

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE FLORESTAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRÁTICAS EM**  
**DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

**DISSERTAÇÃO**

**Susceptibilidade à Desertificação no Estado do Rio de Janeiro baseada em Índices Climáticos de Aridez: Práticas Agroecológicas como Alternativa de Mitigação e Prevenção**

**Leonardo Bohn**

**2014**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRÁTICAS EM  
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

**SUSCEPTIBILIDADE À DESERTIFICAÇÃO NO ESTADO DO RIO DE  
JANEIRO BASEADA EM ÍNDICES CLIMÁTICOS DE ARIDEZ:  
PRÁTICAS AGROECOLÓGICAS COMO ALTERNATIVA DE  
MITIGAÇÃO E PREVENÇÃO**

*Sob a orientação do Professor*  
**Gustavo Bastos Lyra**

*e Sob a coorientação da Professora*  
**Silvia Regina Goi**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Práticas em Desenvolvimento Sustentável, área de concentração em Práticas em Desenvolvimento Sustentável.

Seropédica, RJ  
Agosto de 2014

551.6098153

B677s

T

Bohn, Leonardo, 1982-

Susceptibilidade à desertificação no Estado do Rio de Janeiro baseada em índices climáticos de aridez: práticas agroecológicas como alternativa de mitigação e prevenção / Leonardo Bohn - 2014.

89 f.: il.

Orientador: Gustavo Bastos Lyra.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Práticas em Desenvolvimento Sustentável.

Bibliografia: f. 59-72.

1. Climatologia - Rio de Janeiro (RJ) - Teses. 2. Desertificação - Rio de Janeiro (RJ) - Teses. 3. Desenvolvimento sustentável - Teses. 4. Ecologia agrícola - Teses. I. Lyra, Gustavo Bastos, 1975-. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Práticas em Desenvolvimento Sustentável. III. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE FLORESTAS**  
**CURSO DE PÓS-EM PRÁTICAS EM DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

**LEONARDO BOHN**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Práticas em Desenvolvimento Sustentável, área de concentração em Práticas em Desenvolvimento Sustentável.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM ----/----/-----

---

Gustavo Bastos Lyra. Prof. Dr. DCA/IF/UFRRJ

---

José Francisco de Oliveira Júnior. Prof. Dr. DCA/IF/UFRRJ

---

Renato Linhares de Assis, Dr. EMBRAPA - Agrobiologia

*Mestre não é quem sempre ensina, mas quem de repente aprende.*

**João Guimarães Rosa**

*A história é um profeta com o olhar voltado para trás: pelo que foi, e contra o que foi, anuncia o que será.*

**Eduardo Galeano**

*(...) os homens têm que estar em condições de viver para poderem “fazer história”. Mas da vida fazem parte sobretudo comer e beber, habitação, vestuário e ainda algumas outras coisas. O primeiro ato histórico é, portanto, a produção dos meios para a satisfação dessas necessidades, a produção da própria vida material, e a verdade é que este é um ato histórico, uma condição fundamental de toda a História, que ainda hoje, como há milhares de anos, tem que ser realizada dia a dia, hora a hora, para ao menos manter os homens vivos.*

**Karl Marx & Friedrich Engels**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) e ao Programa de Pós-Graduação em Práticas em Desenvolvimento Sustentável (PPGPDS).

À Fundação MacArthur e a Fundação de Apoio à Pesquisa Científica e Tecnológica da UFRRJ (FAPUR) pela bolsa de estudos concedida.

Ao Prof. Gustavo Bastos Lyra, pela orientação e pelos ensinamentos (que não foram poucos), e por ter me oferecido a oportunidade de encarar uma nova área do conhecimento, me apoiando e me auxiliando em cada passo neste aprendizado.

À Profa. Silvia Goi, pela coorientação desta dissertação e todo auxílio durante a realização da mesma.

Aos companheiros da “República dos Pampas”, Daniel Kieling, Natália Bristot Migon, Debora Attolini e Simone Madalosso, os quais além da amizade e companheirismo, estiveram presentes em todos momentos desta minha caminhada.

Aos colegas da “Turma 2” do PPGPDS pela alegria e satisfação de termos convivido juntos esses dois anos.

À minha irmã, pelo exemplo de vida e determinação, e a minha sobrinha querida, Giovana.

Aos meus pais, Erico Inacio Bohn e Regina Beatriz Bohn, por terem me apoiado em todos desafios que me propus a enfrentar e por sempre estarem junto a mim, mesmo que na distância.

E à cidade do Rio de Janeiro, por ter me recebido de braços abertos e me proporcionado momentos que carregarei para a vida inteira.

## RESUMO

BOHN, Leonardo. **Susceptibilidade à desertificação no Estado do Rio de Janeiro baseada em índices climáticos de aridez: Práticas agroecológicas como alternativa de mitigação e prevenção.** 2014. 89p. Dissertação (Mestrado em Práticas em Desenvolvimento Sustentável), Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2014.

A desertificação é considerada um dos mais graves problemas enfrentados pela humanidade em busca do desenvolvimento sustentável. Entende-se por desertificação “degradação da terra em regiões áridas, semiárida e subúmidas secas, resultantes de vários fatores, entre eles, variações climáticas e atividades humanas”. Em termos climáticos, índices de aridez são indicadores confiáveis da susceptibilidade a desertificação, sendo utilizados na delimitação de áreas susceptíveis a desertificação (ASD) no Brasil e no mundo. Embora o Brasil seja extremamente vulnerável à desertificação, a região Nordeste é prioritária em estudos relacionados ao tema. Todavia, sabe-se que demais áreas, principalmente nas regiões no entorno das ASD, também apresentam problemas relacionados a degradação da terra, agravados pelo fenômeno da seca. A agroecologia apresenta-se como uma nova proposta de combate a este fenômeno através do planejamento de sistemas agrícolas sustentáveis, que garantam ao mesmo tempo segurança alimentar, proteção dos recursos naturais e o bem estar das populações. Nessa perspectiva, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a susceptibilidade à desertificação no estado do Rio de Janeiro (RJ) e propor práticas agroecológicas como alternativa de mitigação e prevenção. Para tanto, calculou-se o Balanço Hídrico Climatológico (BHC) referente a 94 estações pluviométricas a partir de dados mensais de precipitação pluvial (P) e de temperatura do ar (Tm) do período (1961 – 2010). As Tm mensais foram estimadas por meio de um modelo linear múltiplo previamente ajustado, em função da latitude, longitude e altitude. Esse modelo foi utilizado também para a interpolação espacial da Tm anual através de álgebra de mapas. Obtiveram-se os dados de Evapotranspiração Potencial (ETP) e Déficit Hídrico (DEF), sendo a ETP e a P utilizadas para calcular os índices de aridez Ia e D. As médias anuais de P, ETP, DEF e os índices Ia e D foram espacializados pelo método de mínima curvatura para todo o estado do RJ. O Ia indicou susceptibilidade à desertificação em aproximadamente 5% do estado do RJ (2.305,8 km<sup>2</sup>), nas regiões Norte Fluminense e Baixadas Litorâneas, enquanto o índice D, caracterizou apenas uma área de 431,06 km<sup>2</sup> (1% do RJ) no Norte Fluminense como susceptível. Ambos os índices demonstraram que a região Norte Fluminense e porção leste da região das Baixadas Litorâneas são as mais secas do Estado, seguidas do Noroeste Fluminense e região Metropolitana. O Norte Fluminense se mostrou a região mais susceptível a desertificação. Posteriormente, realizou-se um estudo de caso com o intuito de se propor práticas agroecológicas que possam auxiliar no combate à desertificação nesta região. Nessa perspectiva, a recuperação e conservação da vegetação nas áreas protegidas por lei, o aumento da eficiência dos sistemas de irrigação, a diversificação da produção, o manejo agroecológico da fertilidade do solo, entre outros, apresentam-se como alternativas para a melhoria da qualidade de vida das comunidades rurais e garantir a sustentabilidade ambiental frente a problemática da desertificação.

**Palavras-chave:** Climatologia, Modelagem Espacial, Desenvolvimento Sustentável

## ABSTRACT

BOHN, Leonardo. **Desertification susceptibility in the state of Rio de Janeiro based on aridity indices: agroecological practices as an alternative for mitigation and prevention.** 2014. 89p Dissertation (Master of Science in Development Practice), Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2014.

Desertification is one of the major problems faced by humanity to achieve sustainable development. This phenomenon is defined as “land degradation in arid, semi-arid and dry subhumid areas resulting from various factors, including climatic variations and human activities”. In terms of climate, aridity indices are considered reliable indicators, being utilized to delimitate areas susceptible to desertification in Brazil and worldwide. Although Brazil is extremely vulnerable to desertification, the Northeast of its territory is the priority for studies related to the topic. However, it is well known that other regions, especially those located in the boundary of the susceptible areas, are affected by land degradation exacerbated by severe droughts. Agroecology is considered a new proposal to combat this process by planning sustainable agriculture systems to ensure food security, protection of natural resources and safeguard human well-being. The present study aims to evaluate the susceptibility to desertification in the state of Rio de Janeiro (RJ) and propose agroecological practices as an alternative for its mitigation and prevention. For this, the climatic soil water balance (CSWB) of 94 rainfall stations was calculated with annual rainfall (R) data from 1961 to 2010 and annual air temperature (T) estimations obtained from the adjustment of a multiple linear regression model, which was, subsequently, used for the spatial interpolation of this variable, as a function of latitude, longitude and altitude. The resulted Potential Evapotranspiration (PET) data was used to calculate the aridity indices AI and D. R, PET, and water deficit (WD) determined by CWB calculations were then interpolated through minimum curvature method for the entire RJ state. AI indicated the presence of areas susceptible to desertification in 5% of Rio de Janeiro territory (2.305,8 km<sup>2</sup>) in Norte Fluminense and Baixadas Litorâneas regions, whereas D index, characterized only 431,06 Km<sup>2</sup> (1% of RJ) in the Norte Fluminense as susceptible. Nonetheless, both aridity indices (AI and D) demonstrated that Norte Fluminense and the east of Baixadas Litorâneas are the driest areas of the state, followed by Noroeste Fluminense and Metropolitana regions. Being Norte Fluminense more susceptible to desertification, a case study was performed through secondary data analysis and direct observations to propose agroecological practices to assist family farmers to combat desertification's effects. In this perspective, the recovery and conservation of native vegetation in protected areas, improvement of irrigation systems, diversification of food production, agroecological management of the soil, among others, are considered powerful alternatives to improve life quality of rural communities and ensure environmental sustainability in facing desertification.

**Palavras-chave:** Climatology, Spatial Modeling, Sustainable Development



## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1.** Classes climáticas segundo Thornthwaite (1948) e suas respectivas susceptibilidades à desertificação conforme nível de aridez local obtido através do índice de aridez de Thornthwaite (1948), ajustado por Penman (1953). Fonte: Adaptado de Matallo Júnior (1999) ..... 25

**Tabela 2.** Coeficientes do modelo de regressão linear múltipla com seus respectivos erros-padrão de estimativa (EPE) e coeficientes de determinação ( $r^2$ ) para a temperatura do ar média no período 1961-2010 ..... 29

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Distribuição das regiões hiperáridas, áridas, semiáridas e subúmidas secas no mundo. Fonte: Millennium Ecosystem Assessment (2005) ..... 04
- Figura 2.** Mapa das Áreas Susceptíveis a Desertificação (ASP). Fonte: PAN-Brasil (2004) ..... 09
- Figura 3.** Distribuição das regiões de governo do estado do Rio de Janeiro. Fonte: CEPERJ (2014) ..... 17
- Figura 4.** Hipsometria do estado do Rio de Janeiro determinada com o modelo digital de elevação SRTM ..... 18
- Figura 5.** Distribuição espacial das estações meteorológicas e pluviométricas utilizadas para a obtenção das normais climatológicas de temperatura do ar e precipitação pluvial ..... 23
- Figura 6.** Fluxograma com as etapas realizadas para a obtenção dos mapas finais da Tm, P, ETP, DEF, Ia e D no período 1961-2010 para o estado do RJ ..... 27
- Figura 7.** Relação entre temperatura do ar (°C) média anual observada no período 1961-2010 e estimada (interpolada) através do modelo de regressão linear múltipla resolvido para as coordenadas geográficas e altitude de uma grade de 5 x 5 km no estado do RJ e regiões limítrofes de SP, MG e ES ..... 31
- Figura 8.** Relação entre precipitação pluvial (mm) anual observada no período 1961 – 2010 e estimada (interpolada) pelo método de mínima curvatura para uma grade de 5 x 5 km no estado do RJ e regiões limítrofes de SP, MG e ES..... 33
- Figura 9.** Relação entre a) evapotranspiração potencial (mm) anual e b) déficit hídrico (mm), observados no período 1961-2010 e estimados (interpolados) pelo método de mínima curvatura para uma grade de 5 x 5 km no estado do RJ e regiões limítrofes de SP, MG e ES ..... 34
- Figura 10.** Relação entre a) o índice de aridez (Ia) e b) e índice de aridez (D), observados no período 1961-2010 e estimados (interpolados) pelo método de mínima curvatura para uma grade de 5 x 5 km no estado do Rio de Janeiro e regiões limítrofes de São Paulo, Minas Gerais e Espírito Santo ..... 35
- Figura 11.** Distribuição espacial da temperatura do ar (°C) média anual no período 1961-2010 para o estado do RJ ..... 36
- Figura 12.** Distribuição da frequência relativa (%) da temperatura do ar (°C) média anual no período 1961-2010 para o estado do RJ e suas regiões de governo – Costa Verde, Médio Paraíba, Metropolitana, Centro-Sul, Serrana, Baixadas Litorâneas, Norte e Noroeste Fluminense ..... 37

<b>Figura 13.</b> Distribuição espacial da precipitação pluvial (mm) anual no período 1961-2010 para o estado do RJ .....	38
<b>Figura 14.</b> Distribuição da frequência relativa (%) da precipitação pluvial (mm) anual no período 1961-2010 para o estado do RJ e suas regiões de governo – Costa Verde, Médio Paraíba, Metropolitana, Centro-Sul, Serrana, Baixadas Litorâneas, Norte e Noroeste Fluminense .....	39
<b>Figura 15.</b> Distribuição espacial da evapotranspiração potencial (mm) anual no período 1961-2010 para o estado do RJ .....	41
<b>Figura 16.</b> Distribuição da frequência relativa (%) da evapotranspiração potencial (mm) anual no período 1961-2010 para o estado do RJ e suas regiões de governo – Costa Verde, Médio Paraíba, Metropolitana, Centro-Sul, Serrana, Baixadas Litorâneas, Norte e Noroeste Fluminense .....	42
<b>Figura 17.</b> Distribuição espacial do déficit hídrico (mm) anual no período 1961-2010 para o estado do RJ .....	43
<b>Figura 18.</b> Distribuição da frequência relativa (%) do déficit hídrico (mm) anual no estado do RJ e suas regiões de governo – Costa Verde, Médio Paraíba, Metropolitana, Centro-Sul, Serrana, Baixadas Litorâneas, Norte e Noroeste Fluminense .....	43
<b>Figura 19.</b> Distribuição espacial do índice de aridez (Ia) anual no período 1961-2010 para o estado do RJ .....	45
<b>Figura 20.</b> Distribuição da frequência relativa (%) do Índice de Aridez (Ia) anual no período 1961-2010 para o estado do RJ e suas regiões de governo – Costa Verde, Médio Paraíba, Metropolitana, Centro-Sul, Serrana, Baixadas Litorâneas, Norte e Noroeste Fluminense .....	46
<b>Figura 21.</b> Distribuição espacial do índice de aridez (D) no período 1961-2010 para o estado do RJ .....	47
<b>Figura 22.</b> Distribuição da frequência relativa (%) do Índice de Aridez (D) anual no período 1961-2010 no estado do RJ e suas regiões de governo – Costa Verde, Médio Paraíba, Metropolitana, Centro-Sul, Serrana, Baixadas Litorâneas, Norte e Noroeste Fluminense .....	48
<b>Figura 23.</b> Índices de aridez Ia e D dos nove municípios pertencentes a região Norte Fluminense no período 1961-2010 .....	49

## LISTA DE ABREVIACÕES, SIGLAS OU SÍMBOLOS

AA – Análise de Agrupamento

AL – Alagoas

ALT – Altitude

APP – Área de Preservação Permanente

ARM – Armazenamento de água no solo

ASD – Áreas Susceptíveis à Desertificação

$\beta_0$  – Intercepto da regressão linear

$\beta_1$  – Coeficiente Angular

BHC – Balanço Hídrico Climatológico

CCD – Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Mineiras

d – Índice de Concordância de Willmott

DEF – Déficit hídrico

DNOS – Departamento Nacional de Obras e Saneamento

ECO-92 – Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento

EPE – Erro Padrão de Estimativa

ES – Espírito Santo

ETP – Evapotranspiração potencial

ETR – Evapotranspiração real

EXC – Excedente Hídrico

FAO – Organização das Nações Unidas par a Agricultura e Alimentação

FCTH – Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH)

FENORTE – Federação Estadual Norte Fluminense

FMP – Faixa Marginal de Proteção

$\Gamma_d$  – Razão adiabática úmida

GEE – Gás do Efeito Estufa

GO – Goiás

IAMASOL – Instituto de Agroecologia e Meio Ambiente Solar dos Jesuítas

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICID – Conferência de Impactos das Variações Climáticas e Desenvolvimento Sustentável em Regiões Semiáridas

IDH – Índice de Desenvolvimento Humano

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão de Águas

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

IPD – Inverso da Potência da Distância

LAT – Latitude

LONG – Longitude

MC – Mínima Curvatura

MDE – Modelo Digital de Elevação

MG – Minas Gerais

MST – Movimento dos Trabalhadores Sem Terra

NEB – Nordeste Brasileiro

OMM – Organização Mundial de Meteorologia

ONU – Organização das Nações Unidas

P – Precipitação pluvial anual

PA – Projeto de Assentamento

PAN-Brasil – Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e dos Efeitos da Seca

PIB – Produto Interno Bruto

PNCD – Política Nacional de Combate à Desertificação

PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

$r^2$  – Coeficiente de determinação

REDEMET – Rede Meteorológica do Comando da Aeronáutica

RJ – Rio de Janeiro

RQME – Raiz do Quadrado Médio do Erro

SAF – Sistema Agroflorestral

SERLA – Fundação Superintendência Estadual de Rios e Lagoas

SF – Sistemas Frontais

SIG – Sistema de Informações Geográficas

SIG GRASS – *Geographic Resources Analysis Support System*

SP – São Paulo

SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*

Tm – Temperatura média anual

UC – Unidade de Conservação

UENF – Universidade Estadual do Norte Fluminense

UFPRPE – Universidade Federal Rural de Pernambuco

ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>3</b>
2.1 Objetivos Gerais .....	3
2.2 Objetivos Específicos .....	3
<b>3 REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>4</b>
3.1 Desertificação .....	4
3.1.1 A problemática da desertificação .....	4
3.1.2 Conceituação .....	6
3.1.3 A desertificação no brasil .....	7
3.1.4 Causas e consequências .....	9
3.1.5 Mensuração.....	11
3.2 Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Estudos Ambientais.....	12
3.3 Agroecologia como Alternativa de Mitigação e Prevenção .....	14
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>17</b>
4.1 Caracterização da Área de Estudo .....	17
4.1.1 Localização geográfica .....	17
4.1.2 Relevo.....	18
4.1.3 Clima .....	19
4.1.4 Vegetação .....	20
4.1.5 Solos .....	20
4.1.6 Hidrografia .....	22
4.2 Dados Climáticos.....	22
4.2.1 Temperatura do ar e precipitação pluvial .....	22
4.2.2 Balanço hídrico climatológico.....	24
4.3 Índices Climáticos de Aridez.....	25
4.3.1 Índice de aridez (Ia).....	25
4.3.2 Índice de aridez (D).....	26
4.4 Geração dos Mapas – Interpolação Espacial .....	26
4.5 Análise e Validação dos Modelos de Interpolação.....	27
4.6 Avaliação das Áreas Susceptíveis à Desertificação no Norte Fluminense e Proposição de Práticas Agroecológicas como Alternativa de Mitigação e Prevenção .....	28
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>29</b>
5.1 Modelos de Interpolação .....	29

5.1.1 Temperatura do ar.....	29
5.1.2 Componentes do balanço hídrico climatológico .....	32
5.1.3 Índices de aridez (Ia) e (D) .....	35
5.2 Clima .....	35
5.3 Susceptibilidade à Desertificação .....	45
5.3.1 Índice de aridez (Ia).....	45
5.3.2 Índice de aridez (D) .....	47
5.4 Estudo de Caso: Áreas Susceptíveis à Desertificação no Norte Fluminense e Proposição de Práticas Agroecológicas como Alternativa de Mitigação e Prevenção .....	49
5.4.1 Processo histórico e características ambientais e socioeconômicas .....	49
5.4.2 Práticas agroecológicas como alternativa de prevenção e mitigação à desertificação ....	51
<b>6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>58</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>59</b>
<b>ANEXO 1.....</b>	<b>73</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A desertificação, as mudanças climáticas e a perda de biodiversidade, são considerados os mais graves problemas ambientais enfrentados pela humanidade em busca do desenvolvimento sustentável<sup>1</sup> (IPCC, 2007). No entanto, seus impactos ultrapassam a temática ambiental, e atingem a população mundial também nas esferas econômica e social. Se não prontamente entendidos e remediados, as consequências destes três fenômenos podem acarretar efeitos desastrosos na nossa sociedade.

Embora, atualmente, reconhecido que a desertificação somente ocorra nas “terras secas” do mundo, ou seja, nas regiões de clima árido, semiárido e subúmido seco, ela é um problema de ordem mundial, e deve ser combatida de tal forma (ONU, 1997). Suas consequências muitas vezes são observadas longe dos locais onde ela está atuando, como por exemplo, no abastecimento mundial de alimentos, nas migrações das populações atingidas, e nos seus efeitos sobre o clima regional e global (SAMPAIO, 2005).

O Brasil, por sua extensão continental e sua diversidade ambiental, apresenta grande risco à desertificação sobre diversos aspectos. Em relação a produção agrícola, senão forem tomadas medidas de combate e prevenção a este fenômeno, o País pode sofrer sério revés econômico, dada a importância do setor agropecuário em seu Produto Interno Bruto (PIB). Além do mais, a região mais afetada pela desertificação, o Nordeste Brasileiro (NEB), concentra a maior parte dos pequenos agricultores do País, os quais, sem o amparo adequado do governo e a incorporação de formas alternativas de convivência com as condições adversas do clima, podem sofrer severamente suas consequências (PAN-BRASIL, 2004). Em termos ambientais, essas consequências podem ter impactos negativos na biodiversidade e na dinâmica dos ecossistemas, o que pode ocasionar a alteração do comportamento de pragas e doenças e a introdução de espécies invasoras, sem contar a extinção de espécies nativas (IBAMA, 2014).

A região Nordeste, o norte de Minas Gerais e pequenas porções dos estados do Maranhão e Espírito Santo, são prioritárias em estudos relacionados à desertificação, particularmente pelas suas características climáticas (PAN-BRASIL, 2004). No entanto, pouco se sabe sobre a susceptibilidade climática das demais regiões do País frente aos futuros cenários projetados de mudanças climáticas. O aumento da temperatura do ar e a diminuição da precipitação pluvial previstos para algumas regiões do Brasil poderão afetar o balanço hidrológico regional das mesmas, e conseqüentemente, comprometer atividades humanas, como por exemplo, a agricultura e a geração de energia (MARENGO, 2006; IPCC, 2007), assim como favorecer a ocorrência da desertificação. Ademais, muitas das delimitações e classificações de áreas susceptíveis à desertificação são resultantes de grandes generalizações, o que pode fazer com que se deixe de lado áreas que de outra forma seriam relevantes (OLIVEIRA-GALVÃO & SAITO, 2003).

Embora a maior parte do estado do Rio de Janeiro apresente os tipos climáticos superúmido ou úmido, parte das regiões Norte e Noroeste Fluminense é classificada como subúmida seca. Além disso, estudos sugerem que nestas regiões ocorre um processo de diminuição dos totais de precipitação pluvial e aumento da temperatura do ar. (XAVIER *et al.*, 2000; ANDRÉ *et al.*, 2004). Dessa forma, a ampliação da área de estudo acerca do tema, principalmente em relação aos fatores climáticos, torna-se indispensável como forma de se rever os mapeamentos das áreas susceptíveis à desertificação existentes no Brasil e auxiliar na

---

<sup>1</sup> O conceito de desenvolvimento sustentável, concebido pelo Relatório Brundtland da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, intitulado Nosso Futuro Comum, o define como um modelo de desenvolvimento que atenda às necessidades do presente, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem às suas próprias necessidades (BRUNDTLAND, 1991).

formulação de políticas públicas e ações de combate em regiões atualmente não consideradas pelas mesmas.

Índices de aridez baseados em elementos climáticos têm sido amplamente utilizados na literatura com o objetivo de se verificar o processo de desertificação, sendo considerados confiáveis indicadores para a delimitação e o mapeamento de áreas susceptíveis ao fenômeno (ONU,1997). Nesse sentido, ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas – SIG são de grande utilidade na geração de superfícies contínuas de informações ambientais. Dados pontuais de componentes climáticos, assim como de valores de aridez local, podem ser interpolados espacialmente por meio de modelos determinísticos e/ou probabilísticos com objetivo de se obter a distribuição das mesmas em determinada região. Ademais, tais ferramentas podem também ser utilizadas para a análise temporal de tendências climáticas e processos ambientais, as quais oferecem grande oportunidade para se avaliar a desertificação na perspectiva de mudanças climáticas (PELEGRINO *et al.*, 1998; SANTOS, 2008)

Não obstante, a busca por soluções para enfrentar este fenômeno também é imprescindível como forma de se promover o desenvolvimento sustentável nas regiões climaticamente susceptíveis. Tais medidas podem servir tanto para mitigar seus efeitos, como para prevenir que essas áreas venham a sofrer com suas consequências.

A Agroecologia, como ciência que considera a dinâmica dos ecossistemas naturais no desenho e na utilização de sistemas produtivos, vem ao encontro da busca por alternativas que promovam a qualidade ambiental de áreas susceptíveis a desertificação, ao mesmo tempo que garantam um meio de produção e subsistência da população que se vê inserida nesses ambientes climaticamente frágeis (NOGUEIRA & DUQUE, 2010). Por possuir uma abordagem holística, a agroecologia utiliza-se de cada componente dos ecossistemas, visando seus efeitos sobre o todo, de maneira integrada. Essa mesma visão deve ser introduzida no combate à desertificação através da integração dos diversos fatores atuantes sobre ela, na perspectiva de se alcançar uma solução que considere as particularidades de cada localidade ou região.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivos Gerais**

AVALIAR a susceptibilidade à desertificação para o estado do Rio de Janeiro com base em índices de aridez calculados com dados climáticos;

PROPOR práticas agrícolas sustentáveis que considerem os resultados obtidos acerca da desertificação, as características socioeconômicas e ambientais das regiões susceptíveis, e os princípios e técnicas agroecológicas, como alternativa de mitigação e prevenção.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Assimilar, organizar e tratar as séries climáticas atuais (1961 – 2010) de precipitação pluvial e temperatura do ar de estações pluviométricas e meteorológicas no estado do Rio de Janeiro e seu entorno;
- Calcular os Índices de Aridez (Ia) e (D), assim como a Evapotranspiração Potencial e o Déficit Hídrico, em função das séries climáticas para o estado do Rio de Janeiro;
- Elaborar mapas da distribuição espacial da temperatura do ar, precipitação pluvial, evapotranspiração potencial e déficit hídrico anuais, assim como dos índices Ia e D para o estado do Rio de Janeiro através da interpolação espacial dos dados obtidos para o cenário climático atual;
- Identificar quais as regiões mais susceptíveis climaticamente à desertificação para a realização de um estudo de caso;
- Analisar o processo histórico e a situação atual de uso e ocupação do espaço rural nas áreas susceptíveis à desertificação na região selecionada para o estudo de caso, e;
- Propor e adaptar práticas agroecológicas compatíveis com as características e recursos ambientais, econômicos e sociais disponíveis nas áreas susceptíveis à desertificação como alternativa de mitigação e prevenção.

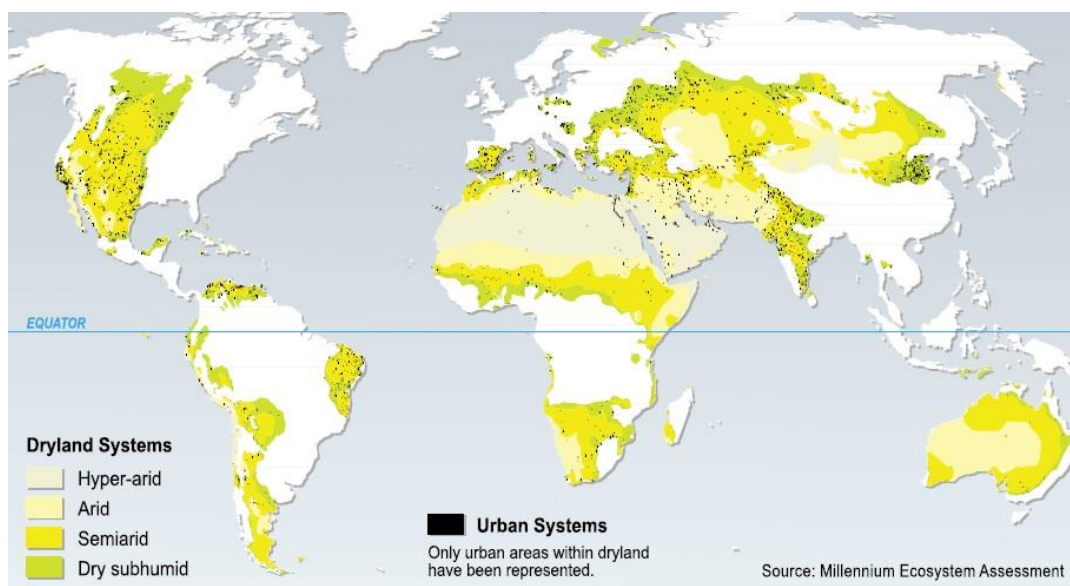
## 3 REVISÃO DA LITERATURA

### 3.1 Desertificação

#### 3.1.1 A problemática da desertificação

A desertificação, tem sido alvo de grande preocupação mundial, transcendendo o meio técnico-científico, e se constituindo como uma das mais graves ameaças ao meio ambiente e o bem estar humano (MAINGUET, 1994; WILLIAMS & BALLING 1996; REYNOLDS & STAFFORD SMITH, 2002; BRASIL, 2004; WINSLOW *et al.*, 2004). Dessa maneira, seus efeitos ultrapassam a problemática ambiental, ocasionando sérios impactos nas áreas social, econômica e cultural (BARROS *et al.*, 2008). Reconhecidamente um processo altamente dinâmico e complexo, e de amplitude mundial, a desertificação inclui tanto fatores biofísicos como socioeconômicos, quem implicam num envolvimento transdisciplinar para seu entendimento com a participação desde as ciências exatas até as ciências econômicas e humanas (MATALLO JÚNIOR, 2001; REYNOLDS & STAFFORD SMITH, 2002; SOARES *et al.*, 2011).

De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU, 1997) a desertificação é definida como “a degradação da terra nas regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante de vários fatores, entre eles as variações climáticas e as atividades humanas”, na qual se entende como “degradação da terra”, a deterioração dos solos, dos recursos hídricos, da vegetação e a redução da qualidade de vida das populações afetadas. (MATALLO JÚNIOR, 2001; ARAÚJO *et al.*, 2002). Ambientes hiperáridos são considerados desertos climáticos naturais, tais como o deserto de Atacama e o Saara, e dessa forma não estão contemplados nesta definição de desertificação (Figura 1).



**Figura 1.** Distribuição das regiões hiperáridas, áridas, semiáridas e subúmidas secas no mundo. Fonte: Millennium Ecosystem Assessment (2005).

As “terras secas” (áridas, semiáridas e subúmidas secas), as quais são susceptíveis a desertificação, são áreas onde a evapotranspiração potencial anual excede a precipitação anual ( $ETP > P$ ), e geralmente submetidas à baixas taxas e elevada variabilidade de chuva

(HASSAN & DREGNE, 1997). Essas perfazem 51,72 milhões de km<sup>2</sup>, o que corresponde aproximadamente 34,5% da superfície emersa da Terra (KASSAS, 1995). Calcula-se que por volta de 6 milhões de hectares de terras produtivas sejam perdidas anualmente devido aos danos causados pela desertificação (ONU, 2007). Contudo, essas estimativas variam conforme diferentes formas de análise e abordagem sobre o fenômeno em diversos estudos. No Brasil, de acordo com PAN-BRASIL (2004), tal fenômeno atinge 180 mil km<sup>2</sup>, concentrados predominantemente no nordeste do país.

Por volta de um bilhão de pessoas, ou seja 1/7 da população mundial atual, encontram-se em áreas em risco de desertificação, sendo que mais de 250 milhões de pessoas são afetadas diretamente pelo fenômeno em regiões pobres, marginalizadas e politicamente enfraquecidas (ONU, 2007). Em termos econômicos, estima-se uma perda aproximada de US\$ 42 bilhões do PIB anual mundial devido aos impactos diretos da desertificação (SIVAKUMAR, 2007).

Há décadas têm sido realizadas pesquisas acerca dos processos que levam a desertificação, fenômeno que ocorre no planeta há pelo menos 1,63 milhões de anos, alterando o meio ambiente e afetando as populações humanas (SZILAGYI, 2004). No entanto, o primeiro a utilizar o termo “desertificação” foi A. Aubreville, que em 1949, considerou o fenômeno como “a criação de desertos pela ação antrópica” (AUBREVILLE, 1949), sendo tal conceito caracterizado pelo aspecto fisionômico típico de desertos (dunas e vegetação esparsa, entre outros), e não como um processo (VERÓN *et al.*, 2006).

Somente após a grande estiagem que atingiu a região africana do Sahel, África Subsaariana, que se estendeu de 1968 a 1973 e afetou mais de seis milhões de pessoas, foi organizada em 1974 uma Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas (ONU), onde se decidiu realizar a 1ª Conferência Mundial sobre Desertificação, em Nairobi, no Quênia, em agosto de 1977. Contando com a participação de 95 países e diversas entidades e organizações intergovernamentais e não-governamentais, nela foi criado o “Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – PNUMA com o intuito de coordenar ações internacionais de proteção ambiental e de promoção do desenvolvimento sustentável. Através da compilação de diversos trabalhos acerca da desertificação, o PNUMA fez com que o tema extrapolasse a comunidade científica e assumisse um caráter interdisciplinar de dimensões globais (CONTI, 2008)

No Brasil, a problemática da desertificação começou a ser formalmente estudada no semiárido da região Nordeste do país na década de 1970 pelo ecólogo João Vasconcelos Sobrinho, da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Em seu trabalho *Núcleos de Desertificação no Polígono das secas* ele apresenta as primeiras ideias sobre os núcleos de desertificação, os quais se caracterizam simultaneamente como o efeito máximo do processo de degradação ambiental e como seu indicador mais importante, constituindo-se em “um deserto com todas características ecológicas que conduziriam à formação dos grandes desertos hoje existentes em outras regiões do globo” (VASCONCELOS SOBRINHO; 1974; MATALLO JÚNIOR 2001; PAN-BRASIL, 2004).

Em 1992 a cidade do Rio de Janeiro/RJ sediou a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento – ECO-92 onde foi elaborada a Agenda 21, que em seu capítulo 12 – Manejo de Ecossistemas Frágeis: A luta contra a Desertificação e a Seca, além da atual conceituação de desertificação adotada pela ONU na Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (CCD), apresentou-se também uma série de medidas para o combate à desertificação (PAN-BRASIL, 2004). Como resultado da ECO-92 e da Conferência de Impactos das Variações Climáticas e Desenvolvimento Sustentável em Regiões Semiáridas (ICID), realizada em Fortaleza/CE no mesmo ano, criaram-se a Política Nacional de Combate à Desertificação – PNCD e o Programa de Ação

Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca – PAN-Brasil, os quais faziam parte dos compromissos assumidos pelo Governo Brasileiro na CCD.

Desde então, apesar de ainda ser alvo de controvérsias conceituais e metodológicas, a desertificação vem sendo alvo de diversos estudos, programas e ações tanto na esfera local como global com o intuito de se compreender melhor o fenômeno, suas causas e consequências, e possíveis formas de se combater e mitigar os impactos gerados para o meio ambiente e para as sociedades. Nesse sentido, a ampliação do conhecimento em relação à desertificação torna-se indispensável de forma a melhorar o planejamento e o aproveitamento dos recursos naturais, assim como de possibilitar maior compreensão e dimensionamento do problema para conscientização dos diferentes atores sociais envolvidos e para formulação de políticas públicas adequadas (MATALLLO JUNIOR, 2001; SANTOS JÚNIOR *et al.*, 2001; GOIS *et al.*, 2005; SANTOS, 2008).

### 3.1.2 Conceituação

Como exposto na seção anterior, a interpretação original de desertificação foi feita por Aubreville (1949): “Esse são desertos reais que estão nascendo hoje, sobre nossos olhos em regiões onde as chuvas anuais variam de 700 mm a 1.500 mm”. Na sua visão, esses “desertos” estavam sendo formados a partir de atividade humana e se disseminavam por meio de “invasões de areia”, que em geral eram consideradas irreversíveis. (MAINGUET, 1994; VERÓN *et al.*, 2006). Nesse sentido, a desertificação era entendida como um conjunto de fenômenos que conduzia determinadas áreas a se transformarem em desertos ou algo ecologicamente semelhantes (predominância de dunas, vegetação esparsa e tortuosa, entre outras características).

No entanto, existe distinção entre deserto e desertificação. O termo deserto supõe um sistema natural, com características e limites definidos, enquanto que desertificação supõe um processo, uma dinâmica, que frequentemente está associado a longos períodos secos (CONTI, 2008). Neste mesmo contexto, Sampaio & Sampaio (2002) afirmam que “desertificação é um processo, o resultado de uma dinâmica” e “para ser caracterizado precisa-se de uma série temporal de dados”, pois um quadro instantâneo não permite avaliar uma variação no tempo.

Embora, atualmente, a definição de desertificação ainda seja alvo de extensos debates, o conceito mais aceito é o estabelecido pela CCD em 1994, seguindo os pressupostos estabelecidos pelo capítulo 12 da Agenda 21, em que se entende por desertificação “a degradação da terra em regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante de vários fatores, entre eles, variações climáticas e as atividades humanas” (ONU, 2007). A ideia central desse conceito de desertificação, contudo, já havia sido contextualizada em outras definições anteriores, como a adotada durante a Conferência de Nairobi, em 1977, na qual o processo de desertificação era definido como “o empobrecimento dos ecossistemas áridos ou subúmidos em virtude do efeito combinado das atividades humanas e da seca”, onde “as mudanças nesses ecossistemas poderiam ser medidas através do declínio da produtividade das espécies vegetais e animais, da aceleração da degradação dos solos e dos riscos aduzidos pela existência de populações” (CONTI, 2008).

Muitas associações são feitas entre desertificação e seca, o que traz à tona a necessidade de uma análise cuidadosa acerca da interação entre clima e desertificação. Essa associação é citada por Matallo Júnior (2001, p. 29), o qual discorre que:

“Muitas associações são feitas entre desertificação e seca. Alguns pensam que seca e desertificação são um único e mesmo fenômeno e que, portanto, se conseguirmos eliminar os efeitos da seca (provendo água) acabaremos também com a desertificação. Outros imaginam que a desertificação é um processo que pode levar a um aumento ou intensificação das secas e a mudanças climáticas e que, portanto, a única finalidade de combater a desertificação é evitar a mudança do clima. Há

aqueles que acreditam que a seca é causa da desertificação e, portanto, se gerenciarmos corretamente as secas estaremos impedindo a desertificação. Finalmente, há aqueles que acham que a desertificação não passa de um mito, originado do processo de expansão temporária do Saara, ou mesmo uma invenção para captar fundos dos países desenvolvidos.”

Nesse sentido, é importante diferenciar os dois termos. A Organização Meteorológica Mundial (OMM) propôs, em 1986, o seguinte critério para definir seca: “há seca em uma região quando a precipitação anual média for inferior a 60% da normal, durante mais de dois anos consecutivos, em mais de 50% de sua superfície” (COLVILLE, 1987). Por sua vez, a CCD, define seca como um fenômeno natural que ocorre quando a precipitação diminui significativamente em relação à precipitação normal, causando sérios desequilíbrios hidrológicos e afetando negativamente os sistemas produtivos (LOPES *et al.*, 2009). Dessa maneira, além de seu aspecto físico, a seca também pode ser entendida como o volume de chuva abaixo do esperado em uma determinada região para satisfazer necessidades da produção agropecuária, uso doméstico, entre outros, podendo o fenômeno da seca ser constatado em todas zonas climáticas do planeta, porém com impactos mais severos nas “terras secas” (KASSAS, 1995).

Em contrapartida, a desertificação vem da interação de processos complexos como: agricultura intensificada, salinização, erosão, mecanização inadequada, em que esses fatores afetam o equilíbrio físico, químico e biológico do ecossistema, e o fenômeno de seca vem a intensificar ainda mais o desequilíbrio no ambiente afetado por estes processos (LOPES *et al.*, 2009).

Nesse contexto, a desertificação caracteriza-se por ser um processo lento, extremamente complexo, multifacetado e dinâmico em sua essência, resultante da interação de fatores naturais e antrópicos, os quais acarretam a redução da biodiversidade, perda da produtividade da terra, instabilidade econômica, política e social, entre outros (WINSLOW *et al.*, 2004). A coexistência de definições conflituosas e interpretações equivocadas deste fenômeno apenas afeta negativamente a compreensão da magnitude e intensidade de seus impactos ocasionando em atrasos na proposição de soluções e na permanência de seus efeitos negativos sobre a sociedade como um todo.

### **3.1.3 A desertificação no Brasil**

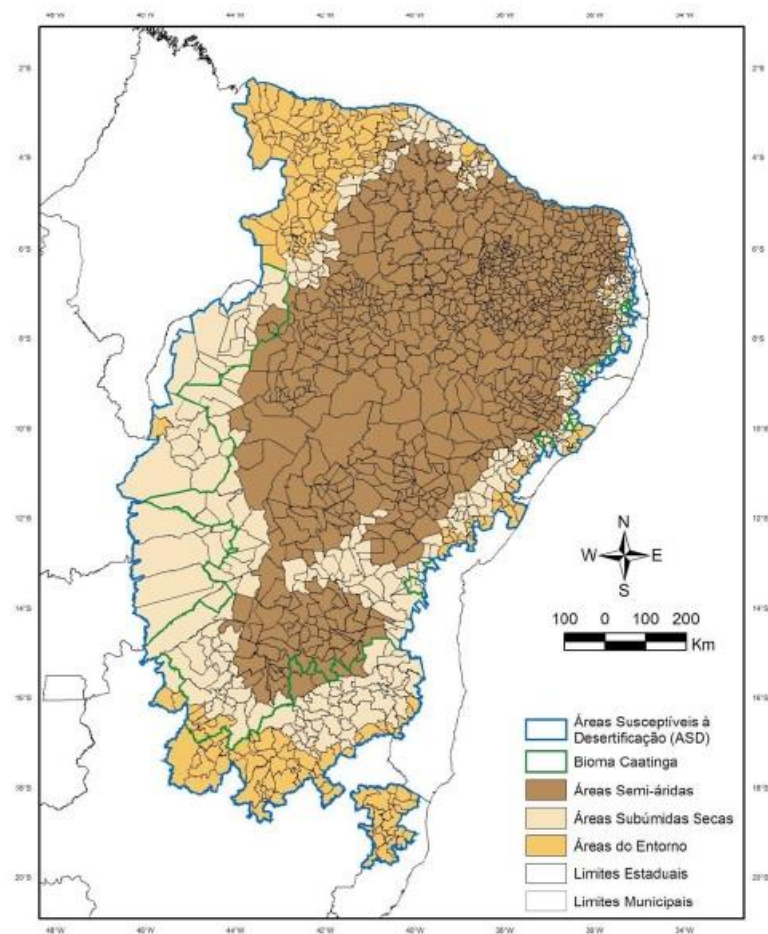
No Brasil, a forma de ocupação antrópica e a superexploração dos recursos naturais, principalmente nas zonas semiáridas e subúmidas secas do NEB faz com que esta região seja considerada bastante susceptível à desertificação (AB’SABER, 1977; SOUZA *et al.*, 2004). Segundo diversos estudos sobre o tema no País, a ação humana é o principal fator desencadeador do fenômeno, que aliado as condições naturais frágeis desses ambientes, os constituem como um risco potencial a desertificação (MATALLO JÚNIOR, 2001; PAN-BRASIL, 2004; CONTI, 2008).

No sudoeste do estado do Rio Grande do Sul, na região da Campanha Gaúcha, ocorre um processo, que desde os anos 1970 vem sendo associado erroneamente a desertificação. Por se tratar de um fenômeno que ocorre em áreas de clima úmido, onde a precipitação pluvial anual é de cerca de 1.400 mm, este foi denominado por Suertegaray (1987) como “arenização”. A arenização caracteriza-se pela formação de “areais” a partir do retrabalhamento de depósitos areníticos não consolidados, os quais encontram-se em constante mobilidade, o que dificulta a fixação de vegetação. Este fenômeno é ocasionado principalmente pelo pastoreio excessivo e pela agricultura mecanizada, em áreas de solos arenosos e sujeitos à erosão hídrica e eólica (IBGE, 2004).

Em relação ao combate à desertificação, em 1997 foi instituída a Política Nacional de Controle da Desertificação (PNCD), aprovada pela Resolução nº 238, de 22/12/97, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 1997). Essa resolução estabelece a formulação de propostas de gestão ambiental e uso dos recursos naturais, a prevenção da degradação e a articulação entre diferentes esferas de governo em prol do combate à desertificação (MMA, 1998). Aliado à PNCD está o Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAN-Brasil), que visa apoiar o desenvolvimento sustentável nas Áreas Susceptíveis à Desertificação (ASD) do País, por meio do estímulo e da promoção de mudanças no modelo de desenvolvimento em curso nessas áreas. O combate à pobreza e às desigualdades, são os elementos norteadores dessa mudança, juntamente à recuperação, preservação e conservação dos recursos naturais (PAN-BRASIL, 2004).

Áreas susceptíveis à desertificação no Brasil concentram-se predominantemente na região Nordeste, assim como em algumas áreas igualmente afetadas pelos fenômenos da seca nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, na região Sudeste (PAN-BRASIL, 2004). Observa-se que áreas no entorno das ASD, principalmente nos estados do Maranhão, Minas Gerais e Espírito Santo, também são passíveis de impactos relacionados a degradação ambiental e agravados ainda mais pela ocorrência de secas, o que implica na necessidade de estudá-las mais detalhadamente acerca da problemática da desertificação. Segundo PAN-Brasil (2004), essas áreas abrangem uma superfície de 1.130.790,53 km<sup>2</sup>, das quais 710.437,30 km<sup>2</sup> (62,83% do total) são caracterizadas como semiáridas e 420.258,80 km<sup>2</sup> (37,17% do total) como subúmidas secas, compreendendo porções territoriais dos estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais, onde vivem mais de 22 milhões de habitantes (Figura 2).





**Figura 2.** Mapa das Áreas Susceptíveis a Desertificação (ASP). Fonte: PAN-Brasil (2004).

### 3.1.4 Causas e consequências

Paralelamente a complexidade em sua definição, os fatores causais envolvidos no processo de desertificação também são amplos e por vezes pouco entendidos. Nesses, incluem-se variações climáticas, processos ecológicos e pressão antrópica sobre os recursos naturais (ONU, 1997). Seus fatores causais e suas consequências muitas vezes extrapolam limites geográficos e estendem-se para atividades econômicas e sociais em áreas distantes daquelas onde o fenômeno ocorre (SAMPAIO, 2005).

Para a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO), entre os fatores responsáveis pelo agravamento da desertificação estão: (i) rigor das condições climáticas durante o período considerado (particularmente em termos de precipitação anual); (ii) a pressão populacional e o padrão de vida das pessoas envolvidas; e (iii) nível de desenvolvimento do país e a qualidade das medidas preventivas adotadas (PAN-BRASIL, 2004).

Em termos climáticos, os principais fatores que influenciam na susceptibilidade à desertificação são a precipitação e a temperatura do ar, as quais determinam a distribuição da vegetação e constituem-se como principais responsáveis pela evolução e formação do solo. Em geral, altas temperaturas e baixa precipitação levam a incipiente formação de matéria orgânica e rápida oxigenação, as quais, por sua vez, acarretam baixa agregação e estabilidade do solo, e a assim, resultam em alto potencial erosivo (SIVAKUMAR, 2007). Ademais, taxas de evaporação que excedam a precipitação resultam em déficit hídrico significativo e acúmulo

de sais na superfície do solo, o que diminui sua umidade e limita sua atividade biológica. Esta fragilidade conferida pelas características climáticas e edáficas locais, somadas ao uso inapropriado do solo, da água e da vegetação, afeta a estrutura e a estabilidade do ecossistema e, conseqüentemente, causa perda da diversidade biológica (OLIVEIRA-GALVÃO & SAITO, 2003).

Conti (1995) define clima como sendo o resultado de um processo complexo, variável no espaço e no tempo, que envolve a atmosfera, os oceanos, a litosfera (superfícies sólidas continentais), a criosfera (neve e o gelo), onde a evolução dos padrões atmosféricos nunca são iguais de um ano para o outro e mesmo de uma década para outra, podendo se verificar flutuações a curto, médio e longo prazos. Essa alta variabilidade climática ocasionada por fenômenos meteorológicos e/ou astronômicos cíclicos e periódicos podem influenciar na intensidade da desertificação e dificultar ainda mais seu estudo e compreensão. Um exemplo desses é o El Niño, caracterizado pelo aquecimento anormal das águas do oceano Pacífico equatorial, que combinado com o enfraquecimento dos ventos alísios dessa região causam impactos significativos no clima do mundo inteiro (OLIVEIRA, 1999). Ainda conforme o autor, entre os impactos ocasionados por esse fenômeno estão, secas na Indonésia, leste do continente africano, norte e leste da Amazônia e Nordeste Brasileiro, além de enchentes na América Central e regiões Sudeste e Sul do Brasil.

Estiagens, que em outras palavras significam longos períodos de seca, contribuem para o desencadeamento e intensificação do processo de desertificação em áreas áridas, semiáridas e subúmidas secas em todo mundo. Nestas situações há a redução da umidade e conseqüentemente aumento da aridez local, o que ocasiona a diminuição da formação de nuvens, aumento da radiação solar incidente e alterações no albedo, que, conseqüentemente, resultam no aumento da temperatura e intensificação do déficit hídrico (SIVAKUMAR, 2007).

Os cenários previstos para as mudanças climáticas constituem uma ameaça adicional a desertificação pela alteração nos padrões espaciais e temporais da temperatura, precipitação, radiação solar e ventos, especialmente nas regiões susceptíveis ao fenômeno (SIVAKUMAR, 2007). Modelagens climáticas sugerem aumento da temperatura global e diminuição de precipitação pluvial, o que pode fazer com que áreas áridas, semiáridas e subúmidas secas venham a se tornar mais secas, além de aumentar a frequência e intensidade de eventos extremos, que podem agravar ainda mais o processo de desertificação (HILLEL & ROSENZWEIG, 2002).

Contudo, as conseqüências esperadas de tais mudanças ainda não são totalmente entendidas, o que gera um certo grau de incerteza tanto no meio acadêmico, como para a sociedade em geral, o que não compromete o fato de que tais eventos estejam ocorrendo em várias regiões do planeta (PAN-BRASIL, 2004). Nesse sentido, torna-se importante o estudo e o monitoramento da interação existente entre clima e desertificação como forma de se compreender melhor esse fenômeno.

Além do componente climático, a pressão antrópica acentuada pela utilização dos recursos naturais acima da capacidade de suporte<sup>2</sup> dos ecossistemas acarreta o desgaste das terras, constituindo-se como um fator fundamental para o processo da desertificação. Especialistas apontam a exploração intensiva da terra pela agricultura e pelo pastoreio como uma das causas do fenômeno pela ação humana (LU *et al*, 2009). Mais ainda, são apontados também como principais responsáveis pela degradação antrópica, o desmatamento em áreas com vegetação nativa, cultivo em terras inapropriadas, má uso da água na irrigação, mineração, entre outros (SZILAGYI, 2004).

---

<sup>2</sup>Nível máximo de utilização dos recursos naturais que o ecossistema pode suportar, ao mesmo tempo que garante a qualidade e a conservação ambiental.

A retirada da cobertura vegetal para implantação de áreas de lavoura extensiva, faz com que, além do aumento do albedo, intensifique-se o processo de lixiviação do solo rico em minerais primários e em sais. O emprego de técnicas inadequadas de irrigação e drenagem pode causar danos como alagamentos e salinização do solo, o que vem por afetar profundamente o balanço hídrico da área pela alteração das taxas de evapotranspiração, por sua vez causando grande contraste na temperatura da superfície (SIVAKUMAR, 2007). O sobrepastoreio também pode agravar o impacto da seca e da desertificação pela modificação do microclima do solo e alteração na relação água-solo-planta, expondo o solo a erosão.

O nível de desenvolvimento e o padrão de qualidade de vida das pessoas envolvidas também influencia nas causas e consequências do processo de desertificação. De acordo com o PAN-BRASIL (2004), há consenso no meio científico em identificar a pobreza como uma das consequências da desertificação, ao mesmo tempo que funciona como um fator retroalimentador da mesma, sendo esta relação entre as duas amplamente debatida atualmente. Comunidades em busca de sua sobrevivência ou de superação de sua condição de fragilidade inferida pelas condições impostas pelas “terras secas”, tendem a pressionar ainda mais a base de recursos, o que aumenta os impactos negativos tanto na esfera ambiental como socioeconômica.

### **3.1.5 Mensuração**

Dada à complexidade de definição e da multiplicidade de fatores envolvidos na desertificação, sua análise e mensuração são extremamente difíceis e motivo de infindáveis controvérsias (ESWARAN & REICH, 2001; SAMPAIO *et al.*, 2005). Nesse cenário, ficam evidentes as dificuldades para a construção de uma metodologia aceita como instrumento "universal" para a geração de conhecimentos específicos sobre desertificação, o que impõem restrições no convencimento da sociedade e dos governos sobre a importância de destinar recursos para a prevenção, controle e recuperação de áreas sobre a ameaça da desertificação (MATALLO JÚNIOR, 2001).

No entanto, a adoção de critérios específicos para avaliação e análise do fenômeno da desertificação são fundamentais na delimitação das regiões desertificadas e, conseqüentemente, no estabelecimento de ações que darão suporte as medidas de prevenção, reabilitação e recuperação das áreas degradadas, além de definir a prioridade geográfica de maior urgência de intervenção no combate ao fenômeno (PACHÊCO *et al.*, 2006).

Em 1992, a ONU estabeleceu um índice de aridez como confiável indicador da susceptibilidade a desertificação, sendo esse inclusive adotado para a elaboração do Atlas Mundial da Desertificação do PNUMA, uma referência mundial sobre o tema (ONU, 1997). Este também é o critério adotado pelo PAN-Brasil para a delimitação das áreas susceptíveis a desertificação no Brasil (PAN-BRASIL, 2004; CONTI, 2008).

Nesse sentido, áreas susceptíveis à desertificação seriam classificadas conforme a aridez local, dada pelo índice de aridez desenvolvido por Thornthwaite (1941), e posteriormente ajustado por Penman (1953), utilizado na classificação climática de Thornthwaite (1948). Este índice corresponde à razão entre as taxas de precipitação pluvial (P) e evapotranspiração potencial (ETP), com seu resultado indicando as seguintes classes climáticas: valores inferiores a 0,05 – hiperárido; entre 0,05 e 0,20 – árido; 0,21 a 0,50 – semiárido, e; 0,51 a 0,65 – subúmido seco. Valores superiores a 0,65, indicam ausência de aridez, correspondendo a climas subúmidos úmido, úmidos e superúmidos (PAN-BRASIL, 2004). Em relação a susceptibilidade a desertificação, essa categorização delimita áreas com susceptibilidade muito alta, alta, moderada e não susceptível, respectivamente, excluindo-se a classe “hiperárido”.

Embora esta metodologia para indicação de áreas susceptíveis a desertificação seja internacionalmente aceita e objetivamente quantificável, a mesma apresenta limitações por analisar apenas variáveis climáticas e desconsiderar aspectos relativos às intervenções antrópicas e/ou às fragilidades naturais do meio físico e biológico, o que, dessa maneira, refletiria somente em uma classificação climática do território (OLIVEIRA-GALVÃO & SAITO, 2003). Ademais, a aridez local não torna necessariamente essas regiões vulneráveis a, ou em risco de desertificação, uma vez que a mesma sofre influência de outros fatores, como atividades humanas sobre os recursos naturais.

O termo “susceptibilidade” inferido na análise do índice de aridez, significa uma predisposição climática a desertificação das “terras secas” (áridas, semiáridas e subúmidas secas), que pode ou não ser desencadeada ou intensificada por outros fatores. Por outro lado, o “risco” está relacionado ao tipo e a intensidade do uso dos recursos naturais e ocupação antrópica, que em áreas susceptíveis a desertificação podem influenciar na “vulnerabilidade” do ecossistema ou das populações envolvidas. No Continente Africano, por exemplo, a zona semiárida seria mais vulnerável e estaria em maior risco de ocorrência da desertificação que a zona árida, dado o uso e ocupação do solo nas mesmas (MATALLO JÚNIOR, 2001; PAN-BRASIL, 2004; CONTI, 2008). Logo, mesmo atendendo a grande parte dos pesquisadores do tema, a avaliação da desertificação precisa de adequações às diversas realidades regionais, com possibilidades de haverem posteriores ampliações nesta metodologia adotada pela ONU (PACHÊCO *et al.*, 2006).

Matallo Júnior (2001), em estudo relacionado a indicadores de desertificação, ilustra a pluralidade de métodos e sistemas de indicadores utilizados na sua investigação, e a dificuldade em se estabelecer um consenso sobre um sistema básico que considere a multiplicidade de aspectos imbricados neste fenômeno. Nota-se que apesar da ampla gama de metodologias utilizadas, poucas podem ser consideradas multidisciplinares para abordar tanto a parte relacionada ao fator ambiental quanto ao fator socioeconômico da desertificação. No entanto, ainda que os sistemas de indicadores existentes sejam considerados por muitos especialistas como insuficientes e que necessitem aprimoramentos, são os únicos instrumentos disponíveis para a compreensão do problema (MATALLO JÚNIOR, 1999; PACHÊCO *et al.*, 2006).

Nessa perspectiva, o uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), através de ferramentas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, se destacam na utilização de indicadores climáticos, ambientais, econômicos e sociais no estudo da susceptibilidade e dinâmica espacial e temporal da desertificação por oferecerem respostas rápidas e objetivas, o que representa uma eficiente estratégia para avaliar devidamente tal fenômeno (BEZERRA *et al.*, 2011).

### **3.2 Sistemas de Informações Geográficas aplicados à Estudos Ambientais**

O desenvolvimento técnico científico fez com que pudéssemos ter acesso a grandes volumes de dados a serem interpretados e analisados. Esse fato resultou na importância de se criar sistemas informatizados que pudessem tratar essas informações de maneira rápida e precisa (BISHOP *et al.*, 1998; VOGEL *et al.*, 1999). Nesse cenário, foram criadas ferramentas computacionais denominados Sistemas de Informações Geográficas - SIG, os quais possibilitam o armazenamento, a análise, e a manipulação de dados espaciais georreferenciados<sup>3</sup>, comportando diferentes tipos de informações e integrando diversas fontes

---

<sup>3</sup> Informações codificadas espacialmente de forma precisa, rápida e sofisticada.

de dados de variadas áreas do conhecimento (GOODCHILD, 1991; CÂMARA, 1996; BURROUGH & MCDONNELL, 1998; CARMELO, 1999; ROSA, 2004).

As ferramentas de SIG, tais como, o sensoriamento remoto<sup>4</sup> e o geoprocessamento<sup>5</sup> começaram a ser utilizadas com o intuito de melhorar a qualidade dos estudos integrados da paisagem, de forma a possibilitar a avaliação do estado dos recursos naturais, assim como propor zoneamentos agroecológicos e diagnósticos para planejamento e ordenação territorial (SILVA *et al.*, 2004). Atualmente, ferramentas de SIG têm sido consideradas indispensáveis quando há necessidade de se obter respostas rápidas e atualizadas de um conjunto de variáveis complexas sobre fenômenos relacionados aos mais diversos temas, auxiliando na agilidade de ações e tomada de decisões importantes (PETERSEN *et al.*, 1995; SÁ, 2006; GOLDANI & CASSOL, 2008).

Maguire (1993), classifica as aplicações de SIG em três categorias: i) socioeconômicas - as quais envolvem o uso da terra, seres humanos e infraestrutura existente; ii) ambientais - que englobam temas relacionados ao meio ambiente e o uso de recursos naturais; e de iii) gerenciamento - visam a realização de estudos e projeções a fim de diagnosticar situações ou solucionar problemas. Como exemplo dessas, podemos citar o gerenciamento de recursos naturais, hídricos e oceânicos, monitoramento de emissão de poluentes, modelagem climática e ambiental, planejamento de infraestrutura, análise demográfica, entre outros (RAMIREZ, 1994; ROSA, 2004).

Uma das ferramentas de SIG utilizada com frequência em estudos ambientais e climáticos são os interpoladores espaciais. A interpolação permite construir um novo conjunto discreto de dados pontuais a partir da estimação de valores onde não existe informação disponível, e assim produzir padrões espaciais que podem ser comparados com outras entidades espaciais contínuas (BURROUGH & MCDONNELL, 1998). Segundo Câmara & Medeiros (1998), a interpolação fundamenta-se na premissa de que os valores do atributo analisado tendem a ser similares em locais mais próximos do que em locais mais afastados.

Devido a precariedade de distribuição e a baixa densidade de estações climatológicas, o uso de técnicas de espacialização em Meteorologia e Climatologia são frequentes, o que possibilita analisar a variabilidade espacial e temporal de elementos climáticos (HASHMI *et al.*, 1995; NALDER & WEIN, 1998). Para as ciências atmosféricas e ambientais, dentre os métodos de interpolação espacial disponíveis, destacam-se, os modelos determinísticos globais, locais e combinados (globais e locais) (PELLEGRINO *et al.*, 1998).

Modelos determinísticos de efeito global supõem que, para a caracterização do fenômeno estudado, predomina a variação em grande escala, e que a variabilidade local não é relevante. Esses consistem em superfícies de tendência, sendo muito utilizados na determinação da variabilidade espacial da temperatura do ar, tendo como variáveis independentes a latitude, a longitude e a altitude (SANTOS *et al.*, 2008; LYRA *et al.*, 2011). Por outro lado, nos modelos determinísticos de efeito local cada ponto da superfície é estimado apenas a partir da interpolação de amostras mais próximas. Esses são muito utilizados na interpolação de componentes do balanço hídrico regional, tendo como exemplos os métodos de inverso da potência da distância ponderada e o vizinho mais próximo (DRUNCK *et al.*, 2004). Além destes dois modelos determinísticos citados, também são muito utilizados modelos probabilísticos por meio de métodos geoestatísticos que incluem autocorrelação, a qual expressa a intensidade de similaridade entre as amostras medidas em

---

<sup>4</sup> Ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnéticas com os materiais terrestres (MENESES & ALMEIDA, 2012)

<sup>5</sup> Ciência que se utiliza de técnicas matemáticas e computacionais para tratar informações geográficas, e que auxilia diversos setores, nos quais se aplicam ferramentas cartográficas para gestão adequada de tarefas, tais como, transporte, comunicações, energia e análise de recursos naturais (CÂMARA *et al.*, 2001).

relação à distância e direção (BURROUGH, 1986). Como exemplo, podemos citar o método de krikagem ordinária e a co-krikagem.

A escolha do método de interpolação apropriado é essencial para se obter resultados confiáveis (ARANOFF, 1989). Nesse sentido, é importante avaliar o desempenho dos interpoladores para cada variável a ser analisada, o que pode ser feito por meio de índices estatísticos apropriados (MELO JÚNIOR *et al.*, 2006; CASTRO *et al.*, 2010). Não obstante, a distribuição e a densidade dos pontos a serem usados também influem na qualidade do produto a ser gerado (CECÍLIO *et al.*, 2006)

No contexto do tema deste trabalho, ferramentas de SIG têm sido cada vez mais utilizadas pelo fato dessas possibilitarem a análise espacial e temporal do processo de desertificação, tornando possível a avaliação e o monitoramento desse fenômeno em grandes áreas, onde dados climáticos e outros componentes ambientais estão associados (ALI & MIRZA, 1993; CARVALHO, 2007). Dessa maneira, este tipo de tecnologia, por combinar dados de diversas áreas do conhecimento, pode auxiliar não apenas na ampliação do conhecimento transdisciplinar da desertificação, mas também no aumento de precisão e eficácia nos diagnósticos e nas ações de combate a mesma.

### **3.3 Agroecologia como Alternativa de Mitigação e Prevenção**

A desertificação tem o potencial de alterar drasticamente os ecossistemas de diversas maneiras. Tal fenômeno pode ocasionar na mudança do ciclo de nutrientes e umidade do solo, alteração do balanço hídrico regional, afetar a dinâmica ecológica local, e assim resultar em danos devastadores nos sistemas produtivos e na capacidade de sobrevivência de comunidades rurais em várias partes do mundo (LIN, 2011). Se esses efeitos vão ser catastróficos ou não depende da vontade e habilidade dos países e seus povos de adotar práticas ambientalmente sustentáveis que possibilitem pôr fim ao ciclo vicioso relacionado à pobreza, crescimento populacional e degradação ambiental, na qual, nessa última, inclui-se o processo de desertificação (HASSAN & DREGNE, 1997).

Pode-se atribuir grande parte da magnitude da desertificação ao modelo de desenvolvimento econômico que vem orientando o mundo contemporâneo, responsável pela profunda alteração dos ecossistemas naturalmente frágeis das terras secas (áridas, semiáridas e subúmidas secas) e pelo rompimento dos ciclos naturais que garantem a prosperidade das mesmas. Isso acarreta um grande distanciamento entre a dinâmica dos sistemas produtivos estabelecidos pelo homem e os ecossistemas naturais. Como consequência, o que se observa são ritmos acelerados de degradação dos recursos naturais associados a processos de exclusão social nunca antes vistos (SILVEIRA, 2012).

Embora a produção agrícola convencional<sup>6</sup>, adotada pelo atual modelo econômico tenha proporcionado a produção de alimentos em uma escala jamais vista, o mesmo também é responsável por impactos negativos de ordem mundial. Dentre esses impactos, estão a degradação do solo, desperdício e ineficiência do uso de recursos hídricos, poluição do ambiente, perda da diversidade genética local, perda do controle local sobre a produção agrícola e desigualdade social global (ALTIERI, 2007). O objetivo de tal sistema é a maximização da produtividade e do lucro por meio de um pacote tecnológico, desenvolvido em meados dos anos 1960, que se baseia no uso intensivo do solo, na monocultura, irrigação,

---

<sup>6</sup> Forma tecnológica adotada para as atividades agrícolas criadas a partir da chamada “Revolução Verde”, isto é, um conjunto de trabalhos científicos formadores de um pacote tecnológico aplicado à produção agropecuária. Este tipo de sistema produtivo é baseado em diferentes técnicas agrícolas que incluem, entre as técnicas, o uso de agrotóxicos, a mecanização intensiva, a fertilização com adubos sintéticos altamente solúveis, a monocultura, o uso de sementes ou mudas geneticamente melhoradas e animais.

aplicação de fertilizantes sintéticos e defensivos agrícolas (pesticidas, fungicidas, entre outros) e manipulação genética das variedades cultivadas (GLIESSMAN, 2000). No entanto, o incremento produtivo obtido por esse modelo agrícola foi alcançado através de altos custos ambientais e sociais.

A necessidade de se produzir alimentos em grande escala e de forma que não ocasionem impactos indesejáveis ao meio ambiente, fez com que crescesse a preocupação em se manter o equilíbrio entre essa produção e a conservação dos recursos naturais, de forma que se garanta um desenvolvimento sustentável das populações envolvidas (MIKLOS, 1998). Nesse sentido, torna-se de suma importância a busca por novos métodos e tecnologias apropriadas para uma produção de alimentos economicamente viável, socialmente justa e ambientalmente responsável (HECHT, 1993).

As “terras secas” impõe oportunidade única e desafiadora para se explorar formas de manejar sustentavelmente seus recursos naturais devido a fragilidade ecológica e alta variabilidade e climática das mesmas. Práticas de manejo nestes ambientes devem visar o aumento da capacidade de suporte e encorajar o uso eficiente e conservação dos recursos naturais disponíveis nos mesmos. Segundo Hassan & Dregne (1997), dois tipos de abordagem devem ser considerados na tomada de decisão para intervenções efetivas nesse tipo de ambiente: a abordagem “ecossistêmica”, que considera a dinâmica de exploração dos recursos naturais; e a abordagem “adaptativa”, que avalia a capacidade de resposta devido a mudanças no ambiente, neste caso, os efeitos resultantes da desertificação. Dessa maneira, as estratégias de manejo neste tipo de ambiente devem ser flexíveis e resilientes.

Para Altieri (1999), o desenvolvimento de sistemas agrícolas resilientes a estes cenários é essencial para a sobrevivência de populações que dependem dos serviços prestados pelos ecossistemas. Em face das possíveis alterações desencadeadas pela ação antrópica e/ou variabilidade climática, agricultores devem adaptar suas práticas, pelo uso de novos conhecimentos e ferramentas que os ajudem a harmonizá-las frente aos desafios impostos pelos mesmos.

A área da ciência conhecida como agroecologia é considerada como uma nova proposta em face à fatores ambientais desfavoráveis, de forma a permitir ao mesmo tempo produtividade satisfatória, resistência e resiliência dos agroecossistemas<sup>7</sup>. A agroecologia é definida como “a aplicação de conceitos e princípios ecológicos para desenhar agroecossistemas sustentáveis”, sendo que a proposta agroecológica “ênfatiza agroecossistemas complexos nos quais as interações ecológicas e os sinergismos entre seus componentes biológicos promovem os mecanismos para que os próprios sistemas subsidiem a fertilidade do solo, sua produtividade e a sanidade dos cultivos” (ÁLTIERI, 2012, p. 105). Em outras palavras, a agroecologia busca a proteção dos recursos naturais através da melhoria da fertilidade dos solos, da conservação da base genética da produção animal e vegetal, do resgate de conhecimentos tradicionais que, conjugados ao saber científico, resultam na ampliação da base de conhecimentos valiosos para a sustentabilidade dos sistemas de produção. Mais ainda, a agroecologia considera as potencialidades locais e orienta o desenvolvimento destes sistemas a partir dos recursos disponíveis, o que potencializa o trabalho que a natureza oferece como resultado da dinâmica interativa da biodiversidade e do meio físico (MORAIS & CASTRO, 2008).

Diversos estudos apontam os benefícios proporcionados pelos sistemas de produção agroecológicos em relação aos efeitos ambientais adversos (LIN, 2011; FUNES-MONZOTE *et al.*, 2013; MORENO, 2013). Em relação à degradação do solo, técnicas de conservação do solo, com ênfase no aumento no teor de matéria orgânica e da atividade de microrganismos, resultam em maior produtividade e em melhores respostas às condições extremas, e auxiliam

---

<sup>7</sup> Local de produção agrícola compreendido como um ecossistema.

também na absorção e retenção de umidade (HOLT-GIMÉNEZ, 2002; GARG & CHANDEL, 2010), o que no caso de ambientes susceptíveis a desertificação é primordial. O manejo correto dos recursos hídricos, por meio de técnicas como a construção de valas de infiltração, o cultivo em contorno e captação eficiente de água, propiciam a utilização mais sustentável e maior disponibilidade desta no ambiente (SALINGER *et al.*, 2005). No tocante à biodiversidade, sistemas produtivos biodiversos são menos propensos a serem impactados por eventos climáticos extremos e alterações ambientais, adaptando-se melhor a qualquer perturbação no ambiente (NICHOLLS, 2013).

O conhecimento tradicional de comunidades locais também é de grande importância no estabelecimento de sistemas agroecológicos. Grande parte destes saberes podem ser utilizados para evitar riscos e maximizar o uso de recursos disponíveis (TENGO & BELFRAGE, 2004). A observação de fenômenos ambientais pelos agricultores, aliada ao conhecimento científico e metodológico da agroecologia auxilia na definição e construção de melhores práticas a fim de enfrentar condições adversas. Nesse sentido, Reij *et al.* (1996) relatam a experiência de camponeses acerca do resgate de práticas tradicionais de manejo de solo e água, que possibilitou a reversão dos processos de desertificação em mais de 5 milhões de hectares na região do Sahel na África.

No Brasil, a agroecologia aliada ao conhecimento tradicional, já vem sendo usada com êxito na produção de alimentos em áreas susceptíveis a desertificação no NEB. Essas estratégias de combate à desertificação e convivência nestes ambientes buscam a manutenção e valorização da biodiversidade funcional nos ecossistemas, a constituição e o manejo de estoques dos recursos disponíveis e a valorização produtiva de espaços limitados e com alto potencial de produtividade biológica (PETERSEN, *et al.*, 2002)

Nessa perspectiva, a adoção de práticas agrícolas baseadas em princípios e técnicas agroecológicas em face aos impactos da desertificação, apresenta-se como ferramenta fundamental no combate a degradação ambiental e a pobreza, e direciona a busca do equilíbrio dos ecossistemas, segurança alimentar e desenvolvimento sustentável. Em relação as regiões susceptíveis a desertificação, além do aprimoramento do manejo dos recursos naturais a partir de práticas ambientalmente sustentáveis, o sucesso de projetos e ações que visem o desenvolvimento das mesmas, devem integrar também a implantação de sistemas de informação e monitoramento eficientes; o desenvolvimento de programas de erradicação da pobreza, a promoção de meios alternativos de sobrevivência para as populações impactadas, o incentivo a participação local, a valorização do conhecimento tradicional; e o controle populacional (HASSAN & DREGNE, 1997).



## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

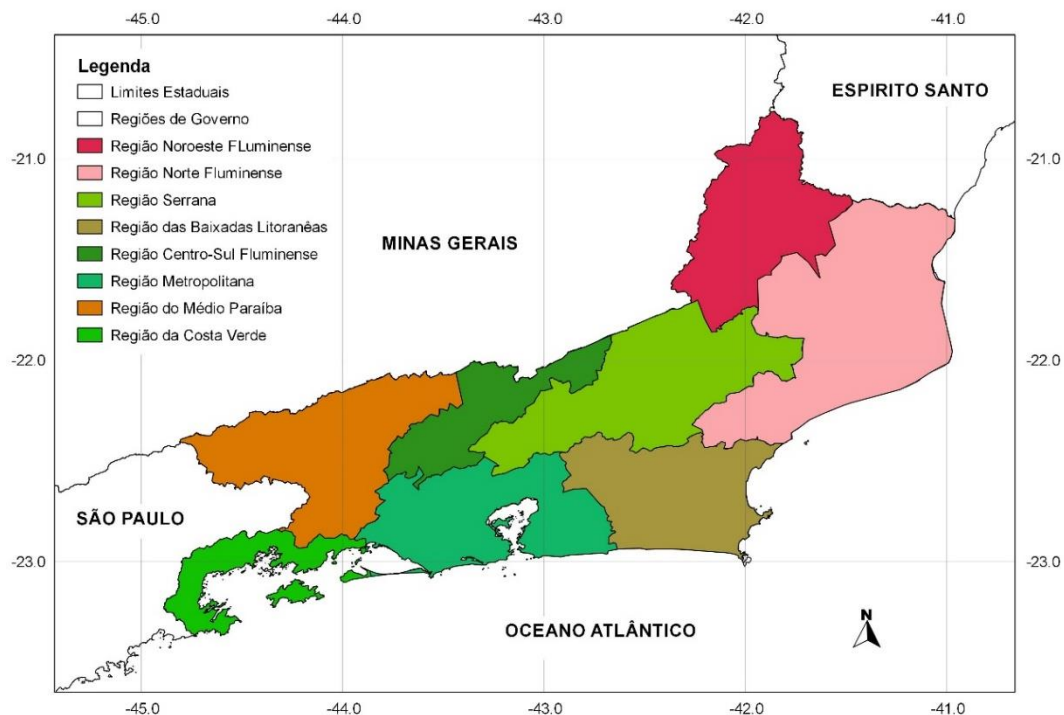
### 4.1 Caracterização da Área de Estudo

#### 4.1.1 Localização geográfica

Com área de 43.696,054 Km<sup>2</sup>, o estado do Rio de Janeiro (RJ) localiza-se na região sudeste do Brasil, entre as latitudes 20° 45' 54" e 23° 21' 57" e as longitudes 40° 57' 59" e 44° 53' 18" W. O estado faz fronteira com Minas Gerais (MG) e Espírito Santo (ES), ao norte, São Paulo (SP) à oeste, e se limita à leste e sul pelo o Oceano Atlântico.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), insere os 92 municípios do estado em 18 microrregiões geográficas, agrupadas em seis mesorregiões, sendo essas últimas denominadas: Metropolitana, Baixadas Litorâneas, Centro Fluminense, Norte Fluminense, Noroeste Fluminense e Sul Fluminense. Esta divisão tem como base “o processo social como determinante, o quadro natural como condicionante e a rede de comunicação e de lugares como elemento de articulação espacial” (IBGE, 2014).

Atualmente, além da divisão regional do IBGE, o RJ é dividido em oito regiões de governo, definidas pelo Plano de Desenvolvimento Econômico e Social aprovado pela Lei nº 1.227/87 (CEPERJ, 2014). São elas: região Metropolitana, Noroeste Fluminense, Norte Fluminense, Baixadas Litorâneas, Serrana, Centro-Sul Fluminense, Médio Paraíba e Costa Verde. Embora ambas classificações possuam objetivos político-administrativos semelhantes, neste estudo optou-se pela segunda classificação para fins de análise dos dados, exposição e discussão dos resultados obtidos, visto que as regiões de governo mostram maior relação com a distribuição das características fisiográficas do Estado (Figura 3).

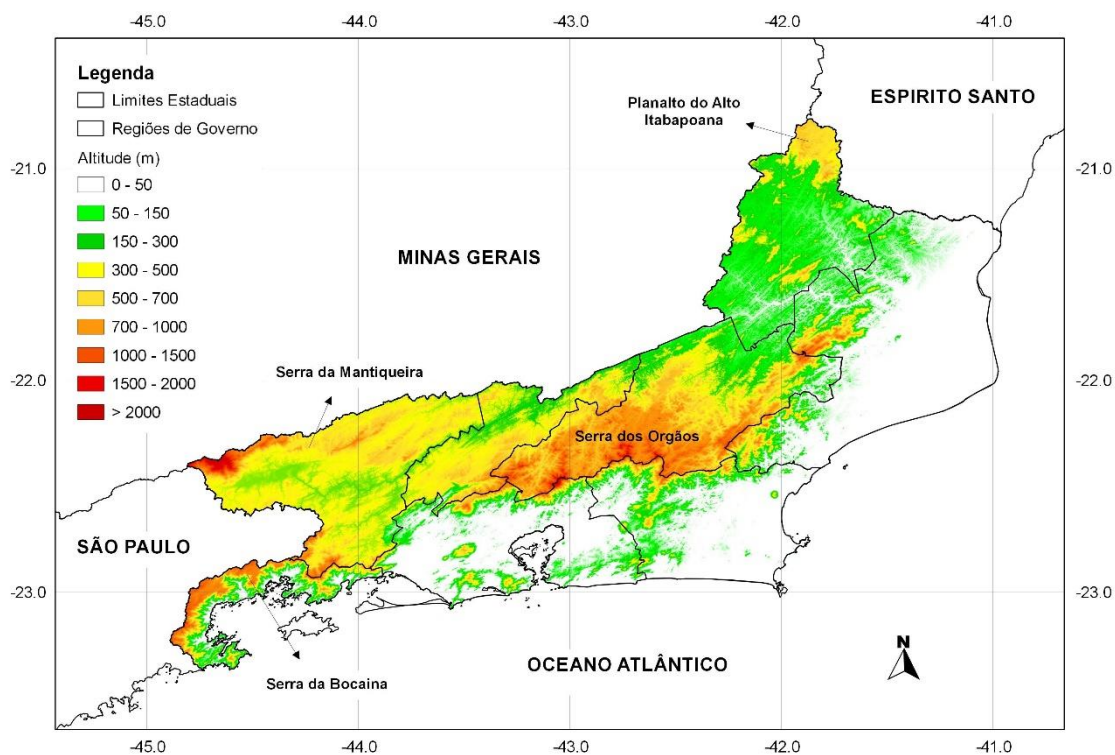


**Figura 3.** Distribuição das regiões de governo do estado do Rio de Janeiro. Fonte: CEPERJ (2014).

#### 4.1.2 Relevo

O relevo do estado do RJ se caracteriza por uma diversidade de formas e paisagens, sendo constituído por elevações pronunciadas, escarpas, paredões rochosos, montanhas e vales, os quais estão conectados com baixadas extensas, formadas por baías recortadas pelo litoral, num mosaico composto de planícies, dunas, lagos, restingas e florestas tropicais (DANTAS *et al.*, 2001) (Figura 4).

A elevação do terreno se dá principalmente no sentido SE-NO, desde áreas com altitudes superiores a 1.200 m, localizadas nas serras da Mantiqueira e da Bocaina, nas regiões do Médio Paraíba e da Costa verde, e se estende pela Serra dos Órgãos, na região Serrana, por vezes com grandes desníveis em direção as regiões Metropolitana e das Baixadas Litorâneas. A partir daí, as altitudes são inferiores a 200 m, observadas principalmente na planície costeira. Toda essa complexidade é representada por três unidades básicas de relevo: as baixadas; o planalto, as serras ou terras altas; e os maciços litorâneos (CEPERJ, 2014).



**Figura 4.** Hipsometria do estado do Rio de Janeiro determinada com o modelo digital de elevação SRTM.

As baixadas que se estendem paralelas a orla litorânea, formando um arco no sentido NE-SO, ocupam cerca de 49 % da superfície continental do Estado. Possui largura variável, de maneira que inicia de forma estreita ao sul, limitada pela costa e a serra da Bocaina, e alarga-se até os arredores da cidade do Rio de Janeiro, onde é confrontada por colinas e pelos maciços da Tijuca, de Gericinó e da Pedra Branca. Da Baía de Guanabara até cidade de Cabo Frio, estreita-se novamente por uma sucessão de pequenas elevações, até atingir suas extensões máximas em direção ao norte do Estado. É caracterizada por apresentar relevo plano, com extensa rede de rios, numerosas lagoas e baías, e limitada por escarpas acentuadas e serras em direção ao interior do Estado (CEPERJ, 2014).

O Planalto ou Serra Fluminense ocupa a porção central do Estado, localizado entre as baixadas distribuídas ao longo da costa e o vale do rio Paraíba do Sul, tendo como seu rebordo oriental a serra do Mar. Essa recebe diversas denominações locais, tais como serra da Bocaina, localizado no sul do estado na divisa com SP, serra da Estrela e serra dos Órgãos, e apresenta elevações superiores a 1.000 m, em áreas junto a baía de Guanabara. No sentido noroeste, o planalto mostra suave declive até o vale do rio Paraíba do Sul. Nas proximidades com MG, observa-se novamente aumento das elevações, que culmina com outra cadeia montanhosa, denominada de serra da Mantiqueira, a qual serve de divisa entre os dois estados. Nela se localiza o ponto culminante do RJ, o pico das Agulhas Negras (2.787m), localizado no maciço de Itatiaia, próximo à divisa com MG (CEPERJ, 2014).

Os maciços litorâneos estão inseridos em meio às baixadas litorâneas e apresentam alinhamento montanhoso paralelo à costa, com 200 a 500 m de altitude, entre a baía de Guanabara e o município de Cabo Frio. Destacam-se na região metropolitana os maciços da Pedra Branca, Tijuca e Gericinó. Os picos com maior altitude são encontrados na cidade do Rio de Janeiro, onde se destacam o maciço de Gericinó, com altitude máxima de 900 m no pico do Guandu, da Pedra Branca, com 1.024 m e o da Tijuca, com 1.021 m (IPP, 2011).

#### 4.1.3 Clima

De acordo com a classificação de tipos climáticos de Köppen (1948), o clima do RJ varia de tropical, úmido ou superúmido, sem estação seca definida, até subtropical de altitude, com inverno seco e verão ameno nas porções mais elevadas da serra do Mar e da Mantiqueira (LUMBRERAS *et al.*, 2003). As temperaturas do ar médias anuais variam de 12-14°C na região Serrana e partes mais altas da serra da Mantiqueira no Médio Paraíba, até 24-26°C nas regiões em toda planície litorânea, desde a Costa Verde até o Norte do Estado e porções da região Noroeste e Metropolitana (ARAÚJO *et al.*, 2010). As precipitações pluviais apresentam valores inferiores a 1.000 mm anuais no Norte e Noroeste Fluminense e região dos Lagos, à totais superiores a 2.300 mm nas regiões Serrana e Costa Verde (CORREIA *et al.*, 2011a)

Na faixa litorânea o clima é do tipo Aw, tropical seco, com três a seis meses secos, sendo que as áreas mais secas encontram-se no litoral da baixada Campista na região Norte e entre Iguaba Grande e Armação de Búzios na região das Baixadas Litorâneas (LUMBRERAS *et al.*, 2003). Essa última região apresenta características semiáridas não apenas por suas condições climáticas, mas também por apresentar vegetação xeromórfica, típica deste domínio climático (BARBIÉRE, 1975; NIMER, 1989; COE & CARVALHO, 2013). Na porção adjacente à serra dos Órgãos e alguns maciços costeiros o clima é do tipo Af, tropical úmido, sendo que nas partes mais elevadas desses, o clima é Cfa, subtropical úmido e úmido/superúmido (LUMBRERAS *et al.*, 2003).

De forma análoga, as regiões Norte e Noroeste apresentam predominantemente o tipo climático Aw, sendo que nas áreas mais elevadas, como no planalto do Alto Itapaboana, as temperaturas do ar são mais amenas, e correspondem ao clima Cwa, subtropical, de inverno seco e verão quente (LUMBRERAS *et al.*, 2003). Xavier *et al.* (2000), em estudo realizado no município de Itaperuna, na região Noroeste Fluminense, aponta indícios de mudança climática, e sugerem o aumento da temperatura do ar, o que por consequência torna o clima mais seco.

A região Serrana apresenta grandes variações climáticas, tendo em vista que as altitudes variam desde próximo ao nível do mar até valores superiores a 2000 m. Essa amplitude de variação induz a uma acentuada amplitude térmica, assim como distribuição das chuvas. Nas porções de maiores altitudes, o clima é do tipo Cfa ou Cwb, subtropical de altitude úmido/superúmido e superúmido, passando pelos climas Cwa e Cfa nas altitudes

intermediárias, até Aw ou Af, tropical entre seco e superúmido nas áreas de menor altitude. O mesmo fenômeno ocorre na Costa Verde e na Serra da Bocaina, dada suas grandes amplitudes altimétricas, contudo apresentam apenas o clima Af, sem estação seca definida nas áreas de menores altitudes (LUMBRERAS *et al.*, 2003).

Nas regiões do Médio Paraíba e Centro-sul Fluminense há o predomínio dos tipos climáticos Cwa nas maiores altitudes da Serra da Mantiqueira e Aw nas porções menos elevadas em direção a calha do rio Paraíba do Sul, ambos úmidos. No entanto, próximo as divisas com MG e SP, a região apresenta clima frio, com variações de Cwa à Cwb, como no pico das Agulhas Negras (LUMBRERAS *et al.*, 2003).

Em suma, se observa no estado do RJ grande diversidade climática conferida basicamente pelo relevo complexo, altitude e continentalidade, os quais influenciam não apenas a distribuição da temperatura do ar, mas também o regime e distribuição da chuva de acordo com a região (MAIA & ZAMBONI, 2004).

#### 4.1.4 Vegetação

Segundo o Mapa dos Biomas do Brasil (IBGE, 2004), o estado do RJ encontra-se inteiramente inserido no bioma Mata Atlântica, o qual corresponde a um mosaico de ecossistemas florestais e outras formações associadas, como por exemplo, restingas e manguezais. Peculiarmente, o Estado coincide com uma das áreas de maior diversidade específica do bioma e abriga elevado contingente de espécies endêmicas (PEIXOTO, 1991/92; LIMA & GUEDES-BRUNI, 1997).

Os ecossistemas correspondentes ao bioma Mata Atlântica encontrados no Estado, conforme INEA (2014) e IBGE (1992), são: Floresta Ombrófila Densa, compondo a floresta pluvial subtropical, encontrada desde áreas alagadas ou úmidas na planície costeira até altitudes acima de 1.500 m em Itatiaia na Serra da Mantiqueira; Floresta Ombrófila Mista, observada nas regiões altas da serra do Mar, tendo como principal característica a presença da espécie *Araucaria angustifolia* (pinheiro-do-paraná); Floresta Estacional Semidecidual, a qual cobre a região do Médio Paraíba até o Norte Fluminense em áreas com mais de 60 dias de seca; Estepe, constituída por vegetação aberta subxerófito e xerófito devido ao clima seco e de ocorrência apenas nos municípios de Arraial do Cabo e Cabo Frio; e Formações Pioneiras, em áreas de influência marinha, fluvio-marinha e fluvial, sendo constituídas por restingas, manguezais e brejos, respectivamente.

Originalmente cobrindo cerca de 98% da área total do Estado, atualmente estima-se que apenas 16% deste é coberto por formações florestais, as quais se apresentam em diferentes estágios de conservação (BERGALLO *et al.*, 2009). Dessas, 62,25% encontram-se em unidades de conservação (UCs), sendo 28 administradas em nível federal, 18 estadual e 42 municipal.

Atualmente, grande parte das áreas de floresta está concentrada em locais de difícil acesso e de relevo acidentado, impróprios para fins agropecuários. Nos terrenos planos, onde outrora eram cobertos por vegetação florestal, o que se observa são grandes extensões de campo geradas pela pressão antrópica. Além das florestas, a cobertura vegetal compreendia por manguezais e formações de restinga, campos de altitude e os campos da planície deltaica do rio Paraíba do Sul, também sofreram profunda interferência humana (INEA, 2014).

#### 4.1.5 Solos

Os solos são fator de destaque, seja como fonte de nutrientes, base de sustentação de plantas e animais, reservatório de água, ou ainda como fonte de sedimento. Nesse sentido, torna-se indispensável à avaliação do potencial e das limitações ambientais de determinada

região para compreensão de suas inter-relações com os diversos componentes do meio (CPRM, 2014).

A atualização do mapeamento das unidades de solo realizada pelo Serviço Geológico do Brasil resultou em uma nova divisão das unidades e classes do solo observados no estado do RJ.

A partir deste estudo, observa-se que as classes referentes aos Argissolos estão concentradas em zonas com grande amplitude de relevo, como zonas de escarpas, montanhas e colinas, relativos a serra da Mantiqueira, serra do Mar e maciços costeiros. Este tipo de solo forma-se sobre relevo acidentado com alta susceptibilidade a erosão, tem como características gradiente textural acentuado entre os horizontes e a primeira camada, junto à superfície, arenosa e abaixo dessa, uma subsuperfície argilosa, o que possibilita boa infiltração nos primeiros centímetros e retenção de água na camada subsequente. Logo, pode gerar fluxos concentrados em subsuperfícies em encostas declivosas (CPRM, 2014).

Os Cambissolos predominam nas regiões serranas, desde o norte da Serra do Mar, próximo às margens do rio Paraíba do Sul, na divisa com SP, e ainda na porção da Serra da Mantiqueira, localizada ao norte de Resende. Além disso, ocupam também algumas baixadas fluviais, de relevo plano, onde se destacam as áreas do baixo curso do rio Paraíba do Sul. Caracterizam-se por serem solos pouco profundos e com alta porcentagem de *silte*, e por possuírem ainda muitas características estruturais da rocha fonte, e podem ser formados *in situ* ou movimentados (CPRM, 2014).

Os Latossolos no Estado são representados predominantemente pelos latossolos vermelho amarelos, os quais geralmente coincidem com áreas de relevo colinoso e com planaltos com baixa declividade. Distribuem-se por todo o território Fluminense em diversas condições climáticas, desde as áreas mais secas e quentes no Norte até as regiões serranas, de temperaturas mais amenas e de maior precipitação pluvial. São solos normalmente profundos e com boa drenagem, e apresentam avançado estágio de intemperização, resultado de energéticas transformações no material constitutivo. Além desta classe, também são observados Latossolos Amarelo Coesos, os quais se distribuem estritamente sobre sedimentos terciários de bacias sedimentares e da formação barreiras (CPRM, 2014).

Os Neossolos Litólicos estão concentrados em áreas montanhosas da serra da Mantiqueira, Serra do Mar, e podem ser observados também em áreas íngremes de algumas serras situadas em cotas mais baixas. São solos de pouca espessura, pedregosos e com granulometria assimétrica, além de apresentarem elevados teores de minerais primários, menos resistentes ao intemperismo. Outro representante dos Neossolos verificado no Estado é da classe Neossolo Flúvico, de ocorrência principalmente na calha de grandes rios, como por exemplo, na zona de deposição do rio Paraíba do Sul e próximo à bacias sedimentares. Este também ocorre associado ao Planossolo em áreas de baixadas entre os maciços costeiros e próximos à bacias sedimentares terciárias, assim como em áreas de deposição sedimentar em grandes vales (CPRM, 2014).

Os Gleissolos e Organossolos distribuem-se em pequenas áreas ao longo de toda a bacia de sedimentos lagunares e campos de altitude, assim como em associação com espodossolos em áreas de restinga com intercalação de sedimentos marinhos, lacustres e eólicos (CPRM, 2014).

Esta grande variedade de solo que ocorre no estado do RJ é reflexo da diversidade principalmente quanto ao material de origem, relevo, vegetação e clima (LUMBRERAS *et al.*, 2003).

#### 4.1.6 Hidrografia

Conforme INEA (2014), o estado do RJ é formado por nove regiões hidrográficas: Baía da Ilha Grande, Guandu, Médio Paraíba do Sul, Piabanha, Baía de Guanabara, Lagos São João, Rio Dois Rios, Macaé e das Ostras, Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana. Estas são divisões administrativas, sendo compostas por bacias hidrográficas e águas subterrâneas que não podem ser dissociadas facilmente ou que tem importância conjunta.

A região serrana é o “divisor de águas”, sendo que todo sistema fluvial oriundo da porção ocidental da serra Geral termina no rio Paraíba do Sul, principal rio do estado. Esse nasce em no estado de SP, atravessa o RJ de leste a oeste, e deságua no oceano Atlântico próximo ao ES. Por outro lado, a rede de drenagem que parte da escarpa oriental atinge rapidamente o oceano ou os sistemas lagunares da planície costeira. Demais rios de importância socioeconômica e ambiental no Estado são os rios Itabapoana, que faz fronteira com o Espírito Santo, o Macabu, que nasce na região Serrana e deságua na lagoa Feia no norte do estado, o Macaé, o São João e o Guandu, de grande importância para o abastecimento de água na região Metropolitana (INEA, 2014).

As numerosas lagoas observadas ao longo do litoral são resultantes do fechamento de antigas baías por cordões litorâneos. Tal fenômeno é observado principalmente na região dos lagos e metropolitana, entre as cidades de Cabo Frio e Rio de Janeiro. Nesta última, ocorrem as lagoas Rodrigo de Freitas, da Tijuca, de Jacarepaguá e de Marapendi. Na região Norte do Estado, também podem ser observadas diversas lagoas, entre elas a de Dentro, Feia, dos Coqueiros, entre outras (INEA, 2014).

#### 4.2 Dados Climáticos

##### 4.2.1 Temperatura do ar e precipitação pluvial

As séries climáticas da temperatura do ar e de precipitação pluvial diárias foram obtidas das bases de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), da Rede Meteorológica do Comando da Aeronáutica (REDEMET), Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), LIGHT Serviços de Eletricidade S.A, Fundação Superintendência Estadual de Rios e Lagoas (SERLA), Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH), FURNAS Centrais Elétricas e Instituto Mineiro de Gestão de Águas (IGAM). Buscou-se utilizar estações meteorológicas e pluviométricas distribuídas por todo território do estado do RJ, assim como nos estados de MG, SP e ES, em regiões limítrofes com o RJ, como forma de se obter melhores resultados na análise espacial dos dados.

Além da distribuição espacial, foi utilizado como critério de escolha o intervalo de anos das séries climáticas e a quantidade de dados disponíveis na mesma. Dessa forma, foram pré-selecionadas todas estações com séries iguais ou superiores a 15 anos de dados diários de temperatura do ar e precipitação pluvial dentro do intervalo de 1961-2010 (**Anexo 1**). A partir da organização dos dados diários, foram determinadas as médias mensais e anual de temperatura do ar, assim como os totais acumulados mensais e anual de chuva.

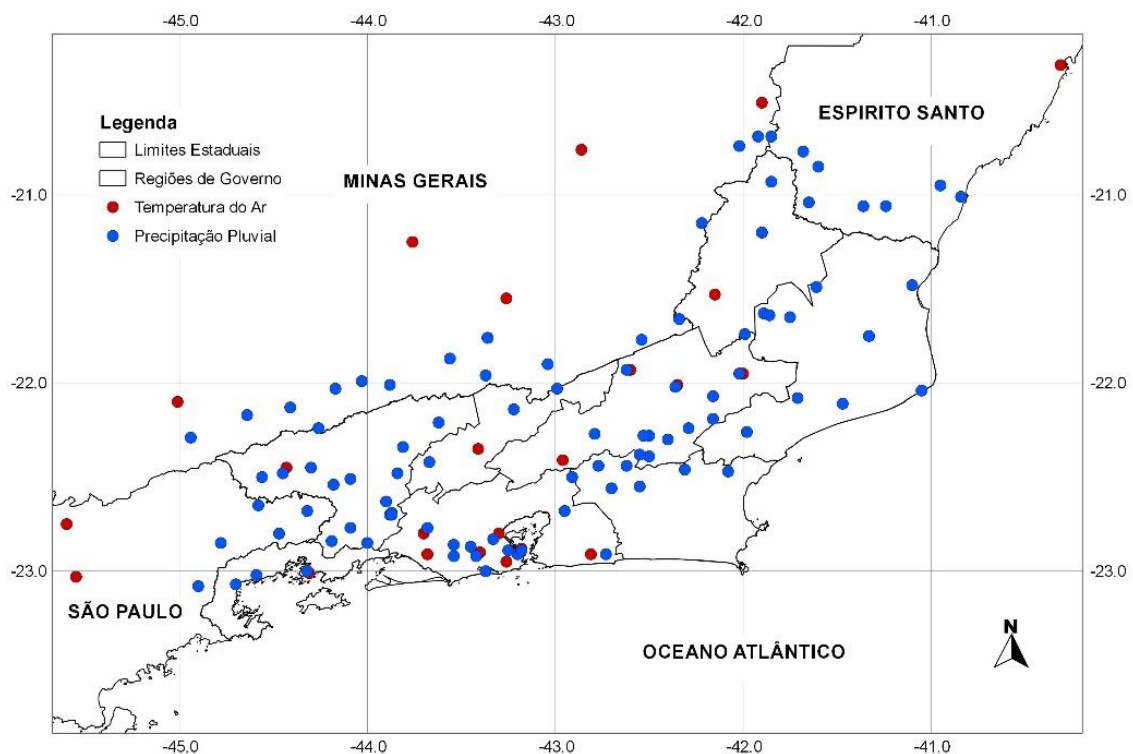
Para a análise de qualidade da precipitação pluvial, foram realizadas análises exploratórias das séries mensais com o auxílio do programa estatístico Instat Climatic v3.36 (STERN *et al.*, 2005), a fim de se identificar *outliers* mensais, média, mediana, desvio padrão, valores extremos e os intervalos interquartis. A média e o desvio padrão foram utilizados na identificação de estações pluviométricas com precipitações homogêneas, realizada pela técnica de análise de agrupamento – AA (*Cluster*), através do método de Ward (1963). Esse método associa a cada estação um vetor de dados contendo as características e/ou estatísticas

locais e tem como medida de dissimilaridade a distância euclidiana ao quadrado (LYRA *et al.*, 2006).

Após a definição dos grupos de estações com precipitações homogêneas, foi gerada uma matriz de correlação das precipitações pluviométricas mensais das estações de cada grupo, na qual foram identificadas entre três e cinco outras estações do mesmo grupo que apresentaram o coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ), superior a 0,7, escolhendo-se preferencialmente aquelas que obtiveram esse coeficiente o mais próximo possível de 1,0. Para comparar os dados entre a estação a ser analisada a qualidade dos dados ( $Y_i$ ) e as médias das estações selecionadas pela AA ( $X_i$ ) foi aplicada a análise de regressão linear simples  $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i$ , em que  $\beta_0$  é o intercepto da regressão linear e  $\beta_1$  é o coeficiente angular.

Dessa forma, além dos *outliers*, limites superiores e inferiores e valores nulos de precipitação, pôde-se identificar dados suspeitos, os quais foram comparados com suas respectivas séries homogêneas. Esse procedimento possibilitou assim a identificação e retirada de dados discrepantes. Além disso, realizou-se o preenchimento de falhas dos dados também por regressão linear simples.

Após a análise de qualidade das séries de dados de temperatura do ar e precipitação pluviométrica, foram consideradas no estudo 26 estações meteorológicas e 94 pluviométricas (Figura 5).



**Figura 5.** Distribuição espacial das estações meteorológicas e pluviométricas utilizadas para a obtenção das normais climatológicas de temperatura do ar e precipitação pluviométrica.

Pelo fato de haver baixa densidade de estações meteorológicas com dados de temperatura do ar e limitada distribuição espacial dessas na área de estudo, estimou-se a temperatura do ar nas coordenadas geográficas das estações pluviométricas através de modelos determinísticos globais, especificamente modelos de regressão linear múltipla. Esse é um método eficiente e amplamente utilizado na estimativa da temperatura do ar (LYRA *et*

al., 2011), o qual prevê que a distribuição espacial da temperatura do ar é condicionada pela: (i) irradiância solar, como principal fator, sendo sua disponibilidade dependente da latitude e época do ano; (ii) distância de extensas superfícies de massa d'água, as quais afetam diretamente a temperatura do ar, fenômeno denominado de continentalidade e que, no caso do estado do RJ, depende conjuntamente da latitude e longitude, em função da disposição da costa do Estado, e; (iii) a influência da altitude, sendo que as regiões mais altas tendem a apresentar menor temperatura (DODSON & MARKS, 1997, ARAÚJO *et al.*, 2010 LYRA *et al.*, 2011).

Nesse sentido, os coeficientes do modelo de regressão linear múltipla (Eq. 01) foram ajustados previamente às médias mensais e anuais das séries de temperatura do ar (variável dependente) das 26 estações meteorológicas considerada no presente estudo (16 no estado do RJ, seis em MG, duas em SP e uma no ES), em função da latitude, longitude e altitude (variáveis independentes):

$$T_i = \beta_0 + \beta_1 \text{LAT}_i + \beta_2 \text{LONG}_i + \beta_3 \text{ALT}_i + \varepsilon_i \quad (01)$$

em que,  $T_i$  (°C) – temperatura do ar média mensal e anual;  $\text{LAT}_i$  (graus e décimos) – latitude;  $\text{LONG}_i$  (graus e décimos) – longitude,  $\text{ALT}_i$  (m) – altitude,  $\varepsilon_i$  – erro aleatório, suposto independente e com distribuição normal, média zero e variância constante; e  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  e  $\beta_3$  – coeficientes da regressão a serem estimados. O termo subscripto  $i$  representa a  $i$ -ésima estação meteorológica ( $i = 1, 2, \dots, 27$ ). Considerou-se sinal negativo da latitude e da longitude para representar o Hemisfério Sul e oeste do meridiano de Greenwich, respectivamente.

Os valores da altitude, utilizados na regressão linear múltipla foram extraídos do Modelo Digital de Elevação (MDE) da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) por meio da ferramenta *v.drape* do aplicativo SIG GRASS (*Geographic Resources Analysis Support System*) (GRASS, 2014), nas coordenadas geográficas das estações meteorológicas. O MDE, foi previamente tratado para eliminação de falhas, sombras e distorções (MIRANDA, 2005; LYRA *et al.*, 2011) e apresenta resolução espacial de 90 m.

Os ajustes do modelo foram avaliados pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o Erro Padrão de Estimativa (EPE) e a verificação da significância dos coeficientes pelo teste-t de Student, a 5% de probabilidade de erro.

#### 4.2.2 Balanço hídrico climatológico

A partir das temperaturas do ar média mensal estimadas e das precipitações pluviiais totais mensais da série climática 1961-2010, foram calculados os balanços hídricos climatológicos (BHCs) de Thornthwaite & Mather (1955), nas coordenadas geográficas das 94 estações pluviométricas consideradas no estudo. O BHC possibilita estimar a evapotranspiração real (ETR), a deficiência (DEF) e excedente (EXC) hídrico, e o armazenamento de água no solo (ARM) sem a necessidade de medidas diretas das condições de umidade do solo (PEREIRA, 2005).

Para tanto, utilizou-se planilha EXCEL “BHnorm v 5.0” elaborada por Rolim & Sentelhas (1998), com a qual a partir de dados de entrada de precipitação pluvial e temperatura do ar mensal estimou-se ETR, DEF, EXC e ARM, assim como a evapotranspiração potencial (ETP), calculada através do método Thornthwaite (1948), conforme a equação:

$$\text{ETP} = 0,533C (10.T \neq I)^a \quad (02)$$



$$a = (0,675I^3 - 77,1I^2 + 17920I + 492390) \cdot 10^{-6} \quad (03)$$

em que, ETP (mm) – evapotranspiração potencial mensal, T (°C) – temperatura do ar média mensal, I (°C) – índice mensal de calor da região e C – fator de correção.

O valor de capacidade de água disponível no solo (CAD) utilizado foi de 100 mm para os cálculos dos BHCs, comumente usado em estudos de classificação climática.

### 4.3 Índices Climáticos de Aridez

#### 4.3.1 Índice de aridez (Ia)

Para se avaliar a susceptibilidade climática à desertificação no estado do RJ foram calculados dois índices de Aridez, utilizando-se as séries climáticas observadas nas 97 estações pluviométricas consideradas no estudo.

- Índice de Aridez (Ia), elaborado por Thornthwaite (1948) e ajustado por Penman (1953):

$$Ia = \frac{P}{ETP} \quad (04)$$

em que, Ia é o índice de aridez, P (mm) é a precipitação pluvial anual e ETP (mm) – evapotranspiração potencial anual.

De acordo com este índice, quanto menor a valor obtido mais árido é o ambiente e, por conseguinte, mais susceptível a desertificação, sendo a última diretamente proporcional a primeira. Os resultados foram classificados segundo as categorias ilustradas em Mattalo Júnior (1999) (Tabela 1).

**Tabela 1.** Classes climáticas segundo Thornthwaite (1948) e suas respectivas susceptibilidades à desertificação conforme nível de aridez local obtido através do índice de aridez de Thornthwaite (1948), ajustado por Penman (1953). Fonte: Adaptado de Matallo Júnior (1999).

<b>Classificação climática - Susceptibilidade à desertificação</b>	<b>Ia</b>
Hiperárido	< 0,05
Árido - Muito alta	0,05 - 0,20
Semiárido - Alta	0,21 - 0,50
Subúmido seco - Moderada	0,51 - 0,65
Subúmido úmido - Não susceptível	> 0,65

Valores acima de 0,65 encontram-se dentro da categoria de clima subúmido úmido, úmido e superúmido, segundo a classificação climática de Thornthwaite (1948), e, portanto, fora dos tipos climáticos susceptíveis a desertificação (árido, semiárido, subúmido seco).

Ambientes hiperáridos não são considerados susceptíveis à desertificação, por serem considerados desertos climáticos naturais.

#### 4.3.2 Índice de aridez (D)

O Índice de Aridez (D) foi determinado a partir o índice de umidade de Thornthwaite, aplicado por Mather (1974) e posteriormente modificado e proposto por Hare (1983), expresso por:

$$Im = 100 \left[ \left( \frac{P}{ETP} \right) - 1 \right] \quad (05)$$

$$D = \frac{1}{(0,01Im + 1)} \quad (06)$$

em que, Im é o índice de umidade de Thornthwaite, P (mm) é a precipitação pluvial anual, ETP (mm) é a evapotranspiração potencial anual e D é o índice de aridez.

Para o índice de aridez (D), conforme Hare (1983), as áreas com susceptibilidade à desertificação encontram-se no intervalo entre  $2 < D < 7$ , no qual o limite inferior corresponde ao extremo seco das zonas subúmidas, e o limite superior, o extremo úmido dos desertos.

#### 4.4 Geração dos Mapas – Interpolação Espacial

Com as séries obtidas da temperatura do ar média anual (Tm), precipitação pluvial anual (P), evapotranspiração potencial anual (ETP), deficiência hídrica anual (DEF) e os índices de aridez (Ia) e (D) para as coordenadas geográficas das 97 estações pluviométricas, foram realizadas as interpolações espaciais desses elementos para o estado do RJ.

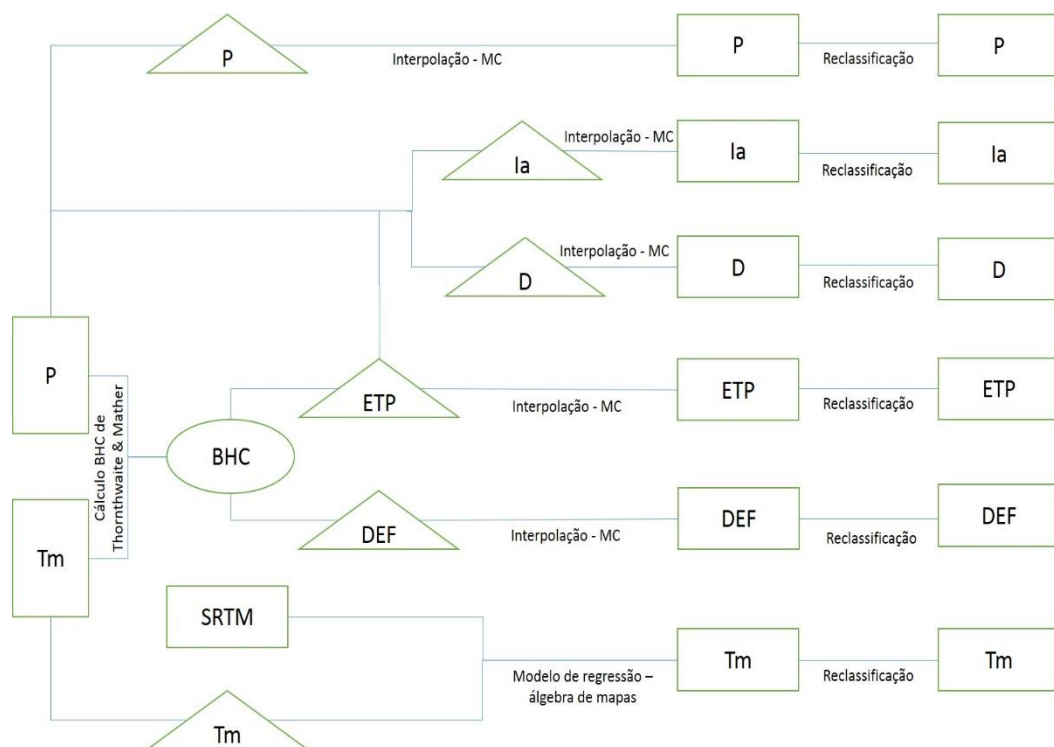
Para a interpolação da temperatura do ar média anual, utilizaram-se os coeficientes ajustados ao modelo de regressão linear múltipla, sendo esse resolvido com o auxílio da ferramenta *r.mapcalculator*, do aplicativo SIG GRASS (GRASS, 2014), para uma grade de resolução espacial de 5 km, com as coordenadas geográficas (LAT e LONG) e o MDE elaborado pelo projeto da missão SRTM, utilizando para isso técnicas de álgebra de mapas.

Para as demais variáveis climáticas analisadas, o método utilizado para a interpolação foi o de mínima curvatura (MC), por meio do aplicativo SURFER 11.6® (GOLDEN SOFTWARE INC., 2002). O MC é considerado um modelo determinístico de efeito local pelo fato de não se utilizar apenas de um polinômio de ordem superior para a interpolação de todo conjunto de dados, mas sim, dividir a série de dados em subconjuntos, e utilizar polinômios de pequenas ordens para cada subconjunto (MAZZINI & SCHETTINI, 2009).

Optou-se pelo MC por apresentar elevada precisão e acurácia na interpolação das chuvas mensais para o estado do RJ (CORREIA *et al.*, 2011b; ARAÚJO *et al.*, 2011). A região considerada para as interpolações compreendeu as latitudes entre 20° 45' 54'' e 23° 21' 57'' S e as longitudes entre 40° 57' 59'' e 44° 53' 18'' W, com resolução espacial de 5 km.

Por fim, os mapas gerados de Tm, P, ETP, DEF, Ia e D foram reclassificados para facilitar a visualização e análise dos resultados pela ferramenta *r.reclass* do aplicativo SIG GRASS (GRASS, 2014). As classes foram definidas conforme a amplitude dos intervalos entre os valores mínimos e máximos de variável.

A Figura 6 apresenta o fluxograma com todas as etapas seguidas para a obtenção dos mapas finais.



**Figura 6.** Fluxograma com as etapas realizadas para a obtenção dos mapas finais da Tm, P, ETP, DEF, Ia e D no período 1961-2010 para o estado do RJ.

#### 4.5 Análise e Validação dos Modelos de Interpolação

A avaliação do desempenho dos dois métodos utilizados na interpolação dos dados foi realizada por meio de regressão linear simples ( $Y = \beta_0 + \beta_1 X$ ) entre os dados observados ( $X$ ) e os dados interpolados ( $Y$ ) obtidos pela técnica de validação cruzada do aplicativo SURFER 11.6<sup>®</sup> (GOLDEN SOFTWARE INC., 2002). Dessa maneira, analisaram-se o intercepto ( $\beta_0$ ), o coeficiente angular ( $\beta_1$ ) e o coeficiente de determinação ( $r^2$ ) da regressão. Além desses, os seguintes parâmetros estatísticos foram avaliados: a Raiz do Quadrado Médio do Erro (RQME) (Eq. 7), e; o índice de concordância de Willmott ( $d$ ) entre os dados observados e os interpolados (estimados). Para a função da linha de regressão, quanto menor for o intercepto ( $\beta_0$ ) e mais próximo de um for o coeficiente angular ( $\beta_1$ ), maior a concordância entre os valores observados e estimados (WILLMOTT, 1981; LYRA *et al.*, 2011).

$$RQME = \sqrt{\left( n^{-1} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 \right)} \quad (07)$$

em que, RQME é a raiz do quadrado médio do erro,  $P_i$  é o valor estimado (interpolado) da variável dependente;  $O_i$  é o valor observado da variável dependente; e  $n$  – número de observações.

De forma que, quanto mais próximo de zero a RQME, relacionada a variação dos valores estimados em relação aos valores observados, mais acurado é o modelo a ser testado.

O coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e o índice de concordância de Willmott ( $d$ ) foram obtidos pelas seguintes equações:

$$r^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (08)$$

em que,  $r^2$  é o coeficiente de determinação;  $y_i$  é o valor observado da variável dependente;  $\hat{y}_i$  é o valor estimado da variável dependente; e  $\bar{y}$  é a média observada da variável dependente.

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right] \quad (09)$$

em que,  $d$  é o índice de concordância de Willmott;  $P_i$  é o valor estimado da variável dependente;  $O_i$  é o valor observado pela variável dependente; e  $\bar{O}$  é a média dos valores observados da variável dependente.

Ambos variam de 0 a 1, sendo que o primeiro, quanto mais próximo de um, mais preciso é o modelo testado, e o segundo, quanto mais próximo de um, mais acurado é a estimativa, ou seja, maior a concordância entre os dados observados e estimados (WILLMOTT, 1981).

#### **4.6 Avaliação das Áreas Susceptíveis à Desertificação no Norte Fluminense e Proposição de Práticas Agroecológicas como alternativa de Mitigação e Prevenção**

A partir dos resultados obtidos em função dos índices de aridez foi realizado um estudo de caso para a região que demonstrou maior susceptibilidade climática à desertificação. Tal trabalho foi conduzido sob uma perspectiva qualitativa de caráter exploratório, mediante o levantamento de dados secundários relativos ao processo histórico de ocupação antrópica e uso dos recursos naturais e a situação agrária atual. Essas informações foram obtidas de documentos oficiais provenientes de instituições municipais, estaduais e federais, e estudos relacionados ao meio rural da região. Este tipo de pesquisa é apropriado por aprofundar a compreensão dos aspectos que compõem o cenário organizacional do ambiente o qual se pretende analisar (HAIR *et al.*, 2005). Neste caso, a região mais susceptível a desertificação do estado do RJ constitui o objetivo das interações estudadas.

Adicionalmente, foi realizada observação direta durante maio de 2014 por meio de duas idas a campo com duração de três dias, onde foram anotadas informações acerca da produção agrícola, da organização territorial do meio rural e das condições ambientais em caderno de campo. A observação direta serviu para complementar as informações obtidas a partir da literatura e coletar evidências sobre o caso em questão. Conforme Yin (1005), estas evidências geralmente são úteis para prover informações adicionais sobre o tópico em estudo.

Dessa forma, as informações obtidas pelo levantamento de dados secundários e observação direta foram confrontadas com os resultados acerca da susceptibilidade a desertificação na região, a fim de se propor alternativas para produtores rurais baseadas em princípios e técnicas agroecológicas como forma de mitigar e prevenir os impactos da desertificação na região analisada.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Modelos de Interpolação

#### 5.1.1 Temperatura do ar

##### *Ajuste do modelo de regressão linear múltipla*

A análise de variância (ANOVA) para a regressão linear múltipla mostrou-se significativa estatisticamente ( $F$  de significação  $< 0,05$ ) para os ajustes mensais e o anual, o que mostrou a influência das três variáveis independentes testadas (latitude, longitude e altitude) sobre a distribuição espacial da temperatura do ar.

A Tabela 2 apresenta os coeficientes ajustados aos modelos de regressão linear múltipla as temperaturas do ar mensal e anual. O  $r^2$  permite avaliar quanto da variabilidade da distribuição da temperatura do ar o modelo ajustado explica. Observou-se que os modelos testados apresentaram resultados satisfatórios para o ajuste da temperatura do ar média mensal, assim como para a anual, em função das três variáveis independentes analisadas. Para todos os meses, os modelos explicaram mais de 90% ( $r^2 > 0,90$ ) da variabilidade da temperatura do ar no estado do RJ e regiões limítrofes dos estados de ES, MG e SP.

**Tabela 2.** Coeficientes do modelo de regressão linear múltipla com seus respectivos erros-padrão de estimativa (EPE) e coeficientes de determinação ( $r^2$ ) para a temperatura do ar média no período 1961-2010.

MÊS	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	EPE	$r^2$
JAN	28,36	0,2606	-0,1146	-0,0056	0,59	0,95
FEV	30,38	0,2187	-0,0546	-0,0056	0,58	0,95
MAR	33,22	0,4691	-0,1007	-0,0057	0,60	0,95
ABR	33,39	0,3948	-0,0217	-0,0059	0,51	0,96
MAI	36,26	0,1955	0,2023	-0,0058	0,52	0,97
JUN	33,36	0,1318	0,1941	-0,0060	0,68	0,95
JUL	30,98	0,2434	0,0908	-0,0059	0,70	0,94
AGO	28,01	0,4096	-0,0840	-0,0057	0,75	0,92
SET	25,12	0,9132	-0,4270	-0,0054	0,71	0,90
OUT	30,83	0,8567	-0,2908	-0,0050	0,71	0,90
NOV	29,21	0,6818	-0,2625	-0,0051	0,68	0,91
DEZ	28,06	0,4882	-0,2171	-0,0054	0,62	0,93
<b>ANUAL</b>	<b>31,93</b>	<b>0,3674</b>	<b>-0,0225</b>	<b>-0,0055</b>	<b>0,54</b>	<b>0,96</b>

Os meses de verão (janeiro e fevereiro) e outono (março-maio), assim como junho apresentaram os maiores  $r^2$  (0,95 – 0,97), enquanto os menores (0,90 – 0,91) foram observados na primavera (setembro-novembro). Esses últimos podem estar relacionados à influência dos sistemas produtores de tempo de grande escala Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Sistemas Frontais (SF) na temperatura do ar na região sudeste durante esta época do ano.

Estes resultados foram similares e/ou superiores aos ajustes de modelos lineares ou não-lineares da temperatura do ar obtidos por diversos autores para outros estados brasileiros: entre 0,94 - 0,97 para a temperatura do ar mensal e de 0,97 para a anual no ES (CASTRO *et al.*, 2010); de 0,88 para temperatura do ar anual do estado de AL (LYRA *et al.*, 2011); entre 0,92 - 0,95 para a temperatura do ar mensal (PEREIRA *et al.*, 2013) no estado de GO, e; entre 0,71 - 0,88 para temperatura do ar mensal e de 0,85 para a anual para o RJ (ARAÚJO *et al.*, 2011), o que indicou que o modelo representa satisfatoriamente a distribuição da temperatura do ar média para cada mês e para média anual na região de estudo.

Para a temperatura do ar média anual, a partir do Teste-t de Student, apenas a variável altitude foi significativa ( $p < 0,05$ ), corroborando com outros autores, os quais identificaram essa variável como fator determinante para a distribuição espacial da temperatura do ar mensal ou anual por modelos de regressão (LIMA & RIBEIRO, 1998; MARIN *et al.*, 2003; PEZZOPANE *et al.*, 2004; LYRA *et al.*, 2011). Para o presente estudo, esse fato pode estar relacionado com a complexidade de relevo do estado do RJ e com a pequena variação de coordenadas geográficas ao longo de seu território.

Analisando os EPÉs, tanto mensais como anual, verificou-se que os mesmos foram menores que 1°C, e apresentaram em média variação de 0,56°C, o que representou 3% da temperatura do ar média anual. Esses valores demonstram uma acurácia próxima a de sensores resistivos de temperatura do ar ( $\pm 0,2^\circ\text{C}$ ) (VAISALA, 2009). Entre junho e novembro foram observados os maiores EPÉs, que variaram de 0,68 a 0,75 para o período. Tais resultados representam no máximo 4% de variação em relação a temperatura do ar mensal média para as estações utilizadas nos ajustes dos modelos. A maior variação da temperatura do ar neste período coincidiu com os menores índices pluviométricos observados no estado durante o inverno (ARAÚJO *et al.*, 2010; CORREIA *et al.*, 2011a).

Para a temperatura do ar anual, conforme o ajuste do modelo, o coeficiente ( $\beta_3$ ), indicou que a temperatura do ar diminui a taxa de 0,55°C para cada 100 m de elevação, sendo esse valor próximo a média da razão adiabática úmida<sup>8</sup> ( $\Gamma_d = - 0,6^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ ). Resultados similares foram reportados por Valladares *et al.* (2004) para o estado de SP (- 0,5°C/100 m) e Sedyama & Melo Júnior (1998) para MG (- 0,551°C/100 m), e inferiores por Lyra *et al.* (2011) para o estado de AL (- 0,75°C/100 m) e Castro *et al.* (2010) para o ES (- 0,71°C/100 m).

Os menores gradientes verticais da temperatura do ar, indicam regiões com climas mais úmidos. Isso ocorre pelo fato da parcela de ar ao se elevar, resfriar-se devido ao processo de expansão adiabática. Ao se resfriar a parcela atinge a saturação e, assim, na presença de núcleos de condensação ocorre a condensação. Nesse processo observa-se liberação de calor latente, devido a mudança de fase da água de vapor-líquido. Ao liberar calor latente ao se elevar, a parcela mais úmida se resfria a taxas menores, que uma parcela menos úmida ou mesmo o ar seco. Nesse sentido, o motivo pelo qual os estudos realizados nos estados de SP e MG e o presente estudo apresentam valores menores do gradiente vertical da temperatura em relação aos estudos realizados no ES e AL se deve ao fato dos primeiros exibirem precipitação pluvial anual superior em comparação com os últimos (LYRA, *et al.*, 2011).

Os valores positivos do coeficiente  $\beta_1$ , que representa a latitude no modelo ajustado, indicaram diminuição da temperatura do ar em função do aumento da latitude. Tal característica é esperada, e se deve à diminuição da incidência da radiação solar no sentido Pólo-Equador (NIEWLOT, 1977). Embora para a temperatura do ar anual e para parte dos meses o coeficiente relacionada a latitude ( $\beta_1$ ) não ter sido significativo estatisticamente

---

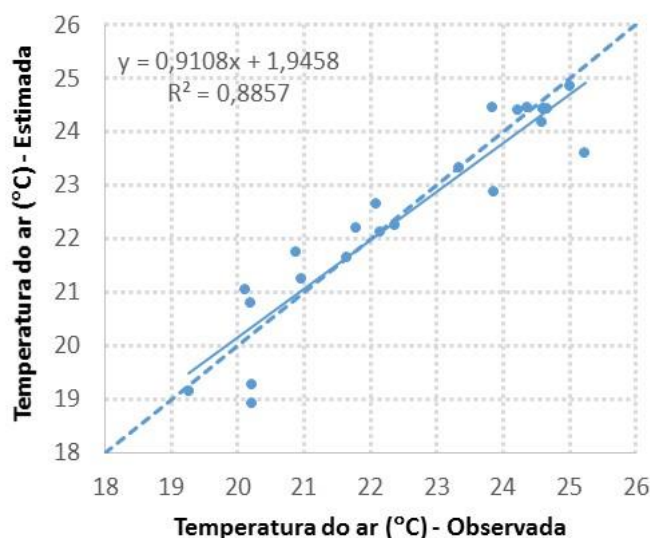
<sup>8</sup> Gradiente vertical no qual uma parcela de ar saturada se expande ou se comprime, sem que haja troca de calor com o ambiente.

(Teste-t de Student,  $p > 0,05$ ), o contrário foi observado para os meses de setembro a novembro.

Os resultados obtidos para o coeficiente relacionado a longitude ( $\beta_2$ ), embora não significativos estatisticamente (Teste-t de Student,  $p > 0,05$ ) para a determinação da variabilidade espacial da temperatura do ar, indicaram o efeito da continentalidade sobre a mesma. Os valores negativos obtidos entre os meses de verão (dezembro-fevereiro) e primavera (setembro-novembro), e de transição entre essas estações (março e abril - outono e agosto - inverno), assim como para a estimativa anual, indicaram que a temperatura do ar diminui de leste para oeste, conforme se distancia do ambiente costeiro em direção ao interior do continente. Não obstante, os valores positivos de  $\beta_2$  entre os meses de maio e julho, ilustraram o aumento da temperatura do ar na direção oeste, quando o continente apresenta menores temperaturas durante parte do outono e inverno, corroborando com o trabalho de Araújo *et al.* (2010) também para o estado do RJ.

### Interpolação teste

O modelo linear ajustado a temperatura do ar média anual foi usado na interpolação espacial da temperatura do ar anual para o estado do RJ. A Figura 7, apresenta a dispersão dos dados interpolados (estimada) da temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) média anual, com base na regressão linear simples, em relação a temperatura do ar média anual observada nas estações meteorológicas do RJ e nas regiões limítrofes de SP, MG e ES.



**Figura 7.** Relação entre temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) média anual observada no período 1961-2010 e estimada (interpolada) através do modelo de regressão linear múltipla resolvido para as coordenadas geográficas e altitude de uma grade de 5 x 5 km no estado do RJ e regiões limítrofes de SP, MG e ES.

Para espacialização da temperatura do ar média anual, o método de regressão linear múltipla apresentou desempenho satisfatório, com baixa dispersão das interpolações, indicado pelo coeficiente de determinação ( $r^2$ ) de aproximadamente 0,89, e elevada acurácia, determinada pelo índice de concordância de Willmott ( $d$ ) de 0,97. Esses resultados indicam grande precisão e acurácia do modelo testado em função da latitude, longitude e altitude para a interpolação espacial da temperatura do ar. Ao se comparar os resultados obtidos por este estudo com os trabalhos realizados por Lyra, *et al.* (2011) ( $r^2 = 0,60 - 0,65$ ) e Vicente-Serrano

*et al.* (2003) ( $r^2 = 0,75$ ), o mesmo apresentou desempenho superior. Ao se analisar a RQME, essa indicou magnitude média dos erros estimados de  $0,64^\circ\text{C}$ , o que correspondeu a 2,8% da temperatura do ar anual média observada nas estações em análise. Araújo *et al.* (2010), para a avaliação da temperatura do ar anual média também para o RJ, obtiveram EPE, equivalente ao RQME, de  $0,94^\circ\text{C}$ , o que demonstrou o melhor desempenho do modelo utilizado no presente estudo.

O intercepto ( $\beta_0$ ) obtido pela regressão linear simples foi de  $1,95^\circ\text{C}$ , enquanto o coeficiente angular ( $\beta_1$ ) foi 0,91. Para análise do desempenho do modelo quanto mais próximo  $\beta_0$  for de zero e  $\beta_1$  de um, menor a dispersão e maior acurácia dos valores estimados em relação aos dados observados. Dessa forma, pode-se inferir que os resultados obtidos pela análise da regressão linear entre os dados observados e interpolados demonstram desempenho satisfatório da regressão linear múltipla utilizada para a espacialização da temperatura do ar média anual para o RJ.

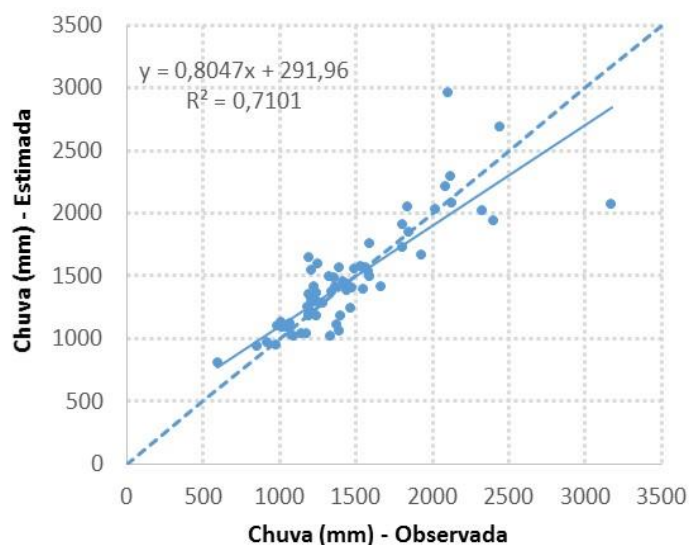
Nesse sentido, o uso de tal método, torna-se uma ferramenta de grande desempenho para espacialização da temperatura do ar, principalmente em áreas de estudo com elevada complexidade de relevo, visto que o mesmo condiciona de forma expressiva a distribuição espacial dessa variável na região Tropical (SEDIYAMA *et al.*, 2002; VALLADARES *et al.*, 2005; CASTRO *et al.*, 2010).

### 5.1.2 Componentes do balanço hídrico climatológico

#### *Interpolação teste*

Para a precipitação pluvial anual, o coeficiente de determinação ( $r^2 = 0,71$ ) da relação entre os valores observados e interpolados foi menor que o obtido para a interpolação da temperatura do ar (Figura 8). Contudo, este foi maior que o apresentado por Correia *et al.* (2011a) para precipitação pluvial mensal para o RJ a partir do mesmo método de interpolação (0,24 – 0,68). Para o estado do ES, Castro *et al.* (2010), analisando o desempenho de diferentes interpoladores para a precipitação pluvial anual, obtiveram  $r^2$  entre 0,41 e 0,59, sendo esse último a menor dispersão observada para o método da Krikagem com o modelo de semi-variograma exponencial. Alves & Vechia (2011) analisando diferentes métodos de interpolação para precipitação pluvial em GO, obtiveram melhor índice de determinação pelo método de Mínima Curvatura ( $r^2 = 0,77$ ) e pior pelo método de Krikagem ( $r^2 = 0,04$ ). Nesse sentido, a dispersão das estimativas do método de Mínima Curvatura para a precipitação anual pode ser considerada satisfatória em relação a outros estudos realizados tanto para interpolação da precipitação mensal como anual.





**Figura 8.** Relação entre precipitação pluvial (mm) anual observada no período 1961 – 2010 e estimada (interpolada) pelo método de mínima curvatura para uma grade de 5 x 5 km no estado do RJ e regiões limítrofes de SP, MG e ES.

Apesar da magnitude do erro, obtida pela RQME, ser maior (240 mm) que o obtido para temperatura do ar, o que correspondeu a 16,51% da precipitação pluvial anual, o índice de concordância de Willmott ( $d = 0,92$ ) indicou grande acurácia da interpolação. Alves & Vechia (2011) para o ES obtiveram RQME de 11,6 mm para a precipitação mensal interpolada pelo método MC, sendo esse, o interpolador analisado que apresentou melhor acurácia e menores valores residuais. Em estudo realizado a fim de se comparar diferentes interpoladores de efeito local para especializar a precipitação mensal pluvial no RJ, Correia *et al.* (2011b) constatou menores EPEs (19,8 – 46,3 mm) para o mesmo método, tendo esse se sobressaído em relação aos demais modelos analisados pelos autores, com maior precisão e acurácia.

Stone (1993) e Hernandez-Stefanoni & Ponce-Hernandez (2006) apresentam como uma das desvantagens da RQME para se avaliar o erro de determinado modelo a ser testado, o fato de que apenas alguns poucos valores discrepantes podem acarretar em aumento significativo da sua magnitude, o que, neste caso pode ter causado o elevado valor da RQME, visto que duas estações apresentaram resíduos ( $E_i = \text{valor observado} - \text{estimado}$ ) superiores a 800 mm.

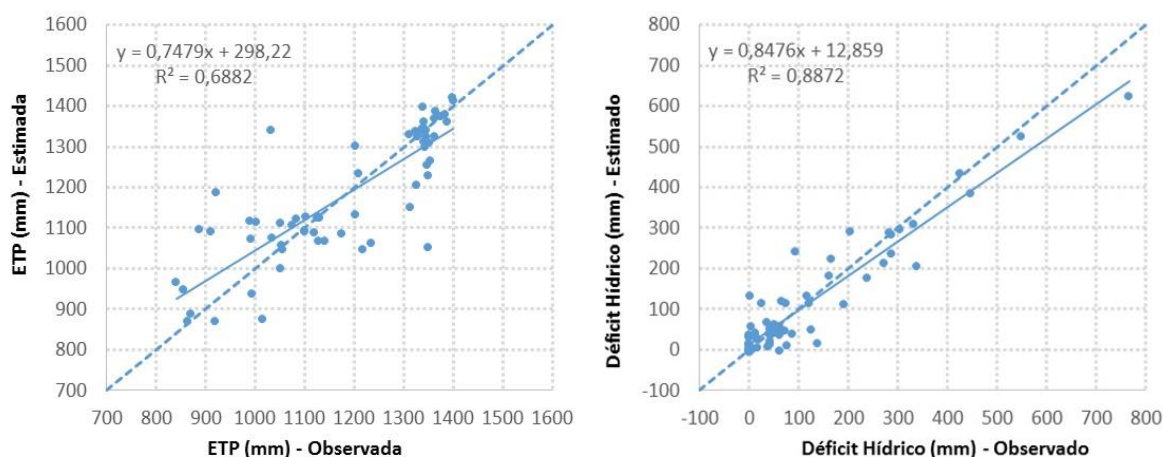
As estações pluviométricas que apresentaram os resíduos mais discrepantes de precipitação pluvial anual estimada em relação a observada foram: Teodoro de Oliveira ( $E_i = -1.099$  mm) e Fazenda São João ( $E_i = 860$  mm). Embora ambas localizem-se no município de Nova Friburgo, na região serrana do RJ, a primeira apresentou precipitação pluvial anual observada de 3.171,0 mm, enquanto a última, 2.103,1 mm. As demais estações, apresentaram resíduos entre 1 mm e 460 mm da média observada.

Esta diferença pode ser explicada pela complexidade do relevo da região, que é reconhecido por influenciar fortemente nos sistemas produtores de chuva, tanto devido a interação dos sistemas de grande escala (ZCAS e SF) com o relevo, quanto pela indução ou inibição da atuação de sistemas em mesoescala (brisas vale/montanha e SCM's). Além de que a variável em questão apresenta aleatoriedade considerada alta (SILVA *et al.*, 2011). Nesse sentido, este caso corrobora com Maune *et al.* (2001), que afirmam que o método MC apresenta melhor desempenho para superfícies com tendências gradativas, e pode em condições de mudanças bruscas em pequena distância horizontal apresentar discrepâncias

acentuadas. Mais ainda, nestas situações este tipo de interpolação tende a superestimar os valores dos pontos interpolados.

O intercepto ( $\beta_0$ ) obtido pela regressão linear simples foi de 292 mm, enquanto o coeficiente angular ( $\beta_1$ ) foi 0,80. Embora o  $\beta_0$  obtido pelo presente trabalho tenha sido superior ao alcançado por Correia *et al.* (2011a) para precipitação pluvial mensal (18,7 – 65,7 mm) para o mesmo método de interpolação, o  $\beta_1$  obtido foi superior (0,48 – 0,79). Os maiores  $\beta_0$  nesse caso estão relacionados a ordem de grandeza dos dados, que em Correia *et al.* (2011a) foram uma ordem de grandeza menor, por se tratar da precipitação mensal, do que os do presente trabalho, com precipitação anual.

Para a evapotranspiração potencial (ETP) a precisão das interpolações pelo método MC ( $r^2 = 0,69$ ) e sua acurácia ( $d = 0,91$ ) foram similares a da precipitação (Figura 9). Castro *et al.* (2010), comparando diversos modelos para interpolação da ETP anual baseada no método de Thornthwaite (1948) para o estado do Espírito Santo obtiveram resultados inferiores ( $r^2 = 0,41 - 0,59$  e  $d = 0,80 - 0,86$ ). Além de precisão e acurácia superiores, no presente estudo, observou-se também menor RQME (96 mm, 8,13% em relação a ETP média), do que os obtidos pelo referido trabalho (115 – 159 mm). Dessa forma, considerou-se satisfatório o desempenho alcançado pelo método utilizado no presente estudo, principalmente pelo fato de que o cálculo de ETP pelo método de Thornthwaite (1948), estar relacionado a temperatura do ar, sabidamente, de grande variação espacial (CASTRO *et al.*, 2010).



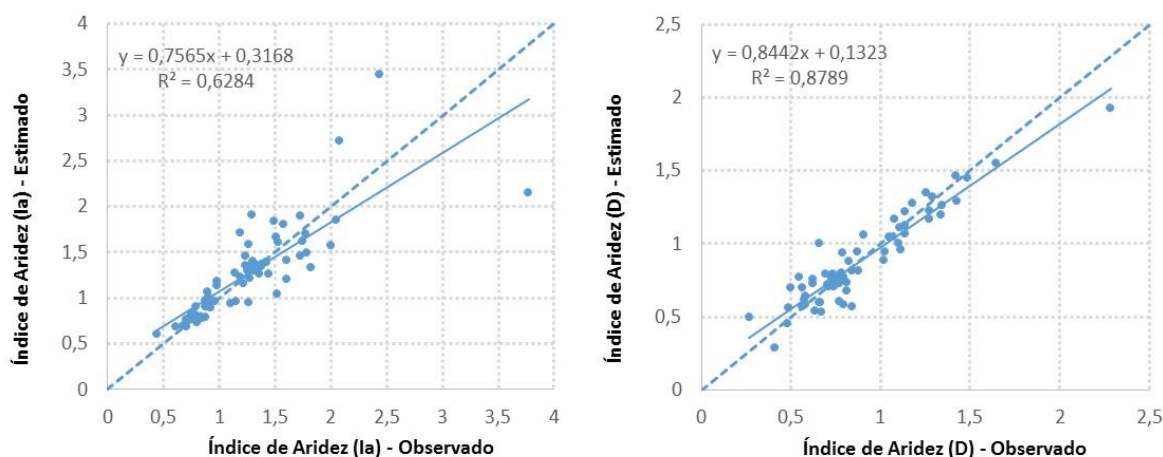
**Figura 9.** Relação entre a) evapotranspiração potencial (mm) anual e b) déficit hídrico (mm), observados no período 1961-2010 e estimados (interpolados) pelo método de mínima curvatura para uma grade de 5 x 5 km no estado do RJ e regiões limítrofes de SP, MG e ES.

Da mesma forma que o evidenciado para a precipitação pluvial, para a interpolação do déficit hídrico (DEF), apesar de observada precisão e acurácia elevadas ( $r^2 = 0,89$  e  $d = 0,97$ ), os valores discrepantes podem ter influenciado na magnitude do erro médio obtido (RQME = 51 mm), o que significa uma variação de 46,3% do valor médio obtido para o DEF anual. Em diversas regiões da área de estudo, o DEF apresentou valores próximos a zero, assumidos para a variável, o que pode acarretar em altos erros percentuais (CECÍLIO *et al.*, 2005). O zero é um limite físico do DEF, não atendido pelo critério matemático da interpolação, a qual gera estimativas inferiores (negativas), o que não existe fisicamente (CASTRO *et al.*, 2010). Ademais, segundo Sentelhas *et al.* (2008), quando o BHC é estimado com a ETP calculada pelo método de Thornthwaite, os erros da mesma são transferidos para as outras variáveis, especialmente para DEF e EXC.

### 5.1.3 Índices de aridez (Ia) e (D)

#### Interpolação teste

A Figura 10, apresenta os resultados obtidos para a análise do desempenho do interpolador MC para a espacialização dos índices de Aridez (Ia) e (D).



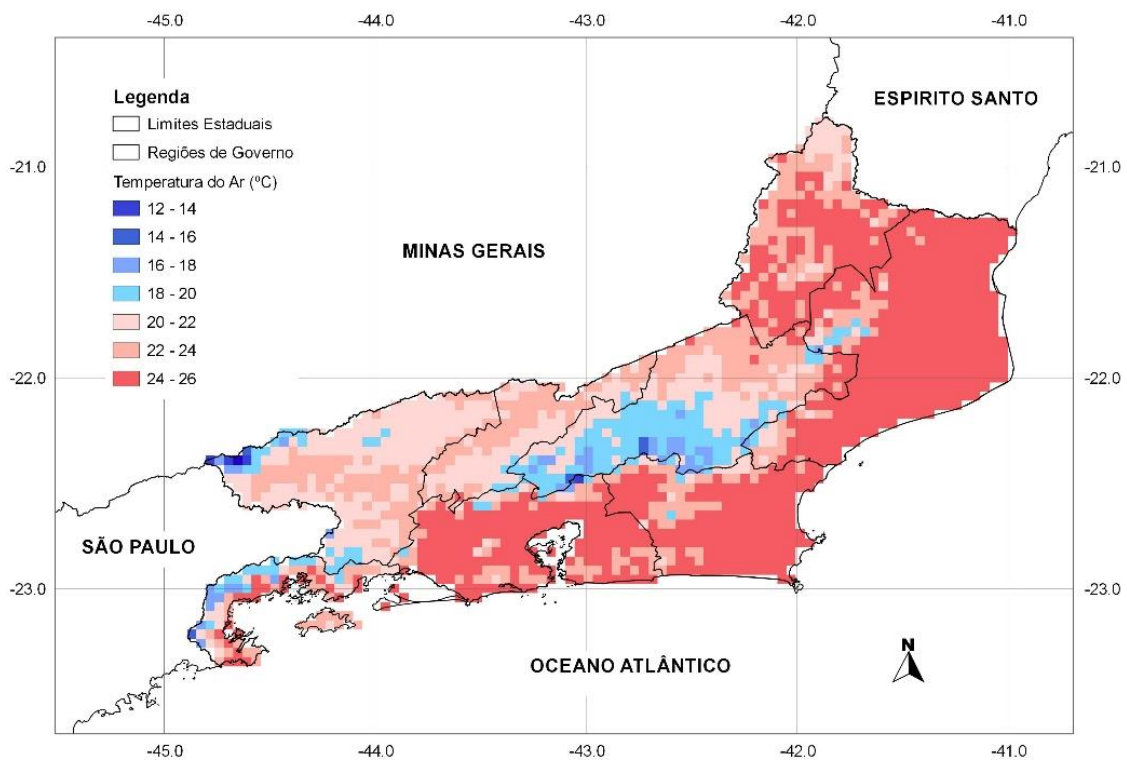
**Figura 10.** Relação entre a) o índice de aridez (Ia) e b) e índice de aridez (D), observados no período 1961-2010 e estimados (interpolados) pelo método de mínima curvatura para uma grade de 5 x 5 km no estado do RJ e regiões limítrofes de SP, MG e ES.

Ao analisar os coeficientes de determinação e o índice de concordância de Willmott para as interpolações dos índices de aridez, o índice D apresentou precisão e acurácia superior da interpolação em relação ao Ia. Para o índice de aridez D, obteve-se  $r^2 = 0,88$  e  $d = 0,97$ , ao passo que para o Ia, os respectivos índices obtidos foram  $r^2 = 0,63$  e  $d = 0,88$ . Em relação a magnitude do erro, D obteve RQME = 0,12, o que representou um erro médio de 13,3% em relação à média, enquanto Ia obteve RQME = 0,32, que representou 25% de variação em torno da média observada do Ia.

Ambos índices de aridez utilizam-se da precipitação pluvial (P) e da evapotranspiração potencial (ETP) em suas formulações matemáticas. Contudo, analisando a sensibilidade relativa de cada variável na obtenção dos índices de aridez, observou-se que o índice D é mais sensível à P, enquanto que o índice Ia à ETP. Dessa forma, a maior precisão e acurácia na interpolação de D, pode estar relacionada ao mesmo fato que causou o desempenho superior da interpolação espacial de P, quando comparada à da ETP.

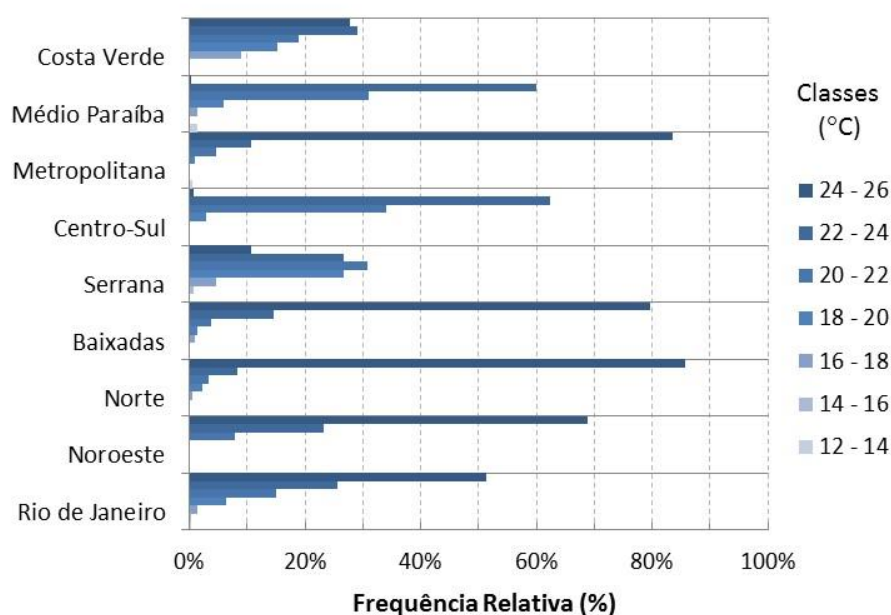
## 5.2 Clima

As Figuras 11 e 12 apresentam a distribuição espacial e a frequência relativa (%) da temperatura do ar média anual interpoladas pelo ajuste das regressões lineares múltiplas para o RJ e suas regiões de governo.



**Figura 11.** Distribuição espacial da temperatura do ar (°C) média anual no período 1961-2010 para o estado do RJ.

Mais da metade do estado do RJ apresentou temperatura do ar média anual na classe 24 – 26°C (51,3%). Essa classe foi predominante nas regiões Metropolitana, Baixadas, Norte e Noroeste Fluminense. Dessa forma, observou-se a concordância da variabilidade da temperatura do ar com o gradiente de elevação do relevo, sendo que mais de 69,4% do estado encontra-se abaixo dos 500 m de altitude, e com a proximidade do ambiente costeiro, visto que as maiores temperaturas anuais foram observadas na planície litorânea, o que indicou também a influência do fenômeno da continentalidade na sua distribuição. As classes mais baixas de temperatura (< 16°C) foram observadas nas porções mais elevadas das regiões Serrana, Médio Paraíba e Metropolitana. A menor temperatura média anual observada foi no município de Resende (11,0°C), na região do médio Paraíba, e a maior em São Francisco de Itabapoana (25,0°C), no Norte Fluminense. A grande amplitude da temperatura média anual, por vezes em curtas distâncias, corrobora com a complexidade do relevo do estado do RJ. A relação inversamente proporcional da temperatura do ar com elevação do terreno, é dada pela a relação hidrostática e a primeira lei da termodinâmica, que predizem um gradiente vertical negativo da temperatura do ar na baixa atmosfera - troposfera (LYRA *et al*, 2011).



**Figura 12.** Distribuição da frequência relativa (%) da temperatura do ar (°C) média anual no período 1961-2010 para o estado do RJ e suas regiões de governo – Costa Verde, Médio Paraíba, Metropolitana, Centro-Sul, Serrana, Baixadas Litorâneas, Norte e Noroeste Fluminense.

As regiões Metropolitana e Médio Paraíba foram as que apresentaram a maior variabilidade de temperatura do ar anual. Em ambas foram observadas temperaturas do ar entre as classes 12 – 14°C e 24 – 26°C. Este fato foi observado pela elevada amplitude altimétrica nas duas regiões, as quais apresentam as menores elevações junto a planície litorânea e as porções mais baixas do vale do Paraíba, enquanto as maiores ocorrem nas porções mais altas da Serra dos Órgãos e Serra da Mantiqueira. No entanto, as classes predominantes nessas regiões foram 24 – 26°C para a região Metropolitana (85,6%) e 22 – 24°C para a região do Médio Paraíba (60%).

A região Centro-Sul Fluminense apresentou frequência relativa da temperatura do ar anual similar à da região do Médio Paraíba. Contudo, por não apresentar altitudes elevadas (< 900 m), não foram constatadas temperaturas inferiores a 16°C. Para essa região as temperaturas predominantes variaram de 20 – 24°C (91%).

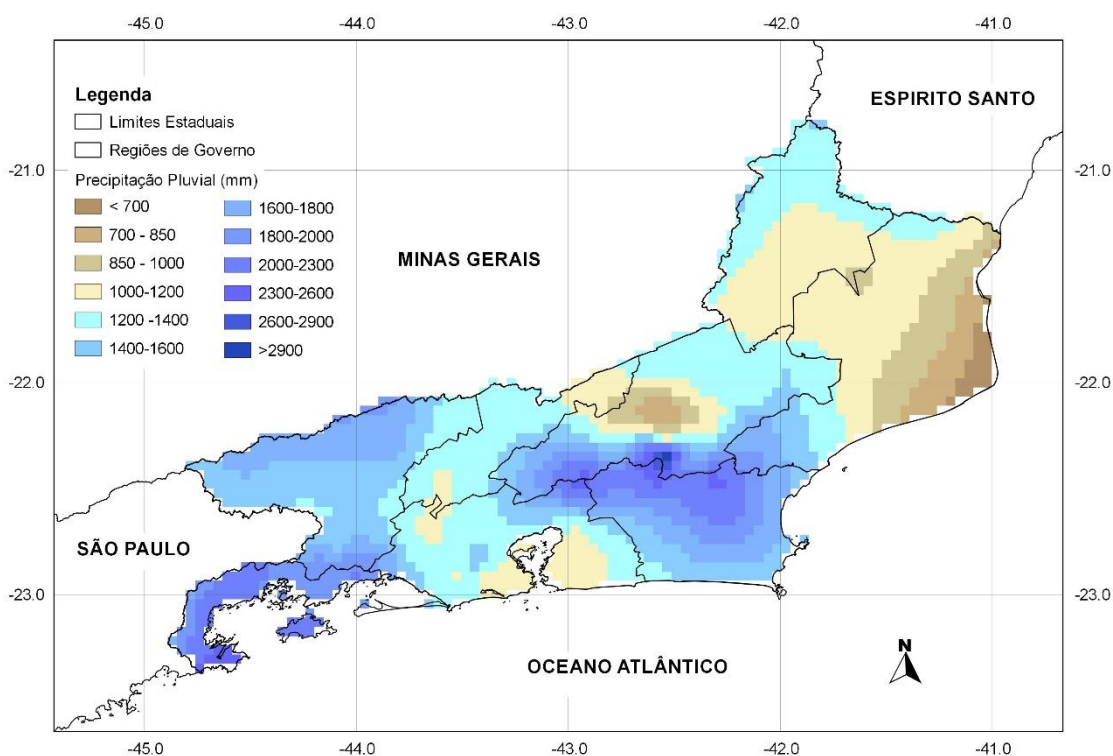
Embora a região Serrana não tenha apresentado a menor classe da temperatura do ar obtida para o estado do RJ (12 – 14°C), observadas na região Metropolitana e Médio Paraíba), ela foi a região onde se obtiveram maiores frequências nas classes inferiores de temperatura. As classes predominantes nessa região foram 20 – 22°C (30,7%), 22 – 24°C (26,7%) e 18 – 20°C (26,6%). Nesse sentido, na região Serrana foi onde predominou as menores médias de temperatura do ar anual.

As regiões Norte e Noroeste Fluminenses, Baixadas e região Metropolitana foram as mais quentes do Estado. Em todas houve alta frequência relativa da classe mais elevada de temperatura anual para o Estado. (24 – 26°C), o que correspondeu a ocorrência em 85,6%, 68,8%, 79,6% e 83,5% de seus territórios, respectivamente. Mais uma vez, notou-se a influência da altitude sobre a temperatura do ar, visto que todas essas regiões apresentam as menores altitudes do Estado.

Por fim, a região da Costa Verde apresentou temperatura do ar média anual entre 16°C e 26°C, sendo todas as classes dentro dessa variação distribuídas quase que homogeneamente

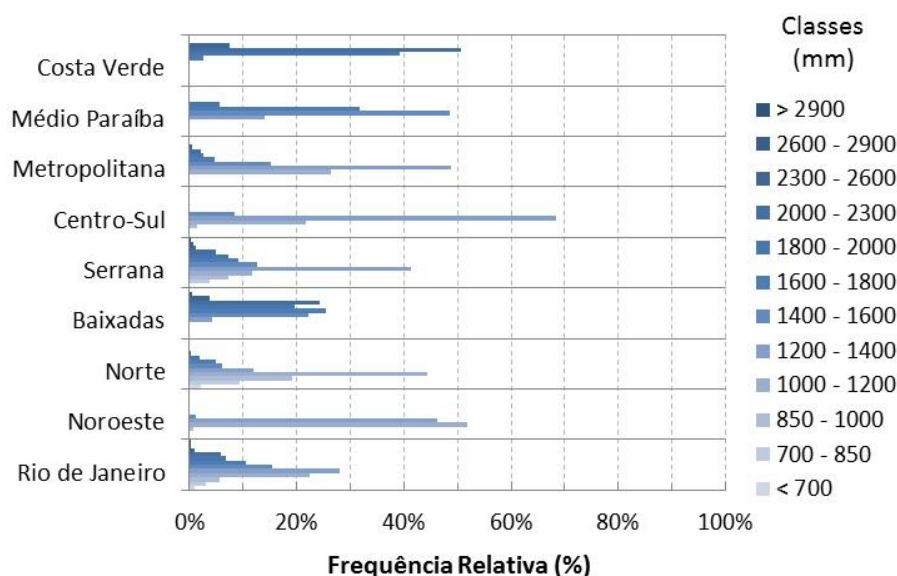
ao longo do território, sempre concordando com a elevação do terreno, que nesta região varia desde o nível do mar a altitudes por volta dos 1.400 m.

A distribuição espacial e frequência relativa (%) dos totais anuais da precipitação pluvial média do período de 1961 a 2010 para o estado do RJ e suas regiões de governo são apresentados nas Figuras 13 e 14 a seguir.



**Figura 13.** Distribuição espacial da precipitação pluvial (mm) anual no período 1961-2010 para o estado do RJ.

A distribuição espacial da precipitação pluvial no estado do RJ apresentou elevada variabilidade, devido aos diversos sistemas produtores de tempo, entre eles, os de grande escala (Sistemas Frontais e Zona de Convergência do Atlântico Sul) e mesoescala (Sistemas Convectivos de Mesoescala, brisas marítima/terrestre e de vale/montanha) atuantes na região, em conjunto com fatores fisiográficos locais, como o relevo, altitude e a continentalidade (CORREIA *et al.*, 2011a). Os mínimos observados localizaram-se na região Norte Fluminense, enquanto os máximos, ocorreram na região Serrana, próximo ao limite com a região Metropolitana. Para o estado como um todo, a espacialização da precipitação pluvial anual obteve como intervalo predominante de chuva entre 1.000 e 1.600 mm, perfazendo cerca de 66% de seu território.



**Figura 14.** Distribuição da frequência relativa (%) da precipitação pluvial (mm) anual no período 1961-2010 para o estado do RJ e suas regiões de governo – Costa Verde, Médio Paraíba, Metropolitana, Centro-Sul, Serrana, Baixadas Litorâneas, Norte e Noroeste Fluminense.

A região com menores totais de chuva anual no Estado foi o Norte Fluminense com 75% do seu território apresentando precipitação pluvial abaixo de 1.200 mm e predominância na classe de 1.000 - 1.200 mm. O mínimo observado na região foi de 596 mm anuais no município de Campos dos Goytacazes, próximo ao litoral. Uma pequena porção da região obteve precipitação pluvial na classe 1.800 – 2.000 mm nas áreas mais elevadas do município de Macaé. Demais trabalhos obtiveram resultados semelhantes para esta região (ANDRÉ *et al.*, 2008; CORREIA *et al.*, 2011a). As baixas precipitações obtidas em relação as demais regiões de governo devem-se a sua topografia mais suave, com predominância de baixadas e tabuleiros costeiros, o que diminui a ação do efeito orográfico sobre a precipitação pluvial. Além disso, a região é costeada pela corrente fria das Malvinas, o que inibe a convecção local e, por consequência, a formação de chuvas convectivas, contribuindo para menores índices pluviométricos.

A região da Costa Verde foi a que apresentou os maiores totais de precipitação pluvial do Estado, na qual foram observados acumulados anuais superiores a 1.800 mm em praticamente todo seu território (97%), além de 58% encontrar-se no intervalo de 2.000 a 2.600 mm. Essa região está localizada no extremo sul do estado do RJ, próximo ao oceano Atlântico e, como consequência, recebe diretamente umidade das circulações de brisas marítimas e da passagem de sistemas frontais, além de apresentar elevada amplitude altimétrica, que varia desde o nível do mar até altitudes superiores a 1.400 m na Serra da Bocaina (ANDRÉ *et al.*, 2004). Essa, por apresentar orientação paralela a costa faz com que ocorra com grande frequência e intensidade precipitações de origem orográfica. Carvalho & Assad (2005), encontraram esse mesmo cenário para precipitação pluvial no litoral norte do estado de SP, região imediatamente ao sul da Costa Verde. Demais estudos realizados sobre esta variável no RJ também constataram índices pluviométricos elevados para essa região (ANDRÉ *et al.*, 2008; CORREIA *et al.*, 2011a).

A maior variabilidade de classes de precipitação pluvial anual foi constatada na região Serrana. Nela foram obtidas precipitações pluviais entre as classes 700 – 850 mm até a >

2.900. Nessa região foi observada a maior precipitação pluvial do Estado, mais precisamente no município de Nova Friburgo (3.171mm). Um dos fatores que pode estar associado a essa grande amplitude de classes pluviométricas é a elevada variação de altimétrica constada na região.

Na vertente sul da Serra dos Órgãos, voltada ao oceano, próximo ao limite com a região das Baixadas, foram constatados elevados índices pluviométricos, enquanto que na face voltada ao norte, para o interior do continente, observou-se o fenômeno de “sombra de chuva”, resultante do impedimento das brisas marítimas carregadas de umidade e advindas da costa de transporem a barreira imposta por esta cadeia montanhosa (SANT’ANNA NETO, 2005). Nesta região voltada para o vale do rio Paraíba do Sul foram observadas precipitações pluviais anuais entre 700 – 1100 mm, enquanto na região voltada para o ambiente costeiro, os totais foram superiores a 2.000mm. Este fenômeno também foi observado por Correia *et al.* (2011a).

Adjacente a região Serrana, ao sul encontra-se a região das Baixadas Litorâneas, na qual se observou precipitação pluvial entre 1.200 e 2.900 mm. Os altos índices pluviométricos constatados junto a Serra dos Órgãos corroboram com a topografia do terreno encontrado no limite dessas duas regiões de governo. Embora Costa *et al.* (2010), tenham obtido resultados similares através da interpolação espacial da precipitação pluvial anual pelo método do Inverso da Potência da Distância (IPD), ambos diferem de demais trabalhos realizados tanto para o RJ como para a região especificamente, principalmente na porção próxima a costa entre os municípios de Arraial do Cabo e Armação de Búzios (BARBIÉRI, 1975; CORREIA *et al.*, 2011a; BOHN *et al.*, 2013; COE & CARVALHO, 2013). Tal fato pode ter sido observado pela ausência de estações próximas a área em questão tanto no estudo de Costa *et al.* (2010), quanto no presente. Na inclusão de estações pluviométricas foram consideradas todas estações com no mínimo 15 anos dentro do intervalo de 1961 – 2010, o que não foi observado para esta área. A distribuição espacial heterogênea e a baixa densidade de estações influenciam negativamente na qualidade da interpolação espacial de variáveis climatológicas (SOUZA *et al.*, 2011; ALVES & VECHIA, 2011), o que pode ter acarretado em distorções da realidade nesse caso.

Coe & Carvalho (2013), referem-se a esta parte da região das Baixadas Litorâneas como “um enclave semiárido” no litoral úmido do estado do RJ. Os autores observaram precipitação pluvial anual em torno de 750 mm a partir de séries de dados mensais entre 1961 a 1990, contudo sem apresentar o número de anos com observações dentro deste intervalo.

Em estudo realizado por Correia *et al.* (2011a), os autores caracterizaram a mesorregião das Baixadas, mais precisamente a porção próxima ao ambiente costeiro por apresentar os menores índices pluviométricos (< 1.000 mm) do Estado, seguida da mesorregião Norte Fluminense. Os baixos totais da precipitação pluvial anual nessa área devem-se a peculiaridades climáticas, tais como, a grande distância da linha da costa até a serra do Mar e o transporte de águas frias profundas para a superfície do oceano em uma costa dominada por correntes quentes, fenômeno conhecido como ressurgência, a qual resulta em inibição dos processos convectivos e, dessa forma, das chuvas, sobretudo no verão (BARBIÉRI, 1975)

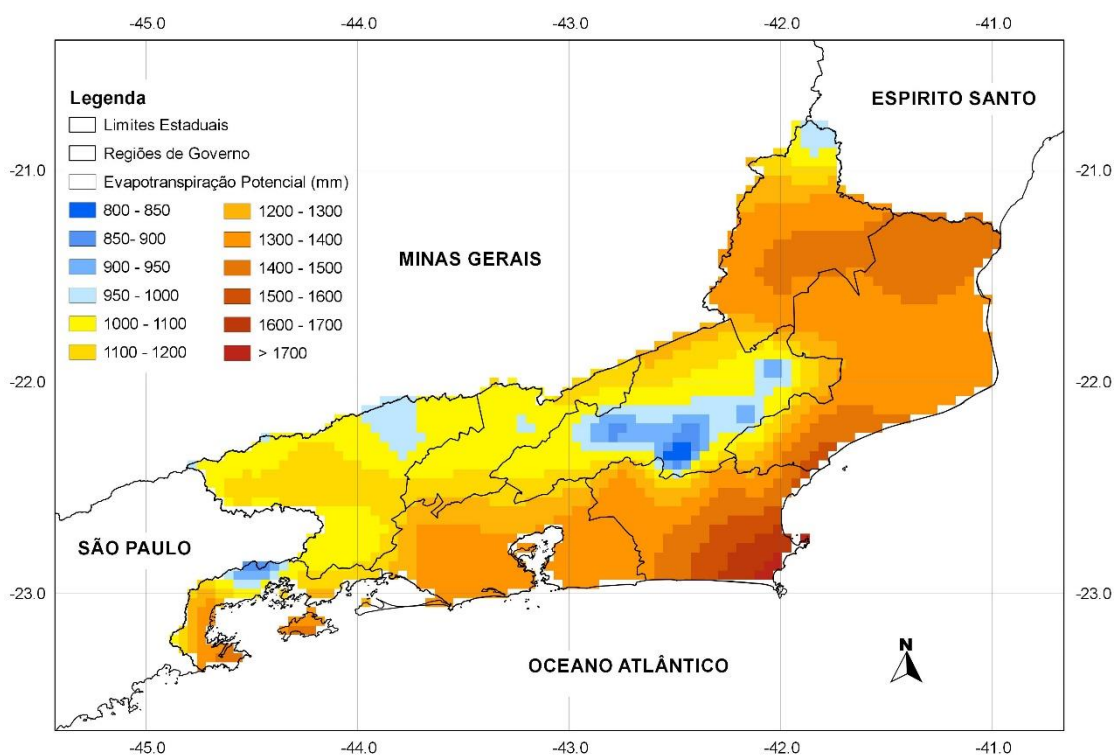
Para as regiões Metropolitana, Médio Paraíba e Noroeste Fluminense a classe de precipitação pluvial mais frequente foi entre 1.000 e 1.400 mm anuais, e corresponderam a 75%, 90% e 98% de seus territórios, respectivamente. No entanto, a região Metropolitana apresentou também altos índices pluviométricos (> 2.300 mm) na divisa com a região Serrana, junto ao sopé da Serra dos Órgãos. Esse fato ocorre devido a incidência de ventos úmidos vindo do mar, que ao depararem-se com a barreira orográfica imposta pela serra, favorecem a ocorrência de chuvas orográficas (CARVALHO & ASSAD, 2005). No extremo norte da região Noroeste Fluminense, tal fenômeno pode também ser observado nas vertentes



do planalto do Alto Itabapoana voltadas para o oceano, porém com menos intensidade devido a distância da mesma do oceano, efeito conhecido como continentalidade, o que faz com que os ventos advindos do litoral percam umidade conforme gradativamente escoam sobre o continente.

Já para a região Centro-Sul as precipitações predominantes abaixo de 1.400 mm anuais, devem-se ao fato da mesma estar inserida nas porções mais baixas do vale do rio Paraíba do Sul entre a vertente sudeste da Serra da Mantiqueira e a vertente noroeste da Serra dos Órgãos. Dessa forma, a conformação do relevo deferido pelo rio Paraíba faz com que os ventos úmidos oriundos do mar através da região Metropolitana não encontrem relevo confrontante e escoem em direção ao estado de MG.

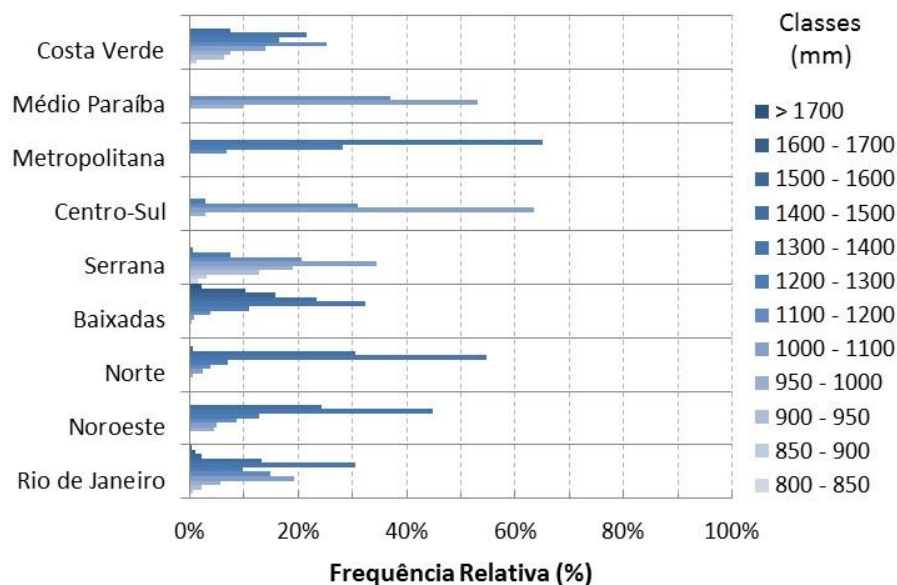
Para a Evapotranspiração Potencial (ETP) anual as Figuras 15 e 16 mostram a distribuição espacial e a frequência relativa da mesma para o estado do RJ e suas regiões de governo.



**Figura 15.** Distribuição espacial da evapotranspiração potencial (mm) anual no período 1961-2010 para o estado do RJ.

A ETP anual observada para o Estado variou entre 840 mm, na região Serrana próximo ao limite com a região das Baixadas Litorâneas e 1.400 mm na região Norte Fluminense. A ETP apresentou distribuição espacial concordante com o gradiente topográfico do Estado, análoga a temperatura do ar e a precipitação pluvial, que tiveram como fator determinante na sua distribuição o relevo.

Áreas mais altas apresentaram ETP inferiores, condicionadas pelas baixas temperaturas do ar e menor disponibilidade de energia. Esse padrão corrobora com outros estudos relacionados com a espacialização desta variável climática, tais como Cecílio *et al.* (2012), no qual foram obtidos os menores valores de Evapotranspiração Real (ETR) (inferiores a 600 mm), e conseqüentemente, baixa ETP, nas porções mais elevadas do estado do ES.



**Figura 16.** Distribuição da frequência relativa (%) da evapotranspiração potencial (mm) anual no período 1961-2010 para o estado do RJ e suas regiões de governo – Costa Verde, Médio Paraíba, Metropolitana, Centro-Sul, Serrana, Baixadas Litorâneas, Norte e Noroeste Fluminense.

A região Serrana foi a que apresentou a maior parte do seu território entre as menores classes de ETPs, sendo que 92% de seu território mostrou a ocorrência de valores inferiores a 1.200 mm. Este fato corrobora com a topografia da Serra dos Orgãos localizada na região, a qual induz a temperaturas do ar mais baixas, e por conseguinte, menores taxas de ETP.

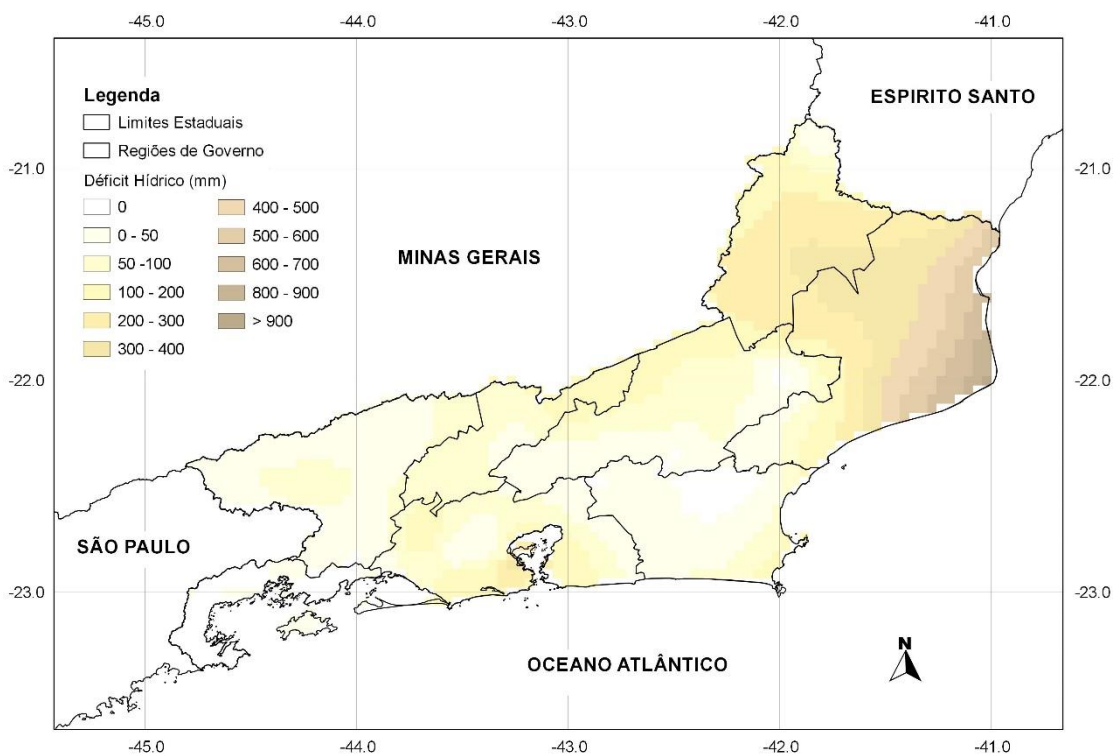
Baixos valores de ETP, quando comparados com os limites mínimos e máximos obtidos para o Estado, ocorreram também nas regiões Centro-Sul Fluminense e Médio Paraíba, as quais apresentaram 66% e 63% das suas áreas com ETP anual inferior a 1.100 mm, respectivamente. As duas regiões apresentam temperaturas do ar predominantemente mais baixas, como apresentado anteriormente, o que gerou, assim como na região Serrana, menores taxas de ETP.

As regiões Noroeste e Norte Fluminense, Baixadas Litorâneas e região Metropolitana obtiveram maiores frequências relativas de classes mais elevadas de ETP anual (> 1.200 mm). Entre elas destacam-se a região das Baixadas Litorâneas e Norte Fluminense por apresentarem ETP mais alta, sendo que na primeira obtiveram-se valores acima dos 1.600 mm, enquanto na segunda, as taxas mais elevadas mantiveram-se por volta dos 1.400-1.600 mm.

No Norte Fluminense, Baixadas Litorâneas e região Metropolitana a ETP anual mais elevada foram alcançadas nas porções próximas ao ambiente costeiro, devido principalmente a baixa altitude dessas áreas e alta radiação solar incidente. Esses dois fatores predizem as elevadas temperaturas médias do ar dessas regiões, o que, conseqüentemente, resulta em elevadas taxas de ETP. Para a região Noroeste Fluminense, embora se sobressaiam classes mais elevadas de ETP (> 1.300 mm), o extremo norte da mesma apresentou ETP inferior a 1.000 mm, corroborando com a porção mais elevada da região no planalto do Alto Itabapoana.

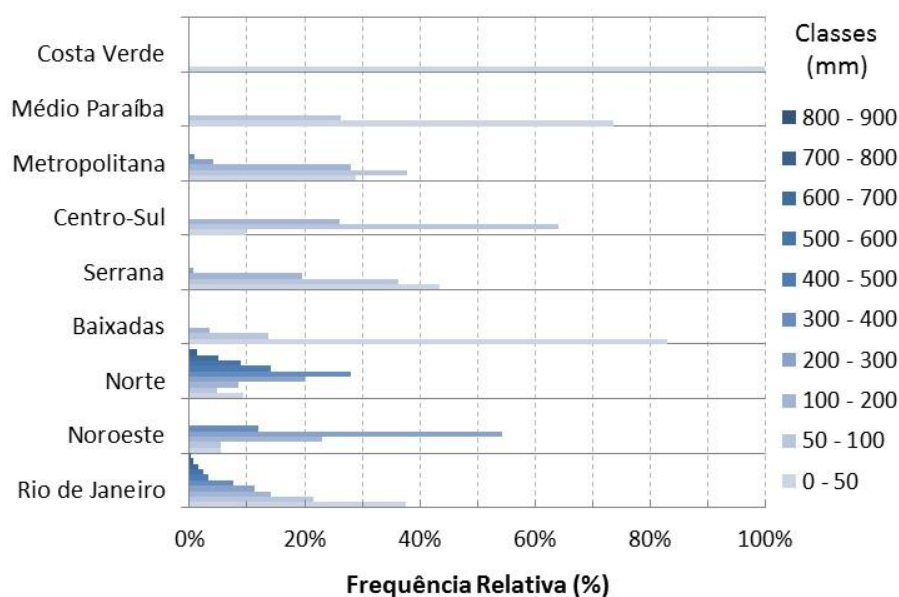
Para a região da Costa Verde, obteve-se elevada variabilidade na taxa de ETP, desde a classe de 850 – 900 mm até 1.400 – 1.500 mm, o que vai ao encontro da grande amplitude observada também tanto no relevo quanto na temperatura do ar.

As figuras 17 e 18 apresentam a distribuição espacial e a frequência relativa (%) do Déficit Hídrico (DEF) anual para o estado do RJ e suas regiões de governo.



**Figura 17.** Distribuição espacial do déficit hídrico (mm) anual no período 1961-2010 para o estado do RJ.

Para o RJ, o DEF anual observado variou de 0 a 766 mm. A maior parte das regiões do estado apresentou DEF dentro do intervalo 0 – 200 mm (73%), sendo que os menores DEF foram observados nas regiões da Costa Verde e Médio Paraíba, e os maiores na região Norte Fluminense. Para o Estado como um todo, o DEF apresentou distribuição espacial inversa à da precipitação pluvial e direta com a ETP, ou seja, nas regiões de menores (maiores) precipitações anuais e maiores (menores) ETP observou-se maior (menor) DEF. Esse resultado corrobora com demais trabalhos acerca da interpolação desse componente do BHC (D'ANGIOLELLA *et al.*, 2005, CECÍLIO *et al.*, 2005).



**Figura 18.** Distribuição da frequência relativa (%) do déficit hídrico (mm) anual no período 1961-2010 para o estado do RJ e suas regiões de governo – Costa Verde, Médio Paraíba, Metropolitana, Centro-Sul, Serrana, Baixadas Litorâneas, Norte e Noroeste Fluminense.

A região da Costa Verde apresentou em sua totalidade DEF anual entre 0 a 50 mm. Baixas taxas de DEF também foram observadas na região do Médio Paraíba (0 a 100 mm). Esse resultado concorda com os elevados totais de precipitação pluvial e menores temperaturas do ar observadas para essas duas regiões em comparação com as demais regiões de governo do estado.

Para a região das Baixadas Litorâneas também foram observados baixos valores de DEF em comparação com as demais regiões. Nela o DEF anual variou entre 0 e 200 mm, sendo que 83% de sua área encontrava-se na classe 0 – 50 mm. Embora a temperatura do ar e a ETP estimadas por este estudo, principalmente próximo ao ambiente costeiro, tenham sido elevadas, a precipitação pluvial estimada apresentou-se acima da observada por outros estudos (CORREIA *et al.*, 2011a; COE & CARVALHO, 2013; BOHN *et al.*, 2013), o que associado as regiões de serra, com faces (face Sul) voltadas para o ambiente costeiro, que induzem chuvas orográficas, pode ter influenciado nos baixos valores do DEF para a região.

As regiões Serrana e Centro-sul também apresentaram baixos-valores de DEF (0 – 300 mm), nas quais a maior parte de suas áreas encontraram-se entre 0 – 100 mm, sendo a frequência de ocorrência de 80% (0 - 50 mm) e 74% (50 - 100 mm), respectivamente. Tal fato está relacionado as menores temperaturas do ar e maiores índices pluviométricos, principalmente na região Serrana. A região Metropolitana apesar de ter apresentado maior parte do seu território (95%) dentro do intervalo 0 – 200 mm de DEF, também observaram-se valores elevados próximos a porção litorânea, junto a baía de Guanabara (200 - 400 mm), o que pode estar relacionado com menores altitudes e maiores temperaturas do ar.

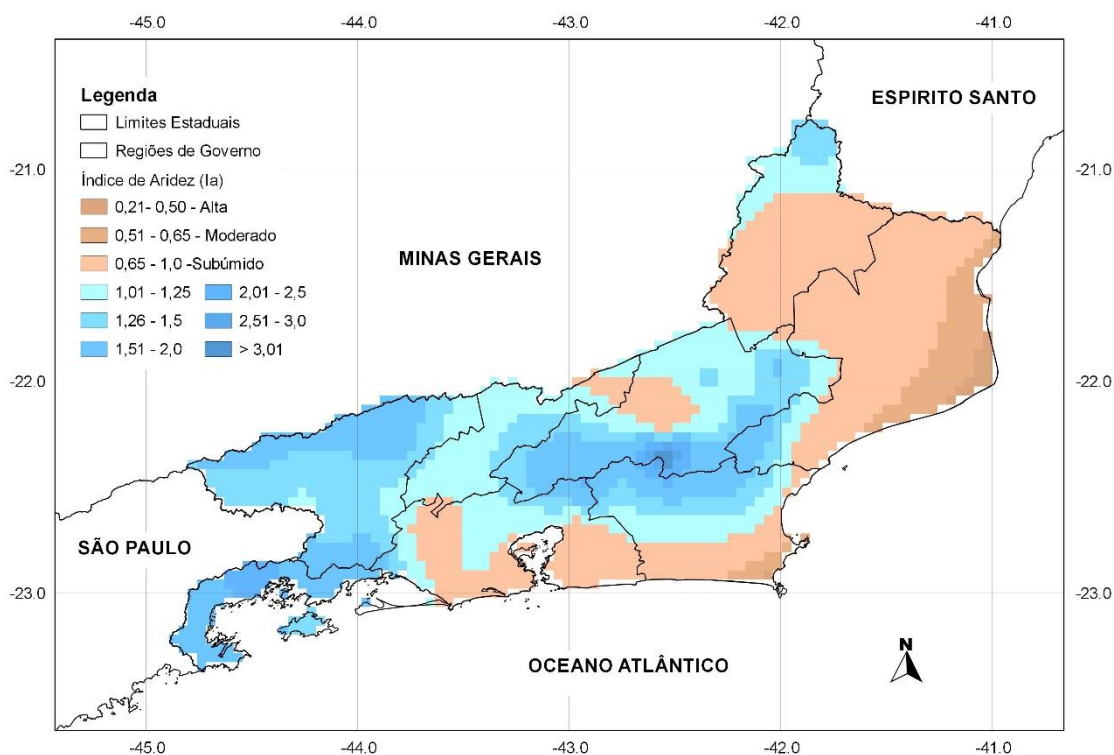
As regiões Noroeste e Norte Fluminense apresentaram os maiores valores de DEF anual do estado, as quais variaram de 0 – 400 mm na primeira, e 0 – 800 mm na segunda. Tal fato corrobora com a distribuição espacial da temperatura do ar, precipitação pluvial e ETP, sendo o DEF diretamente proporcional a primeira e última, e inversamente proporcional a segunda. Elevadas taxas de DEF, ou seja, onde a ETP supera em grande parte a precipitação, é característica peculiar de regiões semiáridas (LEMONS FILHO *et al.*, 2007), o que pode

acarretar impactos na produção de alimentos, abastecimento de água, disponibilidade de nutrientes no solo, entre outros.

## 5.3 Susceptibilidade à Desertificação

### 5.3.1 Índice de aridez (Ia)

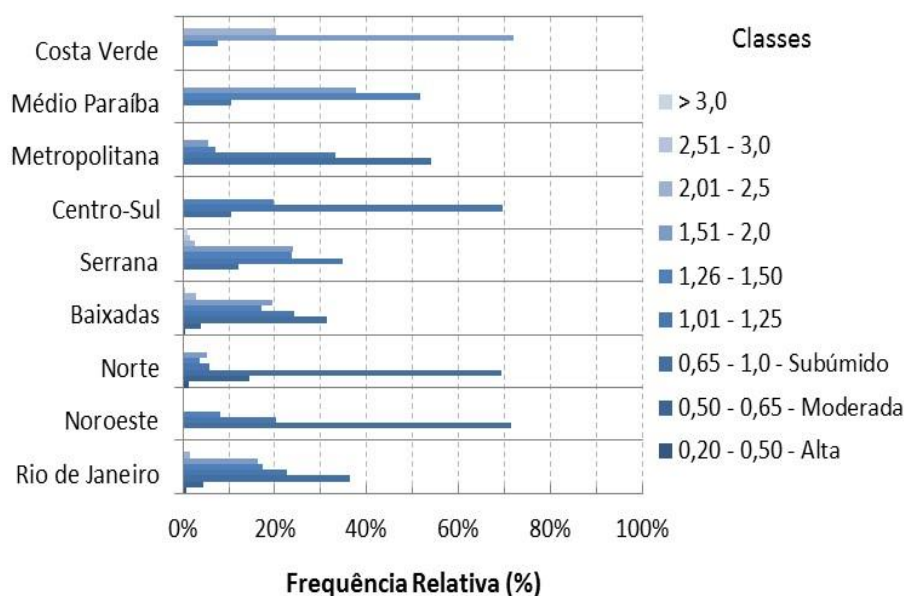
As Figuras 19 e 20 apresentam a distribuição espacial e a frequência relativa (%) do índice de aridez (Ia) para o estado do RJ e suas regiões de governo. Em relação ao Ia, áreas susceptíveis à desertificação inserem-se dentro intervalo de valores entre 0,05 e 0,65, e variam entre susceptibilidade muito alta (0,05 – 0,20), alta (0,21 – 0,50) e moderada (0,51 – 0,65) (MATALLO JÚNIOR, 2003). Áreas com valores superiores a 0,65 não são consideradas susceptíveis à desertificação, sendo classificadas, segundo classificação climática de Thornthwaite, como subúmidas úmidas, ou classes superiores (úmido e superúmido).



**Figura 19.** Distribuição espacial do índice de aridez (Ia) anual no período 1961-2010 para o estado do RJ.

Para o RJ, por meio do Ia, verificou-se susceptibilidade climática a desertificação em 5,3% de seu território, o que corresponde a 2.305,79 Km<sup>2</sup>. Desse total, 0,7% (323,11 Km<sup>2</sup>) apresentaram susceptibilidade alta ( $0,21 < Ia < 0,50$ ) a desertificação e 4,5% (1.982,68 Km<sup>2</sup>), susceptibilidade moderada ( $0,51 < Ia < 0,65$ ). As regiões susceptíveis à desertificação localizam-se em áreas de baixa altitude, próximas ao ambiente costeiro na região Norte Fluminense, e na região das Baixadas Litorâneas, na área compreendida entre Arraial do Cabo e Armação de Búzios. O restante do Norte Fluminense, assim como grande parte das regiões Noroeste e Metropolitana, e uma pequena porção da região Serrana, encontram-se numa transição entre susceptibilidade moderada à não susceptível ( $0,66 < Ia < 1$ ), perfazendo uma

área de 36,5% (15.944,46 Km<sup>2</sup>), ou seja, aproximadamente 1/3 do território do Estado. As temperaturas do ar superiores a 24°C, a baixa precipitação pluvial e as elevadas taxas de evapotranspiração, condicionaram as características de clima subúmido seco e semiárido e a susceptibilidade à desertificação nessas áreas.



**Figura 20.** Distribuição da frequência relativa (%) do Índice de Aridez (Ia) anual no período 1961-2010 para o estado do RJ e suas regiões de governo – Costa Verde, Médio Paraíba, Metropolitana, Centro-Sul, Serrana, Baixadas Litorâneas, Norte e Noroeste Fluminense.

Nas regiões Norte fluminense e Baixadas Litorâneas foram constatadas áreas climaticamente susceptíveis a desertificação, sendo que para a primeira 15% de sua área encontra-se na classe “moderada” e 1% na classe “alta”, e para a última 4% de sua área encontra-se na classe “moderada”. Essas correspondem a porções localizadas próximos ao ambiente costeiro, as quais estão submetidas a altas temperaturas do ar e baixas precipitações. Demais estudos apontam susceptibilidade climática da região Norte Fluminense, assim como tendência de mudança na classificação do clima de parte da mesma de subúmido seco para semiárido, segundo classificação de Thornthwaite (1948) (ANDRÉ *et al.*, 2004; BOHN *et al.*, 2013). André *et al.* (2004), em estudo relacionado aos índices de aridez e umidade para a região, apontam anomalias decrescentes no índice de umidade e precipitação e aumento da aridez local, resultados que indicam tendência de característica semiáridas, ou seja, perspectiva de se agravar o cenário de suscetibilidade climática a desertificação da região.

Na região das Baixadas Litorâneas, embora o presente estudo tenha apontado índices pluviométricos superiores (> 1.200 mm), se comparados com a região Norte Fluminense, a elevada taxa de ETP determinou menores valores para o índice Ia, o qual resultou da razão entre P e ETP. Todavia, sabe-se que tal resultado pode estar subestimando a susceptibilidade a desertificação, principalmente na área próxima à costa, onde se espera clima mais seco (CORREIA *et al.*, 2011a; COE & CARVALHO, 2013; BOHN *et al.*, 2013).

Em seguida, encontram-se as regiões Noroeste Fluminense e Metropolitana, as quais apresentaram 72% e 54%, respectivamente, de seus territórios como “não susceptível”, entretanto, na classe de clima subúmido ( $0,65 < Ia < 1,0$ ). O fato de nessas regiões não ter sido constatada susceptibilidade climática a desertificação, não diminui a importância de se monitorar tal fenômeno na perspectiva de mudanças climáticas e influência antrópica. Em

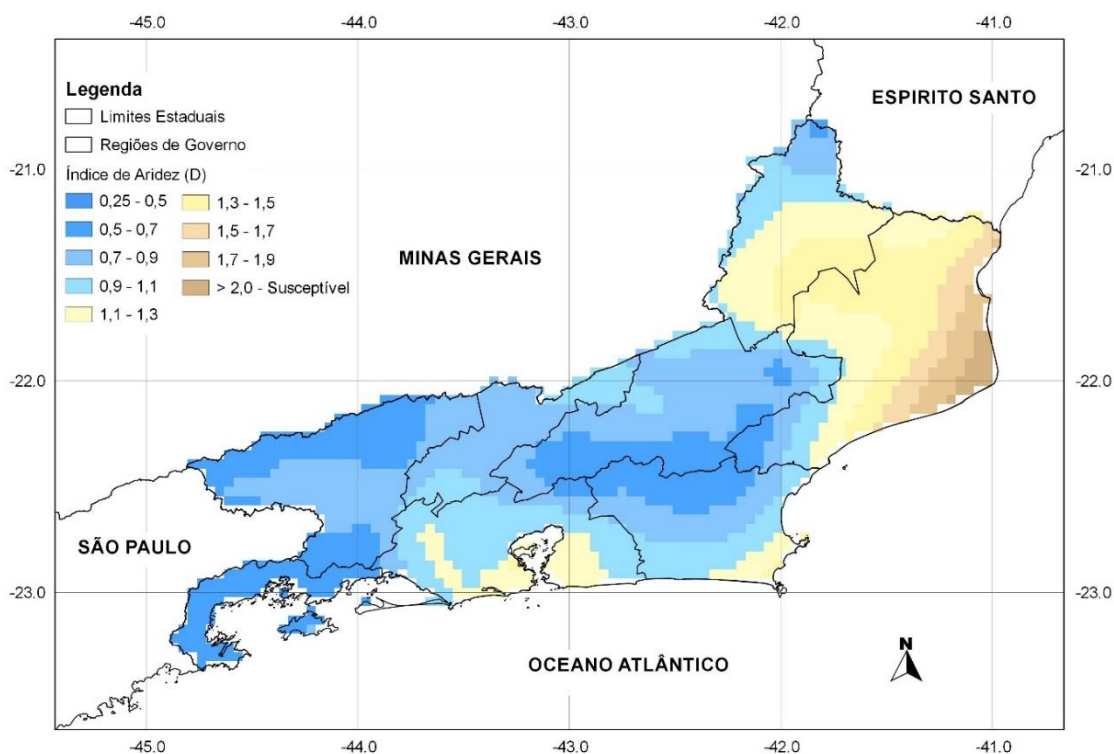
estudo realizado no município de Itaperuna, Noroeste Fluminense, Xavier *et al.* (2000) sugerem tendência em direção a climas mais secos para o município, em conjunto com a elevação da temperatura do ar.

As regiões Serrana e Centro-sul Fluminense também apresentaram parte de suas áreas dentro da classe de clima subúmido, no entanto com menor frequência relativa. Na região Serrana, a área na classe subúmido é de 12% e na Centro-Sul, 11%. Essas foram observadas em zonas localizadas nas faces voltadas para o interior do continente da Serra dos Orgãos, o que condiciona menores índices pluviométricos.

Para as regiões Médio Paraíba e Costa-verde, também não foram constadas áreas susceptíveis a desertificação, assim como áreas de clima subúmido. Seus territórios encontraram-se em suas totalidades nas classes úmidas ou superiores ( $I_a > 1,0$ ), o que corrobora com as temperaturas do ar mais baixas na região Médio Paraíba e os elevados índices pluviométricos da região da Costa Verde.

### 5.3.2 Índice de aridez (D)

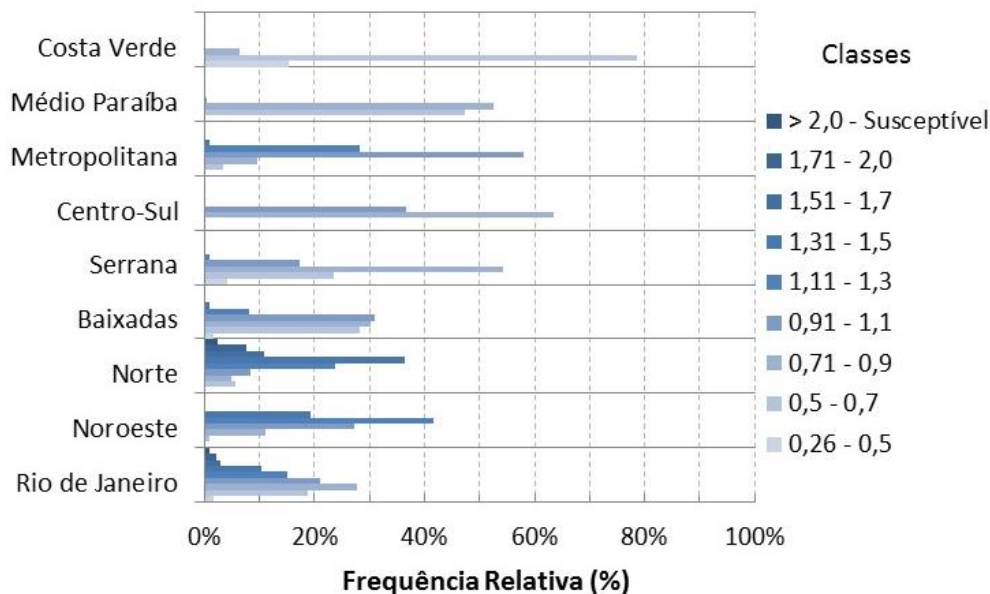
Para o índice de aridez (D), as áreas com maior susceptibilidade à desertificação encontram-se no intervalo entre  $2 < D < 7$ , no qual os extremos correspondem aos limites secos das zonas subúmidas e úmidas dos desertos, respectivamente (GOIS *et al.*, 2005). As Figuras 21 e 22 apresentam a distribuição espacial e a frequência relativa (%) do índice D para o estado do RJ e suas regiões de governo.



**Figura 21.** Distribuição espacial do índice de aridez (D) anual no período 1961-2010 para o estado do RJ.

De acordo com o índice D, em apenas 1% do território do RJ, que corresponde a 431,06 km<sup>2</sup>, verificou-se susceptibilidade climática à desertificação. Somente a região Norte Fluminense apresentou susceptibilidade a tal fenômeno. Embora, não consideradas

susceptíveis a desertificação por este índice, parte da região Noroeste Fluminense, e áreas próximas ao ambiente costeiro das regiões Metropolitana e Baixadas, apresentaram características subúmidas ( $1,11 < D < 1,75$ ) próximas de susceptíveis à desertificação, totalizando aproximadamente 30 % do território do estado.



**Figura 22.** Distribuição da frequência relativa (%) do Índice de Aridez (D) anual no período 1961-2010 para o estado do RJ e suas regiões de governo – Costa Verde, Médio Paraíba, Metropolitana, Centro-Sul, Serrana, Baixadas Litorâneas, Norte e Noroeste Fluminense.

Novamente, a região Norte Fluminense foi a mais seca do Estado, onde 21% (2.005,57 km<sup>2</sup>) de sua área foi classificada como subúmida pelo índice D, sendo que 2,5% (237,06 km<sup>2</sup>) encontravam-se dentro da classe susceptível. Diferentemente do índice Ia, o índice D não possui grau de susceptibilidade, sendo proposto por Hare (1983), que áreas no intervalo entre 2 a 7 apresentam ocorrência de processo de desertificação mais significativo. Tais áreas na região, estavam compreendidas na porção leste, nas proximidades do ambiente costeiro nos municípios de São João da Barra e Campos dos Goytacazes.

A seguir, as regiões Noroeste Fluminense e Metropolitana apresentaram maiores resultados do índice D nas classes entre 1,11 e 1,5, o que correspondeu a 61% (3.200,87 km<sup>2</sup>) e 29% (1.477,32 km<sup>2</sup>) de seus territórios, respectivamente. Como comentado para o índice Ia, apesar de não ter sido constatada susceptibilidade a desertificação em tais regiões, deve-se atentar ao fato de que este fenômeno pode ser desencadeado por alterações antrópicas e mudanças climáticas, de forma que estudos complementares que avaliem este fenômeno por outras perspectivas podem confirmar ou não os resultados deste estudo.

De acordo com os resultados obtidos para o índice Ia e demais estudos relacionados ao tema (BOHN *et al.*, 2013), apesar da região das Baixadas Litorâneas apresentar pequena área entre os municípios de Arraial do Cabo e Armação de Búzios com valores mais elevados de índice D ( $1,10 < D < 1,5$ ), esse resultado pode estar subestimado. Além disso, os índices pluviométricos obtidos através da interpolação espacial da precipitação pluvial para o Estado, apontam valores superiores aos que se esperam para a região, de forma que isso possa inferir em menor susceptibilidade à desertificação.

As demais regiões (Costa Verde, Médio Paraíba, Centro-sul e Serrana) por apresentarem menores temperatura do ar e maiores taxas de precipitação pluvial, também não

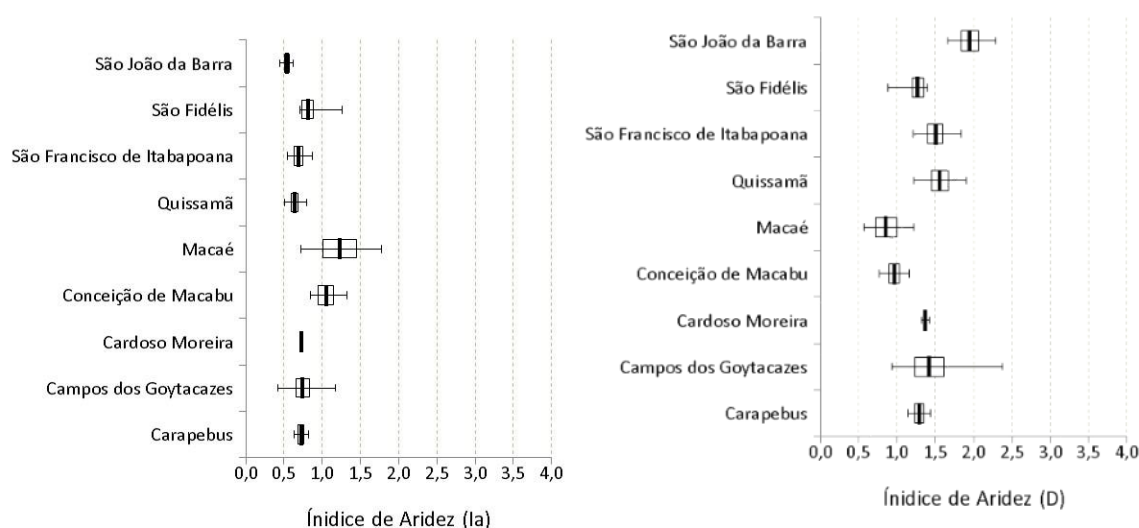


apresentaram susceptibilidade a desertificação, nem mesmo características de clima subúmido, segundo classificação climática de Thornthwaite (1948).

## 5.4 Estudo de Caso: Áreas Susceptíveis à Desertificação no Norte Fluminense e Proposição de Práticas Agroecológicas como alternativa de Mitigação e Prevenção

### 5.4.1 Processo histórico e características ambientais e socioeconômicas

Na região Norte Fluminense as áreas susceptíveis a desertificação levantadas por meio dos índices climáticos de aridez Ia e D, encontram-se na zona próxima ao ambiente costeiro da baixada Campista, como é conhecida essa parte da região. Esta área engloba principalmente os municípios de Carapebus, Quissamã, Campos dos Goytacazes, São João da Barra e São Francisco de Itabapoana (Figura 23).



**Figura 23.** Índices de aridez Ia e D dos nove municípios pertencentes a região Norte Fluminense no período 1961-2010.

Em termos ambientais, essa região caracteriza-se por uma extensa planície deltaica formada por diversos ambientes deposicionais, na maioria flúvio-lagunares, separados da costa por cristas de cordões arenosos. Esses terrenos apresentam solos com altos teores de sais e enxofre, os quais acarretam grandes limitações às atividades agropecuárias. Contudo, em direção ao interior deste território, a baixada flúvio-deltaica conformada pelo rio Paraíba do Sul, apresenta solos melhor drenados e bastante férteis, dos tipos Neossolos e Cambissolos Flúvicos, mais adequados a atividades agrícolas. Ademais, adjacente a baixada Campista, tabuleiros costeiros ocupam porções do Norte Fluminense, os quais apresentam terrenos planos ou suavemente ondulados e solos profundos e bem drenados, que apesar de apresentarem fertilidade natural baixa, são recomendados para a expansão de agricultura irrigada dada sua baixa propensão à erosão (LUMBRERAS *et al.*, 2003; DANTAS *et al.* 2001).

A baixada Campista possui duas Unidades de Conservação (UCs). Uma delas é a Estação Ecológica Estadual de Guaxindiba, com 3.260 ha, situada no município de São Francisco de Itabapoana. É considerada o último remanescente significativo do Bioma Mata Atlântica, Floresta Estacional Semidecidual e de Mata de Tabuleiro na região leste do Estado,

em meio a canaviais, pastos, lavouras de subsistência e terrenos abandonados e esgotados (INEA, 2014). A segunda é o Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, com uma área de 14.867 ha, que abrange as planícies fluviais e marinha dos municípios de Carapebus, Macaé, e Quissamã, as quais são alvo de fortes pressões antrópicas, o que confere ao parque grande importância na conservação das restingas e lagoas costeiras do estado do Rio de Janeiro (FISCHER *et al.*, 2007).

O processo histórico da região é marcado por quatro grandes ciclos econômicos, o primeiro impulsionado pelo açúcar no final do século XIX, o segundo constituído pela consolidação do parque industrial sucroalcooleiro, entre as décadas de 1920 e 1960, o terceiro pela descoberta do petróleo na bacia de Campos e o quarto com a implantação do Porto do Açúcar na região (SILVA & CARVALHO, 2004).

O cultivo de cana de açúcar e a produção de açúcar/álcool, em sistemas de monocultura, ainda se destacam na economia da região, principalmente no município de Campos dos Goytacazes, os quais modernizam-se através da mecanização e da concentração da produção em grandes unidades. No entanto, a maior parte da arrecadação dos municípios se dá em decorrência do recebimento de *royalties* advindos da exploração do petróleo e gás natural (CRUZ, 2003).

Esse cenário, apesar de ter proporcionado o aumento da capacidade da produção sucroalcooleira e a elevação do PIB da região de maneira substancial, resultou em graves impactos socioambientais, os quais podem ser notados pelos elevados índices de pobreza, desigualdade social, desemprego, além da degradação da terra, poluição das lagoas costeiras, entre outros (CRUZ, 2003). Como exemplo, observam-se os baixos Índices de Desenvolvimento Humano (IDH) que os municípios da região possuem, principalmente, São Francisco de Itabapoana, que apresenta um dos piores IDHs do estado do RJ (IBGE, 2014).

Como forma de superar os obstáculos impostos por esse modelo de desenvolvimento, pequenos agricultores da região perceberam a necessidade de diversificar suas produções (CRESPO, 2004). Dessa forma, atualmente a região possui produção agrícola diversificada. Entre as lavouras temporárias, além da cana de açúcar, destacam-se as culturas de abacaxi, mandioca, melancia e melão. Considerando as lavouras permanentes, as mais representativas são o abacate, coco da Bahia, goiaba, mamão e maracujá. Em relação a pecuária, apesar da região possuir extensas áreas de pastagem e o efetivo do rebanho bovino ter aumentado nas últimas décadas, sua produtividade é baixa em relação à média estadual (LUMBRERAS *et al.*, 2003). Em relação a questão fundiária, observa-se a perpetuação da dominância das grandes propriedades. Na região 90% das propriedades apresentam menos de 100 ha, sendo que 57% dessas tem menos de 10 ha. No entanto, as últimas representam apenas cerca de 5% da área do total ocupada por propriedades (IBGE, 2014).

Frente ao domínio da monocultura e do monopólio exercido pelas elites locais sobre os recursos durante todo o processo histórico da região, foram criados nove Projetos de Assentamento (PA) pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). Esses assentamentos são de importância estratégica para o desenvolvimento regional por meio da geração de trabalho e renda para a maior parte dos trabalhadores rurais da região que foram excluídos das oportunidades na agroindústria tradicional (CRUZ, 2003).

Com base nos aspectos supracitados e na susceptibilidade climática da região à desertificação, há a necessidade de um novo direcionamento para uma agricultura mais sustentável, que garanta tanto o equilíbrio ambiental quanto a melhoria na qualidade de vida dos produtores rurais da região, mais especificamente dos desfavorecidos pequenos agricultores. Nesse sentido, sistemas de produção baseados em princípios e técnicas agroecológicas vem ao encontro da busca pela sustentabilidade da região, como forma de prevenir e mitigar os impactos potenciais da desertificação advindos tanto de fatores ambientais e climáticos como também antrópicos.

#### 5.4.2 Práticas agroecológicas como alternativa de mitigação e prevenção à desertificação

Frente a susceptibilidade climática à desertificação da região Norte Fluminense e o processo histórico de uso e ocupação de seu território, o qual percebe-se, por vezes, desencadeante e/ou agravante de tal fenômeno, a seguir são apontadas algumas medidas baseadas em princípios e técnicas agroecológicas que podem ser adotadas tanto em nível local pelos produtores rurais quanto nas esferas regionais e federal, como forma de mitigar e prevenir o meio ambiente e a população da desertificação. Ressalta-se a importância da prevenção contra os impactos da desertificação pelo fato de ser mais viável do ponto de vista econômico e prático (KURY & RAMALHO, 2008; RÊGO, 2012).

##### *Preservação de áreas protegidas por lei e recuperação de áreas degradadas*

O potencial agrícola devido a fertilidade dos solos originários dos sedimentos transportados pelo extenso sistema hídrico da região, principalmente ao longo do rio Paraíba do Sul gerou uma série de atividades históricas mal planejadas e degradantes aos ecossistemas locais. Dessa forma, grandes intervenções, entre as quais está a alteração de diversos cursos hídricos, foram realizadas visando o crescimento econômico da região baseado no cultivo da cana de açúcar e a remoção da cobertura vegetal nativa. Esse fato provocou diversos problemas, que hoje se evidenciam principalmente por perdas de produção devidas as inundações periódicas nos períodos chuvosos e conflitos pela água em períodos de seca.

Esse cenário indica a urgência de se pensar em soluções antes que tais intervenções resultem em danos ambientais irreparáveis e na decadência completa do potencial agrícola da região (MENDONÇA, 2012). Como forma de reverter essa situação, Crepani *et al.* (2001) destacam a importância de considerar a interação existente entre as unidades de paisagem natural e as áreas de intervenção antrópica, para se delimitar áreas de menor vulnerabilidade e práticas conservacionistas, para o manejo adequado das mesmas, estabelecendo assim atividades economicamente e ambientalmente mais sustentáveis.

Nesse sentido, sugere-se a conservação das áreas protegidas por lei nas zonas de várzea, no entorno de lagos e lagoas e ao longo dos cursos hídricos encontrados na região. Além das Áreas de Proteção Permanente (APPs) estabelecidas pelo novo Código Florestal (Lei Federal nº 12.651/12), o estado do RJ possui as Faixas Marginais de Proteção (FMPs), que são áreas de interesse de conservação para o Estado, e que são especialmente importantes na região Norte Fluminense devido as características ambientais locais. De acordo com a Lei Estadual nº 650/83, em relação aos rios, as FMPs variam de 30 a 600 m, dependendo da largura dos mesmos. No caso dos canais artificiais a mesma lei determina que suas FMPs sejam de 15 m de cada lado do canal, independente de sua largura. Para as lagoas, lagos e reservatórios d'água a largura é de 30 m, e pode ser alterada de acordo com seu regime hídrico e a cobertura vegetal existente no entorno.

As matas ciliares, além de serem protegidas por lei, desempenham diversos serviços ambientais, entre os quais se pode citar: a proteção das margens dos corpos d'água contra a erosão e o assoreamento; controle do escoamento diminuindo o pico do período de cheias, e; regulação do aporte de nutrientes na água, o que evita processo de eutrofização (DURIGAN & NOGUEIRA, 1990).

Além do simples cumprimento da Lei em relação as APPs e FMPs, a recuperação e recomposição da cobertura vegetal nelas torna-se essencial, não apenas pelos inúmeros benefícios diretos já citados, como também pelos serviços ecossistêmicos por elas desempenhados. Os fragmentos florestais reconstituídos podem servir como corredores

ecológicos, os quais preservam a biodiversidade e proporcionam abrigo para fauna em meio a paisagem de monocultivo (ALTIERI & NICHOLLS, 2012). Ademais, através da fotossíntese, os mesmos promovem o sequestro de gás carbônico na atmosfera (COELHO, 2007), considerado um Gás do Efeito Estufa (GEE), e assim, atuam como reservatório natural de carbono e contribuem na regulação do clima da região.

### *Sistemas eficientes de irrigação*

A baixada Campista apresenta grande potencial hídrico, devido a existência de diversas bacias hidrográficas, sendo as principais formadas pelos rios Paraíba do Sul, Muriaé, Ururaí, Macabu e as Lagoas Feia, de Cima e Camelo. Além disso a região possui cerca de 1.500 km de canais artificiais construídos pelo extinto Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS) para fins de drenagem e irrigação (MENDONÇA *et al.*, 2002). No entanto, a infraestrutura desse grande sistema encontra-se mal conservada, o que provoca uma série de prejuízos àqueles que dependem dela. Ademais, a ineficiência de se lidar o uso dos recursos hídricos tem provocado uma série de conflitos referentes ao uso da água pelos agricultores, principalmente no período de seca, quando a demanda por esse recurso é ainda maior (OLIVEIRA, 2007).

Existem vários exemplos no mundo, onde apesar dos benefícios iniciais da irrigação, grandes áreas acabam por se tornar impróprias para a agricultura. Entre os impactos ambientais atrelados a irrigação estão: a salinização do solo; diminuição na disponibilidade e qualidade da água; alteração dos ecossistemas, e; problemas de saúde pública (SOUTO *et al.*, 2011). Esses tonam-se mais evidentes em grandes projetos de irrigação, onde a construção de barragens, unidades de bombeamento e canais artificiais ocasionam o aumento do dimensionamento dos efeitos negativos ao meio ambiente (TESTEZLAF, 2011), tal como os realizados na região Norte Fluminense.

Os impactos negativos da irrigação são causados quase sempre pelo dimensionamento inadequado do sistema às necessidades da cultura e às condições da propriedade (solo, clima, topografia, entre outros), pelo seu manejo incorreto e pela adoção de métodos de operação e de condução do cultivo não apropriados para a cultura irrigada. Dessa forma, a manutenção do sistema de canais artificiais da região torna-se essencial a fim de aumentar sua eficiência e diminuir esses impactos. A Fundação Estadual Norte Fluminense (FENORTE) lançou em 2003 o Projeto de revitalização dos canais da Baixada Campista, no qual sugere a implementação de medidas emergenciais, como a recuperação de comportas, desassoreamento de galerias e canais, limpeza de taludes, remoção e redimensionamento do manilhamento em passagens, assim como a recuperação das matas ciliares com a demarcação das faixas de domínio dos cursos d'água, observando a legislação em vigor (FENORTE/TECNORTE, 2003).

Em relação ao solo, o mesmo é altamente impactado pelo uso incorreto da irrigação. A salinização e o acúmulo de sais na superfície afeta negativamente a produção, que dependendo da sua dimensão pode fazer com que a terra se torne improdutivo. No contexto dos solos da baixada Campista, principalmente nas áreas mais próximas ao ambiente costeiro, onde os solos são naturalmente mais secos e possuem grandes quantidades de sais e enxofre, a salinização pode ter consequências desastrosas. No Brasil e no mundo a salinização é considerada uma das principais causas da desertificação em áreas áridas, semiáridas e subúmidas secas (RÊGO, 2012). Não obstante, a alteração dos recursos hídricos da região restringiu a deposição dos sedimentos dos aluviões que proporcionavam a fertilização natural do solo nas áreas de baixada. Esse fator aliado a práticas agrícolas inadequadas reduziram drasticamente a produtividade agrícola nestas áreas.

Pensando em alternativas de sistemas de irrigação, principalmente para os agricultores familiares da região, a Secretaria de Agricultura do município de Campos dos Goytacazes lançou o projeto Mandala, o qual se baseia na implantação de sistemas circulares de irrigação de baixo custo que facilita a produção de alimentos de subsistência. Tal sistema se caracteriza pela instalação de um tanque de água, abastecido por cisterna ou açude, o qual através de irrigação por gotejamento fornece água para o cultivo de alimentos básicos ao seu redor. Este tipo de sistema já foi implantado em vários estados brasileiros, principalmente em áreas susceptíveis a desertificação e vulneráveis a seca, contribuindo para o desenvolvimento local sustentável.

Outra ação que pode trazer benefícios para as comunidades rurais da região é o seu comprometimento e participação através da formação de organizações locais e associações. Esses tipos de envolvimento comunitário podem levar ao melhor gerenciamento dos recursos hídricos e a diminuição de conflitos. Por fim, deve-se ressaltar que a escolha e uso de sistemas de irrigação devem sempre visar à conservação ambiental, a viabilidade econômica e a qualidade de vida, o que possibilita o desenvolvimento econômico e social, compatibilizado com a conservação do meio ambiente (TESTEZLAF, 2011).

### *Diversificação de culturas*

Sistemas agrícolas diversificados, tais como os policultivos são exemplos de como a complexidade de agroecossistemas podem auxiliar na mitigação e prevenção contra a desertificação. Entre os benefícios por eles desempenhados estão: maior estabilidade de rendimentos e menor diminuição da produção em condições de eventos climáticos extremos (enchentes e secas, por exemplo); minimização de risco de perdas, dado o cultivo simultâneo de diversos produtos; amortecimento de flutuações de temperatura, através da criação de um microclima estável que mantém os cultivos em condições ótimas, o que também resulta em menor stress hídrico em épocas de seca (FRANCIS, 1986;MORAIS *et al.*, 2006; LIN, 2007). A diversificação corresponde ao funcionamento da natureza, a partir do aumento da sinergia entre os diversos componentes do sistema, o que faz com que essas comunidades diversas de plantas sejam mais resistentes a distúrbios e resilientes aos impactos ambientais (VANDERMEER, 2002; NOGUEIRA & DUQUE, 2010).

Em termos econômicos, em sistemas diversificados o custo da produção é reduzido, pois utiliza o trabalho da natureza a seu favor. As espécies consorciadas em policultivos oferecem vantagens complementares umas às outras, auxiliando no controle de pragas, reciclando nutrientes e protegendo e enriquecendo o solo. Dessa maneira, ocorre um processo de retroalimentação no sistema, onde todas as partes possuem papéis fundamentais em sua manutenção, o que diminui a necessidade de compra de insumos externos (NOGUEIRA & DUQUE, 2010).

Na região Norte Fluminense o baixo preço da cana de açúcar pago pelas usinas e os elevados custos operacionais têm feito com que muitos produtores rurais diversifiquem sua produção como forma de obterem outros meios de subsistência. Um exemplo disso, vem ocorrendo na comunidade de Pitangueiras, situada no distrito de Santo Amaro, em Campos dos Goytacazes. A atividade econômica da mesma passa pela produção e comercialização da cana-de-açúcar, gado, pequenas roças, e criação de pequenos animais. A medida que a cana perde área de plantio, os produtos mercantis da roça e os cultivos de subsistência ganham força frente ao capital industrial e financeiro (CRESPO, 2004).

Também já pode ser observado na região, alguns produtores aderindo ao manejo agroecológico de suas culturas. Nessas condições, são produzidas diferentes espécies de frutas, legumes, verduras, animais e outros. Essa diversidade contribui para o melhor equilíbrio dos sistemas de produção e para a redução do uso de agrotóxicos, assim como reduz

os riscos inerentes à dependência de uma única atividade (BARBÉ, 2009). A diversidade intraespecífica através do uso e troca de sementes crioulas e de variedades resistentes (a seca, por exemplo) entre os agricultores também é positiva, fazendo parte das medidas de diversificação que visem a mitigação e a prevenção contra os efeitos da desertificação

### *Sistemas agroflorestais*

Sistemas Agroflorestais (SAFs) são sistemas de uso da terra que combinam espécies florestais, culturas agrícolas e/ou criação de animais em uma mesma área, podendo este consórcio se dar de maneira simultânea ou escalonada no tempo (ALTIERI, 2012). A utilização de SAFs proporciona o aumento da eficiência no uso da terra, a diversificação da produção agrícola e o melhoria da utilização do solo, da água e do ambiente. Entre seus benefícios estão: melhor estruturação, densidade, capacidade de infiltração e retenção de umidade do solo, o que reduz o potencial erosivo; aumento da produtividade e da renda do agricultor; conservação da biodiversidade, e; redução do ataque de pragas (DANIEL *et al.*, 1999; SOUZA, 2006; CARDOSO, 2006; AGUIAR, 2008). Dessa forma, os SAFs se apresentam como ótima alternativa a ser aplicada no Norte Fluminense, a fim de recuperar áreas degradadas e preveni-las contra a desertificação.

A fruticultura há muito tem sido incentivada na região dado algumas características propícias do solo, possibilidade de irrigação, proximidade de centros consumidores, presença de agroindústrias, entre outros (FERREIRA *et al.*, 2003). Ao invés da implantação de sistemas tradicionais de fruticultura, arboretos e pomares de uso múltiplo que integrem pequenos animais domésticos têm grande potencial de promover a subsistência de agricultores familiares, ampliar sua renda e assegurar a sustentabilidade ambiental. Frutíferas arbóreas como o abacateiro, a mangueira, o mamoeiro, e espécies do gênero *Citrus*, podem ser consorciadas com abacaxizeiro, bananeira, e herbáceas rastejantes como a abóbora, a melancia, melão, entre outras. A criação de pequenos animais domésticos como galinhas e patos nestas áreas, além de atuar simultaneamente no controle de pragas e na estruturação e adubação do solo, proporciona também a redução dos gastos na suplementação alimentar desse animais, e aumenta ainda mais a renda (ovos e carne).

Outros SAFs com grande potencial na região são sistemas silvipastoris (pastagens e/ou animais e árvores) e agrossilvipastoris (culturas agrícolas, pastagens e/ou animais, e árvores). Segundo Crespo (2004), a pecuária na região está em expansão, porém essa ampliação é limitada pela capacidade técnica e de recursos do produtor, para o incremento da produtividade dos pastos, das forrageiras e do rebanho utilizado. A criação de gado é rudimentar, sendo o mesmo criado em pasto próprio, alugado ou nas faixas de domínio de estradas. Dessa forma, os agricultores da região utilizam-se da cana como complemento da ração que pode ser feita pela trituração do vegetal ou pelo uso da parte foliar no período de safra. A utilização da cana para ração garante o suprimento de alimento aos animais em períodos de menor oferta de pasto, ou seja, na estação seca.

Em contraposição a esse cenário, sistemas silvipastoris e agrossilvipastoris têm o potencial de aumentar a produtividade e renda destes produtores, através da possibilidade de se aumentar a carga animal, garantir alimentação balanceada aos animais e proporcionar a diversificação da produção com a implantação de culturas anuais e perenes.

Uma medida que já é observada na região e que tem grande potencial de ser explorada é o consorcio do gado com pastagens e coco-da-bahia. Entretanto, outras espécies arbóreas frutíferas podem ser incorporadas no sistema, além de espécies para fins madeireiros ou caloríferos. Esse sistema garante um ambiente favorável para os animais, os quais se dedicam mais à ruminância e necessitam menos de água, ao mesmo tempo que o gado fornece adubo, e assim, diminui a necessidade de insumos externos (MARTIN, 2002). Além disso, a sombra

dos coqueiros diminui a evaporação de água do solo, o que garante maior umidade e disponibilidade de nutrientes (LIN *et al.* 2001).

A incorporação de espécies da família botânica das leguminosas, também é aconselhada nesses sistemas. Esses vegetais através da associação com bactérias presentes no solo com suas raízes realizam a fixação do nitrogênio atmosférico, conferindo maior fertilidade, ao mesmo tempo que aumentam a dieta proteica dos animais presentes na área (FRANCO *et al.*, 2003). Árvores e arbustos dos gêneros *Gliricidia* e *Leucaena* são muito utilizadas nesse tipo de sistema. São espécies rústicas, muito resistentes a condições climáticas adversas e solos pobres, proporcionando a proteção e a recuperação de áreas degradadas. Além disso, podem ser usadas como cercas-vivas e/ou quebra-vento, o que garante também, maior fornecimento de biomassa vegetal, barreira entomológica e valorização estética da propriedade.

### *Manejo do solo*

Sabe-se que a monocultura esgota os nutrientes disponíveis no solo, e assim reduz a produtividade primária e aumenta os riscos de erosão e, como resultado, ocasiona problemas econômicos para os agricultores pela diminuição da qualidade e quantidade dos produtos (BRAGA, 2005; KURY & RAMALHO, 2008). Esse cenário geralmente é contornado pelo emprego de agroquímicos sintéticos, aumentando os custos da produção e causando malefícios ambientais e para saúde humana. A redução da fertilidade e a deterioração das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, assim como a remoção de sua cobertura vegetal por longos períodos são umas das principais causas de desertificação (ADEEL, 2005).

O esgotamento do solo pode ser prevenido por meio da incorporação de matéria orgânica. De acordo com Nicholls (2013), o manejo da matéria orgânica é a principal forma de ter solos saudáveis com boa atividade biológica e características físicas e químicas. Ainda conforme a autora, esse pode ser realizado através da adição de composto ou esterco animal, cultivos de cobertura, adição de cobertura morta, rotação de culturas, entre outros. Dessa maneira, se recupera a fertilidade natural do solo, ativa-se a vida microbiana, reduz-se os riscos de erosão e lixiviação dos nutrientes e aumenta-se a capacidade de retenção de água.

A adubação pode ser realizada através da utilização de esterco ou composto orgânico. O uso eficiente destes recursos resulta na redução da demanda por adubos minerais ao mesmo tempo que melhora a produtividade (ASSIS, 2004). A compostagem pode ser realizada com o uso dos resíduos oriundos de cultivos, tais como da cana e do milho, em conjunto com os dejetos dos animais domésticos criados na propriedade.

Espécies forrageiras, principalmente leguminosas, cultivadas nos períodos de pousio, em sistemas de rotação de culturas, podem ser incorporadas ao solo antes do início de um novo ciclo de plantio, como adubo verde. O uso das mesmas como cobertura viva ou deixadas no solo como palhada, também é uma alternativa de proteção e acúmulo de matéria orgânica no solo. A cobertura do solo reduz a perda de água por evaporação, mantém a temperatura do solo estável, e reduz a lixiviação de nutrientes e controla o aparecimento de espécies invasoras (LAL *et al.*, 1991; FIALHO *et al.*, 1991).

Outra técnica de manejo do solo sugerida é a rotação de culturas. Essa é realizada na região, onde áreas de cultivo de cana são rotacionadas com a pecuária extensiva. No entanto, sistemas de rotação mais eficientes são necessários com o intuito de evitar a degradação dos solos. Para esse propósito as rotações devem realizar a manutenção da fertilidade do solo e o aumento da matéria orgânica, através da inclusão de leguminosas fixadoras de nitrogênio e espécies com sistemas radiculares diferentes, e evitar plantar espécies com susceptibilidade semelhante a pragas e doenças, entre outros (MILLINGTON *et al.*, 1990). Além disso, deve-se optar pelo sistema de plantio direto, onde a cultura é plantada sobre os restos culturais não

incorporados pelo solo do último cultivo colhido, o que proporciona uma intervenção mínima ao solo. Dessa forma, há a redução de gastos com insumos e maquinário e da compactação do solo, ao mesmo tempo que ocorre o aumento no controle da erosão e da umidade do solo. Estudos indicam que a produtividade de sistemas de plantio direto geralmente iguala-se ou supera a dos métodos convencionais (PHILLIPS & PHILLIPS, 1984)

### *Comercialização da produção*

A adoção de práticas agroecológicas, que vindo sendo realizada por alguns produtores rurais da região, ressalta a importância de se viabilizar canais alternativos para sua comercialização. Essa situação é conferida pela dificuldade enfrentada por esses agricultores na venda de seus produtos. Segundo Zoldan & Karam (2004), a comercialização da produção agroecológica ainda é considerada difícil pelo fato de se atender a um circuito curto de mercado, ficando esse como atribuição do próprio produtor. Dessa maneira, observa-se a necessidade de maior articulação entre diferentes organizações e movimentos ligados à agroecologia, tanto em nível local como regional, de forma a potencializar os recursos disponíveis e viabilizar a superação das limitações impostas pela estrutura e dinâmica do mercado (ENA, 2002).

Em contraposição, soluções vem sendo criadas a fim de promover o fortalecimento da agricultura familiar e da agroecologia na região, principalmente dentro dos assentamentos rurais existentes. Em 2006, começou a ser executado o projeto “Agroecologia: uma estratégia para o fortalecimento da agricultura familiar da região Norte Fluminense”. Como resultado foi criada a Feirinha de Produtos Agrícolas na Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), em parceria com o Instituto de Agroecologia e Meio Ambiente Solar dos Jesuítas (IAMASOL), Movimento dos Trabalhadores Sem Terra (MST) e Grupo de Estudos Agroecológicos “AgroCrioulo”, a qual congrega agricultores que se utilizam de práticas agroecológicas na produção agrícola (SOUZA *et al.*, 2009).

Análoga a esta iniciativa, a Secretaria de Agricultura do município de Campos dos Goytacazes atualmente organiza a “Feira da Roça”, que possui produtos alimentícios advindos da agricultura familiar de mais de 180 produtores das regiões do Imbé, Dores do Macabu, baixada Campista e assentamentos rurais, auxiliando estes produtores, por meio da disponibilização de um espaço onde possa se dar a venda direta de seus produtos.

### *Organização social e assistência técnica*

A ausência de assistência técnica dificulta a transição dos sistemas produtivos convencionais para os agroecológicos. Na região Norte Fluminense, tal fato está sendo contornado com a criação de grupos de estudos relacionados sobre o tema e por maior interesse de órgãos oficiais de assistência técnica. Como exemplo, pode-se citar o grupo “AgroCrioulo, formado por estudantes da UENF. O mesmo realiza visitas técnicas às propriedades para a montagem de experimentos em campo, de acordo com as necessidades dos agricultores, assim como para proposição de soluções práticas para problemas referentes a transição agroecológica. Dessa forma, muitos agricultores buscam transformar suas áreas em produção alternativa (SOUZA *et al.*, 2009).

No entanto, deve-se ressaltar a importância do conhecimento tradicional das comunidades na hora de se propor novas práticas e tecnologias. Muitas das práticas conservacionistas baseadas em pesquisas acadêmicas, vem sendo utilizadas por milhares de anos por comunidades tradicionais através da observação e experimentação do ambiente em que vivem. Principalmente em relação as populações que lidam com a seca e a desertificação,



a reintrodução de seus conhecimentos aliados as práticas agroecológicas é de grande auxílio no combate à desertificação e na mitigação e prevenção de seus efeitos (RÊGO, 2012).

Em suma, deve-se motivar os produtores rurais a se organizarem a fim de buscar apoio nas instituições de ensino, ligadas ao tema, e órgãos do governo (Secretarias de Agricultura, EMBRAPA, EMATER-Rio, entre outros), de forma a conciliar o conhecimento tradicional com a pesquisa tecnológica e ampliar seus conhecimentos sobre sistemas agroecológicos sustentáveis.

### *Políticas públicas*

No auxílio aos produtores rurais na implantação de sistemas agroecológicos em suas propriedades é fundamental a ação dos governantes através do estabelecimento de políticas públicas de disponibilidade de crédito, acesso ao mercado, além de autêntica reforma agrária, que considere os processos de inovações socioeconômicas no meio rural (ASSIS, 2004; NOGUEIRA & DUQUE, 2010).

Como citado anteriormente, nos últimos anos a fruticultura recebe incentivo de diferentes esferas do poder público em contrapartida ao cultivo canavieiro na região (SILVA, 2006). Um exemplo é o programa FRUTIFICAR, implantado em 2000 pelo Governo Estadual do RJ, o qual busca alternativas para a diversificação da produção agrícola no Norte Fluminense, o crescimento do setor agroindustrial e a elevação da oferta de emprego (CRESPO, 2004). No entanto, segundo o mesmo autor, o baixo preço oferecido pela empresa integradora, para qual os produtores devem fornecer pelo menos 50% de sua produção, a resistência desses a tomarem o financiamento, e até o desconhecimento do programa, fazem com que o mesmo não tenha tido adesão por grande parte dos agricultores da região. Verifica-se assim, que ainda são poucos os incentivos dos setores públicos, que atinjam com maior abrangência e eficiência os pequenos produtores na região (PESSANHA & CRESPO, 2008).

A nível Federal têm-se como exemplo de políticas públicas, o Plano Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica (PNAPO), que busca ampliar e efetivar ações para orientar o desenvolvimento sustentável; o Programa ABC – Agricultura de Baixo Carbono, que tem como objetivo incentivar a adoção de técnicas sustentáveis que contribuam para a redução das emissões de efeito estufa e ajudem na preservação dos recursos naturais; o Programa de Aquisição de Alimentos (PAA), que promove o acesso a alimentos às populações em situação de insegurança alimentar e a inclusão social e econômica no campo pelo fortalecimento da agricultura familiar; o Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE), o qual prevê que 30% do orçamento da alimentação escolar devem ser destinados a compras de agricultores familiares, entre outros.

Dessa forma, o Estado, historicamente à margem do processo de difusão da agroecologia e organização social, passa a contribuir efetivamente no amparo destes produtores rurais, principalmente agricultores familiares. Para tanto, segundo Assis (2006) o Estado, tanto em nível federal como estadual e municipal, deve estabelecer políticas que busquem abrir mercados, fomentar a produção e apoiar a organização autônoma a fim de se buscar um desenvolvimento rural sustentável baseado nos princípios e técnicas da agroecologia.

## 6 CONCLUSÕES

O índice Ia indica a presença de áreas com moderada e alta susceptibilidade à desertificação, as quais correspondem aproximadamente a 5% do território do estado do RJ (2.305,8 km<sup>2</sup>). Essas encontram-se na porção próxima ao ambiente costeiro das regiões Norte Fluminense e Baixadas Litorâneas. Por outro lado, considerando o índice D, somente em cerca 1% do território do Estado (431,06 km<sup>2</sup>) é constatada alguma susceptibilidade à desertificação. Novamente as regiões Norte Fluminense e Baixadas Litorâneas são as mais secas.

Deve-se destacar que em relação ao Ia, 1/3 do Rio de Janeiro encontra-se numa transição entre as classes de susceptibilidade moderada e não susceptível, nas quais o clima é classificado como subúmido. Para o D, áreas de clima subúmido correspondem à aproximadamente 30%. Dessa forma, o monitoramento da susceptibilidade à desertificação nessas áreas também é de suma importância em face a possíveis cenários de mudanças climáticas, as quais já podem ser verificadas em algumas regiões do estado e futuras intervenções antrópicas.

Pelo fato do índice Ia ser utilizado em grande parte dos trabalhos existentes acerca da susceptibilidade climática à desertificação, assim como para o mapeamento e a classificação climática de terras secas no Brasil e no mundo, sugere-se a continuação dos trabalhos sobre o tema com este índice. Mais ainda, o Ia permite a definição da intensidade da susceptibilidade em diferentes classes, o que proporciona a determinação de áreas prioritárias para o estudo e o combate a mesma. Não obstante, a realização de trabalhos relacionados à desertificação analisados sobre outras perspectivas (vegetação, pressão antrópicas, relevo, solo, entre outros) também tornam-se imprescindíveis para se compreender sua dinâmica mais profundamente.

O estudo de caso realizado na região Norte Fluminense, mostrou que, além de boa parte de sua área apresentar algum nível de susceptibilidade climática à desertificação, essa pode ser potencializada pelo processo histórico de uso e ocupação do espaço rural. Décadas de crescimento econômico baseado na monocultura da cana-de-açúcar e pecuária extensiva em moldes convencionais, em áreas climaticamente propensas à desertificação, podem acelerar o processo de degradação da terra na região.

Nesse sentido, práticas agrícolas baseadas em princípios e técnicas agroecológicas podem auxiliar produtores rurais do Norte Fluminense a reverterem o processo de degradação da terra já observados na região, como também preveni-los de maiores consequências relacionadas à desertificação. Medidas de conservação das áreas protegidas por lei, criação de sistemas de irrigação alternativos e aumento da eficiência dos já existentes, a diversificação de culturas, a implantação de sistemas agroflorestais, o manejo adequado do solo, a criação de canais de comercialização alternativos, a organização social e promoção de assistência técnica, amparadas por políticas públicas de incentivo, tornam-se fundamentais como forma de se combater a ameaça da desertificação, conferir o aumento da qualidade ambiental e do bem-estar humano, e proporcionar o desenvolvimento sustentável na região.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, M. I. **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais**. 2008. 91 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.
- ALI, J.; MIRZA, M. I. Space technology in the mapping of desertification in Pakistan. **Advances in space research**, v. 13, p. 103 – 106, 1993.
- ALTIERI M. A. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v. 74, p. 19–31, 1999.
- ALTIERI, M. A. Fatal harvest: old and new dimensions of the ecological tragedy of modern agriculture. In: NEMETZ, P. N. (Ed.). **Sustainable resource management**, Cheltenham, Reino Unido: Edward Elgar, 2007, p. 189 – 213.
- ALTIERI, M. A. **Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável**. São Paulo, Rio de Janeiro: Expressão Popular, AS-PTA, 400 p. 2012.
- ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. Agroecologia: Única esperanza para la soberania alimentaria y la resiliencia socio-ecológica. **Agroecologia**, v. 7, n. 2, p. 65 – 83, 2012.
- ALVES, E. D. L.; VECCHIA, F. A. S. Análise de diferentes métodos de interpolação para a precipitação pluvial no Estado de Goiás. **Acta Scientiarum. Human and Social Science**, Marginá, v. 33, n. 2, p. 193 – 197. 2011.
- ANDRÉ, R. G. B. *et al.* Identificação de regiões pluviometricamente homogêneas no estado do Rio de Janeiro, utilizando-se valores mensais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n. 4, p. 501-509, 2008.
- ANDRÉ, G. B. R.; PINHEIRO, F. M. A.; MARQUES, V. S. Índices de Aridez e de Umidade para a Região Norte Fluminense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11, 2004, Fortaleza. **Anais... XI Congresso Brasileiro de Meteorologia**: Fortaleza, 2004.
- ARANOFF, S. Geographic informations systems: a management perspective. Ottawa, **WDL Publications**, 1989, 294 p.
- ARAÚJO, A. J. R. P. *et al.* **Desertificação e seca**: contribuição da ciência e tecnologia para a sustentabilidade do semi-árido do Nordeste do Brasil. Recife: Nordeste, 2002, 63 p.
- ARAÚJO, F. F. S. *et al.* Espacialização da temperatura do ar mensal no estado do Rio de Janeiro baseada em modelos lineares e dados SRTM. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADOS À ENGENHARIA FLORESTAL, 9. 2010. Curitiba, PR. **Anais... IX Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal**. 2010.

- ASSIS, R. L. Práticas agroecológicas na produção familiar no centro-sul do Paraná. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 29, p. 61 – 72, 2004.
- ASSIS, R. L. Desenvolvimento rural sustentável no Brasil: Perspectivas a partir da integração de ações públicas e privadas com base na Agroecologia. **Econ. Aplic.** V. 10, n.1, p. 75 – 89, 2006.
- AUBREVILLE, A. **Climats, forêts, et désertification de l’Afrique Tropicale**. Paris: Société d’Editions Géographiques, Maritimes et coloniales, 1949.
- BARBIÈRE, E. B. Ritmo climático e extração do sal em Cabo Frio. **Rev. Bras. Geografia**, v. 37, n. 4, p. 23-109, 1975.
- BARROS, K. O., *et al.* A pesquisa em desertificação: cenários e perspectivas. **Geografia, Ensino & Pesquisa**, v. 12, n. 2, p. 46 – 52, 2008.
- BERGALLO, H. G.; FIDALGO, E. C.; ROCHA, C. F. D. **Estratégias e ações para a conservação da biodiversidade no Estado do Rio de Janeiro**. Instituto Biomass. 2009, 344p.
- BEZERRA, J. M. *et al.* Utilização de geotecnologias na determinação de áreas susceptíveis a desertificação no estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 3, p. 572 – 589, 2011.
- BISHOP, G.D. *et al.* A comparison of mapped estimates of long-term runoff in the northeast United States. **J. Hydrol.**, Amsterdam, v. 206, p. 176 – 190, 1998.
- BOHN, L *et al.* Susceptibilidade à desertificação no Estado do Rio de Janeiro baseada em índices climáticos de aridez. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 18. 2013. Guarapari. **Anais...** XVIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. 2013.
- BRAGA, B. *et al.* **Introdução à engenharia Ambiental**. 2ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005, 318p.
- BRASIL, Lei Federal nº12.651/2012, de 25 de maio de 2012. Presidência da República, Brasília, 2012.
- BRUNDTLAND, G. H. **Nosso futuro comum: comissão mundial sobre meio ambiente e desenvolvimento**. 2.ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1991.
- BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford: Clarendon Press, 1986.
- BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems**. Oxford University Press, 1998.
- CÂMARA, G. **Anatomia de Sistemas de Informações Geográficas**. Campinas/SP, Instituto de Computação, UNICAMP, 196 p., 1996.

- CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de Informações Geográficas: aplicações na agricultura**. 2 ed. Planaltina: Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, EMBRAPA, p. 3 – 11, 1998.
- CARMELO, A. C. **Desenvolvimento de uma metodologia de integração de dados geofísicos e de sensoriamento remoto para o estudo de aquíferos no domínio fissural, no quadrante nordeste do Distrito Federal**. (Exame de Qualificação). Brasília: UnB, 1999, 66p.
- CARVALHO, O. A. **A desertificação no Brasil e no Nordeste Brasileiro**. I Seminário Internacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca. Superintendência de Recursos Hídricos, Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Governo da Bahia, Salvador, 2007.
- CARVALHO, J. R. P.; ASSAD, E. D. Análise espacial da precipitação pluviométrica no Estado de São Paulo: comparação entre métodos de interpolação. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v 25, n. 2, p. 377 – 384, 2005.
- CASTRO, F. S. *et al.* Uso de imagens de radar na espacialização da temperatura do ar. **Idesia**, Chile, v. 28, n. 3, set/dez. 2010.
- CECÍLIO, R. A.; MEDEIROS, S. S.; DANTAS NETO, F. S. Zoneamento edafoclimático da sub-bacia do rio Parnaíba, Minas Gerais para o cultivo dos cafeeiros arábica (*Coffea arabica* L.) e conilon (*Coffea canefora* L.). **Caminhos da Geografia** (UFU), v. 6, n. 19, p. 113 – 125, 2006.
- CECÍLIO, R. A. *et al.* Método para a espacialização dos elementos do balanço hídrico climatológico. **Pesq. Apropoc. Bras.**, Brasília, v. 47, n. 4, p. 478 – 488. 2012.
- CEPERJ – FUNDAÇÃO CENTRO ESTADUAL DE ESTATÍSTICA, PESQUISA E FORMAÇÃO DE SERVIDORES PÚBLICOS DO RIO DE JANEIRO. Disponível em: <[www.ceperj.rj.gov.br](http://www.ceperj.rj.gov.br)>. Acessado em: 06/05/2014.
- COE, H. H. G.; CARVALHO, C. N. Cabo Frio – Um enclave semiárido no litoral úmido do Estado do Rio de Janeiro: respostas do clima atual e da vegetação pretérita. **GEOUSP – espaço e tempo**, São Paulo, n. 33, p. 136 – 155, 2013.
- COELHO, M. C. C. **Restauração de mata ciliar pela viabilização de crédito de carbono: uma proposta sócio-ambiental para comunidade de baixa renda**. 2007. 97 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- COLVILLE, P. G. **Condicionantes climáticas desertificação**. Talca: Facultad de Ciências Agrárias, Universidad de Talca, Chile, 1987.
- CORREIA, T.P. *et al.* Distribuição espacial da precipitação pluvial mensal no Estado do Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 17. 2011. Guarapari. **Anais...** XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. 2011a.

CORREIA, T.P. *et al.* Interpoladores de efeito local aplicados a precipitação pluvial mensal no Estado do Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 17. 2011. Guarapari. **Anais...** XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. 2011b.

COSTA, C., D. **Variabilidade intranual da precipitação Pluvial mensal no estado do Rio de Janeiro.** 2010. 31p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Florestal) – Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2010.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil. Disponível em:  
<<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=621&sid=26>>.  
Acesso em: 19/05/2014.

CREPANI, E. *et al.* **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial.** São José dos Campos: INPE, jun, 2001. 103p.

CRESPO, H. J. S. **A quimera do desenvolvimento:** um estudo de caso de agricultores no Norte Fluminense. 2004. 153 p. Dissertação (Mestrado em Educação) Universidade Federal Fluminense, Niterói. 2004.

CRUZ, J. L. V. **Projetos nacionais, elites locais e regionalismo:** desenvolvimento e dinâmica territorial no Norte Fluminense. 2003. 331 p. Tese (Doutorado em Planejamento Urbano e Regional) Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2003.

D'ANGIOLELLA, G.; VASCONCELLOS, V. L. D.; ROSA, J. W. C. Estimativa e espacialização do balanço hídrico na mesorregião sul da Bahia. I: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12, 2005, Goiânia. **Anais...** XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 2005.

DANIEL, O. *et al.* Sistemas agroflorestais como alternativas sustentáveis à recuperação de pastagens degradadas.

DANTAS, M.*et al.* **Diagnóstico Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro.** CPRM, Brasília. 2001.

DODSON, R.; MARKS, D. Daily air temperature interpolated at high spatial resolution over a large mountainous region. **Climate Research**, Oldendorf/Luhe, v. 8, n. 1, p. 1-20, mar./abr. 1997.

DRUNCK, S. *et al.* **Análise espacial de dados geográficos.** 1º ed. Planaltina/DF, EMBRAPA, 2004. 209p.

DURIGAN, G.; NOGUEIRA, J.C.B. **Recomposição de Matas Ciliares:** orientações básicas. São Paulo: IF/Série Registros, n.4, 1990. 14p.

ESWARAN, H. R.; REICH, P. F. Land degradation. An overview. In: Bridges, E.M., I.D. Hannam, L.R. Oldeman, F.W.T. Pening de Vries, S.J. Scherr, and S. Sompatpanit (eds.). Responses to Land Degradation. 2nd. International Conference on Land Degradation and

Desertification, Khon Kaen, Thailand. **Oxford Press**, New Delhi, India. 2001. Disponível em: <<http://soils.usda.gov/use/worldsoils/papers/land-degradation-overview.html>> Acesso em: 15/05/2013.

FENORTE/TECNORTE. **Projeto de revitalização dos canais da Baixada Campista**. Campos dos Goytacazes, RJ. Fundação Estadual do Norte Fluminense/Parque de Alta Tecnologia do Norte Fluminense, 2003. 463 p.

FERREIRA, V. R. *et al.* A Fruticultura como alternativa para a produção familiar no âmbito do Pronaf nos municípios de Campos dos Goytacazes e São Francisco do Itabapoana – RJ. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal – SP, v. 25, n. 3, p. 436 – 439, 2003.

FISHER, C. F. *et al.* **Plano de manejo do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba**. Rio de Janeiro: Ministério do Meio Ambiente (MMA) / Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), 670 p. 2007.

FRANCIS, C. A. **Multiple cropping systems**, New York, MacMillan, 1986, 383 p.

FRANCO, A. A.; RESENDE, A. S.; CAMPELLO, E. F. C. **Importância das leguminosas arbóreas na recuperação de áreas degradadas e na sustentabilidade de sistemas agroflorestais**. In. Seminário Sistemas agroflorestais e desenvolvimento sustentável, Campo Grande. CD-Rom. Campo Grande: Embrapa, 2003.

FUNES-MONZOTE, F. R., SERRANO, M. M., LÓPEZ, Y. Innovación agroecológica, adaptación y mitigación del cambio climático en Cuba: Dos estudios de caso. In: NICHOLLS, C.I., OSÓRIO, L. A. R., ALTIERI, M. A. (ed.). **Agroecología y resiliencia socioecológica: adaptándose al cambio climático**. Medellín, REDAGRES, p. 30 – 42, 2013.

GARG, N., CHANDEL, S. Arbuscular mycorrhizal networks: process and functions. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 30, p. 581- 599, 2010.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre: Editora da Universidade, 2000. 653p.

GOIS, G., *et al.* Caracterização da Desertificação no Estado de Alagoas utilizando Variáveis Climáticas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 3, p. 301-314. 2005.

GOLDANI, J. Z.; CASSOL, R. Ocupação antrópica e sócio-ambiental da microbacia do rio Vacacaí-Mirim – RS. **Geomática**, Santa Maria, v. 03, p. 43 – 55, 2008.

GOLDEN SOFTWARE INC. **User Guide**. Colorado, EUA, 619p. 2002.

GOODCHILD, M. The technological setting of GIS. In: MAGUIRE, D. J. *et al.* (Ed.) **Geographical information systems: principles and applications**. London: Longman, v. 1, p. 45 – 54, 1991.

GRASS – GEOGRAPHIC RESOURCER ANALYSIS SUPPORT SYSTEM. Grass 6.5 manual pages. Disponível em: <http://grass.osgeo.org>>. Acessado em: 17/05/2014.

- HAIR, J. JR. *et al.* **Fundamentos de Métodos de pesquisa em administração**. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- HARE, F. K. Climate and Desertification: a revised analysis, World Climate Program, **Report n. 44**, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 1983.
- HASHMI, M. A.; GARCIA, L. A.; FONTANE, D. G. Spatial estimation of regional crop evapotranspiration. **Transaction of the ASAE**, Saint Joseph, v. 38, n. 5, p. 1345 – 1351, sept/oct, 1995.
- HASSAN, H.; DREGNE, H. E. Natural habitats and ecosystems management in drylands: an overview. **World Bank Environmental Department Papers**, Washington DC. paper n. 51. 1997, 75p.
- HECTH, S. B. A evolução do pensamento agroecológico. **Agroecologia e desenvolvimento**. Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p. 4 – 19, 1993.
- HERNANDEZ-STEFANONI, J. L.; PONCE-HERNANDEZ, R. Mapping the spatial variability of plant diversity in a tropical forest: comparison of spatial interpolation methods. **Environmental Monitoring and Assessment**, 117, p. 307 – 334, 2006.
- HOLT-GIMENEZ, E. Measuring farmer's agroecological resistance after Hurricane Mitch in Nicaragua: a case study in participatory, sustainable land management impact monitoring. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. Amsterdam, v. 93, p. 87 – 105, 2002.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro, 1992. 27p.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Indicadores de Desenvolvimento Sustentável – Brasil 2004. **Estudos e Pesquisas Informação Geográfica**, 4. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais e Coordenação de Geografia. Rio de Janeiro. 389p. 2004.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>. Acessado em: 06/03/2014.
- INEA – INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/>>. Acesso em: 02/05/2014.
- IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2007: The physical basis**, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of Intergovernmental Panel on Climate Change, Houghton, JT, (Ed.), Cambridge University Press, 2007.
- IPP – INSTITUTO PEREIRA PASSOS. Relevo e Principais Picos do Município do Rio de Janeiro. 2011. Disponível em: <[http://portalgeo.rio.rj.gov.br/armazenzinho/web/imagens/05\\_relevo\\_mapa%20mudo\\_2011.pdf](http://portalgeo.rio.rj.gov.br/armazenzinho/web/imagens/05_relevo_mapa%20mudo_2011.pdf)>. Acessado em: 07/05/2014.



- KASSAS, M. Desertification: a general review. **Journal of Arid Environments**, Academic Press Limited, vol. 30, p. 115 – 128, 1995.
- KÖPPEN, W. **Climatologia**. Buenos Aires: Panamericana, 1948. 478p.
- KURY, K. A.; RAMALHO, R. S. Planejamento do uso do solo no entorno do Parque Estadual do Desengano. Agricultura em relevo colinoso no distrito de Morangaba – Campos dos Goytacazes/RJ. **Revista Visões**, 5ª. edição, vol. 1, n. 5. 2008.
- LAL R., E. *et al.* Expectations of cover crops for sustainable agriculture. In: **Cover Crops for Clean Water**. HANGROVE, W. L. (ed.), Ankeny, SWCS, p. 15 - 21. 1991.
- LEMOS FILHO, L. C. A. *et al.* Análise temporal da evapotranspiração de referência para Minas Gerais. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 31, n. 5, p. 1462 – 1469, 2007.
- LIMA, H. C., GUEDES-BRUNI, R. R. **Serra de Macaé de Cima**: diversidade, florística e conservação em Mata Atlântica. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, RJ, 1997.
- LIMA, M. G.; RIBEIRO, V. Q. Equações de estimativa da temperatura do ar para o estado do Piauí. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 221-227, jul./dez. 1998.
- LIN, C. H. *et al.* Nutritive quality and morphological development under partial shade of some forage species with agroforestry potential. **Agroforestry Systems**, v. 53, n. 3, p. 269-281, 2001.
- LIN, B. B.; PERFECTO, I.; VANDERMEER, J. Synergies between agricultural intensification and climate change could create surprising vulnerabilities for crops. **BioScience**, n. 58, p. 847 – 854, 2008.
- LIN, B. B. Resilience in Agriculture through Crop Diversification: Adaptive Management for Environmental Change. **Bioscience**. v. 61, n. 3, p. 183-193. 2011.
- LOPES, H. L. *et al.* Modelagem de parâmetros biofísicos para desenvolvimento de algoritmo para avaliação e espacialização de risco a desertificação. **Bol. Ciênc. Geod.**, sec. Artigos, Curitiba, v. 15, n. 4, p. 652 – 668, 2009.
- LYRA, G. B. *et al.* Regiões homogêneas e funções de distribuição de probabilidade da precipitação pluvial no Estado de Táchira, Venezuela. **Pequisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 2, p. 202 – 215, 2006
- LYRA, G. B. *et al.* Espacialização da temperatura do ar anual para o estado de Alagoas com diferentes modelos digitais de elevação e resoluções espaciais. **Ciência Florestal** (UFMS. Impresso), v. 21, p. 275-287, 2011.
- LU, L. *et al.* Analyzing the forcing mechanisms for net primary productivity changes in the Heihe River Basin, north west China. **International Journal of Remote Sensing**, London, v.30, n.3, p.793-816, 2009.

- LUMBRERAS *et al.* **Zoneamento agroecológico do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2003. 113p.
- MAGUIRE, D. J. An overview and definition fo GIS. In: MAGUIRE, D. J. *et al.* (Ed.) **Geographical information systems: principles and applications**. London: Longman, v. 1, p. 09 – 20, 1991.
- MAIA, L.F.P.G.; ZAMBONI, W. **Monitoramento da qualidade das águas das chuvas na cidade do Rio de Janeiro**. Departamento de Meteorologia – UFRJ, 2004. 3p.
- MAINGUET, M. What is Desertification? Definitions and evolutions of the concept, **Desertification and Human Mismanagement**, Springer, Berlin, pp 1 – 16. 1994.
- MARTIN, G. O. Mantenga la sombra en sus potreros y reduzca el estrés animal. **Revista Producción**, 2002. Disponível em: <http://www.ecampo.com/sections/news/print.php/uuid.582F356F-2996-417A-8D93D1A411F549BD>. Acessado em 07/07/2014.
- MARIN, F. *et al.* Estimativas das temperaturas máximas, médias e mínimas mensais para o Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13., 2003, Santa Maria. **Anais...** Sociedade Brasileira de Agrometeorologia: Santa Maria, 2003, p.761-762.
- MATALLO JÚNIOR, H. desertificação no mundo e no Brasil. In: SCHENKEL, C. S.; MATALLO, H. (Org.) **Desertificação**. Brasília: UNESCO, p. 9-25, 1999.
- MATALLO JÚNIOR, H. **Indicadores de desertificação: histórico e perspectivas**. – Brasília: UNESCO, 80p. 2001.
- MAUNE, D.F., *et al.* Introduction in Digital Elevation Model Technologies and Applications. In: MAUNE, D. F. (Ed.), **The DEM Users Manual**, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, Maryland, 2001, p. 1 – 34.
- MATHER, J. R. **Climatology: Fundamentals and Applications**. New York: McGraw-Hill. 1974
- MAZZINI, P. L. F.; SCHETTINI, C. A. F. Avaliação de metodologias de interpolação espacial aplicadas a dados hidrográficos costeiros quase sinóticos. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 13, n. 1, p. 53-64, 2009.
- MELO JÚNIOR, J. C. F. *et al.* Determinação de regiões homogêneas quanto à distribuição de frequência de chuvas no leste do Estado de Minas Gerais. Campina Grande, **R. Bras. Eng. Agric. Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 408 – 416, 2006.
- MENDONÇA, J. C. *et al.* Avaliação de eventos de inundação na Região Norte Fluminense, Rio de Janeiro, utilizando imagens de sensores remotos. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 7, n. 1, p. 255-267, 2012.
- MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. D. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Universidade de Brasília, Brasília, 2012, 266 p.

- MIKLÓS, A. A. W. Agroecologia: base para o desenvolvimento da biotecnologia agrícola e da agricultura. **Anais da 3ª. Conferência Brasileira de Agricultura Biodinâmica.** Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente , CETESB, Documentos Ambientais. 1998.
- MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and Human Well-being: Desertification Synthesis.** World Resources Institute, Washington , DC. 2005, 26 p.
- MIRANDA, E. E., (Coord.). Brasil em Relevo. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acessado em: 17/05/2014.
- MORAIS, I. R. D.; CASTRO, V. L. L. **Mudanças Climáticas e Desertificação.** In: CONFERÊNCIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE, 3. 2008. Natal, Rio Grande do Norte.. Disponível em: <[http://www.ibama.gov.br/rn/wp-content/files/2009/05/Texto\\_da\\_III\\_Conferencia\\_Estadual\\_do\\_Meio\\_Ambiente\\_RN\\_Mudanas\\_Climticas\\_e\\_Desertificao\\_2008.pdf](http://www.ibama.gov.br/rn/wp-content/files/2009/05/Texto_da_III_Conferencia_Estadual_do_Meio_Ambiente_RN_Mudanas_Climticas_e_Desertificao_2008.pdf)> Acesso em: 23/05/2013.
- MORAIS, H *et al.* Microclimatic characterization and productivity of coffee plants grown under shade of pigeon pea in Southern Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n. 41, p. 763 – 770, 2006.
- MORENO, L. L. V. Resiliencia de fincas ante afectaciones por organismos nocivos en sistemas agrícolas expuestos a sequía y ciclones tropicales. In: NICHOLLS, C.I., OSÓRIO, L. A. R., ALTIERI, M. A. (ed.). **Agroecología y resiliencia socioecológica: adaptándose al cambio climático.** Medellín, REDAGRES, p. 77 – 93, 2013.
- NALDER, I. A.; WEIN, R. W. Spatial interpolation of climatic normals: test of a new method in the Canadian boreal forest. **Agric. Forest. Meteorol.**, v.92, p. 211 – 225. 1998
- NICHOLLS, C. I. Enfoques agroecológicos para incrementar la resiliencia de los sistemas agrícolas al cambio climático. In: NICHOLLS, C.I., OSÓRIO, L. A. R., ALTIERI, M. A. (ed.). **Agroecología y resiliencia socioecológica: adaptándose al cambio climático.** Medellín, REDAGRES, p. 18 – 29, 2013.
- NIEUWLOT, S. **Tropical Climatology: an introduction to the climates of the low latitudes.** London, England: John Wiley & Sons, 1977. 207 p.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil.** Rio de Janeiro: IBGE, 421 p., 1989.
- NOGUEIRA, F. R. B.; DUQUE, G. Caminhos do desenvolvimento sustentável no semiárido brasileiro: agricultura familiar e transição agroecológica. In: MOREIRA, E.; TARGINO, I. (Org.). **Desertificação, desenvolvimento sustentável e agricultura familiar: recortes no Brasil, em Portugal e na África.** João Pessoa Editora Universitária/MMA, 2010, p. 201 - 212.
- OLIVEIRA-GALVÃO, A. L. C. DE, SAITO, C. H. Mapeamento sobre a Desertificação no Brasil: uma análise comparativa. **Brasil Florestal**, Brasília, DF, n. 77, p. 9-20. 2003.

- OMM – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE METEOROLOGIA. **Guide to meteorological instruments and methods of observation**, 7<sup>a</sup>. ed., Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 569 p., 2006.
- ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação; nos países afetados por seca grave e/ou desertificação, particularmente na África**. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. 89 p. 1997.
- PACHÊCO, A. P.; FREIRE, N. C. F.; BORGES, U. N. A transdisciplinariedade da desertificação. **Geografia**, Londrina, v. 15, n. jan/jun. 2006.
- PEIXOTO, A. L. Vegetação da costa atlântica. In: MONTEIRO, S., KAZ, L. (Coords.) **Floresta Atlântica**, Rio de Janeiro: Ed. Alumbra/Arte Editora, p. 33 – 42, 1991/1992.
- PELLEGRINO, G. Q. *et al.* O uso de sistemas de informações geográficas no mapeamento de informações agrometeorológicas. In ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura**. Brasília, EMBRAPA, 1998
- PENMAN, H. L. **The physical bases of irrigation control**. In: Hort. Congr., 2, London, Royal Horticultural Society, 1953, p. 913 – 924.
- PEREIRA, S. B. *et al.* Análise do comportamento hidrológico no rio Verde Grande. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 13, p. 55-60, 2005.
- PEREIRA, G. W. M. *et al.* Estimativa da temperatura média do estado de Goiás utilizando um interpolador SIG e coordenadas geográficas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16. 2013. Foz do Iguaçu, PR. **Anais... XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. 2013
- PESSANHA, E. M. R.; CRESPO, H. J. S. **Perfil dos pequenos agricultores de Campos dos Goytacazes/RJ**. In. V Circuito de Iniciação Científica, Campos dos Goytacazes. CD-Rom. Campos dos Goytacazes, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, 2008.
- PETERSEN, G. W. *et al.* Geographic information systems in agronomy. **Adv. Agron.**, v. 55, p. 67 – 111, 1995.
- PETERSEN, P.; SILVEIRA, L. M.; ALMEIDA, P. Ecosistemas naturais e agroecossistemas tradicionais no Agreste da Paraíba: uma analogia socialmente construída e uma oportunidade para a conversão agroecológica. In: SILVEIRA, L. M.; PETERSEN, P.; SABOURIN, E. **Agricultura Familiar e Agroecologia no Semi-Árido Brasileiro: avanços a partir do Agreste da Paraíba**. Rio de Janeiro: AS-PTA, p. 13 – 122, 2002.
- PEZZOPANE, J. E. M. *et al.* Espacialização da temperatura do ar no Estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 151-158, jan./jun. 2004.

- PROGRAMA DE AÇÃO NACIONAL DE COMBATE À DESERTIFICAÇÃO – PAN-BRASIL. Combate a desertificação e mitigação dos efeitos da seca. Brasília: **Ministério do Meio Ambiente / Secretaria de Recursos Hídricos**, 213p. 2004.
- RAMIREZ, M. R. **Sistemas gerenciadores de banco de dados para geoprocessamento**. 1994. 241 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciência e Engenharia de Sistemas de Computação) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/RJ. 1994.
- REIJ, C.; SCOONES, I.; TOULMIN, C. **Sustaining the Soil: Indigenous Soil and Water Conservation in Africa**. Earthscan, London, UK, 1996.
- REYNOLDS, J. F.; STAFFORD SMITH, D. M. Global desertification: Do humans cause deserts?, vol. 88. **Dahlem University Press**, Berlim. 2002.
- RÊGO, A. H. **Os sertões e os desertos: o combate à desertificação**. Brasil: FUNAG, 2012. 204P.
- RIO DE JANEIRO. Lei Estadual nº 650/83, de 11 de janeiro de 1983. Governo do Estado do Rio de Janeiro, 1983.
- ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL para os Cálculos de Balanços Hídricos: Normal, Sequencial, de Cultura e de Produtividade Real e Potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 6, n. 4, p. 133-137, 1998.
- ROSA, R. **Sistema de informação geográfica**. Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Geografia, Laboratório de Geoprocessamento, 2004. 49P.
- SALINGER, M. J.; SIVAKUMAR, M. V. K.; MOTHA, R. Reducing vulnerability of agriculture and forestry to climate variability and change: workshop summary and recommendations. **Climate Change**, v. 70, n 1-2, p. 341 – 362, 2005.
- SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, M. S. B.; SAMPAIO, Y. S. B. Propensão à desertificação no semi-árido brasileiro. **Revista de Geografia DCG/UFPE**, Recife, v. 22, n. 2, p. 59-76, 2005.
- SAMPAIO, E. V. S. B.; SAMPAIO, Y. **Avaliação de tecnologias atuais e alternativas em áreas em processo de desertificação no semiárido nordestino brasileiro**. Recife: FINEP – UFRPE – UFPE, 2002.
- SANT’ANNA NETO, J. L. Decálogo da climatologia do sudeste brasileiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, Presidente Prudente, v. 1, n. 1, p. 43 – 60, 2005.
- SANTOS, A. S. **Vulnerabilidades socioambientais diante das mudanças climáticas projetadas para o Semi-árido da Bahia**. 2008. 153p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) Universidade de Brasília, Brasília, 2008. Disponível em: <<http://www.unbcds.pro.br/publicacoes/AndreaSantos.pdf>> Acesso em: 07/05/2013.
- SANTOS JUNIOR, R. C.; NASCIMENTO, M. C.; CALHEIROS, S. Q. C. Alterações Espaciais da Cobertura Vegetal Remanescente dos Municípios do Litoral Sul alagoas, (No Período de 1985/1998). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA

- APLICADA. 9, 2001. Recife, PE. **Anais...** Recife: Universidade Federal De Pernambuco, v.1, p. 156, 2001.
- SEDIYAMA, G. C.; MELO JUNIOR, J. C. F. Modelos para estimativa das temperaturas normais mensais médias, máximas, mínimas e anual no estado de Minas Gerais. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 6, n. 1, p. 57-61, jan./dez. 1998.
- SEDIYAMA, G. C. *et al.* Modelo para estimativa das temperaturas normais mensais médias, máximas, mínimas e anual georreferenciados para o Estado do Espírito Santo. In: Congresso Brasileiro Engenharia Agrícola, 31, 2002, Salvador. **Anais...**, Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. CD-ROM
- SENTELHAS, P. C.; SANTOS, D. L.; MACHADO, R. E. Water deficit and water surplus maps for Brazil, based on FAO Penman-Monteith potential evapotranspiration. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 3, n. 3, p. 28-42, 2008.
- SILVA, C. P. S. As estratégias de modernização do espaço rural fluminense: técnica, planejamento e gestão no campo do Rio de Janeiro. **Revista de Geografia Agrária**, v. 1, n. 2, p. 92 – 122, 2006.
- SILVA, K. R. *et al.* Interpolação espacial da precipitação no Estado do Espírito Santo. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 4, p. 417 – 427, 2011
- SILVA, R. C. R.; CARVALHO, A. M. Formação econômica da Região Norte Fluminense. In: PESSANHA, R. M.; SILVA-NETO, R. (orgs.) **Economia e desenvolvimento no Norte Fluminense: da cana-de- de-açúcar aos royalties do petróleo**. Campos dos Goytacazes, RJ: WTC Editora, 27-75p.
- SILVEIRA, L. M. Combate à desertificação: lições das comunidades rurais. **Agriculturas**, Leisa Brasil, v. 9, n. 3, p.4 – 7. 2012.
- SIVAKUMAR, M. V. K. Interactions between climate and desertification. **Agricultural and Forest Meteorology**, Elsevier, v. 142, p. 143 – 155, 2007.
- SOARES, D. B.; MOTA FILHO, F. O.; NÓBREGA, R. S. Sobre o processo de desertificação. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 1, p. 174 – 188, 2011.
- SOUTO, R. A. Análise da viabilidade de práticas agroecológicas adotadas por agricultores familiares do município de Lagoa Seca, Paraíba. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n., v. 8, n. 3, p. 99 – 115. 2011
- SOUZA, H. N. **Sistematização da experiência participativa com sistemas agroflorestais: rumo à sustentabilidade de agricultura familiar na Zona da Mata mineira**. 2006. 145 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.
- SOUZA, J. L. L. L. *et al.* Avaliação de métodos de interpolação aplicados à espacialização das chuvas no território identidade Portal do Sertão/Bahia. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, 15. 2011. Curitiba. **Anais...** XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 2011

- SOUZA, J. W. *et al.* Feira de produtos agroecológicos da UENF: uma estratégia para o fortalecimento da agricultura familiar no Norte Fluminense. **Rev. Bras. De Agroecologia**, v. 4, n. 2, 2009.
- STERN, R. D. *et al.* **J. Instat Climatic Guide**. 2005. 325p.
- STONE, R. J. Improved statistical procedure for the evaluation of solar radiation estimation models. **Solar Energy**, v. 51, n. 4, p. 289-291, 1993.
- SUERTEGARAY, D. M. A. **A Trajetória da Natureza: um estudo geomorfológico sobre os areas de Quaraí – RS**. 1987. 243p. Tese (Doutorado em Geografia). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo. 1987.
- SZILAGYI, G. **Abordagens sobre o processo de Desertificação e uma revisão conceitual para o fenômeno investigado**. 2004. 95p. Monografia apresentada ao curso de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2004.
- TENGO, M.; BELFRAGE, K. Local management practices for dealing with change and uncertainty: A cross-scale comparison of cases in Sweden and Tanzania. **Ecology and Society**, v. 9, n.3, p. 4, 2004.
- TESTEZLAF, R. **Irrigação: métodos, sistemas e aplicações**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2011. 203 p.
- THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geogr. Rev**, v.38, p.55-94, 1948.
- THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104p.
- VAISALA. **HMP45A & HMP45D Relative Humidity and Temperature Probes; Solar Radiation Shield**. Helsinki: VAISALA, 2009, 4p.
- VALLADARES, G. S. *et al.* Uso de Imagens de Radar na Estimativa da Temperatura do Ar. In: **Embrapa Monitoramento por Satélites-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento n. 3**. Campinas: EMBRAPA. 2004. 20 p.
- VANDERMEER, J. **Tropical agroecosystems**. Boca Raton: CRC Press, 2002, 280p.
- VOGEL, R. M.; WILSON, I.; DALY, C. Regional regression models of anual streamflow for the United States. **J. Irrig. and Drain. Eng.** ASCE, Reston, v. 125, p. 148 – 157, 1999.
- WARD, J.H. Hierarchical grouping to otimize an objective function. **J. Amer. Assoc.**, v.58. p. 236-44, 1963.
- WILLIAMS, M. A. J., BALLING, R. C. **Interactions of Desertification and Climate**, Arnold, London, pp 270. 1996.

- WILLMOTT, C. J. 1981. On the validation of models. **Physical Geography**, v. 2, p. 184–194, 1981.
- WINSLOW, M. *et al.* Desertification, drought, poverty and agriculture: research lessons and opportunities. Aleppo, Syria; Patancheru, India; and Rome, Italy: **joint publication of the International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), the International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT), and the UNCCD Global Mechanism (GM)**. 52 p. 2004.
- XAVIER, R. M. C.; PAIVA, C. M.; ALVES, G. S. Classificação e índice de mudança climática em Itaperuna, RJ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11, 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2000.
- YIN, R. K. Estudo de caso: planejamento e métodos. 3. Ed. Porto Alegre. Bookman, 2005. 205p.
- ZOLDAN, P.; KARAM, K. F. Estudo da dinâmica da comercialização de produtos orgânicos em Santa Catarina. Florianópolis: Instituto Cepa/SC. 2004. 181p.



## ANEXO 1

ID	ESTAÇÃO	ESTADO	OPERADORA	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE
1	Barra Alegre	RJ	CPRM	-22,2356	-42,2858	653
2	Bonsucesso	RJ	CPRM	-22,2700	-42,7900	966
3	Est Bomba Imunana	RJ	CPRM	-22,6800	-42,9500	3
4	Farol São Tomé	RJ	CPRM	-22,0400	-41,0500	3
5	Faz do Carmo	RJ	CPRM	-22,4400	-42,7700	50
6	Faz Oratório	RJ	CPRM	-22,2600	-41,9800	30
7	Faz São João	RJ	CPRM	-22,3900	-42,5000	1019
8	Faz São Joaquim	RJ	CPRM	-22,4400	-42,6200	278
9	Gaviões	RJ	CPRM	-22,5500	-42,5500	204
10	Japuíba	RJ	CPRM	-22,5600	-42,7000	21
11	Manuel Ribeiro	RJ	CPRM	-22,9100	-42,7300	4
12	Maria Mendonça	RJ	CPRM	-22,1900	-42,1600	885
13	Ponto de Pergunta	RJ	CPRM	-21,7400	-41,9900	61
14	Quarteis	RJ	CPRM	-22,4600	-42,3100	58
15	Represa Paraíso	RJ	CPRM	-22,5000	-42,9100	235
16	Rio Dourados	RJ	CPRM	-22,4700	-42,0800	25
17	São Francisco	RJ	CPRM	-21,4800	-41,1000	9
18	São Roque	RJ	CPRM	-23,0700	-44,7000	9
19	Teodoro de Oliveria	RJ	CPRM	-22,3800	-42,5500	1122
20	Usina Quissamã	RJ	CPRM	-22,1100	-41,4700	10
21	Vargem Alta	RJ	CPRM	-22,3000	-42,4000	1068
22	Vargem Grande	RJ	CPRM	-22,2800	-42,5000	1018
23	Varresai	RJ	CPRM	-20,9300	-41,8500	758
24	Vila Mambucaba	RJ	CPRM	-23,0200	-44,5900	588
25	Visconde de Imbé	RJ	CPRM	-22,0700	-42,1600	349
26	Angra dos Reis	RJ	INMET	-23,0000	-44,3200	173
27	Bangu	RJ	INMET	-22,8667	-43,4500	37
28	Campos dos Goytacazes	RJ	INMET	-21,7500	-41,3300	12
29	Carmo	RJ	INMET	-21,9300	-42,6200	272
30	Ecologia Agrícola	RJ	INMET	-22,7667	-43,6833	21
31	Nova Friburgo	RJ	INMET	-22,2800	-42,5300	859
32	Resende	RJ	INMET	-22,4800	-44,4500	441
33	São Fidelis	RJ	INMET	-21,6500	-41,7500	23
34	Sta Maria Madalena	RJ	INMET	-21,9500	-42,0200	871
35	Vassouras	RJ	INMET	-22,4200	-43,6700	537
36	Anta	RJ	LIGHT	-22,0342	-42,9933	250
37	Barra Mansa	RJ	LIGHT	-22,5414	-44,1781	387
38	Barragem das Lages	RJ	LIGHT	-22,7008	-43,8783	419
39	Elevatorio Sta Cecília	RJ	LIGHT	-22,4819	-43,8392	358
40	Faz da Lapa	RJ	LIGHT	-22,8522	-43,9953	433
41	Faz São Francisco	RJ	LIGHT	-22,3425	-43,8086	681
42	Faz Sta Rosa	RJ	LIGHT	-22,6872	-43,8728	470
43	Frei Caneca	RJ	LIGHT	-22,9144	-43,1975	8
44	Ipê	RJ	LIGHT	-22,6958	-43,8719	418
45	Itatiaia	RJ	LIGHT	-22,4969	-44,5583	410
46	Lídice	RJ	LIGHT	-22,8356	-44,1936	549
47	Sítio das Palmeiras	RJ	LIGHT	-22,4467	-44,3042	389
48	Taboas	RJ	LIGHT	-22,2089	-43,6189	552
49	Três Rios Substação	RJ	LIGHT	-22,1417	-43,2156	662
50	Usina Eleatorio de Vigário	RJ	LIGHT	-22,6294	-43,8956	372

51	Vargem Ralo Coletor	RJ	LIGHT	-22,7731	-44,0900	509
52	Volta Redonda	RJ	LIGHT	-22,5128	-44,0942	384
53	Bemfica	RJ	SERLA	-22,8881	-43,2489	8
54	Campo Grande	RJ	SERLA	-22,9178	-43,5447	38
55	Eletrobras	RJ	SERLA	-22,9217	-43,4200	53
56	Irajá	RJ	SERLA	-22,8306	-43,3294	15
57	Mendanha	RJ	SERLA	-22,8625	-43,5433	27
58	Via11	RJ	SERLA	-23,0000	-43,3664	8
59	Itaperuna	RJ	INMET	-21,2000	-41,9000	115
60	Cordeiro	RJ	INMET	-22,0200	-42,36	534
61	Rio de Janeiro	RJ	INMET	-22,8900	-43,18	11
62	três Irmãos	RJ	NOAA	-21,6300	-41,89	42
63	Dois Rios	RJ	NOAA	-21,6400	-41,86	50
64	Cardoso Moreira	RJ	NOAA	-21,4900	-41,61	20
65	Macabuzinho	RJ	NOAA	-22,0800	-41,71	19
66	Barras do Itapemirim	ES	CPRM	-21,0075	-40,8353	4
67	Cachoeiro do Itapemirim	ES	INMET	-20,85	-41,6000	877
68	Dores do Rio Preto	ES	CPRM	-20,68583	-41,8461	770
69	Guacui	ES	CPRM	-20,77361	-41,6817	584
70	Mimoso do Sul	ES	CPRM	-21,06472	-41,3625	78
71	Sao Jose das Torres	ES	CPRM	-21,0625	-41,2411	27
72	Sao Jose do Calcado	ES	CPRM	-21,03667	-41,6522	303
73	Usina Paineiras	ES	CPRM	-20,95278	-40,9533	12
74	Bananal Bocaína	SP	FCTH	-22,8	-44,4667	1183
75	Bananal	SP	FURNAS	-22,68333	-44,3167	468
76	Capetinga	SP	FCTH	-22,85	-44,7833	1022
77	Faz Cume	SP	FCTH	-23,08333	-44,9000	918
78	São José do barreiro	SP	FCTH	-22,65	-44,5833	549
79	Alagoa	MG	IGAM	-22,17	-44,6369	1116
80	Caiana	MG	CPRM	-20,69388889	-41,9219	737
81	Carangola	MG	CPRM	-20,74	-42,0239	426
82	Estevão pinto	MG	CPRM	-21,89638889	-43,0414	435
83	Fazenda da Barra	MG	CPRM	-21,65805556	-42,3428	152
84	Fazenda São Gabriel	MG	CPRM	-22,01166667	-43,8750	880
85	Itanhandu	MG	IGAM	-22,29444444	-44,9392	896
86	Patrocínio do Muriaé	MG	CPRM	-21,14861111	-42,2156	245
87	Pedreira Pacau	MG	IGAM	-22,02611111	-44,1736	1220
88	Ponte do Costa	MG	IGAM	-22,12694444	-44,4083	1166
89	Sobraji	MG	CPRM	-21,96027778	-43,3725	455
90	Tabuão	MG	IGAM	-21,98722222	-44,0322	910
91	Torreões	MG	CPRM	-21,86916667	-43,5556	663
92	Volta Grande	MG	CPRM	-21,76916667	-42,5397	223
93	Zelinda	MG	CPRM	-22,24305556	-44,2636	543
94	Juiz de Fora	MG	INMET	-21,7600	-43,3600	916