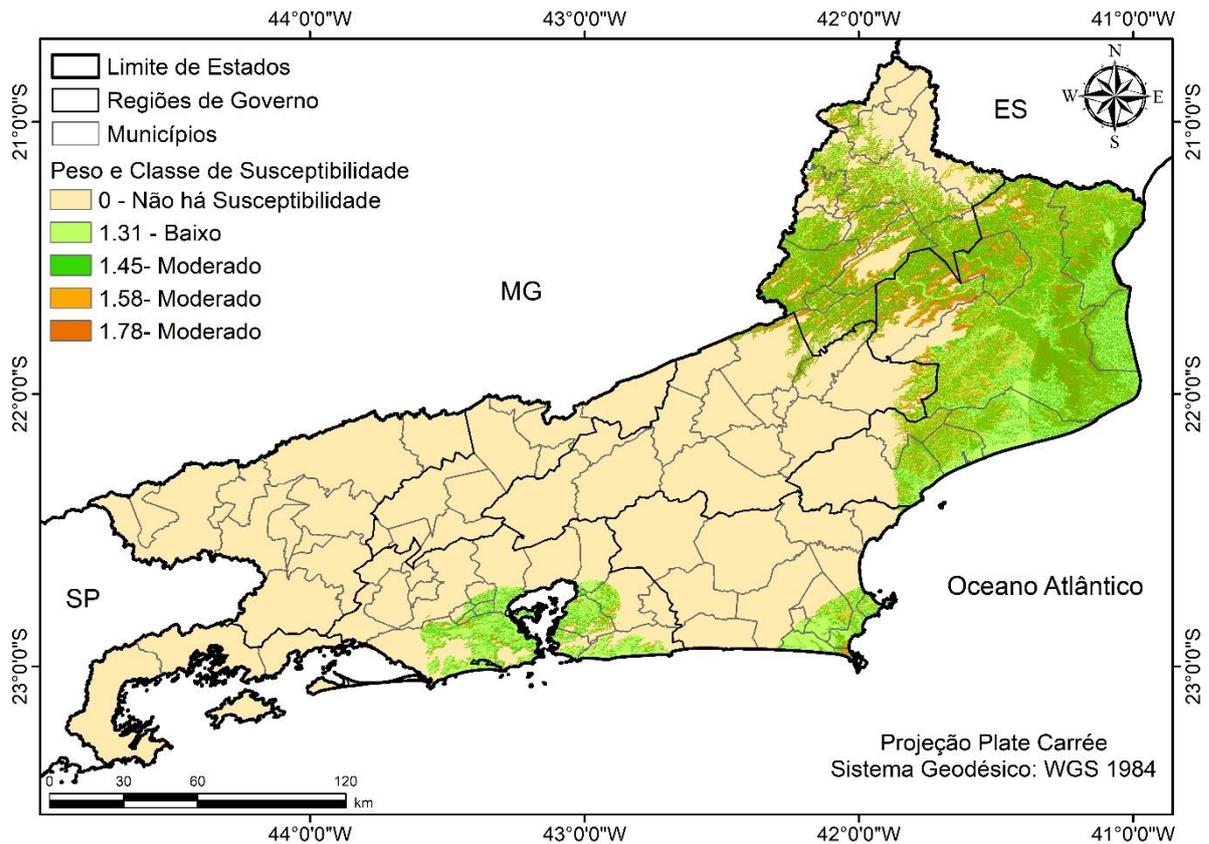


Figura 18: Mapa do Índice de Qualidade de Ambientes Sensíveis para o Estado do Rio de Janeiro. Elaboração: Própria autora.

Figura 19: A seguir está o gráfico com os percentuais de susceptibilidade, distribuídos em classes (baixo, moderado e não há susceptibilidade) para as regiões de governo do Estado do Rio de Janeiro.

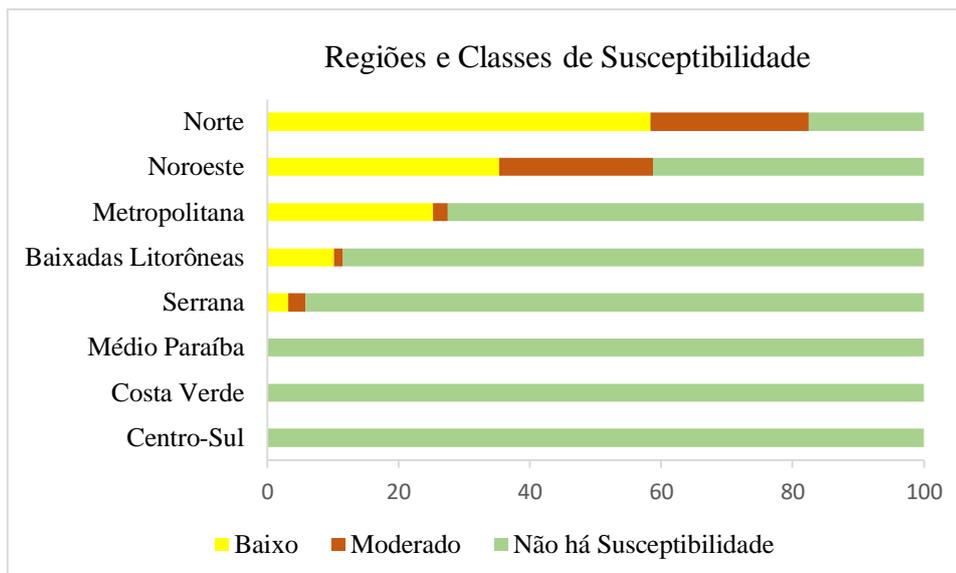


Figura 19: Percentual das áreas com Ambientes Sensíveis para desertificação no Estado do Rio de Janeiro. Elaborado: Própria autora.

Esse resultado se dá em função da topografia do Estado ter uma influência marcante no regime de precipitação. Há extensas áreas próximas ao nível do mar, como as regiões da Baixada Litorânea e a região norte do Estado e áreas montanhosas com altitudes acima de 1500 metros. Estas configurações orográficas influenciam de forma marcante a distribuição espacial da precipitação nessa área geográfica (ANDRE et al., 2008).

Segundo Oliveira-Júnior (2011), interferências das máximas de chuvas mensais (> 330 mm) foram observadas em dois núcleos, um na divisa das mesorregiões Metropolitana e região da Serra do Mar, e o outro a nordeste da região Metropolitana, à barlavento da Serra do Mar, caracterizada como áreas do Estado com clima tropical úmido. Além desses núcleos, há também algumas áreas da mesorregião sul que costumam apresentar acumulados superiores a 330 mm. Já nas mesorregiões da Baixada Litorânea e Norte Fluminense são regiões que tiveram os menores acumulados (< 130 mm) principalmente próximos ao ambiente costeiro, o que justifica o clima subúmido seco.

Figura 20: Mostra com mais detalhes o gráfico elaborado para os municípios do Estado do Rio de Janeiro onde percebe-se com maior clareza os percentuais com a distribuição dos níveis de susceptibilidade abordando o grau de acordo com cada região.

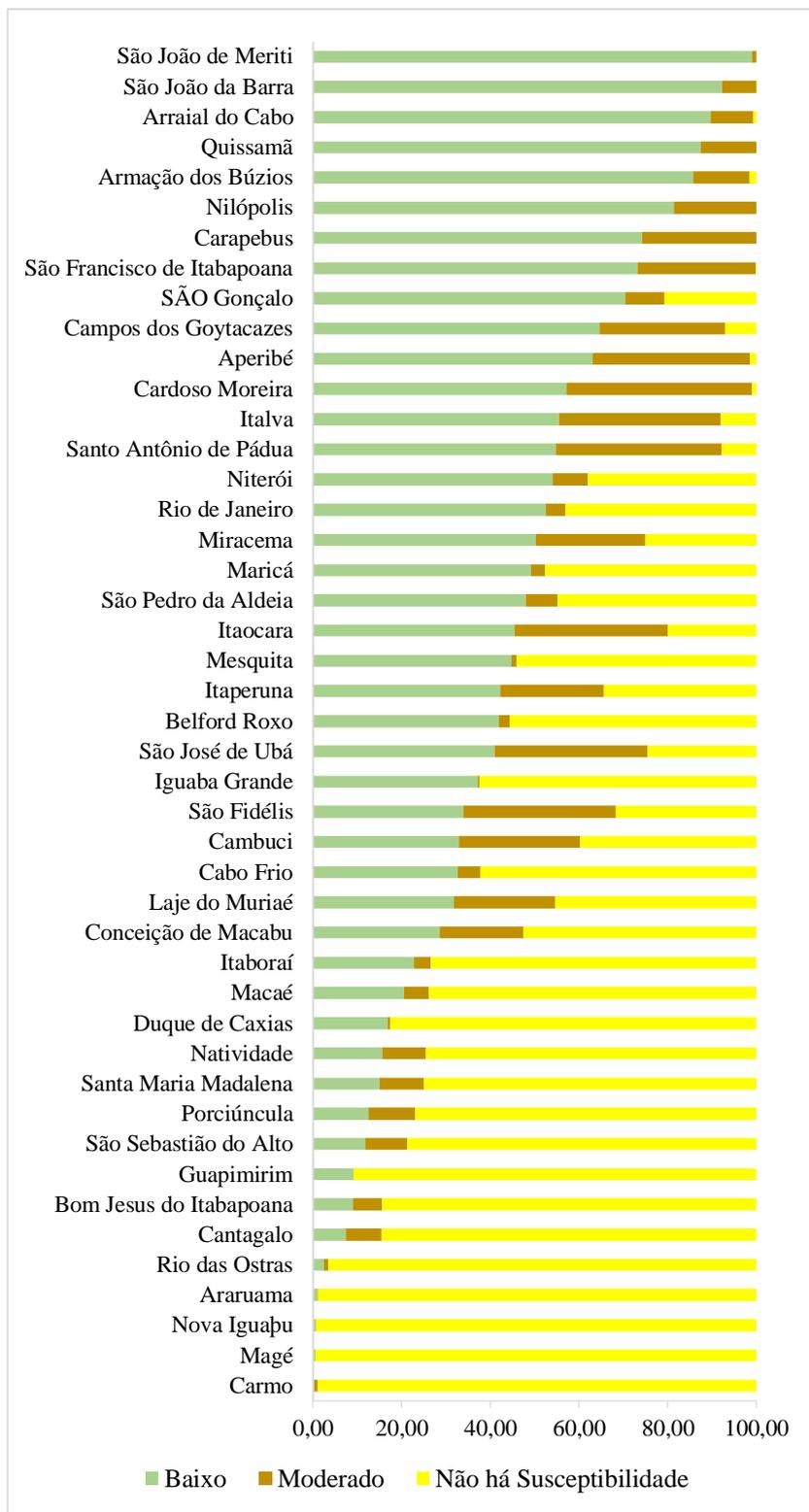


Figura 20: Percentual de susceptibilidade classificado por município de acordo com o do Índice de Qualidade Ambientais Sensíveis para o Estado do Rio de Janeiro. Elaboração: Própria autora.

De acordo com o somatório de área para cada classe, conforme demonstrado na figura 20, a região norte apresentou a maior porcentagem da classe de baixa susceptibilidade (57,85 %), seguidas da região noroeste (31,96 %), Metropolitana (25,43 %), região da Baixada Litorânea (10,96 %) e região Serrana (3,28%). Para a classe moderada, apresentaram maiores porcentagens a região noroeste (26,66 %), norte (57,85 %), Serrana (2,60 %), Metropolitana (1,98 %) e região da Baixada Litorânea (0,60 %).

As maiores áreas de susceptibilidade baixa foram para região norte (5622,93 km²), noroeste (1.706,12 km²) e região Metropolitana (1.338,84 km²). Para classe de moderada susceptibilidade, as maiores áreas também foram para as regiões norte (2.387,95 km²), noroeste (1.423,15 km²) e Metropolitana e Serrana (180,87 km²) representado na Tabela 12.

Tabela 12. Área (km²) do Índice de Qualidade de Ambientes Sensíveis para cada região ERJ.

Regiões	Não há Susceptibilidade		
	Baixo (km ²)	Moderado (km ²)	(km ²)
Norte	5667,38	2342,68	1699,98
Noroeste	1878,61	1246,29	2195,89
Metropolitana	1326,17	118,26	3801,63
Baixada Litorânea	509,49	69,04	4443,71
Serrana	224,68	182,42	6524,87
Centro-Sul	0	0	3011,93
Costa Verde	0	0	1936,22
Médio Paraíba	0	0	6113,68

Elaboração: Própria autora.

Em relação aos municípios que apresentaram algum grau de susceptibilidade, destaque-se São João de Meriti com a maior porcentagem de áreas de baixa susceptibilidade (99,36 %) e municípios de Cardoso Moreira com maior classe de susceptibilidade moderada (48,02 %). Os municípios de Nilópolis, Quissamã, Arraial do Cabo, Armação dos Búzios, Carapebus, São João da Barra, São Francisco de Itabapoana e São Gonçalo, apresentaram mais de 70 % de área com baixa susceptibilidade. E para a classe de moderada susceptibilidade, destacam-se os municípios de Cardoso Moreira, Itavalva, Santo Antônio de Pádua, Aperibé, Itaocara, São Fidélis, Cambuci, São José de Ubá e Miracema, com mais de 30 % da área do município.

No Brasil, existem diversos estudos sobre a desertificação, principalmente na região nordeste, com influência direta na diminuição da chuva, padrão de vegetação e no baixo desenvolvimento socioeconômico (FERREIRA et al., 2017; VIEIRA et al., 2015; NASCIMENTO, 2015). O Estado do Rio de Janeiro, situado na região sudeste do país, apresenta áreas com alto grau de degradação, locais de clima seco (tropical seco), concentração de focos de calor, baixa nebulosidade, baixos índices de precipitação, evapotranspiração elevada, alta tendência à salinização e com ocorrência de vegetação xerófila decidual, típica de biomas da caatinga na região da Baixada Litorânea (CORRÊA et al., 2011; LYRA et al., 2017).

A região norte do Estado e Baixada Litorânea por ter algumas condições de ambiente semiárido apresentam ecótipos, com espécies raras principalmente da mata seca e restinga (INEA, 2017). O alto grau de susceptibilidade climática encontrado no presente estudo é um indício da fragilidade e da necessidade de medidas para mitigação dos danos ambientais e sociais nas regiões. O moderado e baixo grau de ESAI pode ser associado as áreas com princípio de desertificação, processo pelo qual se pode tornar um fenômeno irreversível, com graves consequências para o funcionamento do ecossistema local e regional.

De acordo com estudos, a degradação da Terra já atinge 25 % do planeta e, o índice é maior nas áreas agrícolas que chega a 40 % (PACHECO et al., 2018). A degradação da Terra intensifica processos como perda de solo, deterioração da qualidade da água, perda da biodiversidade e perda dos serviços ecossistêmicos (WUNDER; BODLE, 2019). Municípios da região Baixada Litorânea, como Arraial do Cabo, Armação dos Búzios, São Pedro da Aldeia, que possuem alto índice de áreas ambientais sensíveis de baixo a moderado grau de susceptibilidade alarmam para necessidade de políticas públicas e conscientização ambiental. Essas áreas possuem exemplares raros da fauna e da flora, que podem estar em ameaça de extinção, devido ao contraste com as condições climáticas, por contribuir para níveis de baixos índices pluviiais e acentuado déficit hídrico (INEA, 2017).

De acordo com o grau da degradação em nível global, estima-se que a recuperação, somente das áreas de agricultura, custaria cerca de US\$ 500 bilhões/ano (SAFRIEL, 2017). O modelo de agricultura praticado pela maior parte dos agricultores no Brasil propicia à degradação da Terra, pois fazem uso intenso de agrotóxicos, aragem e plantio convencional (TOMASELLA et al., 2018). Apesar das novas técnicas, que ameaçam menos a qualidade do solo e o meio ambiente, como os Sistemas Agroflorestais (SAF), cultivos orgânicos e princípios de agricultura ecológica, ainda encontram resistências em praticá-las por parte dos produtores até mesmo os extensionistas rurais por falta de acesso as informações atualizadas e treinamentos (IBGE, 2015b).

Municípios da região noroeste do Estado do Rio de Janeiro, como Itaperuna, Bom Jesus de Itabapoana, Miracema, Natividade e Itavalva, que apresentam grau moderado de susceptibilidade a desertificação, e que tem a economia voltada para as atividades agrícolas e pecuárias devem ser alvos de políticas públicas que visam uma transição do modelo de produção de alimentos e produtos laticínios (IBGE, 2015b). Os municípios de Campos de Goytacazes e São Francisco do Itabapoana apresentam classes de susceptibilidade moderada, concentradas espacialmente e, assim, carecem de maior investigação dessas áreas, principalmente em relação as práticas econômicas estabelecidas.

A região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, que apresenta histórico de desastres ambientais, possui relevo acidentado e declivosos, e estão passíveis aos processos de degradação da Terra (INEA, 2017). Apesar de ser uma região com altos índices pluviiais, temperatura anual em torno de 20°C e presença da Mata Atlântica, municípios localizados em áreas limítrofes com as regiões norte e noroeste apresentam áreas de susceptibilidade de baixa a moderada. Tais como municípios de Santa Maria Madalena, São Sebastião do Alto e Cantagalo.

O processo de degradação da Terra inicialmente é lento, mas o que preocupa é que pode atingir níveis irreversíveis, e em alguns casos irreparáveis. Por isso que a identificação das áreas sensíveis (ESAI), mesmo de baixo a moderado grau devem receber monitoramento e constantes avaliações (VIEIRA et al., 2015). Áreas com vestígios iniciais de degradação tendem a ser ignorados erradamente pela população e como também pelas autoridades, porém podem ser o início de uma sequência de efeitos negativos ao equilíbrio do ecossistema. Dentre os municípios que lideram essa estatística estão São João de Meriti, Nilópolis, Quissamã, Arraial do Cabo, Carapebus e São João da Barra por estarem na faixa de degradação do solo, conforme a análise.

Outra questão importante e que deve ser monitorada é a turbidez da água, principalmente na época de chuva. No Brasil, existem inúmeras estatísticas que mostram assoreamento, lixiviação e erosão das margens dos rios, devido à falta de preservação ambiental, cultivo intensivo, constante desmatamento e chuvas torrenciais, cada vez mais frequentes devido à intensificação dos eventos meteorológicos extremos (PERHI-RJ, 2014).

Além do assoreamento, os processos de lixiviação trazem grande aporte de nutrientes para os corpos hídricos e podem causar o processo de eutrofização dos mananciais, assim como,

deixam os solos pobres e mais vulneráveis as voçorocas (BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2013; COSTA et al., 2012).

Na Assembleia da Organização das Nações Unidas em 2015, definiram-se os objetivos do Desenvolvimento Sustentável, com diretrizes específicas para o combate à desertificação. O objetivo em alcançar a sustentabilidade é assegurar a neutralidade da degradação da Terra até 2030, entretanto se estudos e novas práticas não forem implementados não será possível cumprir esse prazo, principalmente em países em desenvolvimento, como por exemplo, o Brasil (SAFRIEL, 2017).

A degradação da Terra também pode afetar diversos processos biogeofísicos, por causar alteração na superfície, devido a mudança no albedo, na rugosidade do terreno e na troca de umidade (MARIANO et al., 2018). Além de intensificar o efeito estufa, pois afetam as concentrações de gases na atmosfera. Alguns estudos apontam que existem relações diretas e indiretas entre os processos e efeitos da desertificação concomitantemente com as mudanças no clima (PRĀVĀLIE et al., 2017). Alguns efeitos dessa relação causam instabilidade social, econômica e ambiental, e também inibem processos naturais como a redução da capacidade de retenção da umidade do solo, diminuição da precipitação, distúrbios da vegetação devido as alterações nos padrões sazonais e interanual da chuva (UNCCD; UNFCC, 2007).

No Estado do Rio de Janeiro, devido as extensas áreas de pastagem degradadas, considera-se ser um potencial fator para maior susceptibilidade a desertificação, pois solos sem cobertura vegetal são mais susceptíveis à degradação e a erosões mais severas (INEA, 2017).

5 CONCLUSÃO

O Índice de Qualidade de Áreas Ambientais Sensíveis (ESAI) permite identificar de forma eficiente áreas com baixo e moderado grau de susceptibilidade ao processo de desertificação no Estado do Rio de Janeiro.

As regiões Norte, Noroeste, Baixada Litorânea e Metropolitana merecem atenção especial não somente por apresentarem áreas com moderado e baixo grau de susceptibilidade a desertificação, mas também por estarem inseridas em regiões do Estado do Rio de Janeiro com baixos índices pluviais, altas temperaturas do ar e elevadas taxas de evapotranspiração, assim como também áreas onde o Índice de Aridez é pronunciado. Todavia qualquer alteração no delicado equilíbrio entre o meio natural e as atividades humanas poderá conduzir o ecossistema no sentido da desertificação. Os municípios da região da Baixada Litorânea, como por exemplo, Cabo Frio, Arraial do Cabo, Armação dos Búzios e São Pedro da Aldeia apresentaram baixo a moderado grau de susceptibilidade e merecem atenção especial, devido a importância da fauna e flora presentes nessas áreas. A peculiaridade climática das regiões mencionadas se contrasta em relação as demais regiões do Estado.

Entendem-se que para o presente estudo, de acordo com as análises feitas e os resultados apresentados, pode-se dizer que não ficou caracterizado risco à desertificação no ERJ.

O Estado do Rio de Janeiro, apesar de apresentar áreas com elevada densidade populacional e alto grau de urbanização, também possuem regiões produtoras de alimento, e por esse motivo essas áreas merecem uma atenção especial com políticas públicas que permitam o monitoramento da qualidade ambiental.

O projeto MEDALUS associado ao método de Crepani et al., (1966) foram exequíveis no presente trabalho, pois apresentaram vantagens que possibilitaram fácil comparação de resultados entre diferentes regiões do Estado. Os resultados também podem favorecer no auxílio de diversos projetos para o Estado do Rio de Janeiro, dentre eles projetos agrícolas e industriais.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRE, R. G. B., MARQUES, V. S., PINHEIRO, F. M. A., FERRAUDO, A. S. **Identificação de regiões pluviometricamente homogêneas no Estado do Rio de Janeiro, utilizando-se valores mensais.** Revista Brasileira de Meteorologia, v.23, n.4, 501 - 509, 2008.
- AUBREVILLE, A. *Climats, forest, et desertification de l'Afrique Tropicale.* Societe de Editions Geographiques, Maritime et Coloniales, Paris, 1949, p.255.
- ABDELRAHMAN, M. A. E. *Estimating soil fertility status in physically degraded land using GIS and remote sensing techniques in Chamarajanagar district, Karnataka, India.* *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 2016.
- AFIFI, A. A.; DARWISH, K. M.; YOUSSEF, R. A. *Geospatial information and indicators for mapping land sensitivity to degradation in Siwa Oasis, Egypt.* *Sci-Afric Journal of Scientific Issues, Research and Essays*, 2014.
- ALVARES, C. A. *Köppen's climate classification map for Brazil.* Meteorologische Zeitschrift, 2013.
- ARORA, V. K.; BOER, G. J. *Uncertainties in the 20th century carbon budget associated with land use change.* *Global Change Biology*, 2010.
- BAI, Y.; SCOTT, T. A.; MIN, Q. *Climate change implications of soil temperature in the Mojave Desert, USA.* *Frontiers of Earth Science*, v. 8, n. 2, p. 302–308, 2014.
- BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Plano Nacional de Saneamento Básico - PLANSAB.** [s.l: s.n.]. CORRÊA, G. R. *Physical and chemical attributes of Archaeological Soils developed from shell middens in the Região dos Lagos, Rio de Janeiro, Brazil.* Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 35, n. 4, p. 1100–1111, 2011.
- COSTA, A. F. S. Recursos Hídricos, 2011.
- CREPANI, E. **Curso de Sensoriamento Remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico.** INPE(Inpe-6145-PUD/028), 1996.
- CUNHA, L; FERNANDES, A. R. **Riscos Naturais em Portugal.** Departamento de geografia (FLUC) Centro de estudos de geografia e ordenamento do território (CEGOT). UNESP, 2014.
- DE SOUZA, D. C.; OYAMA, M. D. *Climatic consequences of gradual desertification in the semi-arid area of Northeast Brazil.* Theoretical and Applied Climatology, 2011.
- EMBRAPA, E. B. D. P. A. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** [s.l: s.n.].

FERNANDINO, G.; ELLIFF, C. I.; SILVA, I. R. *Ecosystem-based management of coastal zones in face of climate change impacts: Challenges and inequalities*. Journal of Environmental Management, v. 215, p. 32–39, 1 jun. 2018.

FERREIRA, T. R. *Identification of Desertification-Sensitive Areas in the Brazilian Northeast Through Vegetation Indices*. Engenharia Agrícola, v. 37, n. 6, p. 1190–1202, 2017.

GAREDEW, E. *Land-use and land-cover dynamics in the central rift valley of ethiopia*. Environmental Management, 2009.

GOUDIE, A. S. *Desert dust and human health disorders Environment International*, 2014.

HUETE, A. R., K. DIDAN, K., MIURA, T., RODRIGUEZ, E.P., GAO, X., FERREIRA, L.G. *Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. Remote Sensing of Environment*, v.83, Special Issue. p.195-213, 2002.

IBGE. **Um Panorama da saúde no Brasil : acesso e utilização dos serviços, condições de saúde e fatores de risco e proteção à saúde**. [s.l: s.n.].

IBGE. **Síntese de indicadores sociais: uma análise das condições de vida da população brasileira 2010**. [s.l: s.n.].

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. In: **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. [s.l: s.n.].

IBGE. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável**. [s.l: s.n.].

IBGE, I. B. DE G. E E.-. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. [s.l: s.n.].

INEA. **Instituto Estadual do Ambiente**.

IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change Synthesis Report*, 2014. [s.l: s.n.].

JENSEN, J. R. *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*. 2 a. ed. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 1996.

LANDAU, E. C., GUIMARÃES, D. P., Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil - INPE, p. 4003, 2011.

LAING, A.; EVANS, J. L. *Introduction to Tropical Meteorology*. [s.l: s.n.].

LYRA, G. B. **Evaluation of methods of spatial interpolation for monthly rainfall data over the state of Rio de Janeiro, Brazil**. *Theoretical and Applied Climatology*, p. 1–11, 2017.

MARIANO, D. A. *Use of remote sensing indicators to assess effects of drought and human-induced land degradation on ecosystem health in Northeastern Brazil*. Remote

Sensing of Environment, 2018.

MARTINES, I. M. **Remanescentes de áreas verdes e sua importância para a qualidade ambiental urbana**, Cidades Verdes, pp. 78-104 ISSN 2317-8604, 2015.

MEKONNEN, Z. *Land use and land cover changes and the link to land degradation in Arsi Negele district, Central Rift Valley, Ethiopia. Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 2018.

MINISTRY OF THE ENVIRONMENT, M. OF S. D. AND F. A. H. *The right to water in the semi-arid region: managing Brazilian areas susceptible to desertification*. In: *Living Land*. [s.l: s.n.]. p. 33–36.

NASCIMENTO, F. R. **Os Semiáridos e a Desertificação no Brasil**. Revista Eletrônica do PRODEMA, p. 7–26, 2015.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. F., CORREIA, P. T., MORAES, O. N., LYRA, G. B. **Distribuição Espacial da Precipitação Pluvial Mensal no Estado do Rio de Janeiro**. XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – SESC Centro de Turismo de Guarapari, Guarapari - ES, 2011.

PACHECO, F. A. L. *Land degradation: multiple environmental consequences and routes to neutrality*. Current Opinion in Environmental Science & Health, 2018.

PAN BRASIL. **Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos efeitos da Seca**. Brasília, MMA, 2005.

PERHI-RJ. **Relatório Gerencial**. In: Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro. [s.l: s.n.].

PETTA, R. A. *Evaluation of Desertification Processes in Seridó Region (NE Brazil)*. *International Journal of Geosciences*, 2013.

PNUD. **Síntese - Relatório do desenvolvimento humano 2015**. [s.l: s.n.].

PRĂVĂLIE, R. *Spatial assessment of land degradation sensitive areas in southwester Romania using modified MEDALUS method*. *Catena*, 2017.

PRECINOTO, R. S.; LEMOS, F.G. R.; CORREIA, T. P.; SANTOS, E. O.; LYRA, G. B.; CRUZ, S. M. S. 2013. **Uso de Sistema de pré-processadores para obtenção de séries pluviométricas de qualidade**. Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2013.

ROXO, M. J. **Panorama mundial da desertificação**. In: Agricultura familiar e desertificação. Actas do I Seminário Luso-brasileiro. [s.l: s.n.].

SAFRIEL, U. *Land degradation neutrality (LDN) in drylands and beyond – where has it come from and where does it go* *Silva Fennica*, 2017.

- SHEN, M. *Estimating uncertainty and its temporal variation related to global climate models in quantifying climate change impacts on hydrology*. *Journal of Hydrology*, v. 556, p. 10–24, 2018.
- SYMEONAKIS, E. *Monitoring Sensitivity to Land Degradation and Desertification with the Environmentally Sensitive Area Index: The Case of Lesvos Island*. *Land Degradation and Development*, 2016.
- TOMASELLA, J. *Desertification trends in the Northeast of Brazil over the period 2000–2016*. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2018.
- UNCCD. *Land degradation assessment in drylands Seventh session of the Conference of the Parties, item 10 of the provisional agenda*. [s.l: s.n.].
- UNCCD. *Desertification: The Invisible Frontline United Nations Convention to Combat Desertification*. [s.l: s.n.].
- UNCCD; UNFCCC. *Forests: Climate Change, Biodiversity and Land Degradation Zero Mercury Working Group*. [s.l: s.n.].
- UNITED NATIONS. **Convenção sobre Mudança do Clima**. Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Anais 1992
- VIEIRA, R. M. S. P. *Identifying areas susceptible to desertification in the Brazilian northeast*. *Solid Earth*, v. 6, n. 1, p. 347–360, 2015.
- VIOLA, E. **O regime internacional de mudança climática e o Brasil**. *Revista Brasileira de Ciências Sociais*, 2002.
- WANG, Y.; YAN, X. *Climate change induced by Southern Hemisphere desertification*. *Physics and Chemistry of the Earth*, v. 102, p. 40–47, 2017.
- WUNDER, S., BODLE, R. *Achieving land degradation neutrality in Germany: Implementation process and design of a land use change based indicator*, *Environmental Science e Plicy - ELSEVIER*, vol. 92, p .46-55, (2019).
- ZHU, X.; LIU, D. *Improving forest aboveground biomass estimation using seasonal Landsat NDVI time-series*. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 102, p. 231,2015.